UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Balkendecken

Barkhausen, Georg

Stuttgart, 1895

2. Abschnitt. Nach oben begrenzende Constructionen.

urn:nbn:de:hbz:466:1-77494

Visual Library

2. Abſchnitt.

Nach oben begrenzende Conſtructionen.

1. Vorbemerkungen.

Die durch die Gebäude geſchaffenen, bezw. in denſelben vorhandenen Räume werden nach oben in der Regel durch eine Decke, ſeltener durch das Dach begrenzt; letzteres bildet in den allermeiſten Fällen den oberſten Abſchluſs des Gebäudes. Im vorliegenden Hefte dieſes »Handbuches« ſollen die Decken, im nächſtfolgenden die Dächer behandelt werden.

Wie bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (S. 3) dieſes »Handbuches« geſagt worden iſt, kann die Decke raumabſchlieſsend oder raumtrennend ſein, je nachdem ſie den betreffenden Raum nach auſsen hin abſchlieſst oder denſelben von einem darüber gelegenen Raume trennt. Im Verfolg deſſen kann man unterſcheiden:

1) Decken, über denen ſich kein benutzter Raum befindet, welche alſo keinen Fuſsboden [1]) zu tragen und nur den Zweck der Raumabſchlieſsung zu erfüllen haben.

2) Decken, über denen ein oder mehrere benutzte Räume vorhanden ſind, alſo Decken, welche letztere Räume nach unten begrenzen und deſshalb einem Fuſsboden [1]) als Unterlage zu dienen haben.

3) Decken, welche den Unterbau für einen Altan, eine Terraſſe etc. bilden.

Die Conſtruction der Decken iſt eine ſehr mannigfaltige. Sie laſſen ſich in dieſer Hinſicht in drei Gruppen trennen:

1) Balkendecken oder Decken, deren hauptſächlich tragende Conſtructionstheile von ſog. Balkenträgern [2]) gebildet werden;

2) Gewölbte Decken, welche von ſteinernen Gewölben gebildet werden, und

3) Decken, die aus anderen Bauſtoffen, bezw. in anderer Weiſe conſtruirt ſind.

---

[1]) Die Fuſsböden werden, obigen Ausführungen entſprechend, im vorliegenden Abſchnitt nicht zu beſprechen ſein. Es giebt Fuſsböden, die nicht auf einer Decken-Conſtruction aufruhen, und andererſeits Decken, auf denen keinerlei Fuſsboden lagert. Ueber Conſtruction und formale Ausbildung der Fuſsböden iſt in Theil III, Band 3, Heft 3 dieſes »Handbuches« das Erforderliche zu finden; hier wird der Fuſsboden-Conſtruction nur in ſo fern zu gedenken ſein, als Decken die Unterlage für Fuſsböden bilden können.

[2]) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieſes »Handbuches«, Art. 355, S. 315 (2. Aufl.: Art. 148, S. 125).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

A. Balkendecken.

Von Georg Barkhausen.

In den nachftehenden Kapiteln wird mit der Betrachtung der Balkendecken begonnen, weil diefe — wenn man etwa von Steinplattendecken abfieht — die gefchichtlich älteften und in der Regel auch in Conftruction und Ausführung die einfacheren find. Denfelben folgt die Befprechung der gewölbten Decken, und den Schlufs bilden die anderweitigen Decken-Conftructionen, deren Anwendung grofsentheils erft der neueren Zeit angehört.

Literatur

über »Balkendecken im Allgemeinen«.

Parallèle entre les planchers en fer et les planchers en bois, au point de vue de leur prix et de leurs dimenfions générales. Nouv. annales de la conft. 1856, S. 29.

Trélat. *Comparaifon entre les planchers en fer et les planchers en bois. Nouv. annales de la conft.* 1856, S. 104.

Liger, F. *Pans de bois et pans de fer.* Paris 1867.

Prix comparatif des planchers en fer et des planchers en bois. Gaz. des arch. et du bât. 1873, S. 100.

Strohmayer, L. Vergleich der üblichen Decken-Conftructionen. Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877, S. 243, 247, 251.

Stach, F. Ueber Deckenconftructionen. Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 58.

Les pans de fer et les pans de bois. Moniteur des arch. 1878, S. 33.

---

1. Kapitel.

Unterftützung der Balkendecken.

Die wichtigfte allgemeine Grundregel für die Unterftützung der Balkendecken befagt, dafs jeder tragende Theil eine genügende Auflager-Grundfläche erhalten mufs, um in ihr eine der Tragfähigkeit der unterftützenden Theile entfprechende Belaftung der Flächeneinheit zu ermöglichen.

Die Unterftützung erfolgt durch die Gebäudewände oder durch Freiftützen.

a) Unterftützung durch Gebäudewände.

2. Steinerne Wände.

Die Gebäudewände können ganz in Stein, in Fachwerk, in Holz etc. ausgeführt fein.

Bei ganz fteinernen Wänden find bezüglich der Beftimmung der Gröfse der Auflagerflächen für die die Decken tragenden Theile diejenigen Einheitsbelaftungen mafsgebend, welche als zuläffige in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 281,

S. 247 [3]), Theil III, Band 1 (Fufsnote 104, S. 196 [4]) und Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap. 11, a: Wandftärken) diefes »Handbuches« angegeben find.

Gewöhnlich wird angenommen, dafs fich der Druck der die Decke tragenden Theile gleichförmig über die Lagerfläche vertheilt. In der That wird aber diefe Vertheilung durch die Durchbiegung der Träger unmöglich gemacht, welche ftets eine Mehrbelaftung der Auflager-Vorderkante bewirkt. Eine derartige Kantenbelaftung des Mauerwerkes ift aber fchädlich, und defshalb ift es bei fchwer belafteten Decken, wo die Auflagerflächen nicht — wie in den gewöhnlichen Fällen — aus praktifchen Rückfichten gröfser gemacht find, als fie ftreng genommen zu fein brauchten, rathfam, die tragenden Theile, etwa Balken, auf ein Bohlenftück oder eine Platte von Cementmörtel zu lagern, deren Vorderkante um einige Centimeter von der Mauerkante, diefe entlaftend, entfernt bleibt (Fig. 1). Befonders häufig tritt bei eifernen Trag-Conftructionen in Folge der hohen Feftigkeit des Eifens, gegenüber der des Mauerwerkes, der Fall ein, dafs zur Erzielung einer genügenden Lagerfläche am Träger felbft, bei der meift geringen Breite des letzteren, ein übermäfsig langes Stück in die Wand gefteckt werden müffte, wodurch die Wand gefchwächt, der Träger unnöthig lang und die Druckvertheilung erheblich ungleichmäfsiger wird, als bei kurzer Lagerung. In folchen Fällen wird es nöthig, eine befondere Lagerplatte zwifchen Träger und Mauerwerk einzulegen, welche aus Gufseifen nach Fig. 2 oder nach Fig. 588 (S. 216 [5]) in Theil III, Band 1 diefes »Handbuches« auszubilden ift. Zweck der Platte ift, die zu grofse Auflagerlänge durch Verbreiterung des Lagers zu verkürzen; auch diefe Platte foll um einige Centimeter von der Mauerkante entfernt bleiben. Alle folche Platten find zunächft auf Keilen 1,5 bis 2,0 cm hohl zu verlegen und dann mit Cement zu vergiefsen.

Fig. 1.

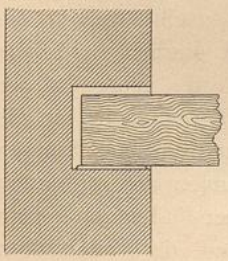
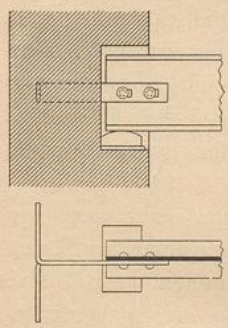


Fig. 2.



Die Verbefferung der Druckvertheilung kann auch durch eine unter allen Trägerköpfen der Decke in der Mauer entlang laufende Mauerlatte, auch Mauerbank, Raftlade, Roftlade oder Roftfchliefse genannt, erzielt werden, auf welcher hölzerne Balken verkämmt werden (fiehe Fig. 515, S. 179 in Theil III, Band 1 diefes »Handbuches« [6]). Diefelbe kommt ausfchliefslich bei hölzernen Tragwerken vor und hat hier den Vortheil, dafs das Verzimmern der hölzernen Träger (Balkenlagen) durch Anordnung diefer einrahmenden Hölzer an Genauigkeit, weil an Bequemlichkeit gewinnt. Andererfeits werden aber die Wände durch die durchlaufende Nuth, welche für die Einlagerung der durchgehenden Latte ausgefpart werden mufs, in höchft bedenklicher Weife gefchwächt. Es empfiehlt fich daher die Verwendung der Mauerlatte — abgefehen von der Benutzung als Entlaftungsträger über Oeffnungen oder fonftigen fchwachen Stellen der Mauern — auf folche Fälle zu befchränken, in denen fie ohne Herftellung einer Nuth entweder auf einen Mauerabfatz — bei Verftärkung der Wände —

[3]) 2. Aufl.: Art. 77, S. 53.
[4]) 2. Aufl.: Fufsnote 113, S. 220.
[5]) 2. Aufl.: Fig. 605 u. 606, S. 245 u. 246.
[6]) 2. Aufl.: Fig. 528, S. 194.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

oder auf eine Maueroberfläche — bei Dachbalkenlagen — verlegt werden kann; namentlich für den letzteren Fall ist ihre Verwendung behufs Vertheilung der Dachlasten zu empfehlen. Auch die Mauerlatte muss mit der Aussenkante etwas von der Mauerkante entfernt bleiben.

In den meisten Fällen haben die Decken-Tragwerke neben der Aufgabe, die Deckenlasten aufzunehmen, noch die der gegenseitigen Verankerung der Gebäudewände zu erfüllen, zu welchem Zwecke dann zwischen den Trägerenden und den Wänden eine Verbindung nach Art von Fig. 3, 4, 5, 6 u. Fig. 514, 515, 516 (S. 179) in Theil III, Band 1 dieses »Handbuches« [7]) hergestellt werden muss. Diese Verbindungen können mit geringen Abänderungen auch für eiserne Träger verwendet werden; eine einfache derartige Anordnung stellt Fig. 2 dar. Bei schweren Trägeranordnungen erfolgt diese Verbindung gewöhnlich in der durch Fig. 602 (S. 224 [8]) im gleichen Bande dargestellten Weise, indem man eine untere Rippe der Lagerplatte, in welcher der Träger unbeweglich befestigt ist, nach unten in das Mauerwerk greifen lässt und hier vergiesst. Voraussetzung ist hierbei, dass das Mauerwerk zum Einstemmen der erforderlichen Nuth fest genug ist. Diese Art der Befestigung wird aber nach dem an der bezeichneten Stelle Gesagten dann für die Wände gefährlich, wenn die Träger lang und erheblichen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, weil die Mauern dann durch die Längenänderungen der mit ihnen fest verbundenen Träger hin und her bewegt werden. In solchen Fällen muss man die Verankerung der Wände durch die Deckenträger aufgeben und die Wandstärken nöthigenfalls unter Anfügen von Strebepfeilern so bemessen, dass die Wände für sich hinreichend standfest sind. (Siehe Theil III, Bd. 1 [Abth. III, Abschn. 1, A, Kap. 11, b: Wandverstärkungen] dieses »Handbuches«.)

Bei Feuersbrünsten wurde mehrfach der Einsturz der Gebäude dadurch hervorgerufen, dass die Längenausdehnung der an den Enden fest eingemauerten eisernen Träger in Folge des hohen Wärmegrades die Mauern nach aussen umwarf. Es ist daher nothwendig, den Enden eiserner Träger genügend freies Spiel zu lassen, d. h. das Mauerwerk vom Trägerende zurückzusetzen und die Bolzenlöcher etwaiger Ankeranschlüsse länglich zu gestalten (Fig. 2). Das Mass der Ausdehnung berechne man für Eisen und Stahl nach dem Ausdehnungsverhältnisse 0,0000123 für 1 Grad C. Wärmezunahme und mache ferner noch die Annahme, dass die ganze Längenänderung an einem Trägerende zum Austrage kommt.

Da die Deckenträger sich gleichmässig über die ganze Länge der Mauern vertheilen müssen, so ist die Lagerung einer gewissen Anzahl derselben über den Maueröffnungen des unteren Geschosses im Allgemeinen nicht zu umgehen. Sind diese schmal, z. B. gewöhnliche Fenster eines Wohnhauses, so kann man die Deckenträger unbedenklich, wie es gerade bequem erscheint, über dem Schlussbogen der Oeffnung lagern. Werden die Oeffnungen aber weit, z. B. Einfahrten, Schaufenster u. dergl., so ist für den Abschluss mittels Wölbbogen meist keine genügende Höhe vorhanden; auch würden die bedeutenden Lasten Bogenschübe bewirken, für welche die Widerlager nicht vorhanden sind. Man lege dann zunächst Träger über diese Oeffnungen, welche die Last der Deckenträger und dazu häufig noch diejenige der Mauern der darüber liegenden Geschosse zu tragen haben.

In dem Falle, dass die gewölbten Bogen über den Oeffnungen wohl zur Auf-

---

[7]) 2. Aufl.: Fig. 527, 528 u. 529, S. 194.
[8]) 2. Aufl.: Fig. 618, S. 256 u. Fig. 620, S. 257.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

nahme der aufruhenden Mauerlaſt, nicht aber zu der der Deckenlaſt ſtark genug erſcheinen, lege man über den Bogen in die Mauer noch einen mauerlattenartigen Längsträger, welcher die Deckenträger aufnimmt. Dieſer Träger ſoll nun aber nicht wie eine Mauerlatte bloſs druckvertheilend wirken, ſondern er ſoll die geſammte, über der Oeffnung ruhende Deckenlaſt aus deren Bereiche auf die Seitenbegrenzungen übertragen; daraus folgt, daſs er nicht voll auf dem Bogen untermauert werden darf, ſondern beiderſeits neben der Oeffnung regelrechte Auflager erhalten, innerhalb derſelben aber vom Mauerwerke ſo weit frei bleiben muſs, daſs er die ſeiner Belaſtung entſprechende Durchbiegung annehmen kann, ohne das Mauerwerk zu berühren.

Bei ſchwachen und bei ſtark belaſteten Mauern erſcheint das Einlagern von Mauerlatten regelmäſsig, oft aber auch das Einſtecken der Balkenköpfe unzuläſſig, weil die entſtehenden Löcher zu bedeutende Schwächung der Mauer hervorrufen.

In ſolchen Fällen kann man: 1) die Balken auf ausgekragte Lager aus Backſtein, Hauſtein oder Eiſen lagern, indem man entweder unter jeden Balkenkopf ein Kragſtück, bezw. eine Conſole ſetzt, oder 2) die Balken mittels eines auf in weiterer Theilung angebrachten Conſolen gelagerten Trägers unterſtützt (Fig. 3, 5 u. 6) oder 3) einige Kragſchichten auf die ganze Länge der Mauer vorſtrecken (Fig. 4). Bei dieſer Art der Lagerung wird allerdings die Wand in ſo fern ungünſtig beanſprucht, als das Kräftepaar A (Fig. 3) dieſelbe mit der Momentengröſse $A\,d$ nach innen zu kanten ſucht; die Mauer muſs alſo dann ſtark genug ſein, um auſser den auf ſie wirkenden lothrechten Laſten auch dieſes Moment aufzunehmen. Iſt aber die Wand — z. B. durch einen aus dem Dachſtuhle ſich entwickelnden Schub — ſchon vorwiegend an der Auſsenkante belaſtet, ſo kann dieſe die Preſſungen an der Innenkante vergröſsernde Art der Balkenlagerung ſogar günſtig für die Wand wirken.

Fig. 3.

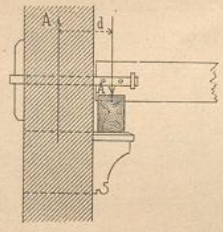


Fig. 5.

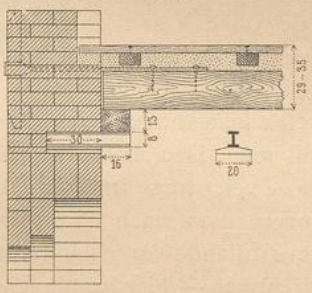


Fig. 4.

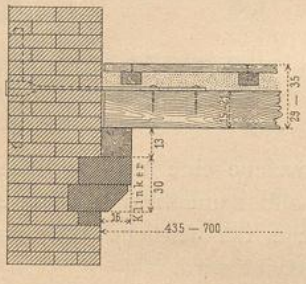
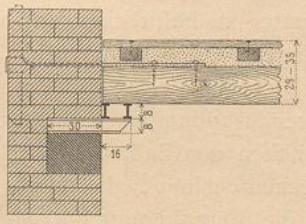


Fig. 6.



Die Hauſtein-Conſolen greifen durch die ganze Wandſtärke; bei ihnen wie bei den in Backſteinen vorgekragten Schichten ſoll die Ausladung bis Auflagermitte (A in Fig. 3) die Hälfte der Höhe nicht weſentlich überſchreiten.

Eine Verankerung der Wand, wenigſtens an einzelnen Balken, wird auch hier regelmäſsig ausgeführt (Fig. 3 bis 6).

Die Lagerung hölzerner Balken vor der Wand erfolgt bei geringer Stärke der letzteren auch zu dem Zwecke, die Balkenköpfe, welche bei Einlagerung die ganze Mauerſtärke durchdringen würden, nicht mit dem Hirnende der Witterung auszuſetzen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

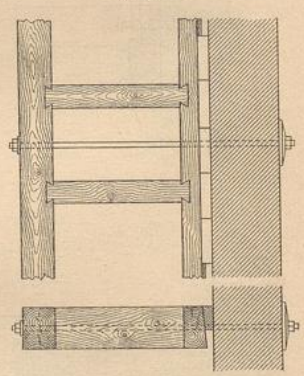
Ausgeführte Beifpiele derartiger Lagerung auf Kragfchichten und Confolen zeigen Fig. 4, 5 u. 6, welche dem Gymnafial-Convicts-Gebäude in Horn[9]) entnommen find.

Da die Säle bedeutende Längen (bis zu 23 m) haben, fo fürchtete man die bei Einlagerung der Balken der verwendeten Dübeldecke unvermeidliche Schwächung der Mauern und führte daher bei 6,00 bis 7,15 m Saaltiefe die in Fig. 4 dargeftellte Kraglagerung in harten Klinkern aus; die Mehrkoften hierfür betrugen, einfchl. der Lagerfchwelle und des Putzens des die Kragleifte verdeckenden Gefimfes, für 1 lauf. Meter 4,4 Mark (= 2,2 Gulden.) Bei Saaltiefen von weniger als 6,00 m wurde die Vorkragung in den gewöhnlichen Mauerfteinen ausgeführt und koftete dann nur 1,8 Mark (0,9 Gulden) für 1 lauf. Meter.

Ueber den Fenftern liefs fich die Steinvorkragung wegen mangelnder Höhe nicht mehr durchführen; hier wurden daher in 75 cm Abftand kurze Abfchnitte von I-Trägern Nr. 8 unter Auflagerung auf kleine gufseiferne Druckvertheilungsplatten eingemauert, welche dann die Auflagerfchwelle tragen (Fig. 5). Die in Fig. 6 dargeftellte Anordnung von eifernen Kragträgern auf Auflagerquadern, welche als Lagerfchwelle ein Paar I-Träger Nr. 8 tragen, wurde wegen der geringeren Höhe in Betracht gezogen, jedoch gegenüber der gewählten Anordnung nach Fig. 4 als zu theuer erkannt.

Die Verankerung folcher Wände, welche mit den Balken parallel laufen, alfo der fog. Giebelwände, kann durch die Balkenlage nur in viel mangelhafterer Weife erfolgen, als die derjenigen Wände, welche die Balkenköpfe aufnehmen, da der Widerftand der Balkenlage in diefem Sinne lediglich von dem geringen feitlichen Biegungswiderftande der Balken abhängt. Man foll daher folche Wände in der Regel fo ausbilden, dafs fie ohne Verankerung ficher ftehen, daher namentlich den letzten Träger der Balkenlage nicht in, fondern vor die Wand legen.

Fig. 7.



Wird gleichwohl in einzelnen Fällen eine folche Verankerung nöthig, fo foll man dazu nicht blofs den letzten, fondern wenigftens zwei, wenn möglich drei Balken nutzbar machen, indem man nach Fig. 7 zwei fchwache Wechfel in kurzem Abftande von einander einzieht und in deren Mitte den Anker — hier Rundeifen — durch die Balken und die Wand führt. Dabei mufs der letzte Balken feft gegen die Wand abgekeilt fein, was übrigens auch wegen des fpäter zu befprechenden dichten Anfchluffes der Balkenlage an die Wand nöthig ift.

Wefentlich wird diefe Art der Verankerung durch folche Fufsböden und Deckenausbildungen unterftützt, welche eine auf Zug widerftandsfähige Verbindung zwifchen den Balken herftellen, alfo namentlich bei Bretterfufsböden und bei der Deckenfchalung, da durch folche der feitliche Biegungswiderftand aller Balken für die Verankerung nutzbar gemacht wird.

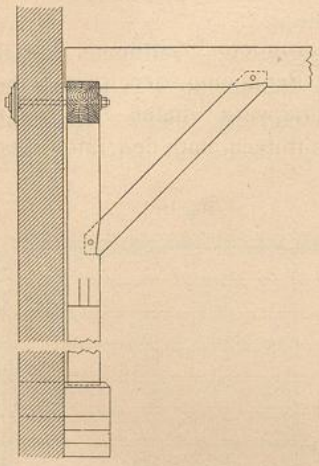
Bei eifernen Balken ändert fich die Anordnung gegen Fig. 7 in nichts Wefentlichem.

Ift nun die Tragfähigkeit der Mauern fo gering, dafs fie auch die Lagerung auf Vorkragungen nicht ertragen, fo mufs man vor ihnen ein Traggerüft aus hölzernen Stielen mit hölzernen Balken, oder eifernen Stützen mit Eifenträgern aufftellen. Letztere werden ganz nach dem in Theil III, Band 1 (S. 184 u. ff.[10]) diefes »Handbuches« über Freiftützen in Eifen Gefagten behandelt, indem man fie bis auf die unmittelbar auf dem Baugrunde vorzunehmende Gründung hinabführt; erftere ftellt man dagegen gern auf einen fteinernen Sockel mit Deckquader, um

[9]) Nach: Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 361.

[10]) 2. Aufl.: S. 199 u. ff.

Fig. 8.



das untere Ende über dem Erdboden trocken und unter guter Aufſicht zu halten (Fig. 8). Dabei werden die Stiele gegen den darüber liegenden Längsträger, und — wenn ein Balken über dem Stiele liegt — auch gegen dieſen durch Kopfbänder verſpreizt. Das untere Stielende wird in den Quader etwas eingelaſſen oder ſtumpf aufgeſetzt und mittels Dollen unverſchieblich gemacht; dieſe Vorkehrungen ſind jedoch bedenklich, wenn Näſſe den Stiel erreichen kann. Es iſt zweckmäſsig, zwiſchen die Hirnfläche des Stieles und den Quader eine 1,5 mm dicke, an Gröſse dem Stielquerſchnitte entſprechende Bleiplatte einzulegen, welche den Druck auch bei geringen Unebenheiten der Aufſtandsflächen gleichförmig vertheilt und zugleich einigen Schutz gegen Feuchtigkeit gewährt.

3. Fachwerkwände.

Bei Wänden aus Holz-Fachwerk erfolgt, wie dies ſchon in Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abſchn. 1, A, Kap. 6: Wände aus Holz und Stein [Holz-Fachwerkbau], insbeſondere unter a [Holzgerippe]) ausgeführt worden iſt, die Lagerung der Balken zwiſchen dem Rahmen des unteren und der Schwelle des oberen Geſchoſſes, ſo daſs alſo die Balkenlage die Wände zweier auf einander folgender Geſchoſſe trennt. Die Balken werden dabei mit Rahmen und Schwelle haken-, kreuz- oder ſchwalbenſchwanzförmig verkämmt, um als Anker für die Wände dienen zu können. Zu beachten iſt übrigens nur die Regel, daſs die Balken nicht weit von den Stielen des Fachwerkes entfernt liegen ſollen, woraus folgt, daſs die Stieltheilung der Balkentheilung thunlichſt entſprechen ſollte. Ueber die Anordnungen, welche zur Verſtärkung der Rahmen zu treffen ſind, wenn aus irgend welchen Gründen die Balken nicht über die Stiele gelegt werden können, vergleiche die oben angezogene Stelle.

b) Unterſtützung durch Freiſtützen.

4. Freie Mittelſtützen.

In der Regel wird man die Balken einer Decke ſo legen, daſs ſie die kleinere Abmeſſung des zu deckenden Innenraumes frei überſpannen. Wird dieſe aber zu groſs, um noch mit den zweckmäſsig zu verwendenden Balkenmaſsen überdeckt werden zu können, ſo muſs man für die Balken noch Mittelunterſtützungen anordnen.

Solche Mittelunterſtützungen der Balken werden letztere in der Regel rechtwinkelig kreuzen. Da die Balken aber nach der kleineren Raumabmeſſung gelegt waren, ſo werden dieſe Unterſtützungen nunmehr die gröſsere Weite zu überſpannen und die groſsen von den Balken geſammelten Laſten zu tragen haben. Für dieſe unterſtützenden Träger, welche, je nachdem ſie die Balken durch Anhängen oder Auflagern aufnehmen, bezw. Ueberzüge oder Unterzüge heiſsen, wird man ſonach ganz beſonders groſser Tragfähigkeit bedürfen; man wird daher häufig in die Lage kommen, die Ueberzüge und Unterzüge in gewiſſen Abſtänden ihrerſeits wieder durch andere Conſtructionstheile unterſtützen zu müſſen.

Dieſe Unterſtützung der Ueber- und Unterzüge erfolgt auf zweierlei Weiſe, entweder:

1) Von oben, durch Anhängen an den Dachſtuhl; dieſe Unterſtützungsart kann in der Regel nur in der Dachbalkenlage erfolgen und wird im nächſten Hefte

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

(Abth. III, Abſchn. 2, unter E: Dachſtuhl-Conſtructionen) dieſes »Handbuches« behandelt werden; ſie läſſt den Innenraum vollkommen frei.

2) Von unten durch Auflagerung auf geſondert gegründete Freiſtützen, deren eiſerne Säulen oder hölzerne Stiele die völlig ungeſtörte Benutzung der Räume bis zu gewiſſem Grade beeinträchtigen. Ein einfaches Tragwerk dieſer Art zeigt Fig. 9. Der ganze Raum iſt dabei nur durch zwei Freiſtützen und den unter der Decke ſichtbaren Längsunterzug geſtört, enthält aufserdem vielleicht an den kurzen Seiten zwei Wandvorlagen zur Aufnahme der Endauflager des Unterzuges.

Fig. 9.

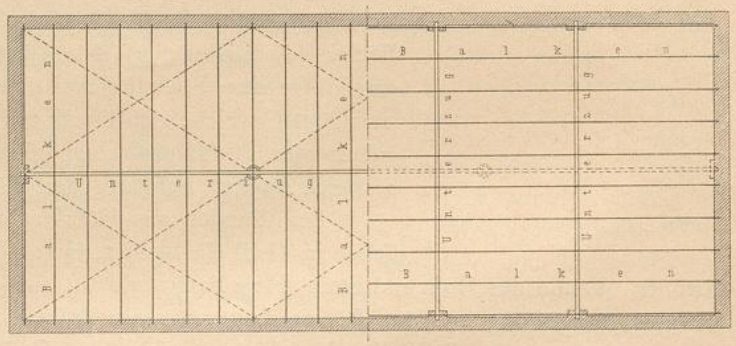


Fig. 10.

Iſt das Aufſtellen von Freiſtützen in den Räumen nicht zuläſſig, auch das Anhängen an das Dach unmöglich, ſo bleibt als letzte Anordnung der Unterſtützung die Spannung einer gröſseren Zahl von Unterzügen nach der kurzen Raumabmeſſung in ſolcher Theilung übrig, daſs die Balken nunmehr der Länge des Raumes nach von Unterzug zu Unterzug geſtreckt werden können, wie in Fig. 10. Dieſe Anordnung zeigt auch das durch Fig. 598 bis 602 (S. 221 bis 226) in Theil III, Bd. 1 (Art. 319[11]) veranſchaulichte Beiſpiel 2.

Die Unterzüge werden als Balken oder gegliedert aus Holz oder Eiſen nach denjenigen Regeln ausgebildet, welche bezüglich der »Träger« in Theil III, Bd. 1 (Abth. I, Abſchn. 2, Kap. 3 u. Abſchn. 3, Kap. 7) dieſes »Handbuches« gegeben ſind.

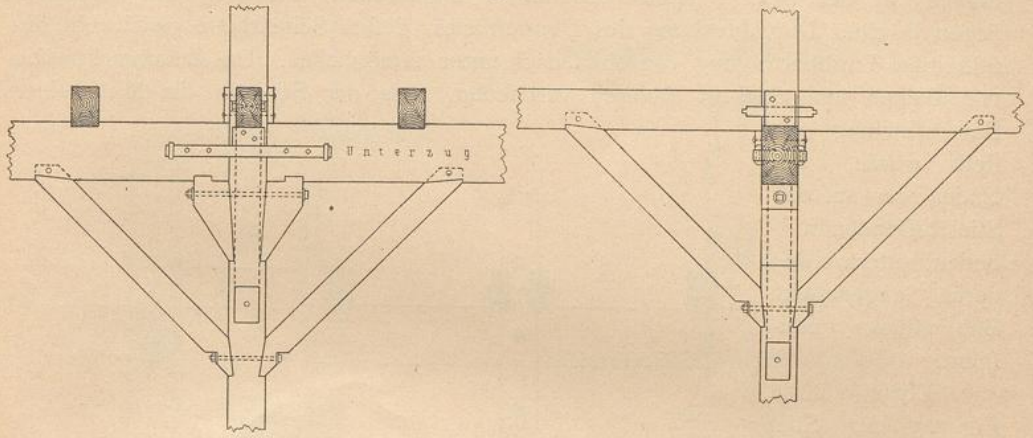
Die Unterzüge können auf die Freiſtützen in gewöhnlicher Weiſe im Schwerpunkte des Stützenquerſchnittes aufgelagert werden, wenn die Stützen nur durch ein Geſchoſs reichen. Müſſen ſie durch mehrere Geſchoſſe durchgeführt werden, ſo iſt es für Eiſen-Conſtructionen in der Regel, für Holzbauten ſtets unzuläſſig, Unterzug und Balken oder einen von beiden auf die untere Stütze zu lagern und dann die obere Stütze auf die Träger zu ſetzen, da hierdurch die Laſtübertragung in den Stützen verſchlechtert und die Steifigkeit der oft ſehr hohen Anordnung gegen ſeitliche Verdrückungen weſentlich beeinträchtigt wird. Bei Holz iſt dieſe Unterbrechung der Stützen beſonders gefährlich, weil hier durch das Einlegen von Querholz in das Langholz der Freiſtützen erhebliche Sackmaſse entſtehen. Hätte z. B. ein Lagerhaus 5 Obergeſchoſſe und in jedem derſelben Unterzüge von 32 cm und Balken von 25 cm Höhe, welche die Freiſtützen unterbrechen, ſo befänden ſich in der Stützung des Fufsbodens des oberſten Geſchoſſes 5 (32 + 25) = 285 cm Querholz; nimmt man nun an, daſs das Querholz ſeine Höhe durch Eintrocknen und Zuſammendrücken durch die Freiſtützenbelaſtung auch nur um 3 Procent verringert, ſo entſtände im oberſten Geſchoſs ſchon ein Sackmaſs von $3 \frac{285}{100} = 8{,}55$ cm, welches den Boden dieſes Geſchoſſes ernſtlich gefährden würde.

[11]) 2. Aufl.: Art. 329 u. Fig. 616 bis 620 (S. 253 bis 259).

5. Hölzerne Freiſtützen.

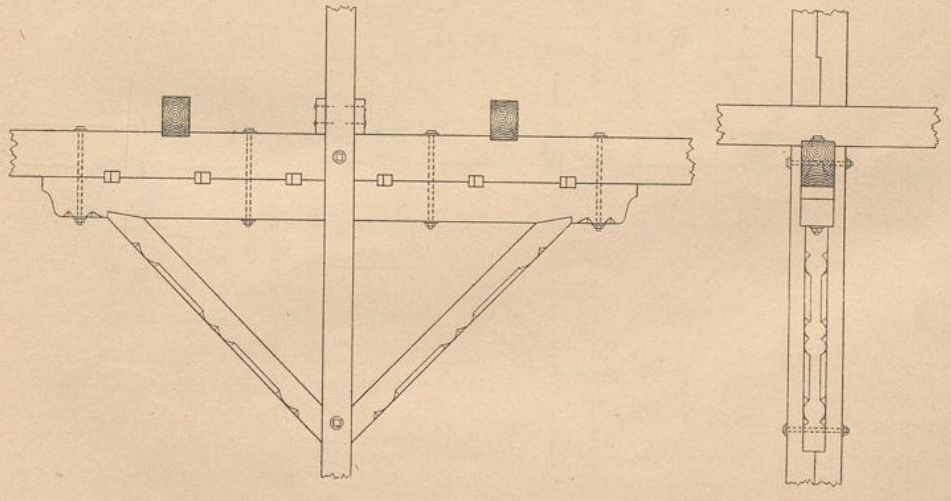
Beiſpiele der Unterſtützung von Unterzügen und Balken mittels hölzerner Freiſtützen zeigen Fig. 11 bis 15. In Fig. 11 iſt der Unterzug aus einem ſtarken Balken, nöthigenfalls verzahnt oder verdübelt, gebildet, welcher mitten vor die durchgehende hölzerne Freiſtütze trifft, die man wohl auch Stiel, Pfoſten oder Ständer nennt. Der Unterzug muſſte daher, um den Stiel nicht durch Zapfen zu

Fig. 11.



ſchwächen, mittels angebolzter, verſatzter Knaggen unterſtützt werden. Um jedoch nicht die Sicherheit der Lager dem einen Knaggenbolzen allein anzuvertrauen, ſind die Enden der Unterzugſtücke noch durch zwei mit Krampen befeſtigte Flachſchienen verbunden. Aufserdem ſind zwei Kopfbänder zur Verſteifung des Stieles eingeſetzt, welche im Stiele aber blofs Verſatzung, keine Zapfen erhalten. Wie der Unterzug von der einen, ſtöfst von der anderen Seite ein Balken mitten auf den Stiel, welcher gegen dieſen mittels zweier Kopfbänder und angenagelter Bohlenſtücke abgeſtützt iſt; die beiden Balkenenden ſind durch zwei Eiſenklammern verbunden. In Balkenhöhe ſind noch zwei Bohlenſtücke an den Stiel genagelt, um die Fufsbodenbretter lagern zu können. Obwohl der Stiel hier ungeſchwächt durch-

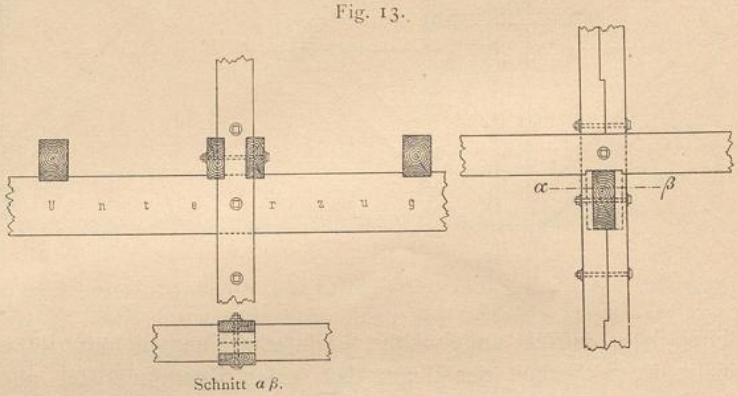
Fig. 12.



geht, ift die Anordnung doch eine mangelhafte, weil das Durchfchneiden fowohl des Unterzuges, wie des Balkens die wirkfame Verankerung der Stiele und Wände wefentlich beeinträchtigt. Das Durchfchneiden des Unterzuges hat aufserdem die Folge, dafs die Ausnutzung der Vortheile unmöglich wird, welche durch Anordnung überkragender Gelenkträger erreicht werden können.

Auch in Fig. 12 ift der Unterzug einfach; um ihn nicht durchfchneiden zu müffen, ift der Stiel doppelt (verfchränkt) angeordnet. Unterzug und Sattelholz liegen in einer Durchbrechung des Doppelftieles, deffen Seitentheile gleichwohl unmittelbare Laftübertragung von oben nach unten ermöglichen. Das Zufammentreffen von Balken und Stiel ift dadurch vermieden, dafs der Stiel in die Mitte einer Balkentheilung geftellt wurde. Die Enden der auf den Stiel ftofsenden Fufsbodenbretter werden durch angenagelte Bohlenftücke unterftützt.

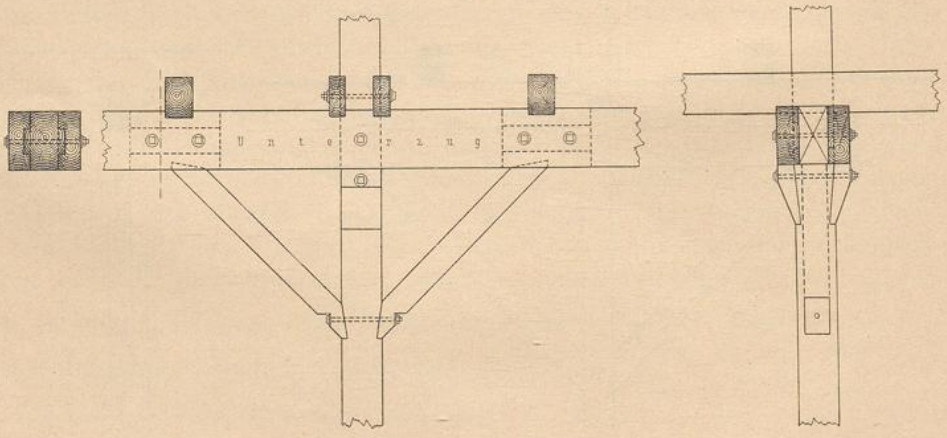
Fig. 13.



Schnitt $\alpha\beta$.

Eben fo ift in Fig. 13 der Stiel doppelt mit Verfchränkung angeordnet; er nimmt den Unterzug, welcher in der Ueberkreuzung von beiden Seiten ausgefchnitten ift, in einer Durchbrechung auf, fo dafs diefer, wenn auch gefchwächt, durchläuft. Auch der den Stiel treffende Balken ift in diefem Falle nicht durchfchnitten; er ift vielmehr doppelt angeordnet, umfafft mittels Ausfchneidungen den Stiel von beiden Seiten und geftattet zugleich die Lagerung der Bretterenden am Stiele; der Stiel ift nun offenbar nach allen Seiten wirkfam verankert. In Folge der günftigeren Lagerung aller Theile ift von der Anbringung von Kopfbändern abgefehen. Mängel diefer Anordnung find die rechteckige Stielform, welche mit Rückficht auf Zerknicken dem Quadrate gegenüber einen Mehraufwand erfordert, und die Schwächung

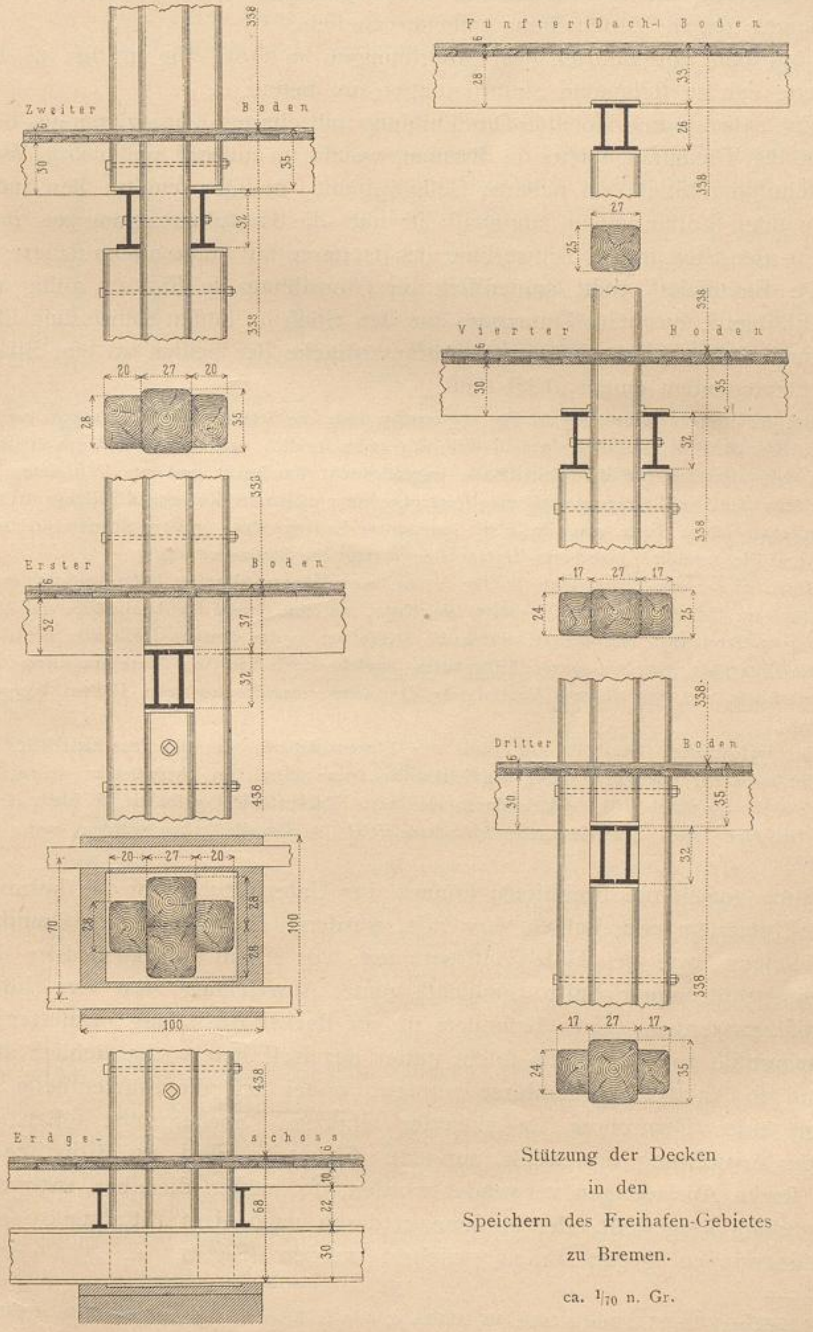
Fig. 14.



des Unterzuges in der Stütze, der Stelle eines ſeiner gröſsten Biegungsmomente, wenn er continuirlich oder überkragend angeordnet iſt.

Weſentlich kräftiger kann man den Unterzug für ſchwere Decken ausbilden, wenn man ſowohl ihn, als auch den Balken doppelt anordnet (Fig. 14). Er iſt in eine flache Ausklinkung des Stieles gelegt, im Uebrigen durch angebolzte Knaggen

Fig. 15.



Stützung der Decken
in den
Speichern des Freihafen-Gebietes
zu Bremen.

ca. $^1/_{70}$ n. Gr.

unterſtützt und ſomit über der Stütze ganz ungeſchwächt. Die beiden Balkenhälften umfaſſen den Stiel auch hier beiderſeits mit Ausſchneidungen; zur Abſteifung ſind zwiſchen Stiel und Unterzug wieder Kopfbänder eingefügt, welche unten auf den Stiel treffen, oben aber in den Zwiſchenraum des doppelten Unterzuges. Um hier Verſatzung anordnen zu können, wurde zwiſchen die beiden Unterzugshölzer ein Klotz eingefügt, welcher nach Fig. 13 (Querſchnitt) beiderſeits mit Ohren in die Hölzer eingreift, um in lothrechtem, wie wagrechtem Sinne unter dem Drucke des Kopfbandes gegen Verſchiebung geſichert zu ſein.

Von den vorgeführten vier Anordnungen in Holz (Fig. 11 bis 14) entſpricht die letzte den zu ſtellenden Anforderungen am beſten.

Fig. 15 zeigt eine Holzſtiel-Durchbildung mit eiſernen Unterzügen aus den Lagerhäuſern des Freihafengebietes in Bremen, welche in äuſſerſt geſchickter Weiſe dem fünfgeſchoſſigen Stiele ein ſicheres Gefüge giebt, im Querſchnitte den nach unten zunehmenden Laſten genau angepaſſt iſt und die Kraftübertragung aus den Unterzügen in den Stiel in der Schwerlinie des letzteren faſt vollkommen ſichert. Letztere wichtige Eigenſchaft geht namentlich der Anordnung in Fig. 11 völlig ab; denn eine Laſtabgabe aus dem Unterzuge an den Stiel in deſſen Schwerlinie iſt nur in dem einen Falle denkbar, daſs die Auflagerdrücke der beiden an den Stiel ſtoſsenden Unterzugenden genau gleich ſind.

Bei der Bremer Anordnung in Fig. 15 werden zwar die Stielhölzer durchſchnitten und die Unterzüge zwiſchen dieſelben eingefügt; hier iſt dies aber unbedenklich, weil in jedem Boden mindeſtens einer der feſt mit einander verbolzten Stieltheile ungeſchwächt durchgeht und zur Verſteifung der durchgeſchnittenen dient, weil ferner die eiſernen Unterzüge einer meſsbaren Zuſammendrückung nicht ausgeſetzt ſind. In einer Länge hätte man die Stiele nur unter Ueberwindung groſser Schwierigkeiten aufſtellen können, und die gewählte Anordnung ergiebt eine vorzügliche Stoſsanordnung.

Unten iſt der Stiel, wie jener in Fig. 8, auf einen Mauerpfeiler im Keller geſetzt; es iſt jedoch zunächſt eine in Cement verlegte Eiſenplatte eingelegt, um eine ebene Aufſtandsfläche und gute Druckvertheilung zu erreichen, und eben ſo treten die Stielhölzer in den übrigen Geſchoſſen nicht unmittelbar gegen die Unterzüge, ſondern gegen Eiſenplatten, welche auch hier zur Nutzbarmachung des ganzen Holzquerſchnittes und zur ſicheren Vereinigung der neben einander liegenden Hälften doppelter Unterzüge dienen.

Ein weſentlicher Grund für die Wahl der Eichenholzſtiele war die Feuerſicherheit. Nach Verſuchen der Londoner Feuerwehr kohlt ein Eichenſtiel zwar aufsen an, brennt aber wegen Mangels an Sauerſtoff nicht eigentlich. Iſt er dann durch eine harte Kohlenſchicht geſchützt, ſo bleibt er bei Hitzegraden, bei denen guſs-, ſchweiſs- oder fluſseiſerne Stiele zu Grunde gehen würden, noch ſtundenlang tragfähig [12]).

6. Guſseiſerne Freiſtützen.

Auch guſseiſerne Freiſtützen können zur Unterſtützung ſowohl hölzerner, wie eiſerner Unterzüge oder Balken verwendet werden. Die allgemeinen Grundſätze ſind hier dieſelben, wie bei Holz-Conſtructionen; vor Allem ſoll auch hier der ungeſchwächte Stützenquerſchnitt thunlichſt ohne Abweichung von der Lothrechten durchgeführt werden. Ganz beſonders iſt vor ſtarker Ausladung belaſteter Kapitelle und Fuſsprofile zu warnen, da ſolche unter der Laſt bereits thatſächlich abgeſchert ſind und ſo Anlaſs zum Einſturze wurden, wobei ſich die Stützentheile, wie die Auszüge eines Fernrohres, in einander ſchoben. Sockelprofile ſollen daher in ſchlanker Ausweitung nur wenig ausladen (Fig. 16). Sind aus äſthetiſchen Rückſichten ſtarke Ausladungen verwendet worden, ſo müſſen dieſelben entweder durch Ummantelung hergeſtellt oder im Inneren durch nach dem Mittelpunkte gerichtete Verſteifungsrippen gegen Bruch geſichert werden (Fig. 17 u. 23). Ausladende

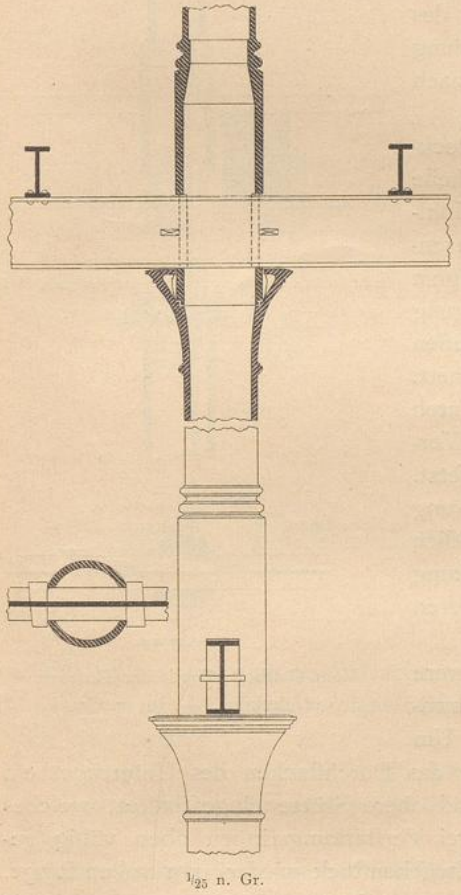
12) Siehe auch Theil III, Band 6 (Abth. III, Abſchn. 6, Kap. 1: Sicherungen gegen Feuer) dieſes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kapitelltheile ſollen niemals die obere Stütze, ſondern höchſtens die Laſt des Unterzuges ihres Geſchoſſes aufnehmen. Dies wird dadurch erreicht, daſs man, wie z. B. in Fig. 16, den Schaft des oberen Säulenfuſses ſo tief in das Kapitell hineinſteckt, daſs er unmittelbar auf den Schaft des unteren Stützentheiles trifft; dabei ſind geringe, ſchlank zu bildende Ausweitungen wegen der Sockelausladung am oberen Theile meiſt nicht zu vermeiden.

Auf die Maſsregeln zur Sicherung der Guſsſtützen gegen Feuersgefahr, Luft- oder Waſſerſtrom im Inneren, Umhüllung durch feuerfeſte Körper etc., welche noch in Theil III, Band 6 (Abth. V, Abſchn. 1, Kap. 1, unter a) dieſes »Handbuches« zu beſprechen ſein werden, möge hier noch hingewieſen werden, ſo wie auch auf die Nothwendigkeit der Fürſorge für ſichere Waſſerabführung aus dem Inneren, ſelbſt dann, wenn ein Eindringen von Waſſer in die fertige Stütze ausgeſchloſſen iſt. Es iſt der Fall vorgekommen [13]), daſs ſich die Stützen eines Hohlbaues vor Aufbringen des Daches bei anhaltendem Regen mit Waſſer füllten. Der Bau blieb im Winter im Rohbau ſtehen, und im Frühjahre fanden ſich dann mehrere der Stützen in der Formnaht völlig aufgeſprengt. Man ſehe daher in allen hohlen Guſsſtützen Abzugslöcher für Waſſer ſo vor, daſs eine Anſammlung deſſelben im Inneren überhaupt unmöglich iſt.

Fig. 16.



1/25 n. Gr.

Fig. 16 zeigt eine Freiſtütze, welche einen einfachen Unterzug und darauf ruhende Balken von I-förmigem Querſchnitt trägt. Es iſt hier angenommen, daſs eine Feldmitte der Balkentheilung auf die Stütze trifft, welche ſomit nur mit dem Unterzuge in unmittelbarer Berührung ſteht. Letzterer iſt nun durch ein Loch am Untertheile der oberen Stütze geſteckt und auf der Wandſtärke der unteren Lochbegrenzung gelagert; zwiſchen dem ſcheinbaren Kapitell und dem Unterzuge iſt dagegen ein offener Spielraum geblieben (eben ſo auch in Fig. 23) und die Laſt wird ſomit unmittelbar an die Stütze abgegeben. Die Kapitellbildung iſt lediglich der Ausſchmückung halber erfolgt und könnte aus Zink oder in ganz ſchwachem Guſſe hergeſtellt ſein. Der durchgeſteckte Unterzug iſt durch beiderſeits vorgeſetzte Keile gegen die Stütze unverſchieblich gemacht.

Von beſonderer Wichtigkeit iſt vollkommener Schluſs der Fuge zwiſchen beiden Stützentheilen, welche zur Verhinderung ſelbſt kleiner Verſchiebungen falzförmig geſtaltet iſt; die Fugenflächen müſſen bei guter Ausführung in beiden Theilen abgedreht ſein, und dichten Schluſs erreicht man, indem man bei leichten Stützen Blei-, bei ſchwereren Kupferringe einlegt.

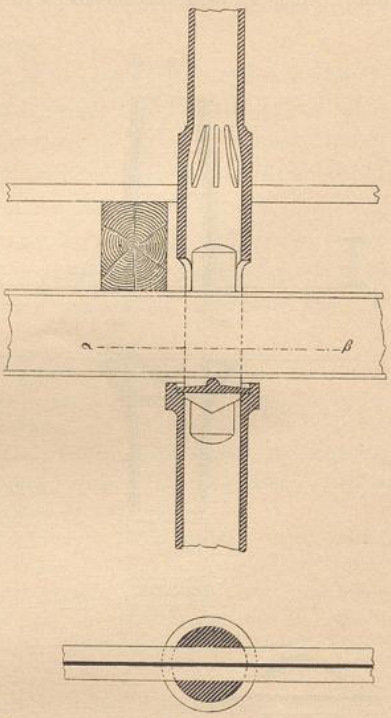
Dieſe Conſtruction geſtattet durchlaufende Anordnung des einfachen Unterzuges,

[13]) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 608.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hat aber den für ſchwere Stützen ſehr erheblichen Mangel, daſs der Stützenquerſchnitt durch den durchgeſteckten Träger erheblich geſchwächt wird und daſs bei unvermeidlichen Durchbiegungen des Unterzuges eine excentriſche Belaſtung der Stütze auf dem einen oder dem anderen Lagerrande entſtehen muſs. Die Balken ſind auf den Unterzug genietet; der Querſchnitt des letzteren muſs alſo unter Abzug der Nietlöcher berechnet werden. Die Gufsform aller Stützentheile iſt, abgeſehen von der Kapitellausladung, ſehr einfach; in letzterer ſind Verſteifungsrippen angedeutet, welche jedoch nur zur Ausführung kommen, wenn das Kapitell Laſten aufzunehmen hat.

Fig. 17.



Schnitt $\alpha\beta$.

Vom Gaſthof »Engliſcher Hof« zu Hildesheim. — 1/25 n. Gr.

Die bezüglich der Anordnung in Fig. 16 gerügten Mängel, excentriſche Lagerwirkung des Unterzuges bei Durchbiegungen und Schwächung der Stütze, ſind in der Ausführungsweiſe nach Fig. 17 vermieden, bezw. abgeſchwächt.

Um die Kantenlagerung des durchgeſteckten Unterzuges auf dem unteren Stützentheile bei Durchbiegung zu vermeiden, iſt in den Hohlraum des oberen auf den Rand des unteren zunächſt eine Schneidenplatte von tragfähigem **T**-Querſchnitte gelegt, welche die Uebertragung des Lagerdruckes vom Unterzuge ſelbſt nach deſſen Durchbiegung genau in der Stützenmitte ſichert. Die Schwächung des oberen Stützentheiles durch die Oeffnung für den Unterzug iſt durch Verdickung des übrig gebliebenen Wandtheiles erſetzt. Damit aber der volle Querſchnitt dieſer Verſtärkung durch volles Aufſetzen der Unterfläche wirklich zur Wirkung gelangt, iſt dieſelbe Verſtärkung auch auf einige Länge im Kopfe des unteren Stützentheiles niedergeführt.

Eine ganz ähnliche Anordnung für ſchwerere Stützen mit noch beſſerem Ausgleiche der Schwächung des oberen Theiles zeigt Fig. 23. Um die Gufsmodelle zu vereinfachen, iſt hier für das Durchſtecken des Unterzuges ein geſondertes Gufsſtück zwiſchen die untere und obere Stütze eingeſchaltet, welches durch halbkreisförmiges Herumführen der drei Verſtärkungsrippen oben völlig geſchloſſen iſt. Auch unten ſchlieſst ſich das Zwiſchenſtück wieder zum vollen Ringe, ſo daſs es zu einer guten Aufnahme der oberen Stützenlaſt oben und zu guter Vertheilung dieſer und der Unterzugslaſt auf den Ringquerſchnitt unten befähigt erſcheint. Die Trägerplatte mit gewölbtem Schneidenauflager muſſte daher hier auf den Unterrand der zum Durchſtecken des Unterzuges beſtimmten Durchbrechung des Zwiſchenſtückes gelagert werden.

Die Anordnung in Fig. 23 dürfte ſelbſt für die ſchwerſten Stützen allen Anforderungen genügen, ſo lange das Verhältniſs der Unterzugsbreite zum Stützendurchmeſſer das Durchſtecken des Unterzuges geſtattet; doch iſt in dieſer Beziehung zu betonen, daſs man durch geeignete Formung des Zwiſchenſtückes auch das

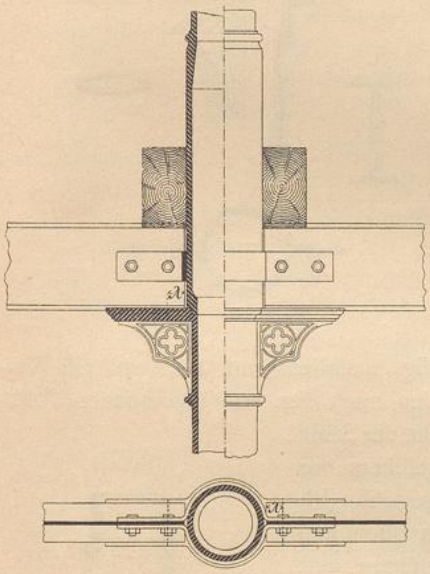
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Durchſtecken von Unterzügen ermöglichen kann, deren Breite verhältniſsmäſsig gröſser iſt, als in Fig. 23.

Auch wenn der Unterzug auf der Stütze durchſchnitten ſein ſoll, ſtatt durchzulaufen, kann man die Anordnung in Fig. 23 mit Vortheil verwenden, da die Lagerung der beiden, ſchwach in der Höhenmitte zu verlaſchenden Enden eines durchſchnittenen Unterzuges auf die flach gewölbten Schneidenplatten eben ſowohl möglich iſt, wie die eines ununterbrochen durchlaufenden Trägers.

Die Schwächung der Stütze iſt in Fig. 18 vermieden, wo in Folge deſſen aber der Unterzug nicht durchlaufen kann, ſondern von beiden Seiten auf angegoſſene Conſolen gelagert werden muſs; es geht ſo die Möglichkeit verloren, den Unterzug durchlaufen zu laſſen, und aufserdem wird die Stütze in Folge der Lagerung der beiden Unterzugenden excentriſch beanſprucht, wenn der eine Unterzug ſchwerer belaſtet iſt, als der andere (wie in Fig. 11). Die Längsverbindung iſt mittels um die Säule gelegter Flachlaſchen hergeſtellt.

Fig. 18.



1/20 n. Gr.

Die Conſolen ſind in dem durch Fig. 18 dargeſtellten Falle angegoſſen, werden aber zur Vermeidung der ſchwierigen Gufsform häufig geſondert hergeſtellt und angeſchraubt. Damit die Laſtübertragung weit von der Stützenmitte erfolgen kann, ſollen die Conſolen ſo kurz ſein (Länge λ in Fig. 18), wie die erforderliche Lagerfläche des Trägers geſtattet. Werden die Conſolen aus äſthetiſchen Rückſichten länger gemacht, ſo empfiehlt es ſich, die eigentliche Lagerfläche dicht an der Säule erhöht herzuſtellen, damit die äuſseren Conſolentheile der Laſt ſicher entzogen werden (in Fig. 18 nur bei genauer Betrachtung zu erkennen). Um ſeitliche Verſchiebungen zu verhüten, iſt auf der Conſolenplatte eine der Unterzugsbreite entſprechende flache Nuth hergeſtellt.

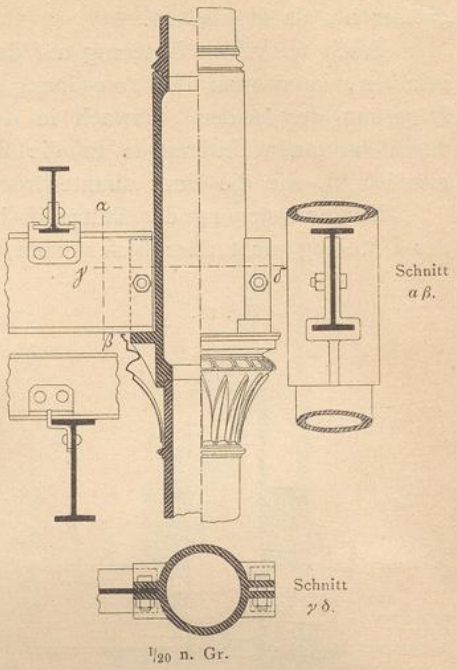
Das Aufſetzen der Säulen iſt nach den obigen Regeln auch hier ausgeführt. Der Unterzug trägt hier hölzerne Balken, welche die Stütze in der zweiten Richtung umfaſſen.

Im Weſentlichen übereinſtimmend mit der in Fig. 18 dargeſtellten Anordnung iſt die in Fig. 19 gezeichnete; doch ſind hier einige Verbeſſerungen eingetreten. Die weit ausladenden Conſolen ſind durch kurze, angegoſſene, dem Querſchnitte des durchſchnittenen Unterzuges entſprechende Hülſen erſetzt, welche mittels durchgeſteckter Bolzen zugleich die Verbindung der beiden Unterzugsenden unter einander vermitteln. Nach unten ſind dieſe Hülſen noch durch Rippen abgeſtützt, und dem Auge ſind ſie durch einen Kapitellmantel aus Zinkguſs verdeckt, welcher oberhalb eines angegoſſenen Halsringes umgeſetzt, angeſtiftet und gelöthet wird. Die Ausladung für das Sockelprofil der oberen Stütze iſt auch hier durch eine geringe Ausweitung der Säule gewonnen. Um den Guſs aber trotz dieſer Ausweitung und

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den angegoſſenen Trägerhülſen möglichſt einfach zu geſtalten, iſt zwiſchen den Kopf der unteren und den Fuſs der oberen Säule eine abgeſonderte Trommel mit abgedrehter oberer und unterer Lagerfläche eingeſetzt, bei welcher die Ausweitung gar keine, das Anſetzen der Hülſen unerhebliche Schwierigkeiten verurſacht; die Säulen ſind, abgeſehen vom Sockelprofil und Halsband, ganz glatt.

Fig. 19.

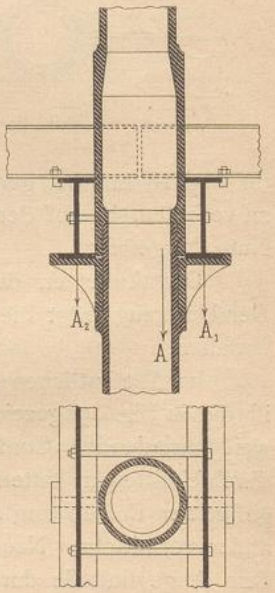


1/20 n. Gr.

Die eiſernen Balken ſind in Fig. 19 auf den eiſernen Unterzug ſo aufgelagert, daſs keine Verſchwächung der Flanſche durch Niet- oder Bolzenlöcher entſteht, daſs gleichwohl aber eine Verſchiebung der Balken gegen den Unterzug nach keiner Richtung möglich iſt. Es iſt dies durch Annieten von entſprechend gebogenen und in einander geklinkten Blechen an die Trägerſtege erreicht.

Die Mängel der Anordnungen nach Fig. 18 u. 19, nämlich die Unterbrechung des Unterzuges und die Auflagerung auf Conſolen, welche wegen der ſchwierigen Kopfform beim Angieſsen nicht immer zuverläſſig ausfallen und auch mittels Verſchraubung nicht ſehr ſicher befeſtigt ſind, wurden nach Fig. 20 [14]) vermieden. Abgeſehen von der geringen Sockelausweitung beſteht die Säule hier aus einem vollkommen glatten Cylinder, welchem nur nahe dem Kopfe ein ziemlich breiter Wulſt angegoſſen iſt. Dieſer nimmt einen die Säule umhüllenden, von oben aufzuſchiebenden kurzen Cylinder mit Conſolenanſätzen auf; der obere Rand der unteren Säule trägt den Fuſs der oberen mittels eines innen angegoſſenen Wulſtes. Auf den Conſolen des umgelegten Cylinders ruht der doppelte Unterzug in entſprechender Nuth, und in dieſer ſind die Lagerflächen nach Art von Fig. 2 (S. 3) etwas gewölbt, damit die Laſtübertragung auch bei Durchbiegungen möglichſt centriſch bleibt. Da die Conſolen hier, ſtatt am langen Säulenkörper, an einem kurzen Cylinderſtücke angebracht ſind, iſt ihre Herſtellung, wie die der Säulen, weſentlich vereinfacht und der Guſs zuverläſſiger.

Fig. 20.



Vom Alhambra-Theater in London[14]). — 1/20 n. Gr.

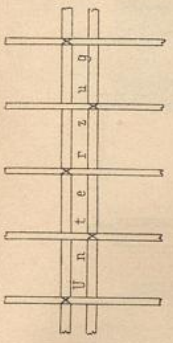
Die in Fig. 20 dargeſtellte Anordnung bedingt die Verwendung doppelter Unterzüge. Lagert man die zu tragenden Balken, wie in Fig. 20 angedeutet, ohne Weiteres auf dieſe auf, ſo iſt excentriſche Belaſtung der Stütze, wegen der bei ungleicher Belaſtung oder Spannweite der Balkentheile ungleichen Auflagerdrücke A_1 und A_2, deren Mittelkraft A im Allgemeinen nicht in der Mitte wirken kann,

[14]) Nach: *Engng.*, Bd. 37 (1884), S. 539.

unvermeidlich. Auch die Verwendung durchlaufender oder überkragender Balken beſeitigt dieſen Uebelſtand nicht, da die Durchbiegungen der Balken auch dann noch verſchiedenartige Belaſtung der beiden Unterzugshälften hervorrufen.

Zwei Verfahren zur Abmilderung, bezw. Beſeitigung dieſes Uebelſtandes doppelter Unterzüge, welcher Anlaſs zu weſentlichen Verſtärkungen der Stützen iſt, geben Fig. 21 u. 22 an.

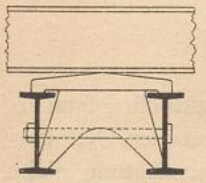
Fig. 21.



In Fig. 21 iſt jeder Balken mittels zwiſchengelegter Platte nach Maſsgabe der eingetragenen Kreuze nur auf einer Hälfte des Unterzuges gelagert. Bei entſprechender Vertheilung der Lager kann hierdurch eine Ausgleichung der Auflagerdrücke A_1 und A_2 bis zu gewiſſem Grade erzielt werden, völlig aber ſchon aus dem Grunde nicht, weil die durch die Art der Lagerung bedingte Verſchiedenheit der Spannweiten zweier benachbarter Balken ſelbſt bei ganz gleichförmiger Belaſtung eine geringe Verſchiedenheit der Belaſtung beider Unterzugshälften hervorrufen muſs.

Wirkſamer iſt das Einfügen von gewölbten Unterlagsplatten zwiſchen Unterzug und Balken nach Fig. 22, welche eine faſt vollkommen gleichmäſsige Laſtvertheilung auf beide Unterzugshälften für alle Verhältniſſe ſichert. Die Platte iſt dabei ſo geformt, daſs die Laſtübertragung gerade über dem Stege der Unterzugträger erfolgt, und die unten angeſetzte Mittelrippe, zugleich eine Verſtärkung der Lagerplatte, eine ſichere Abſpreizung beider Unterzugshälften und eine unmittelbare Belaſtung auch der unteren Gurtungen der Unterzugsträger bewirkt.

Fig. 22.

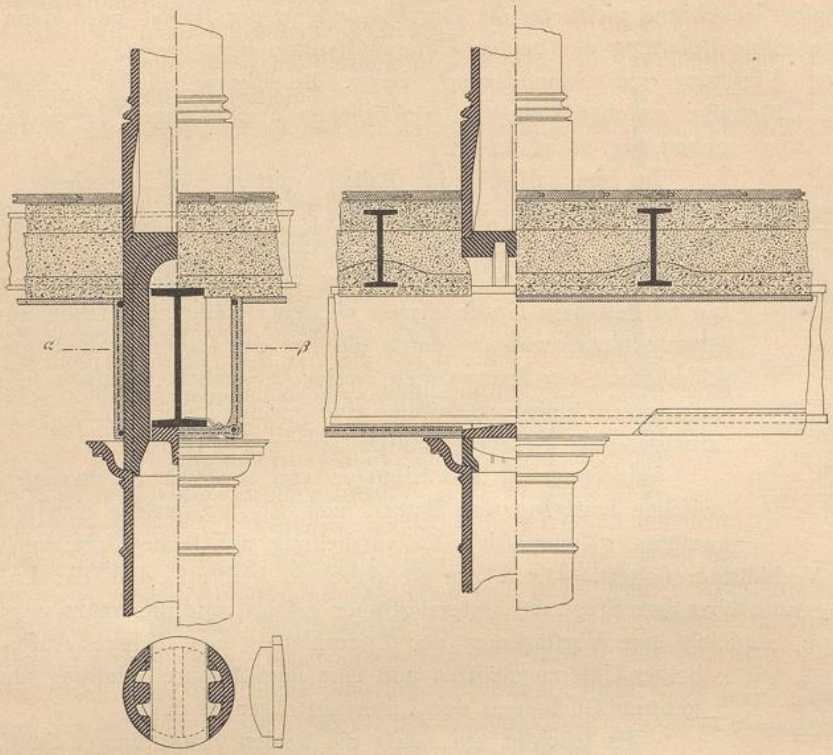


Es leuchtet ein, daſs die beiden Anordnungen in Fig. 21 u. 22 ſowohl für über den Unterzügen durchgeſchnittene, wie auch für durchlaufende Balken verwendbar ſind.

Uebrigens entſpringt die Verwendung doppelter Unterzüge nicht allein der Rückſicht auf möglichſt günſtige Geſtaltung der Auflagerung auf den Stützen; ſie iſt in ſehr vielen Fällen eine Nothwendigkeit, weil die ſchweren, vom Unterzuge aufzunehmenden Einzellaſten bei einfacher Anordnung des letzteren eine übermäſsige Trägerhöhe bedingen würden.

Eine beſonders gute Anordnung für einfache Unterzüge auch ſchwerer Decken zeigt Fig. 23, die oben bereits (zuſammen mit Fig. 17) kurz erwähnt wurde und in welcher nebenher noch einige ſpäter zu erläuternde Theile dargeſtellt ſind. Die Anordnung greift im Weſentlichen auf die in Fig. 16 u. 17 veranſchaulichte zurück. Auch hier iſt der einfache Unterzug durch eine Oeffnung in der Stütze geſteckt; die Mängel, die hierdurch in Fig. 16 entſtanden, ſind aber in Fig. 23 vermieden. Zunächſt befindet ſich die Oeffnung in einem beſonderen Zwiſchenſtücke, deſſen geringe Länge ſchwierigere Guſsform und damit einen Querſchnittserſatz für die durch die Oeffnung fortgenommenen Wandtheile geſtattet. Im Schnitte $\alpha\beta$ ſind die drei Innenrippen zu erkennen, welche dieſen Erſatz bieten und, nach den beiden Längenſchnitten oben halbkreisförmig geſchloſſen, zugleich eine Brücke bilden, durch welche die über der Oeffnung wirkenden Laſttheile der oberen Stütze nach den verſtärkten Seitentheilen hin übertragen werden. Der Unterzug lagert nun nicht, wie in Fig. 16, auf den unteren Rändern der Oeffnung; zu ſeiner Auflagerung iſt vielmehr eine beſonders dargeſtellte, oben gewölbte, unten durch eine Rippe verſtärkte Auflagerplatte in die Oeffnung eingelegt, welche ſelbſt bei

Fig. 23.



Schnitt $\alpha\beta$.

ganz excentrifcher Belaftung des Unterzuges den Auflagerdruck praktifch genau in der Stützenmitte aufnimmt und gleichmäfsig auf den unteren Rand der Oeffnung überträgt. Da der einfache Unterzug von den Balken in feiner Querrichtung nicht merklich excentrifch belaftet werden kann, fo ift hier jede excentrifche Belaftung der Stütze ausgefchloffen, ohne dafs man der unbequemen und theueren Auflagervorkehrungen in Fig. 21 u. 22 zwifchen Balken und Unterzug bedürfte.

Die Sockelausladung der oberen Stütze ift hier durch Einziehen des Stützendurchmeffers gewonnen, was mit Rückficht auf die nach oben hin abnehmende Belaftung ftets möglich fein wird.

7. Schmiedeeiferne Freiftützen.

In neuerer Zeit kommen, wie bereits in Theil III, Band 1 (Art. 277, S. 184 [15]) diefes »Handbuches« gefagt worden ift, fchmiedeeiferne Freiftützen [16]) häufiger zur Verwendung, namentlich wenn die Unterzüge genietete Träger find. Bei der grofsen Länge, in welcher die fchwächeren Eifenprofile ausgewalzt werden, kann man diefe Stützen durch viele Gefchoffe ohne Stofs hinaufreichen laffen; da jedoch hierbei eine der von oben nach unten zunehmenden Laft Rechnung tragende Querfchnittsänderung nicht möglich ift, fo hat man meift die Zufammenfetzung aus einzelnen Theilen mittels ftarker Verlafchungen in den Schlitzen der Querfchnitte vorgezogen [17]). (Vergl.

---

15) 2. Aufl.: Art. 285, S. 208.

16) Ueber das Verhalten beider Eifenarten im Feuer und die Feuerficherheit eiferner Freiftützen fiehe Theil III, Band 6 (Abth. V, Abfchn. 1, Kap. 1, a: Feuerficherheit der wichtigeren Bauftoffe und Bauconftructionen), eben fo Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (S. 123, Art. 145: Tragfähigkeit der Stützen bei erhöhter Temperatur) diefes »Handbuches«.

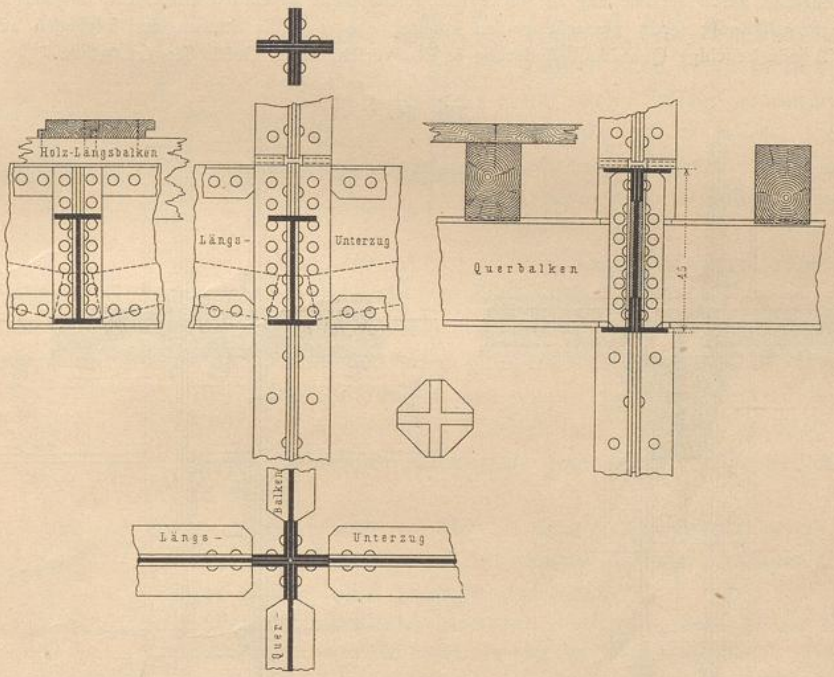
17) Ueber Gebäude mit folchen Stützen von mehr als 20 Gefchoffen fiehe: *Engng. news* 1892, S. 2, 3, 41, 42.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

z. B. Fig .456 bis 459, S. 166 [18]) in Theil III, Band 1 dieſes »Handbuches«.) Dieſe hohen Stützen ſind aber bei der Aufſtellung ſehr unbequem, ein Umſtand, der dazu geführt hat, die Stützen für jedes Geſchoſs für ſich herzuſtellen, die Endflächen abzuhobeln und zwiſchen dieſe gleichfalls durch Hobeln dem Stützenquerſchnitte entſprechend ausgenuthete Druckplatten einzulegen (Fig. 24).

Die ſchmiedeeiſernen Stützenquerſchnitte haben gröſstentheils (mit Ausnahme der z. B. durch Fig. 543, 545 u. 546, S. 191 [19]) die im eben genannten Bande dieſes »Handbuches« dargeſtellten Schlitze, in welchen Anſchlüſſe erfolgen können. In der Stütze ſelbſt füllen in der Regel Blechſtreifen dieſe Schlitze, die aber in den Anſchlüſſen, als nur wegen des Widerſtandes gegen Zerknicken zugegeben, wegfallen

Fig. 24.



Vom neuen Packhof zu Berlin.
1/20 n. Gr.

können. Die Möglichkeit des Anſchluſſes von vier Seiten läſſt nun alle die Schwierigkeiten verſchwinden, welche bei der Auflagerung einfacher Unterzüge und Balken auf guſseiſerne und hölzerne Freiſtützen entſtanden; nur ſtöſst auch hier die Anordnung durchlaufender oder überkragender Träger bei manchen Querſchnitten auf Schwierigkeiten, ſo z. B. bei den im letztgenannten Bande auf S. 191 in Fig. 542, 545 bis 550 u. 552 bis 554 [20]) dargeſtellten Querſchnittsformen. Auch wird durch zwei mit den Enden in einen Stützenſchlitz geſteckte Unterzugtheile, z. B. a. a. O. bei Fig. 544 (S. 191 [21]) eine excentriſche Belaſtung der Stütze erzeugt werden können,

18) 2. Aufl.: Fig. 467 bis 470, S. 180.
19) 2. Aufl.: Fig. 556, 558 u. 559, S. 213.
20) 2. Aufl.: S. 213 u. 214, Fig. 555, 558 bis 563 u. 565 bis 568.
21) 2. Aufl.: Fig. 557, S. 213.

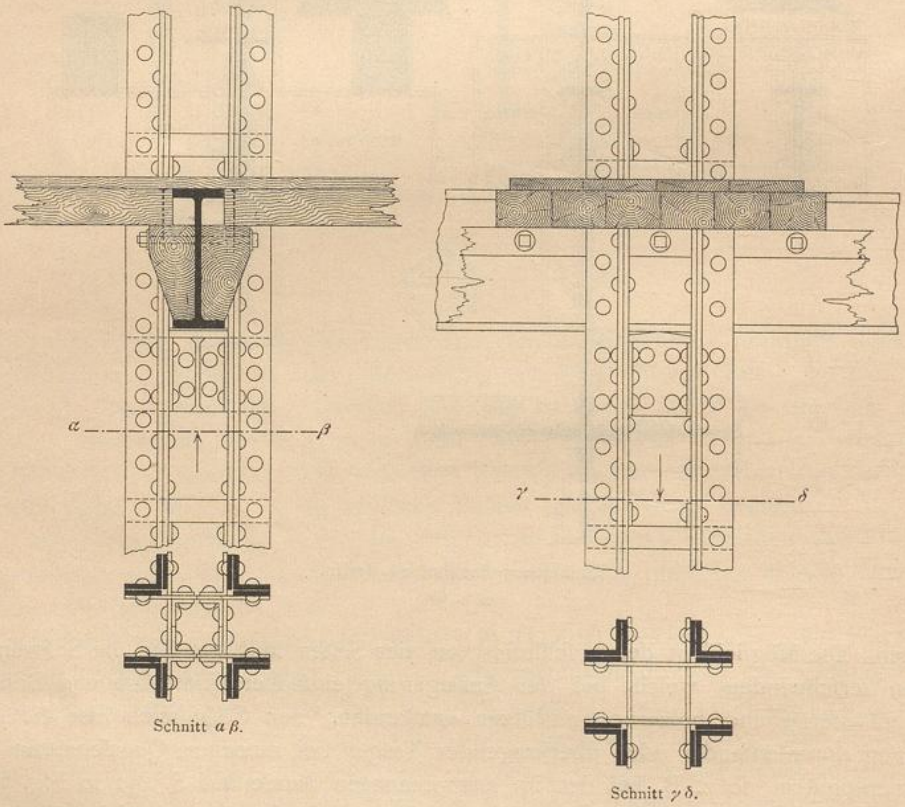
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wenn der eine anfchliefsende Unterzugtheil andere Belaftung oder Spannweite befitzt, als der andere.

Fig. 24 zeigt eine derartige Deckenträger-Ausbildung[22]), deren Gefammtanlage aus Fig. 10 (S. 8) hervorgeht, wenn man dort den geftrichelten Mittelträger als vorhanden anfieht.

An die +-förmigen Stützen fchliefst fich entlang der Mitte des Gebäudes ein genieteter Längsunterzug von 45 cm Höhe; an diefem, bezw. an der dritten und vierten Seite der Stützen find dann die mit den anderen Enden auf die Mauern gelagerten Querbalken in Form von I-Trägern befeftigt; diefe tragen fchliefslich die hölzernen Längsbalken und auf dem unteren Flanfch noch fteinerne Kappen nach Mafsgabe des in den folgenden Kapiteln zu Erläuternden. Auf den Holzbalken liegt gefpundeter Bretterfufsboden. Die Längen der Stützen für die verfchiedenen Gefchoffe find völlig von einander getrennt; die abgehobelten Kopfenden nehmen ihrem Querfchnitte entfprechend ausgehobelte Blechplatten (Fig. 24) zwifchen fich auf, in deren Nuthen volle Berührung durch Einlegen von Kupferftreifen gefichert wird. Das Aufftellen ift durch die Theilung in Stücke von Gefchofshöhe wefentlich erleichtert, da jedes Gefchofs für fich erft vollftändig fertig gemacht werden konnte, ehe man die Stützen des folgenden aufftellte; zugleich ift jede beliebige Querfchnittsänderung in den verfchiedenen Gefchoffen ermöglicht.

Fig. 25.



Schnitt $\alpha\beta$. Schnitt $\gamma\delta$.

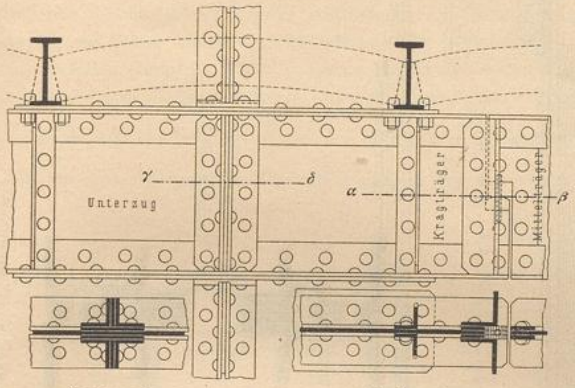
Fig. 25, welche den Grundgedanken der Stützung im Brockthor-Speicher zu Hamburg darftellt, bewahrt die Möglichkeit der ununterbrochenen Durchführung der Unterzüge, indem der verwendete offene Kreuzquerfchnitt Gelegenheit zum Durchftecken der letzteren giebt.

22) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 375.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 25 zeigt eine durch eingefetzte Stützwinkel und darauf ruhende abgerundete Lagerplatte hergeftellte Lagerung der Unterzüge, welche ähnlich den Anordnungen in Fig. 17 und 23 genaue centrifche Laftübertragung ftets ficbert. Veränderung des Querfchnittes ift durch Einlegen von Verftärkungsplatten ermöglicht; auch können die L-Eifen felbft leicht abgeändert werden, wenn man den ftumpfen Stofs in Fig. 24 mit eingelegter Druckplatte auch hier durchführt. Die Verbindung der vier Querfchnittstheile ift nur durch eingenietete wagrechte Flachbänder hergeftellt; die zuläffige Theilung diefer Verbindungen folgt mit $\frac{\lambda}{2}$ aus der Gleichung 155 in Theil III, Band 1 (S. 188[23]) diefes »Handbuches«.

Fig. 26.



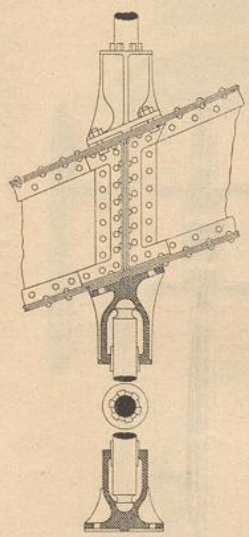
Schnitt $\gamma\,\delta$. Schnitt $\alpha\,\beta$.

Selbftverftändlich kann man in gleicher Weife und mit gleichem Erfolge auch die Enden in der Stützenmitte durchgefchnittener Unterzüge lagern.

Es ift jedoch nicht ausgefchloffen, die Unterzüge, bezw. Balken auch dann in den Lagern auf den Stützen ununterbrochen durchlaufen zu laffen, wenn der Stützenquerfchnitt die für den Träger erforderliche Lücke nicht befitzt.

Das erfte Mittel hierzu bildet die in allen Fällen mögliche Anordnung von Doppelträgern, wie in Fig. 20, welche auf in die Schlitze des Stützenquerfchnittes eingenietete, um die Trägerbreite vorkragende Knotenbleche mit Randwinkeleifen gelagert werden. In diefer Weife find die Stützanordnungen des neuen Hafenfpeichers zu Frankfurt a. M.[24]) angeordnet. Hierbei find die oben zu Fig. 20, 21 u. 22 erläuterten Mafsregeln gegen excentrifchen Laftangriff zu treffen.

Fig. 27.



Von *Terry*'s Theater am *Strand* zu London.
1/30 n. Gr.

Ein zweites, in Fig. 26 dargeftelltes Mittel befteht darin, dafs man den entfprechend verfteiften Unterzugträger als Theil der Stütze felbft in diefe einfchaltet.

Die ausgehobelten Druckplatten in Fig. 26 find hier auf die obere Gurtung und unter die untere Gurtung des Unterzuges genietet, deffen Wand an der betreffenden Stelle durch dem Stützenquerfchnitte entfprechende L-Eifen und Platten (Fig. 26, Schnitt $\gamma\,\delta$) ausgefteift ift. Die aus I-Eifen gebildeten Balken liegen auf dem Unterzuge und find mit Hakenfchrauben befeftigt, welche weder den Balken noch den Unterzug fchwächen, da fie in Nietlöcher der oberen Gurtung des letzteren eingefügt werden können. Die in Fig. 26, Schnitt $\alpha\,\beta$ gezeichnete Gelenkanordnung wird fpäter näher erläutert werden. Der Unterzug ift auch unter jedem Balken für die Laftaufnahme durch zwei L-Eifen ausgefteift. Die Balken tragen die eigentliche Decke hier (geftrichelt angedeutet) in Form einer Auswölbung.

In ähnlicher Weife find die Kragträger der Ränge in *Terry*'s Theater am *Strand* zu London durch die Stützen durchgeführt[25]). Diefe eigenthümliche, in mehreren Beziehungen beachtenswerthe Anordnung ift in Fig. 27 dargeftellt.

---

23) 2. Aufl.: Gleichung 183, S. 201.

24) Siehe hierüber: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 112. — Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 108. — Prakt. Mafch.-Conftr. 1888, S. 1, 49.

25) Siehe: *Engineer*, Bd. 44 (1887), S. 283.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zunächſt ſind die Stützen ſelbſt, behufs thunlichſter Erſparung an Raum, mit vollem Kreisquerſchnitte aus Schmiedeeiſen gebildet; die Wahl des unvortheilhaften ganz vollen Querſchnittes iſt wohl aus der Schwierigkeit der Herſtellung enger Schmiedeeiſenrohre zu erklären[26]). Jeder Stützentheil endigt in einer abgedrehten Halbkugel, welche, in die Halbkugelſchalen der oberen und unteren Guſslager geſetzt, eine gelenkartige Wirkung und genau centriſche Laſtübertragung auf die Stütze ſichert. Die Wirkſamkeit der Gelenke iſt jedoch nur während der Errichtung des Gebäudes ausgenutzt, um durch ſie kleine Ungenauigkeiten auszugleichen. Nach Fertigſtellung des Bauwerkes wurden zwiſchen die Stütze und den Rand der die Stütze topfartig umfaſſenden Lagerplatten je 6 Keile eingeſetzt, um weitere Bewegungen auszuſchlieſsen. Die Rangträger durchſchneiden die Stützen behufs Ausbildung der Treppenform der Sitzreihen in geneigter Lage. Die Grundplatten ſind daher entſprechend ſchief an die Lagertöpfe gegoſſen und tragen auf der Lagerfläche am Träger eine Kreuzrippe, welche, zwiſchen vier auf die Kopf- und Fuſsplatten des Trägers genietete Blechabſchnitte greifend, völlige Unverſchieblichkeit ohne Beanſpruchung der Befeſtigungsbolzen ſichert. Zwiſchen je zwei Stützenlagern iſt der Träger auch hier durch aufgenietete Platten und L-Eiſen wirkſam verſteift.

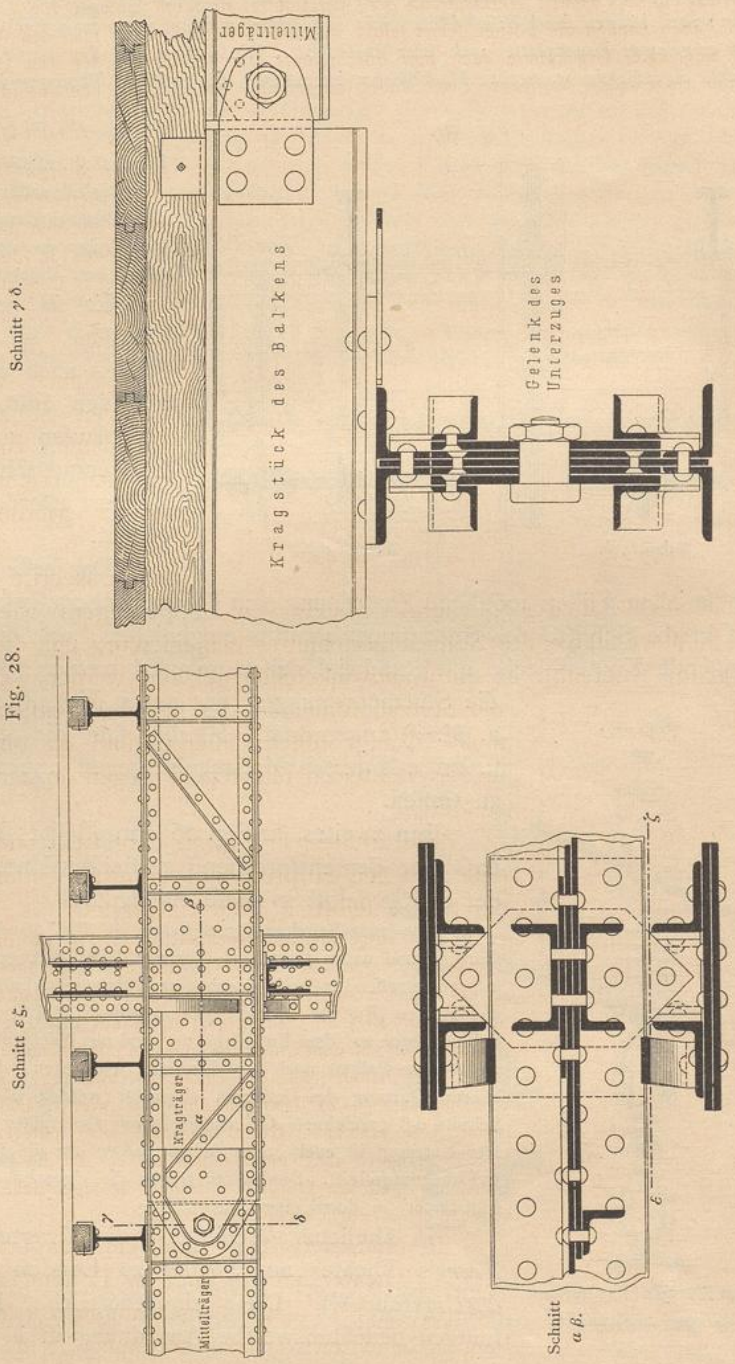


Fig. 28.

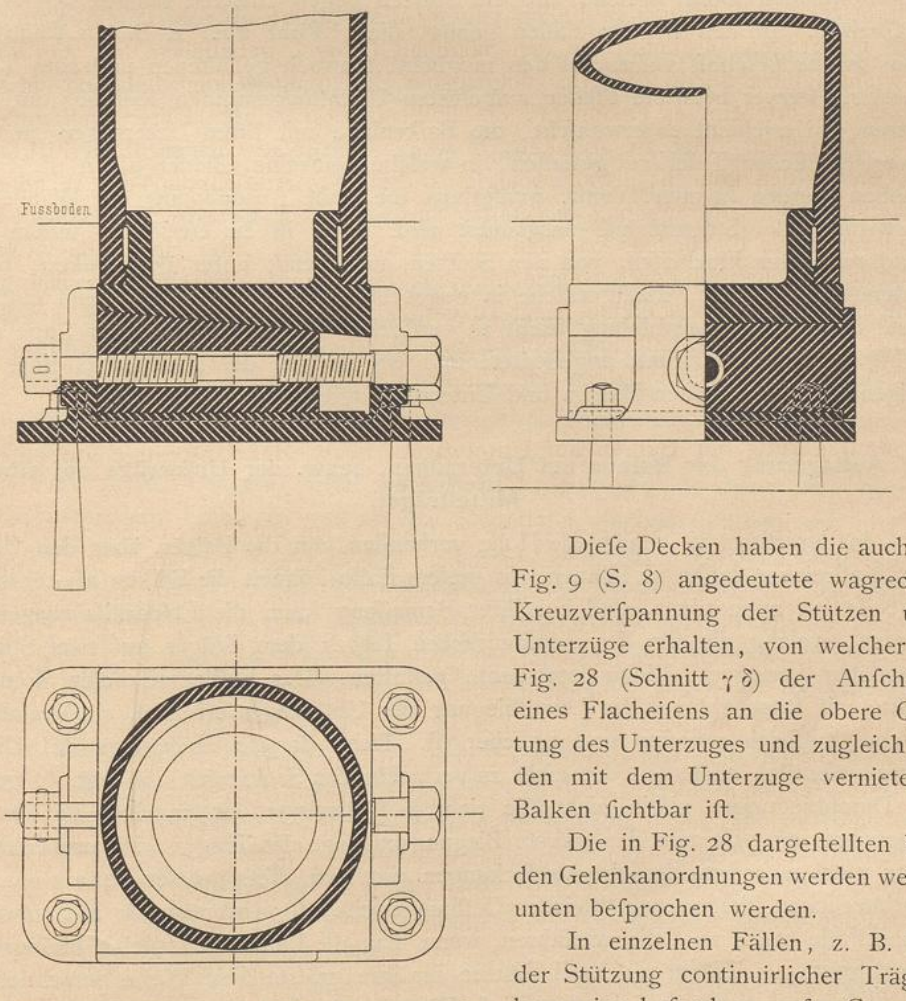
Von den Speicherbauten der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Geſellſchaft.

[26]) Jetzt würden ſich hier *Mannesmann*-Rohre empfehlen.

Eine fehr kräftige Deckenftützung aus den Speicherbauten der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Gefellfchaft zeigt Fig. 28.

Der Querfchnitt der Stütze hat die durch Fig. 545 (S. 191 [27]) in Theil III, Band 1 diefes »Handbuches« angegebene Grundform; nur find die beiden Wände mittels Erfatz der beiden E-Eifen durch vier L-Eifen geöffnet, um den Unterzug durch die Stütze ftecken zu können. Aus zwei Blechplatten nebft einem ⊓-Eifen und einer Deckplatte ift in der Stütze ein Steg für die Aufnahme des genieteten Unterzuges ausgebildet, welcher eine nahezu ftets genaue Laftübertragung ermöglicht. Der auf diefen Querfteg gelagerte Unterzug ift durch zwei fchräg von der äufseren Stützenwand nach feiner oberen Gurtung anfteigende Flacheifen am Kippen verhindert. Die Stützen laufen von unten bis oben ohne Unterbrechung durch; wo Stöfse durch die Abänderung der Abmeffungen von Querfchnittstheilen erforderlich wurden, find diefelben verlafcht. Der Unterzug ift an der Auflagerftelle durch zwei Platten und zwei ⊔-Eifen für die Balkenauflagerung durch lothrechte und fchräge L-Eifen verfteift. Die beiden Stützenhälften find durch in der Theilung $\frac{\lambda}{2}$ (fiehe die in Fufsnote 23 angezogene Gleichung in Theil III, Band 1 diefes »Handbuches«) eingefetzte Blechverbindungen gegen einander abgefteift.

Fig. 29.



Vom Schlefifchen Bahnhof zu Berlin. — 1/12,5 n. Gr.

Diefe Decken haben die auch in Fig. 9 (S. 8) angedeutete wagrechte Kreuzverfpannung der Stützen und Unterzüge erhalten, von welcher in Fig. 28 (Schnitt $\gamma\,\delta$) der Anfchlufs eines Flacheifens an die obere Gurtung des Unterzuges und zugleich an den mit dem Unterzuge vernieteten Balken fichtbar ift.

Die in Fig. 28 dargeftellten beiden Gelenkanordnungen werden weiter unten befprochen werden.

8. Regelbare Lagerung.

In einzelnen Fällen, z. B. bei der Stützung continuirlicher Träger, kann eine befonders grofse Genauig-

[27] 2. Aufl.: Fig. 558 (S. 213).

keit der Höhenlage der Stütze gefordert ſein. Da es nun ſchwierig iſt, einen ſchweren Stützkörper ganz genau in die verlangte Höhe zu bringen, ſo muſs man in ſolchen Fällen Vorkehrungen zu nachträglicher Berichtigung treffen, welche unter Zuhilfenahme der Schraube, des Keiles oder auch beider zugleich jederzeit ein Nachſtellen geſtatten. Fig. 29 zeigt eine ſolche Einrichtung am Fuſse einer guſseiſernen Freiſtütze im Schleſiſchen Bahnhofe in Berlin.

Die Grundplatte iſt zweitheilig geſtaltet, ſo daſs der obere, unten ſchräg begrenzte Körper zwiſchen am unteren Körper befeſtigten Führungen auf- und niedergleiten kann. Zwiſchen beide ſchiebt ſich ein mit Schraubengewinde durchlochtes Keilſtück ein, welches durch Drehung einer in den Führungsbacken an der Unterplatte feſt gelagerten wagrechten Schraubenſpindel nach beiden Richtungen ſich bewegt, ſomit zum Heben und Senken der Stütze benutzt werden kann.

Die Anordnung hat in dieſer Geſtalt den Mangel excentriſcher Laſtübertragung der Grundplatte, welche auf die Stütze biegend wirkt.

9. Verſteifung der Freiſtützen.

Die Verſteifung der Freiſtützen erfolgt bis zu gewiſſem Grade durch die Unterzüge und Balken, welche erſt der Länge nach verſchoben werden müſſen, ehe die Stütze weichen kann, welche alſo die Stützen gegen einzelne Punkte der Wände verſpreizen. In den meiſten Fällen genügt dies. Ruht aber z. B. ein ſtädtiſches Haus im Erdgeſchoſs auſser auf den möglichſt ſchwach gehaltenen und zum Theile in dünne ſchwer belaſtete Pfeiler aufgelösten Umfaſſungswänden lediglich auf Freiſtützen, ſo erſcheint es erwünſcht, die Balkenlage mit ihren Unterzügen zu einer unverſchieblichen Tafel zu geſtalten, in welcher einzelne Glieder allein nicht verſchoben werden können, damit wenigſtens die volle Ausdehnung der Wände zur Verſteifung der Stützenköpfe ausgenutzt wird. Dies iſt zu erreichen, indem man Bandkreuze aus Flacheiſen, von den Stützen ausgehend, unter den Balken, bezw. Unterzügen befeſtigt, durch welche in wagrechtem Sinne Dreiecksverband entſteht. Dieſe in der Deckenausbildung leicht zu verſteckenden Bänder ſind ihrer Lage nach in Fig. 9 (S. 8) geſtrichelt angedeutet, und ein Beiſpiel des Anſchluſſes eines derartigen Bandes an einen Balken und Unterzug zugleich zeigt Fig. 28.

c) Auflagerung der Balken auf Unterzügen, bezw. der Unterzüge auf einem Mittelträger.

10. Continuirliche Träger.

In der Regel iſt genügende Höhe vorhanden, um die Balken über den Unterzug hinſtreichen laſſen zu können. In dieſem Falle können die Balken als continuirliche Träger angeordnet, und bei ihrer Bemeſſung kann die Erſparniſs ausgenutzt werden, welche die für den continuirlichen Träger dem Träger auf zwei Stützen gegenüber geringeren Biegungsmomente geſtatten. Das Feſtlegen dieſer Momente müſſte mit Rückſicht auf die Durchbiegung des Unterzuges erfolgen, ein Verfahren, welches zugleich mühſam und unſicher iſt. Denn da die Höhenlage des Unterzuges weſentlich auch von den nicht zu vermeidenden Sackungen abhängt, ſo geben die Durchbiegungen allein nicht die richtige Höhenlage der einzelnen Punkte des Unterzuges an. Da nun das gröſste Biegungsmoment des Trägers auf zwei Stützen, wenn nicht auſsergewöhnliche Verſackungen eintreten, ſtets gröſser iſt, als das des continuirlichen Trägers von gleicher Oeffnungsweite, ſo wird man für alle gewöhnlichen Fälle etwas zu ſicher verfahren, wenn man die Balken mit gleich bleibendem Querſchnitte als Träger auf zwei Stützen für ihre gröſste freie Weite berechnet.

Dann empfiehlt es ſich aber, dieſe Eigenſchaft nicht bloſs der Berechnung zu Grunde zu legen, ſondern ſie den Balken auch wirklich zu geben, indem man letztere

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

über dem Unterzuge ſo weit durchſchneidet, wie dies mit Rückſicht auf die Verankerung der Wände oder auf die Uebertragung von Längskräften, z. B. in Dachbinderbalken, zuläſſig erſcheint. Denn da die continuirlichen Träger die gröſsten Laſten auf ihren Mittelſtützen ſammeln — für den Träger auf drei Stützen iſt z. B. bei der gleichförmigen Belaſtung q auf die Längeneinheit und der Stützweite l der Druck auf die Mittelſtütze $= \frac{5}{4} ql$, für zwei zuſammen gelagerte Träger auf zwei Stützen nur $= ql$ — ſo bringt man die Laſten durch Continuität der Balken in höchſt unerwünſchter Weiſe vorwiegend auf die Unterzüge, deren Querſchnitt ohnehin meiſt ſchon unbequem ſtark wird; man entlaſtet dagegen die die Balkenenden tragenden Aufsenmauern, die bezüglich ihrer Tragfähigkeit ſelten ganz ausgenutzt ſind. Sind die Balken aus Eiſen, ſo lege man in jeden einen Stoſs über den Unterzug und verbinde die Enden, wenn es nöthig iſt, durch doppelte Flacheiſenſtreifen auf Zug.

11. Befeſtigen continuirlicher Balken auf Unterzügen.

Beim Befeſtigen continuirlicher Balken auf den Unterzügen iſt zu beachten, daſs in der Auflagerung keine Schwächung durch Bolzen oder Nietlöcher in den Flanſchen eiſerner oder durch erhebliche Ausſchnitte in hölzernen Balken eintreten darf, weil in der Auflagerung eines der gröſsten Biegungsmomente wirkt, man alſo den Trägerquerſchnitt um die Schwächung verſtärken müſſte. Mittel zur Vermeidung dieſer Schwächung ſind die folgenden.

1) Iſt der Unterzug mit Nieten in der oberen Gurtung zuſammengeſetzt, ſo kann man in die Nietreihen zwei oder vier Hakenbolzen nach Fig. 20 u. 26 einſetzen, welche dann aber die Längsverſchiebung der Balken nur durch Einklemmen verhindern.

2) Eine feſte Vernietung wird durch die in Fig. 28 dargeſtellte Anordnung ermöglicht. Hier iſt zwiſchen Balken und Unterzug eine Platte eingelegt, welche mit dem zuſammengeſetzten Unterzuge feſt vernietet, ſeitlich ſich ſo weit unter den Balken erſtreckt, bis ſie eine Stelle erreicht, wo das Biegungsmoment klein genug iſt, um die Schwächung des Balkenflanſches durch Nietlöcher zuläſſig erſcheinen zu laſſen.

3) Verträgt der Unterzug ſelbſt auch keine Schwächung, ſo kann man dieſe Balkenanſchluſsplatte umbiegen und an den Steg des Unterzuges nieten, oder

4) man niete nach Fig. 19 an den Steg des Unterzuges, wie des Balkens je eine umgebogene Platte, welche mit Ausklinkungen in einander greifen. Letztere Anordnung verhindert jedoch ein Abheben des Balkens nach oben nicht.

In ſehr vielen Fällen genügt es, die Balken loſe auf die Unterzüge zu lagern, namentlich wenn die übrige Ausbildung der Decke Verſchiebungen der Balken unmöglich macht, wie z. B. in Fig. 23.

12. Continuirliche Gelenkträger.

Man kann die Materialerſparniſs des continuirlichen Balkens mit Sicherheit voll ausnutzen, wenn man ihn als continuirlichen Gelenkträger ausbildet, da deſſen Momente von der Höhenlage der Unterſtützungen unabhängig ſind. Aber auch dieſe Conſtructionsweiſe vergröſsert die Belaſtung der Mittelſtützen, d. h. der Unterzüge, beträchtlich, und es bleibt daher in jedem Falle zu unterſuchen, ob nicht die Erſparniſs an den continuirlichen Gelenkbalken durch die nothwendige Verſtärkung der Unterzüge mehr als ausgeglichen wird.

Bei den Unterzügen fallen dieſe Bedenken weg, da eine ziemlich bedeutende Mehrbelaſtung, namentlich an ſich ſchon ſchwerer eiſerner Stützen, keine weſentlichen Mehrkoſten verurſacht. Für Unterzüge und dieſe unterſtützende Mittelträger iſt da-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

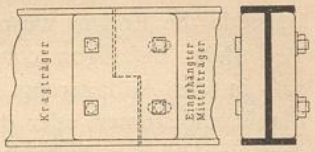
her diefe neuerdings mehr und mehr verwendete Conftruction wegen der damit verbundenen bedeutenden Erleichterung fehr zu empfehlen. Es ift defshalb fchon bei Befprechung der Beifpiele für Stützungen von Unterzügen auf diefen Punkt ftets befonders hingewiefen, und es wird auch in Kap. 6 bei Ermittelung der Stärke der Deckentheile und Unterftützungen noch näher hierauf eingegangen werden.

13. Conftruction der Gelenke.

Anordnungen der Gelenke folcher continuirlicher Gelenkträger, welche nur die Uebertragung von lothrechten Querkräften, nicht von Biegungsmomenten geftatten, find in Fig. 26, 28, 30 u. 31 dargeftellt.

In Fig. 26 ift die Blechwand des continuirlichen Unterzuges falzartig ausgeklinkt und zugleich durch zwei eben fo geformte Bleche verftärkt. Im Falze ift auf diefe Weife eine Lagerfläche von drei Blechdicken gebildet, welche unten einen gewölbten, oben einen ebenen Lagerkörper trägt, fo dafs ein vollftändiges fog. Berührungs-Kipplager entfteht. Die beiden Lagerkörper find durch einen eingefetzten Stahldollen, fo wie durch zwei auf die Verftärkungsbleche genietete L-Eifen nach allen Richtungen unverfchieblich gemacht. Sollte der eingehängte Mittelträger fehr lang und ftarken Wärmeänderungen ausgefetzt fein, fo mufs man die Dollenlöcher an einem Ende etwas länglich machen, damit die erforderliche Beweglichkeit für Wärmeausdehnungen gefichert bleibt. Die Dollen find jedoch weniger wefentlich, als die feitlichen L-Eifen, und können wegbleiben.

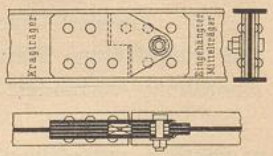
Fig. 30.



In Fig. 28 ift ein Gelenk für einen I-Balken gezeichnet. An das überkragende Ende des Balkens find zwei Lafchen genietet, zwifchen deren vorkragende Spitzen fich die durch ein aufgenietetes Blech entfprechend verftärkte Wand des Mittelträgers fchiebt. Durch die Lafchen und den verftärkten Mittelträger ift dann der Gelenkbolzen gezogen, welcher nach den in Theil III, Band 1 (Art. 226 bis 229, S. 155 u. ff. [28]) diefes »Handbuches« für Bolzenanfchlüffe gegebenen Regeln zu bemeffen ift.

Für unverftärkte Blechwände wird der Bolzendurchmeffer bei Bolzengelenken übermäfsig ftark. Beim Unterzuggelenke in Fig. 28 ift daher die Wand des Kragträgers, wie des Mittelträgers, zunächft durch je zwei — fo weit nöthig mit verfenkten Nieten — aufgenietete Bleche verftärkt; dann find wieder zwei ftarke Lafchen an den Kragträger genietet, welche den Mittelträger umfaffen und den Gelenkbolzen aufnehmen. Aufserdem find die Gelenklafchen mit L-Eifen gefäumt, und auch im Uebrigen ift die Gelenkftelle mit L-Eifen thunlichft verfteift.

Fig. 31.



Häufig wird die Nietarbeit an Walzträgern gefcheut, da fie die Träger vertheuert. Ein Falzgelenk für Walzträger, wie in Fig. 26 für genietete, ohne Nietarbeit mit wefentlich verftärkten Gelenklagerflächen zeigt Fig. 30, wo zur Unterftützung der unverftärkten Falzfläche im Trägerflanfch zwei genau eingepafste Gufsklötze zwifchen die Flanfche gefetzt und nöthigenfalls beweglich — mit länglichen Löchern — eingebolzt find. Denjenigen Theil des Auflagerdruckes des Mittelträgers, welchen die kleine Falzfläche nicht übertragen kann, übertragen die beiden Gufsklötze von der oberen Gurtung des Mittelträgers nach der unteren Gurtung des Kragträgers, zugleich feitliche Verfchiebungen der Träger gegen einander verhindernd.

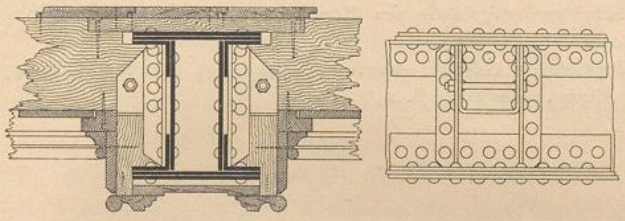
[28]) 2. Aufl.: Art. 228 bis 231, S. 163 u. ff.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Scheut man das etwas mühſame falzartige Abſchneiden der Trägerenden, ſo kann man die Träger auch glatt und ſtumpf vor einander ſtoſsen und ſich bezüglich der Auflagerung des Mittelträgers allein auf die eingebolzten Guſsklötze verlaſſen.

Fig. 31 zeigt ſchlieſslich ein durch aufgenietete Bleche verſtärktes Falzlager für Walzträger ohne die ſtählernen Einſätze in Fig. 26. Die äuſseren Laſchen mit dem Bolzen haben hier nur den Zweck, Seitenverſchiebungen zu verhindern; der Bolzen kann alſo ſchwach ſein. Er iſt in ein längliches Loch des Mittelträgers geſetzt, damit dieſer für Wärmeänderungen beweglich bleibt. Die Befeſtigungsniete der Verſtärkungsplatten an der Wand müſſen wegen der beiden äuſseren Laſchen zum Theile verſenkt werden.

Fig. 32.



14. Verſenkte Unterzüge.

Wird verlangt, daſs die Unterzüge ganz oder theilweiſe in der Decke ſelbſt verſchwinden ſollen, ſo kann man die Balken nicht mehr über jene ſtrecken, ſondern muſs ſie an jeder Seite des Unterzugträgers abſchneiden und befeſtigen. Eine Anordnung, bei welcher ein ſtarker kaſtenförmiger Unterzug faſt ganz in der Balkenhöhe verſchwindet, ſo daſs unten nur ein niedriges Band vorſpringt, zeigt Fig. 32.

Fig. 33.

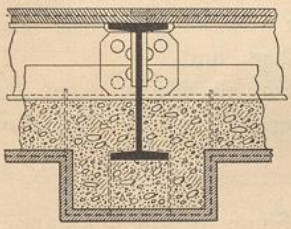
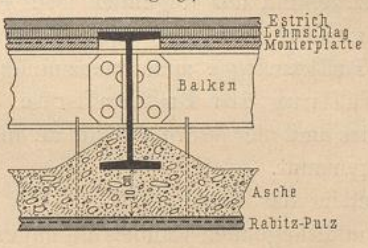
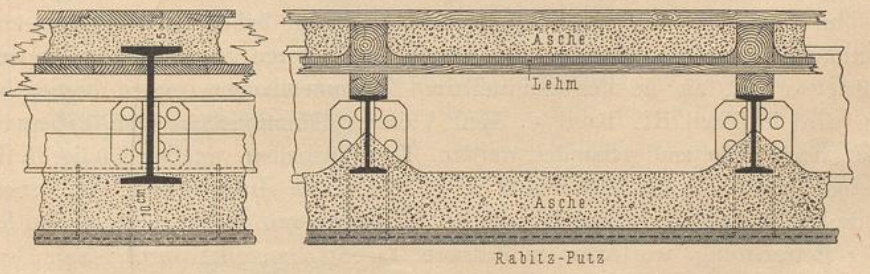


Fig. 34.



Mittels Winkeleiſen ſind hier dem Querſchnitte der Balken entſprechende Blechlager am Unterzuge befeſtigt; die Balken ſind von oben her ſo ausgeſchnitten, daſs, wenn ihre Enden unter die obere Gurtung des Unterzuges geſteckt werden, die Oberkante über letzteren hervorragt; ein die beiden Balkenenden verbindendes Bohlenſtück geſtattet dann

Fig. 35.



die Befeſtigung der Holztheile des Fuſsbodens auch über dem Unterzuge [29]). Unten iſt der Unterzug durch Leiſten und Bretter verkleidet, welche zugleich die Deckenbretter tragen, ein Beiſpiel der ſpäter zu beſprechenden Holzdecke.

Auch Fig. 24, 33, 34 u. 35 zeigen Beiſpiele von ganz oder theilweiſe innerhalb der Deckendicke untergebrachten Unterzügen für eiſerne Balkenlagen.

---

[29]) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9, S. 2099.

Literatur

über »Unterſtützung der Balkendecken«.

Emploi du fer et de la fonte dans les conſtructions. I. Colonnes en fonte. Revue gén. de l'arch. 1854, S. 314.

The mode of connecting iron columns in tiers. Builder, Bd. 22, S. 916.

GÄRTNER, J. Erſatz der Mauerlatten durch Eiſenſchienen. Zeitſchr. f. Bauw. 1871, S. 105.

Iron columns. Building news, Bd. 28, S. 33.

Aſſemblage des colonnes et des planchers. La ſemaine des conſt. 1876—77, S. 111, 146.

Caſt-iron hollow columns. Building news, Bd. 32, S. 454.

Balkenauflager von Mechwart. Zeitſchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1877, S. 696.

Fixing columns. Building news, Bd. 35, S. 24.

Säulen- und Trägerverbindungen im Schriftgieſsereigebäude der Herren *Schelter & Gieſecke*, Leipzig. ROMBERG's Zeitſchr. f. prakt. Bauk. 1880, S. 305.

Neue amerikaniſche vielgeſchoſſige Wohngebäude. *Scientific American*, Suppl. 1891, Nr. 816, S. 13055. *Le génie civil*, Bd. 19, S. 377. *Engng. news* 1892, S. 2, 3, 41, 42.

2. Kapitel.

Balkendecken in Holz.

15. Beſtandtheile.

Die Decke in Holz beſteht aus folgenden zwei Haupt-Conſtructionstheilen:

1) aus den tragenden Balken oder Tramen (Träme), welche man unter der Bezeichnung Balkenlage zuſammenzufaſſen pflegt, und

2) aus der Ausfüllung der Balkenfache, welche die Decke gegen das Durchdringen des Schalles und der Wärme dicht zu machen hat, auch Fehlboden oder Zwiſchendecke genannt.

Hierzu kommt noch in der Regel:

3) die Decke des unterliegenden Raumes im engeren Sinne, welche den unteren Abſchluſs der ganzen Decken-Conſtruction bildet.

Eben ſo iſt meiſtens

4) ein Fuſsboden vorhanden, welcher auf den Balken ruht, dem Verkehre im oberen Raume dient und den Abſchluſs des letzteren nach unten bildet.

Im Nachfolgenden wird hauptſächlich von den beiden zuerſt genannten Conſtructionstheilen die Rede ſein. Die Decke im engeren Sinne wird in ſo weit vorgeführt werden, als ſie des unmittelbaren Zuſammenhanges wegen hierher gehört; doch wird in Theil III, Band 3, Heft 3 dieſes »Handbuches« von dieſem Gegenſtande noch eingehend gehandelt werden. Der Fuſsboden, welcher häufig die Balkenlage nach oben hin abſchlieſst und in der Regel die Aufgabe hat, die Verkehrslaſt auf die Balkenlage, bezw. die Lagerhölzer zu übertragen, gehört nicht in den Rahmen dieſer Betrachtung, wie ſchon in Fuſsnote 1 (S. 1) bemerkt wurde; über denſelben iſt das Erforderliche im eben genannten Hefte dieſes »Handbuches« zu finden.

a) Balkenlage.

16. Verſchiedenheit.

Die Balkenlagen werden unterſchieden nach ihrer Höhenlage in: 1) Balkenlage des Erdgeſchoſſes; 2) Balkenlagen der Obergeſchoſſe, wobei die das Geſchoſs unten begrenzende Balkenlage dieſem zugezählt wird; 3) Dachbalkenlage, und 4) Kehlgebälke.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Balkenlagen des Erdgeſchoſſes finden ſich nur über ſog. Balkenkellern als Erſatz der Kellerwölbung in billig hergeſtellten Gebäuden, ſind jedoch wegen geringerer Dichtigkeit und Haltbarkeit der Ueberwölbung nicht gleichwerthig. Balkenlagen werden an dieſer Stelle namentlich dann verwendet, wenn eine eigentliche Unterkellerung fehlt. Es iſt dann der Lüftung und Trockenhaltung des Erdgeſchoſſes wegen nöthig, letzterem eine Balkenlage zu geben, unter welcher der Grund auf eine Tiefe von mindeſtens 80 cm beſeitigt werden muſs, ſo daſs ſie einer Kellerbalkenlage ganz gleich wird.

Die Balkenlagen der Obergeſchoſſe, auch Zwiſchen- oder Etagen-Gebälke genannt, ruhen auf den Wänden und dienen zugleich zur Verankerung derſelben gegen einander.

Die Dachbalkenlage nimmt die Geſpärre des Dachſtuhles auf, enthält daher in der Regel einen Balken unter jedem Dachbinder, welcher dann durch Zugbeanſpruchung zugleich die aus dem Dachſtuhle etwa entſtehenden Schübe aufzunehmen hat.

Kehlgebälke werden von den Kehlbalken hoher Kehlbalkendächer gebildet und theilen den Dachraum in mehrere Höhenabtheilungen. Dieſe Gebälke haben jedoch meiſt nur für das Abbinden der Dachbinder Bedeutung; zur Aufnahme von Verkehr wurden ſie häufig in den hohen mittelalterlichen Dächern benutzt, in denen der Dachraum zur Anlage von Speicherräumen diente; heute werden ſie ſeltener zu vollen Balkenlagen ausgebildet, meiſt nur dann, wenn im Dachgeſchoſs untergeordnete Wohnräume geſchaffen werden ſollen.

17. Regelmäſsige und verſchoſſene Gebälke.

Eine regelmäſsig angelegte Balkenlage ſoll das Gebäude in ſeiner kürzeren Abmeſſung mittels durchgehender Balken vollſtändig durchſetzen; bei Gebäuden mit langer Front, daher geringer Tiefe, werden die Balken hiernach in der Regel winkelrecht, bei ſchmalen tiefen Gebäuden parallel zur Front liegen.

Läſſt man die Balken in verſchiedenen Theilen eines Gebäudes nach verſchiedenen Richtungen ſtreichen, ſo entſtehen verſchoſſene Gebälke, welche mangelhaft ſind, in ſo fern ſie die durchgehende Verankerung aufgeben und im Zuſammenſchnitte der verſchiedenen Gebälktheile, in Folge der Einzapfung einer Mehrzahl von Balken der einen Gruppe in den äuſserſten Balken der benachbarten, ſchwache Stellen haben.

Fig. 36.

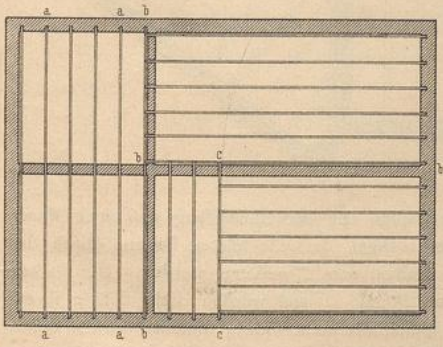


Fig. 36 giebt ein in einfachen Linien angedeutetes Beiſpiel eines ſolchen verſchoſſenen Gebälkes, in welchem nur die Balken *a a* richtig angeordnet wurden. Die verſchoſſenen Balken laufen gegen einen der durchgehenden Balken, in welchen ſie mittels Bruſtzapfen eingelagert werden. Dieſe Bruſtzapfen ſchwächen nun aber den Balken erheblich; wenn daher eine verſchoſſene Anlage nicht zu vermeiden iſt, ſo ſoll man wenigſtens dafür ſorgen, daſs die verſchoſſenen Balken dicht vor ihrer Einlagerung in den durchgehenden, wie bei *b b*, durch eine Mittelwand geſtützt werden. Balken, wie *c c*, würden, ganz abgeſehen von der Schwächung durch die Zapfen, unter Verwendung gewöhnlicher Holzſtärken der vom verſchoſſenen Gebälke auf *c c* übertragenen Laſt entſprechend nicht zu bemeſſen ſein.

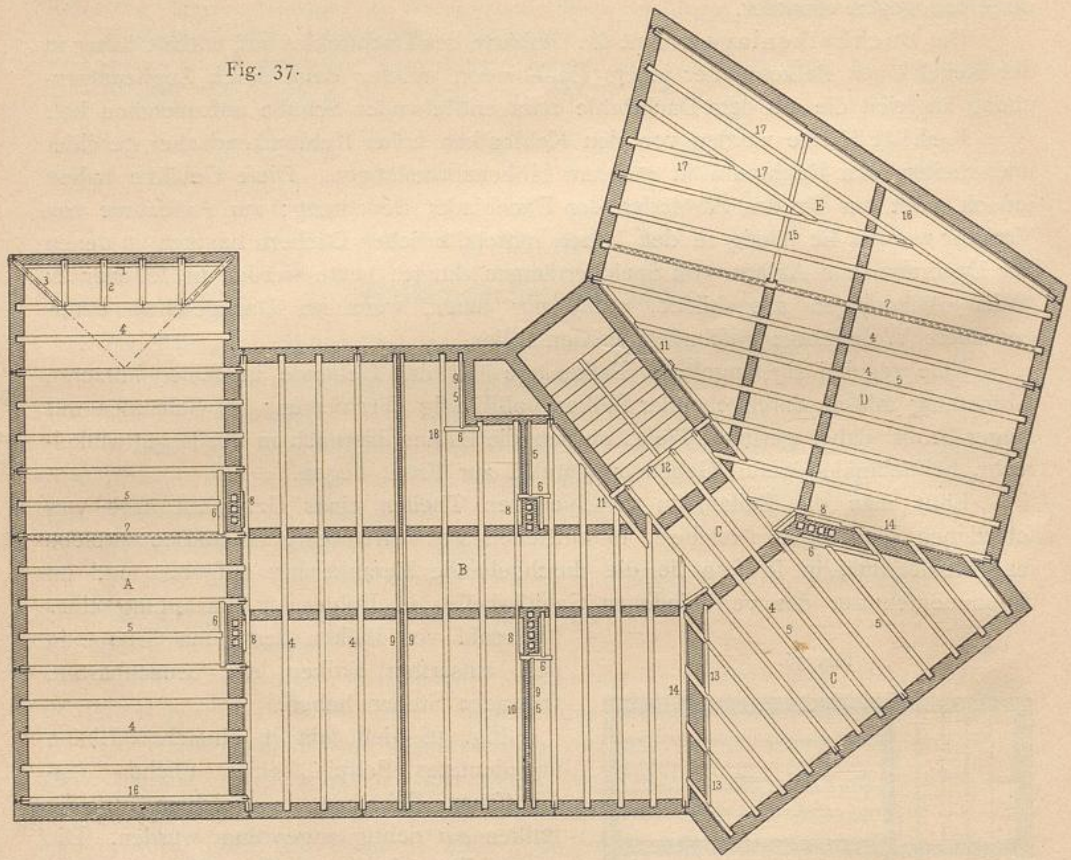
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Derartige verſchoſſene Gebälke werden jedoch dann zur Nothwendigkeit, wenn das Gebäude aus mehreren unter einem Winkel zuſammenſtoſsenden Flügeln beſteht. In dieſem Falle iſt die ganze Balkenlage als aus mehreren einzelnen zuſammengeſetzt anzuſehen, deren jede über einem der Gebäudeflügel regelrecht entwickelt iſt. Es iſt dann nur darauf zu achten, daſs in den Zuſammenſchnitten der einzelnen Gruppen keine zu groſsen Schwächungen oder Belaſtungen einzelner Balken entſtehen.

In der in Fig. 37 dargeſtellten Balkenlage eines beliebigen ſchiefwinkeligen Grundriſſes ſind 5 Gruppen zu unterſcheiden.

Von dieſen iſt zunächſt *A* vollſtändig unabhängig von den übrigen, es werden nur zur beſſeren Verbindung der Gebäudetheile die der Tiefe von *A* entſprechenden Balken in den letzten der Gruppe *B*

Fig. 37.



eingezapft und geklammert, was unbedenklich iſt, da alle Balken vor der Einzapfung auf einer Mauer ruhen. Die Regelmäſsigkeit von *B* wird nur dadurch unterbrochen, daſs die letzten Balken durch das Treppenhaus, bezw. durch den ſchrägen Anſchnitt an die Balken von *C* verkürzt werden. Die Balken von *C* ſtoſsen an beiden Seiten auf die letzten Balken von *B* und *D* und werden dicht hinter ihrem Wandauflager verzapft; die mittleren Balken von *C* greifen gleichfalls nicht durch, ſondern werden durch das Treppenloch verkürzt. Die Vereinigung von *C* mit *D* iſt dieſelbe, wie die von *C* mit *B*. Schlieſslich entwickelt ſich am anderen Ende des Flügels *D* noch eine Gruppe *E* aus dem Wunſche, den Abſchluſs aus Balken herzuſtellen, welche entlang der ſchrägen Giebelwand liegen. Wollte man aber alle in Frage kommenden Balken von *D* in einen an die Giebelwand gelegten einzapfen, ſo würde dieſer zu ſchwer belaſtet werden. Es ſind daher mehrere Balken parallel zum Giebel angeordnet, und die Balken der beiden Gruppen *D* und *E* ſind nun wechſelweiſe in einander gelagert, ſo daſs jeder Balken nur einen anderen aufzunehmen hat.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

18. Aufgaben der verfchiedenen Balken.

Die einzelnen Balken einer Balkenlage (Fig. 37) haben fehr verfchiedene Aufgaben zu erfüllen; danach werden die folgenden Arten derfelben unterfchieden.

1) Ganze Balken (*4* in Fig. 37) gehen durch die ganze Tiefe des Gebäudes durch, haben daher mindeftens an jedem Ende ein maffives Auflager. Werden fie fehr lang (länger als etwa 15 m), fo werden fie auf einer Mittelwand mittels gewöhnlichen oder franzöfifchen Hakenblattes geftofsen.

Diefe Balken find die ftärkft bemeffenen und werden vorwiegend zur Verankerung der Aufsenwände benutzt. Da diefe Balken aus langen Stämmen gewonnen werden müffen, man von diefen jedoch nicht mehr wegfchneidet, als zur Erlangung vollkantigen Holzes erforderlich ift, fo werden die Balken am einen Ende häufig einen gröfseren Querfchnitt haben, als am anderen. Sie werden dann fo gelagert, dafs die Unterkante genau wagrecht liegt, erhalten alfo eine geneigte Lage der Oberkante. Soll auch ein Fufsboden hergeftellt werden, fo ift zur Lagerung deffelben gleichfalls eine wagrechte Oberkante erforderlich; in diefem Falle giebt man folchen Balken einen keilförmigen Auffchiebling in Geftalt einer etwa 5 cm breiten Latte, welche überall die durch die gröfste Balkenftärke feft gelegte Höhe herftellt (Fig. 38).

Fig. 38.



2) Stichbalken und Gratftichbalken (*2* u. *3* in Fig. 37) kommen zur Verwendung, wenn man Balkenköpfe an denjenigen Begrenzungsmauern erforderlich hält, mit denen die Balken parallel liegen. Jeder Stichbalken (*2*) ruht mit einem Ende auf der Mauer, mit dem anderen mittels Bruftzapfens oder, wenn ein wagrechter Zug auf die Verbindung wirkt, mittels fchwalbenfchwanzförmigen Blattes mit Brüftung auf dem erften ganzen Balken; der Gratftichbalken (*3*) wird gewöhnlich auf einer Mauerecke und dem erften Balken gelagert.

Diefe Art von Balken, welche felten über den erften Balken hinausreichen, werden vorwiegend in zwei Fällen verwendet, nämlich:

α) bei Fachwerken auf den Giebelfeiten aller Balkenlagen, wenn hier Rahmholz des unteren Gefchoffes und Schwelle des oberen getrennt ausgebildet werden follen; alsdann kommt der Gratftichbalken in die Axe des Eckftieles zu liegen;

β) in Dachbalkenlagen bei Anordnung von Walmdächern, um die Gratfparren und die Schiftfparren des Walmes in die Balkenköpfe verfatzen zu können; alsdann liegt der Gratftichbalken in der Richtung des Walmgrates.

Die Stichbalken erhalten auf maffiver Mauer in der Regel eine Wand- oder Mauerlatte (*1* in Fig. 37 [30]).

3) Balkenwechfel, Wechfel-, Trumpf- oder Schlüffelbalken (*6*, *12*, *13* in Fig. 34) ruhen an beiden Enden mit Bruftzapfen, bezw. fchwalbenfchwanzförmigem Blatte mit Brüftung auf anderen Balken.

Sie werden verwendet, wo ein Balken auf ein Hindernifs trifft, das feine Durchführung unmöglich macht. Der Wechfel überträgt den Stützendruck des ausgewechfelten Balkens (auch Stichbalken genannt, *5* in Fig. 37) auf die beiden Nachbarbalken. Da diefe im Allgemeinen aber fchon ihrem Querfchnitte entfprechend belaftet find, fo dürfen fie unverftärkt eine Auswechfelung nur in der Nähe eines Wandauflagers tragen. Auswechfelungen, wie bei *18* in Gruppe *B*, bedingen daher meift eine Verftärkung des ftützenden Balkens, wenn letzterer nicht zufällig eine geringe Weite überfpannt.

---

[30]) Vergl. auch Art. 2, S. 2.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das gewöhnlichſte Hinderniſs, welches Auswechſelungen bedingt, ſind die Feuerungs-Anlagen; die Holztheile dürfen an dieſe nicht unmittelbar herantreten. Die Beſtimmungen hierüber lauten verſchieden; z. B. alle Holztheile ſollen 20 cm von der Innenfläche der Rauchrohre oder 7 cm von der Aufsenkante der ½ Stein ſtarken Rohrwangen entfernt bleiben. In manchen Fällen kann man dieſer Vorſchrift durch Ausklinken der Balken (*8* in Fig. 37) genügen, meiſt mufs jedoch der auf die Rauchrohre ſtofsende Balken (*5*) ganz ausgewechſelt werden.

Auch das Treppenhaus bietet regelmäſsig Anlafs zur Auswechſelung der auf daſſelbe ſtofsenden Balken mittels des Treppenwechſels (*12*). Dieſer bildet die Flurkante am Treppenhauſe, hat meiſt eine gröfsere Zahl von ausgewechſelten Balken aufzunehmen und mufs daher als ſtarker Unterzug ausgebildet werden, wenn die Balken nicht, wie meiſt der Fall iſt, in der Nähe der Auswechſelung auf eine Mauer des Treppenhauſes gelagert ſind.

4) Gratbalken nennt man die ein Gebälke ſchräg durchſetzenden Balken, gegen welche die übrigen ſchief anlaufen (*14* in Fig. 37.) In den Dachbalkenlagen entſprechen ſolche Gratbalken gewöhnlich den Grat- und Kehlſparren.

5) Wandbalken bilden den oberen Abſchluſs ſchwacher Scheidewände, welche in der Höhe der Balkenlage endigen. Sie liegen vollkommen auf der Wand auf. Sie ſind in Fig. 37 bei *D*, 7 dargeſtellt, wenn man annimmt, daſs die hier angeordnete Wand über der Balkenlage nicht weiter geht.

6) Bundbalken liegen ganz in der Richtung einer Holz- oder Fachwerkwand, in welcher ſie zugleich das Rahmholz der unterliegenden und die Schwelle der überliegenden Geſchoſswand bilden; ſie nehmen alſo die Zapfen der Wand auf, ſind aber meiſt breiter als dieſe (*7* in Fig. 37).

7) Streichbalken ſind Balken, welche an einer Wand hinſtreichen. Scheidewände, welche mit ½ Stein oder geringerer Stärke durch mehrere Geſchoſſe gehen, müſſen in jeder Balkenlage durch zwei Streichbalken (*9*) eingefaſſt werden. Soll ein Fufsboden hergeſtellt werden, ſo müſſen auch entlang allen anderen Mauern Streichbalken gelegt ſein, welche mit den Balken parallel laufen, da man hier ſonſt den Fufsboden nicht auflagern könnte; zu letzterem Zwecke müſſen ſie an vielen Stellen eingelegt werden, obwohl dadurch ſehr enge Balkentheilungen entſtehen. Die Auswechſelung (*18*) in *B* iſt nur durch das Erforderniſs eines Streichbalkens an der benachbarten Scheidemauer nöthig geworden.

Die Streichbalken können (bei *11*) auch den Zweck haben, wichtige Wände (Treppenhausmauern) vor dem Einlagern von Balken zu ſchützen. Sie werden in dieſem Falle durch die eingelagerten Balken ſehr ſchwer belaſtet und daher nicht ſelten durch aus der Wand vorgekragte Conſolen geſtützt. (Siehe Fig. 3 bis 6, S. 5, ſo wie *11* in Fig. 37.)

Bei verſchoſſenen Gebälken läſſt man die Balken der einen Gruppe gern durch die Wand in einen auf der anderen Seite liegenden Streichbalken (*8* u. *14* in Fig. 37 u. *b* in Fig. 36) greifen, um hier eine innige Verankerung der Gruppen zu erzielen.

Schieſsen die Balken ſchief gegen eine Wand, ſo geben ſie hier ungenügende Unterſtützung für den etwa nothwendigen Fufsboden; es werden dann kleine Streichbalken (*13*) als Wechſel zwiſchen den Hauptbalken erforderlich.

8) Giebelbalken ſind die Streichbalken an der Giebelwand; ſie heiſsen Ortbalken, wenn ſie ganz oder zum Theile auf einem Abſatze der Giebelwand liegen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

9) Dachbinderbalken ſind die meiſten Balken der Dachbalkenlage; ſie erhalten dieſen Namen, wenn über ihnen ein Dachgebinde entwickelt iſt; ſie haben dann meiſt den aus dem Dachbinder entſtehenden wagrechten Schub aufzunehmen, da Sparren oder Streben in ihre Enden verſatzt ſind.

10) Kehlbalken ſind die Balken der Kehlgebälke im Dachſtuhle; ſie werden im nächſten Hefte dieſes »Handbuches« (bei den Dachſtuhl-Conſtructionen) beſprochen werden.

11) Mauerlatten, Wandlatten oder Mauerbänke (*1*) ſind ſchwache Hölzer, welche auf, in oder vor den Mauern auf Conſolen oder anderen vorkragenden Conſtructionstheilen liegen und ein gemeinſames Auflager aller Balken der Balkenlage abgeben. (Vergl. auch Art. 2, S. 2 u. Fig. 3 bis 7.) Sie haben den Zweck, die Laſt der Balken auf eine gröſsere Länge der Mauer zu vertheilen, ſchwache Stellen (z. B. weite Fenſter- und Thürbogen) zu entlaſten und beim Zulegen als ſicherer Anhaltspunkt für den Zimmermann zu dienen; ſie ſchwächen aber, ganz in die Wand gelagert, letztere erheblich und werden in Folge ihrer wenig luftigen Lage leicht Anlaſs zur Fäulniſs der Hölzer.

12) Unter- und Ueberzüge (*15*) treten bei zu groſser Spannweite der Balken bezüglich der Unterſtützung der letzteren an die Stelle der Wände. Sie haben die von den Balken aufgeſammelten Laſten zu tragen und werden daher in der Regel als kräftige Träger auszubilden ſein. Unterzüge nehmen die Balken mittels Auflagerung, Ueberzüge mittels Anhängung auf. In Folge der erforderlichen Stärke ragen ſie ſelbſt dann noch gegen die Balkenlage vor, wenn ſie auch, wie in Fig. 32 bis 35, die Höhe der Balken ſelbſt mit ausnutzen. Da nun ein Vorſprung in der Deckenfläche gewöhnlich weniger hinderlich iſt, als ein ſolcher im Fuſsboden, auch Auflagerung der Balken billiger und ſicherer iſt, als Anhängung, ſo kommen Unterzüge häufiger vor, als Ueberzüge. Nur für die Dachbalkenlage wird meiſt die Anordnung von Ueberzügen vorgezogen, weil im Dachraume der Vorſprung im Fuſsboden meiſt nicht ſtörend iſt. (Vergl. auch das im vorhergehenden Kapitel unter e Geſagte.)

Bei älteren Bauten findet man Unter- und Ueberzüge dadurch erſetzt, daſs jeder der weit frei liegenden Balken zu einem verdübelten, verzahnten, offenen, armirten oder Gitterträger gemacht iſt; bei neueren Conſtructionen greift man in ſolchen Fällen lieber zur Verwendung eiſerner Balken, da die oben genannten Anordnungen viel Conſtructionshöhe in Anſpruch nehmen. Derartige Lagen von verſtärkten Holzträgern werden daher hier nicht weiter berührt[31]).

Die aus den angeführten Hölzern beſtehenden Balkenlagen durchſetzen das Gebäude nicht immer ſeiner ganzen Ausdehnung nach in der gleichen Höhenlage; vielmehr erhalten häufig einzelne an der Treppe liegende Räume den Fuſsboden in Höhe der Treppen-Ruheplätze, oder es werden noch beſondere Theilungen einzelner Räume in die Mitte der Geſchoſshöhe gelegt (Hängeböden). Die Anordnung der Decken in ſolchen Lagen bedingt die Ausbildung kleiner geſonderter Balkenlagen, welche ganz den obigen Regeln folgen.

19. Entwerfen der Balkenlage.

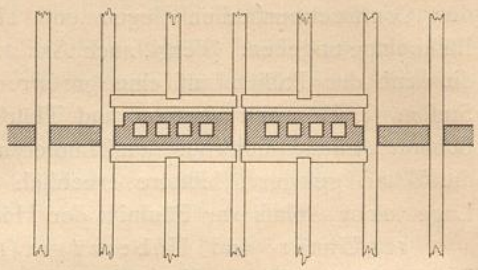
Beim Entwerfen einer Balkenlage trägt man in den feſt geſtellten Gebäudegrundriſs zuerſt alle nothwendigen Balken, d. h. die Giebel-, Ort-, Wand-, Bund- und Streichbalken, ein und theilt dann zwiſchen dieſen die übrigen mit 80 bis 100 cm

31) Vergl. darüber: Gottgetreu, R. Lehrbuch der Hochbau-Konſtruktionen. Theil II: Die Arbeiten des Zimmermanns. Berlin 1882. Taf. XIII.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Theilmafs für volle, mit 30 bis 60 cm Theilmafs für Bohlenbalken ein. Da nun nicht für alle durch die nothwendigen Balken gebildeten Abfchnitte gleiche Theilmafse zu finden fein werden, fo fällt die Balkentheilung in verfchiedenen Theilen des Grundriffes oft fehr verfchieden aus, wobei die am weiteften gefpannten Balken zweckmäfsig am engften gelegt werden (fiehe die Gruppe *C* in Fig. 37). Die fo vertheilten Balken werden nun zum Theile auf die oben erwähnten Hinderniffe: Schornfteine, Treppenhäufer, fchwache Stellen in den Tragmauern u. dergl., ftofsen, welche dann durch Auswechfelungen zu umgehen find. Lange Stichbalken follen vor der Auswechfelung thunlichft durch eine Wand geftützt fein; ausgedehnte Auswechfelungen in Folge einer gröfseren Reihe von Rauchrohren, welche quer zu den Balken fteht, vermeidet man, indem man die Rohre in zwei Gruppen theilt, zwifchen welchen man einen Balken durchgehen läfft (Fig. 39). Liegen die Rauchrohre in einer dreieckigen Winkelausmauerung zwifchen zwei Wänden, fo ift vor derfelben ein Wechfel fchräg zu legen, welcher dann häufig mit beiden Enden auf den Mauern ruht.

Fig. 39.



Bei allen gröfseren Auswechfelungen ift es zu empfehlen, Wechfel und Stichbalken durch eiferne Klammern zu verbinden (*12* in Fig. 37).

Beim Entwerfen ift ferner darauf zu achten, dafs man, abgefehen von den in die Umfaffungswände zu lagernden Balken, keine Theile blofs durch die Wände unterftützt, fondern alle Theile in einander lagert, wie z. B. die Wechfel *6* in Fig. 37, welche je an einem Ende auf eine Wand gelagert werden können, durch diefe aber hindurchgeführt find, um fie mittels Bruftzapfen in den erften getroffenen Balken zu lagern.

Der Grund hierfür liegt darin, dafs die Mauern auf dem Zimmerplatze nicht vorhanden find, man alfo alle Theile der gedachten Art beim Zulegen nicht unmittelbar unterftützen könnte, daher zu mittelbarem Einpaffen greifen müffte, was dann leicht zu mangelhafter Ausführung verleitet.

Sind in folcher Weife die Balken vertheilt, fo erfolgt die Stärkenbeftimmung der einzelnen, wobei jedoch meift nur die Breite zu ermitteln ift, da aus Gründen der Anlage der Decken und Fufsböden die Höhe aller Balken einer Balkenlage diefelbe fein mufs. Es liegt auf der Hand, dafs z. B. ein Streichbalken fchmaler fein kann, als ein ganzer, weil er nur die halbe Laft erhält. Soll der Streichbalken jedoch vor Rauchrohren (*8* in Fig. 37) ausgeklinkt werden, fo ift auf diefe Schwächung Rückficht zu nehmen. Eben fo erhalten diejenigen Streichbalken volle Stärke, welche beftimmt find, fchwache Scheidemauern abzufteifen.

20. Verzimmern und Auflegen der Balkenlage.

Die Verzimmerung der fo entworfenen Balkenlagen erfolgt auf dem Zimmerplatze durch zeichnungsgemäfses Zufammenfügen aller Hölzer, wobei alle Verbindungen zugefchnitten werden. Man beginnt mit der unterften Balkenlage, legt auf diefe die zweite und fo fort, bis alle Balkenlagen fertig verzimmert über einander liegen. Nur fo ift es möglich, fowohl genaues Zufammenfügen der Hölzer jeder einzelnen Balkenlage, wie genaues Uebereinftimmen der Balken der verfchiedenen Gefchoffe zu erreichen; letzteres ift für genau lothrechte Aufführung der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Mauern unbedingt erforderlich. Für den Zimmermann ist hierbei die Anordnung von Wandlatten äufserst bequem, welche ihm leichte Lagerung der Balken beim Zulegen und einfaches Festlegen der Mafse der Umfaffungswände geftatten. Welche grofsen Nachtheile aber übrigens die Mauerlatten unter Umftänden für die Gebäude haben, wurde in Art. 18 (S. 33, unter 11) und in Art. 2 (S. 2) bereits erwähnt.

Das Aufbringen der verzimmerten Balkenlagen erfolgt, fobald die ftützenden Mauern bis Balkenunterkante hoch geführt find. Die Maurer müffen während des Verlegens zu arbeiten aufhören, und um diefe Unterbrechung thunlichft zu verkürzen, mufs man über die Gefammtheit der Arbeiten fo verfügen, dafs die Balkenlagen fertig zugelegt find, bevor das Lager für die unterfte hergerichtet ift. Nach dem Verlegen der Balkenlage erfolgt das in Kap. 7 (unter b) zu befprechende Einmauern der Balkenköpfe und die Weiterauffübrung der Mauer des nächften Gefchoffes.

21. Befondere Arten von Balkenlagen.

Als befondere Arten von Balkenlagen find zunächft die Blockbalkenlagen oder Dübelgebälke, auch Dübbel-, Döbel-, Diebel- oder Dippelgebälke geheifsen (Fig. 4 bis 6 u. 25), zu erwähnen. Sie beftehen aus mit einander verdollten, dicht neben einander gelegten Balken, find daher warm, ftark und laffen den Schall nur wenig durch. Sie machen im Maffivbau aber Schwierigkeiten bei der Einmauerung, müffen, wie in Fig. 4 bis 6, meift auf Auskragungen gelagert werden und finden fich daher jetzt nur noch in Ländern, wo niedrige Holzpreife und die feuerpolizeilichen Beftimmungen reinen Holzbau geftatten, bisweilen auch in Lagerhäufern auf eiferner Stützung (fiehe Fig. 25, S. 20).

Häufiger find Blindbalkenlagen (Fig. 40). Selbft bei forgfältigfter Herftellung einer Decke find Durchdringen von Schall und Erfchütterungen nicht ganz zu befeitigen, wenn diefelben Balken Decke und Fufsboden tragen. Wird in reicheren Gebäuden völlige Undurchdringlichkeit verlangt, fo legt man zunächft eine regelrechte Balkenlage zum Tragen des Verkehres im oberen Gefchoffe an, befeftigt dann aber die Decke des unteren nicht an derfelben, fondern fchiebt zu diefem Zwecke befondere Balken in die Zwifchenräume der erfteren ein, welche man Blind-, Fehl-, Fäll- oder Fallbalken nennt. Da diefelben nur die Deckenausbildung zu tragen haben, können fie erheblich fchwächer fein, als die Hauptbalken, welch letztere hie und da zum Unterfchied Sturzbalken geheifsen werden. So geht durch diefe Doppelanordnung keine oder doch wenig Höhe verloren. Selbftverftändlich müffen die Blindbalken fo tief liegen, dafs auch die ftärkfte Durchbiegung der Tragbalken keinen mit diefen verbundenen Theil auf die Blindbalken fetzt. Der Luftraum zwifchen den beiden Balkenlagen und die völlige Trennung der Auflagerung halten Erfchütterungen und Schall faft vollftändig zurück. Diefe Anordnung fchützt auch

Fig. 40.

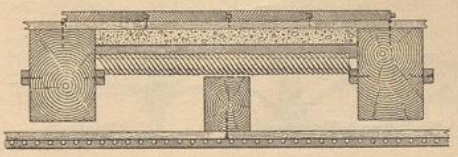


Fig. 41.

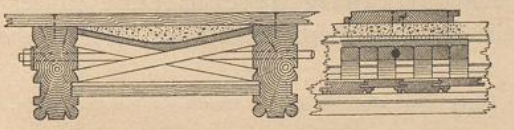


Fig. 42.

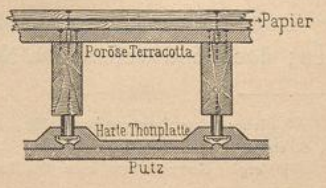


Fig. 43.

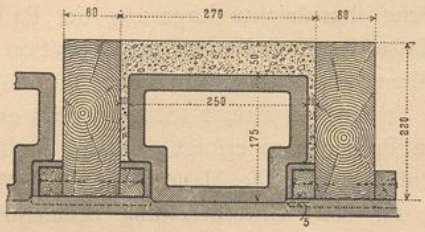


Fig. 44.

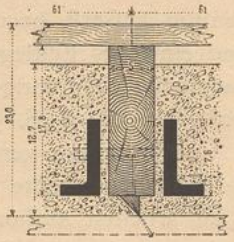
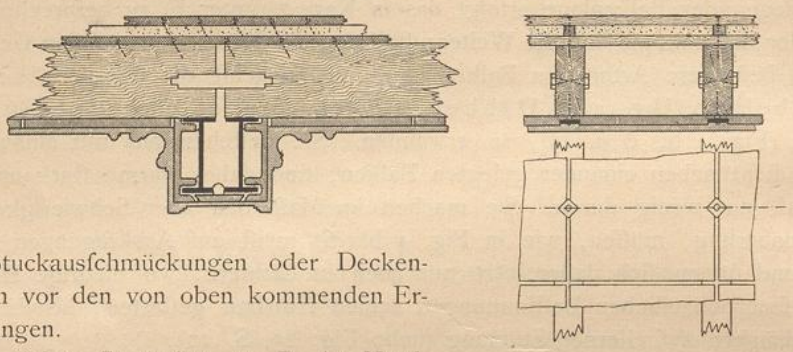


Fig. 45.



reiche Stuckausſchmückungen oder Deckenmalereien vor den von oben kommenden Erſchütterungen.

In vielen Gegenden, z. B. in Nordamerika[32]), verwendet man der Holzerſparniſs wegen vielfach Bohlenbalken (Fig. 41 bis 47), d. h. Balken aus hochkantig geſtellten, vollkantig geſchnittenen Bohlen; da dieſe aber leicht umkanten, ſo müſſen ſie mindeſtens dicht an jedem Auflager durch zwiſchen ſie eingezapfte Wechſelſtücke gegen einander abgeſpreizt werden. Andere Mittel zu ihrer Verſteifung werden im Folgenden (unter 2) angegeben werden.

Fig. 46.

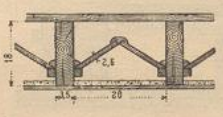
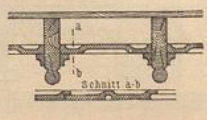


Fig. 47.



Daſs Balkenlagen, welche durchweg aus verſtärkten Holzträgern beſtehen, jetzt meiſt durch eiſerne Tragwerke erſetzt werden, iſt bereits erwähnt worden[33]).

22. Holzart und -Sorte.

Als Holzart wird jetzt an Stelle der früher häufig verwendeten Eiche wegen der bedeutenden Holzlängen, des billigeren Preiſes und der guten Tragfähigkeit die Tanne, weniger gern die Kiefer verwendet. Die Lärche liefert vorzügliche Balken, iſt aber ſelten.

Als Holzſorte wird zu den Balken in der Regel Ganzholz verwendet; nur die ſchmalen Streichbalken können aus Halbholz gebildet werden. Das Gleiche gilt von den Nebentheilen der Balkenlagen; nur ganz untergeordnete Hölzer, z. B. kurze Wechſel an den Wänden zur Aufnahme der Dielenenden (*13* in Fig. 37), können aus gewöhnlichem Verbandholz (Kreuzholz) hergeſtellt ſein.

Tadelloſe Ausführungen ſollen nur vollkantig geſchnittene Hölzer enthalten; doch ſind weſentliche Nachtheile für die Dauerhaftigkeit aus der Verwendung

---

32) Siehe: *American engineer* 1887, S. 20. — *Engng. news* 1890, S. 368. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2099.

33) Vergl.: Gottgetreu, a. a. O, Taf. XIII.

waldkantiger (auch wahnkantig genannt) Hölzer nicht zu befürchten, wenn diese nur vollkommen von Borke, Bast und Splint befreit und so weit beschlagen (gebeilt) sind, dass die Balkenlager genügend grosse ebene Auflagerflächen besitzen und erforderlichenfalls Fussboden und Decke regelrecht angebracht und befestigt werden können.

b) Ausfüllung der Balkenfache.

(Fehlböden oder Zwischendecken.)

23. Uebersicht.

Unter dieser Ueberschrift sollen alle diejenigen Ausfüllungsanordnungen für die Balkenzwischenräume (Balkenfache) zusammengefasst werden, welche den Zweck haben, die Decke undurchdringlich gegen den Schall und Wärmeunterschiede zu machen. Es sind daher hier schlechte Wärme- und Schallleiter in zweckentsprechender Weise zu verwenden. Mangelhafte Ausbildung dieser Zwischendecken bildet einen der hauptsächlichsten Gründe für die Ungemüthlichkeit und ungesunden Eigenschaften der Wohnungen in billig hergestellten Speculationsbauten.

Es werden hier zu besprechen sein:

1) Balkenlagen ohne Ausfüllung;
2) Dübelböden;
3) Windelböden;
4) Einschubböden, und
5) Besondere Anordnungen.

1) Balkenlagen ohne Ausfüllung.

24. Dübelgebälke.

Hierher gehören zunächst die Dübelgebälke, weil bei diesen die Balken (meist flach gelegte Halbhölzer) selbst die Ausfüllung bilden. Um die Fugen zu schliessen, verstreicht man sie von oben mit Lehm und deckt dann zur Schalldämpfung die Balken mit 7 bis 10 cm Füllung oder Bettung (meist trockenem feinem Sande) ab (Fig. 4 bis 6, S. 5). Soll ein Fussboden aufgebracht werden, so werden in diese Füllung in Abständen von 0,8 bis 1,0 m Lager aus Bohlen von 5 cm Dicke und 12 cm Breite eingebettet, welche den Fussboden unmittelbar tragen und Polster- oder Lagerhölzer genannt werden. Durch letztere erzielt man eine schlichte Lagerung der Fussbodenbretter, welche auf den nicht genau geschnittenen Balken kein ebenes Auflager finden würden, und vermeidet das unmittelbare Uebertragen von Erschütterungen. Sorgfältiger Fugenverstrich ist erforderlich, weil sonst die Füllung durchrieselt.

In Fig. 25 (S. 20) fehlt die Bettung, und der Fussboden ruht unmittelbar auf dem Dübelgebälke, weil es hier auf leichteste Anordnung in erster Linie ankam [34]).

In gewöhnlichen Balkenlagen fehlt die Ausfüllung nur in Gebäuden, welche Lagerzwecken oder gewerblichen Betrieben dienen, nie in Wohngebäuden, aber besonders häufig da, wo die Balkenlagen sehr schwer belastet werden sollen (in Speicherräumen, siehe Fig. 15, S. 11), um die Decke an sich thunlichst leicht zu halten. Solche Decken schliessen die Heizbarkeit einzelner Geschosse aus und lassen auch die schwächsten Schallwellen durch. Ist eine Deckenschalung in engerem Sinne unter den Balken angeordnet, so entstehen in den ganz offenen Balkenfeldern beliebte Schlupfwinkel für Ungeziefer.

---

34) Fig. 25 entspricht etwa der Anordnung des Brookthor-Speichers in Hamburg, wo das Eigengewicht thunlichst gering zu halten war, weil die Stützen ohnedies schon sehr schwer wurden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

2) Dübelböden.

25. Conſtruction. Dübelböden entſtehen durch Einfügen dicht gelegter ſchwächerer Verbandhölzer zwiſchen die Balken, welche mit einander verdübelt (verdollt) werden. Liegen dieſe Hölzer parallel zu den Balken, ſo werden ſie durch eingezogene hölzerne Wechſel (Fig. 48) oder Bügel aus Bandeiſen (Fig. 49) getragen; liegen ſie winkelrecht zu den Balken, ſo zapft man ſie in dieſe ein (Fig. 50), wobei jedoch die Balken durch Nuthen erheblich geſchwächt werden; dieſe Nuthen ſollen thunlichſt

Fig. 48.



Fig. 49.

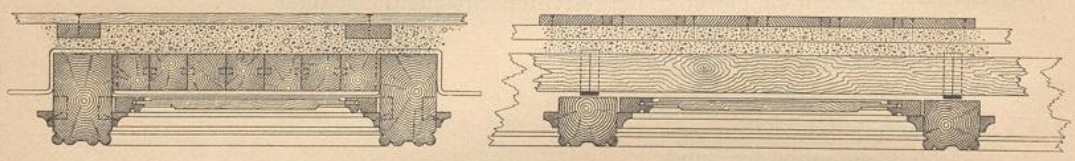
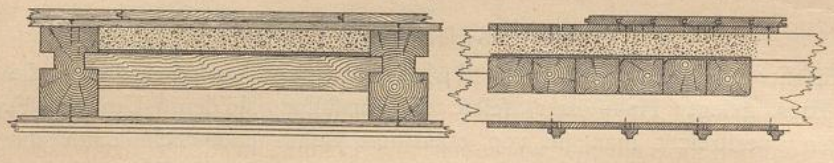


Fig. 50.



in der Mitte der Balkenhöhe liegen. Die Füllhölzer werden unten bündig mit den Balken gelegt, wenn die Gefache ganz ausgefüllt werden ſollen (Fig. 48); genügt theilweiſe Füllung, ſo legt man ſie weder oben, noch unten bündig (Fig. 50). Will man den bei den beiden vorigen Anordnungen unmittelbar auf die Balken zu lagernden Fuſsboden von dieſen ganz trennen, ſo legt man die Füllhölzer oben bündig und bettet beſondere Fuſsbodenlager von etwa 5×12 cm Querſchnittsabmeſſung in eine Sandüberſchüttung ein (Fig. 49). Unter allen Umſtänden ſind auch hier die Fugen der Füllhölzer gut zu verſtreichen. Derartige Zwiſchendecken ſind wegen des Holzaufwandes und der Feuergefährlichkeit ſelten.

3) Windelböden und Wickelböden, Wellerungen und Stakungen.

26. Conſtruction. Dieſe Namen bezeichnen ſämmtlich ſolche Ausfüllungen der Balkenfache, welche aus mit Strohlehm umwickelten Weller- oder Stakhölzern hergeſtellt ſind. Man verwendet dazu geſpaltenes Knüppelholz (eichen) oder geſpaltene Schwarten von Eichen-, Tannen- und Kiehnen-Schnitthölzern. Die Umwickelung erfolgt mit Langſtroh, welches, zum Zwecke dichten Schluſſes der Wellerhölzer gegen Wärme und Kälte, mit dünnem Lehmbrei geſättigt iſt. Bei billigerer Ausführung legt man die unumwickelten Stakhölzer auch wohl dicht zuſammen und deckt ſie mit einer Lage von Krummſtroh mit Lehm ab; die Wickelung iſt jedoch vorzuziehen. Ueber

die Wellerung bringt man zur Verbeſſerung der Dichtigkeit einen an den ſchwächſten Stellen 2 cm dicken Lehmſchlag, und die ſo geſchloſſene Ausſtakung nimmt dann die eigentliche Füllung oder Bettung auf, nachdem die naſs eingebrachte Lehmmaſſe vollkommen ausgetrocknet iſt.

27. Füllung.

Als Füllung verwendet man am beſten reinen, feinen, trockenen Sand, ſchwefelfreie Hochofenſchlacke oder Schlackenwolle. Dieſe Stoffe ſtäuben wenig oder gar nicht. Nicht ſo gut, aber viel im Gebrauch, ſind Bauſchutt, trockene Kohlenaſche [35]) und ungewaſchener Sand, welche alle viel Staub geben. Die Füllſtoffe ſollen jedenfalls vollkommnn frei von organiſchen Beimengungen ſein, da ſie ſonſt die Luft in den Räumen verderben. Füllungen mit Sägemehl, Moos, Häckſel u. dergl. ſind zwar an ſich vorzüglich, aber ihrer groſsen Feuergefährlichkeit wegen verboten. Der ſehr leichte Torfgruſs ſcheint ſich — als nicht feuergefährlich — gut zu bewähren.

Ganz beſonders geeignet in geſundheitlicher Beziehung iſt Kieſelguhr; doch iſt deren Preis verhältniſsmäſsig hoch.

Wird ein Fuſsboden aufgebracht, ſo muſs die Füllung oben die Fuſsbodenunterfläche thunlichſt in allen Punkten berühren, da ein Hohlliegen der Fuſsböden den Lärm des auf ihnen ſtattfindenden Verkehres weſentlich verſtärkt, wenn der Fuſsboden nicht ſelbſt ſehr ſtark — etwa doppelt — iſt.

Auf die richtige Wahl des Füllſtoffes wird mit Recht ein ganz beſonderer Werth gelegt, und die Schwierigkeit, nach allen Richtungen einwandfreie Füllſtoffe zu erhalten, bildet einen der hauptſächlichſten Gründe, welche gegen die bisher meiſt üblichen Ausfüllungen der Balkenfache mit loſen Füllſtoffen ſprechen.

Neben der Vermeidung von Staubbildung, welche, wie bereits erwähnt, namentlich bei Aſche, unreinem Sande und Bauſchutt auftritt, und von fäulniſserregender Einwirkung auf die benachbarten Holztheile, welche eintritt, wenn der Füllſtoff dauernd Feuchtigkeit aus der Luft auffaugt und organiſche Beſtandtheile, insbeſondere Pilzſporen, enthält, kommt namentlich die Einwirkung des Füllſtoffes auf die geſundheitlichen Verhältniſſe der Innenräume in Frage.

Einen allen dieſen Anforderungen entſprechenden Füllſtoff erhält man durch Waſchen und nachfolgendes Ausglühen von Sand, ein Verfahren, das z. B. beim neuen Regierungsgebäude in Hildesheim ſtreng durchgeführt wurde [36]).

Die dort verwendete Vorrichtung zum Ausglühen beſtand in einem einer Waſſerſchnecke gleichenden, geneigt liegenden Trommelofen von 40 cm Durchmeſſer und 175 cm Länge, durch welchen der Sand bei der Umdrehung der Trommel von einer Schraubenfläche aus Blech langſam unter ſtetem Aufrühren hindurchgeſchoben wurde. Die etwa 250 kg ſchwere Vorkehrung koſtete 150 Mark. Die Stellung des Geräthes und das Ausglühen waren dem Unternehmer vertragsmäſsig aufgegeben.

Beſonders beachtenswerth ſind die Verſuche, welche *R. Koch* über den Einfluſs der Füllſtoffe, insbeſondere der Kieſelguhr (Diatomeen-Erde von Unterlüſs), auf die Entwickelung von Bacterien angeſtellt hat [37]).

Koch fand in 1 cbcm der Diatomeen-Erde nur etwa 3 bis 4 Bacterien und ſtellte 15,6 Procent Glühverluſt feſt, worin aber die Verwandelung unorganiſcher Stoffe beim Glühen einbegriffen iſt. Bei dem Verſuche der Vermengung mit Typhus-, Cholera- und Eiter-Bacillen enthaltender Nährbouillon zeigte ſich, daſs die Miſchung mit trockener Kieſelguhr ſchwierig war, weil die Bouillon in Tropfen zuſammenlief und erſt nach langer Zeit aufgeſogen wurde; mit feuchter Kieſelguhr erfolgte die Miſchung leicht.

---

35) In manchen Theilen Süddeutſchlands verwendet man zur Füllung ſog. Steinkohlenlöſch; dies ſind die Rückſtände der Dampfkeſſelfeuerungen: Schlacke und Aſche; dieſer Stoff wird trocken und thunlichſt rufsfrei eingebracht.

36) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 199.

37) Siehe ebendaſ., S. 332.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In der trockenen Diatomeen-Erde hatten die Cholerakeime nach 14 Tagen, die Typhuskeime nach 21 Tagen ihre Keimfähigkeit verloren; die Eiterkeime blieben entwickelungsfähig. Bei guter Mifchung mit feuchter Kiefelguhr ftarben dagegen die Cholera-Bacillen fofort, die Typhus- und Eiterkeime nach 8 Tagen ab. Diefes Verhältnifs ift günftig, weil die Bacillen nicht anders, als mit viel Waffer in die Füllung gelangen können. Die Wirkung fchreibt *Koch* der Beimengung von fchwefelfaueren Salzen zu, welche bei der Aufbereitung der Infuforienerde mittels Schwefelfäure entftehen.

Was die Aufnahmefähigkeit von Feuchtigkeit anlangt, fo verhalten fich verfchiedene Füllftoffe, wie folgt. Es enthält an Waffer

	Kiefelguhr	Baufchutt	Afche	getrockneter Sand
in lufttrockenem Zuftande	7,6	1,7	1,13	0,13 Procent,
bis zum Abtropfen mit Waffer gefättigt . .	223	27,6	86,5	17,5 » .

Danach wird die Kiefelguhr unter Umftänden noch trocken bleiben, unter welchen die übrigen Füllftoffe, namentlich Sand, bereits völlig durchnäfft find. Allerdings erfolgt die Waffer-aufnahme bei der Diatomeen-Erde wegen des 86 Procent betragenden Porenraumes fehr langfam, fo dafs bei plötzlichen Ueberfluthungen ein Durchfickern des freien Waffers eintritt. Dagegen wirkt die aufserordentliche Aufnahmefähigkeit für Waffer in längerer Zeit dauernd austrocknend auf die umgebenden Bautheile und Räume ein.

Der Grad des durch die verfchiedenen Füllftoffe erzielten Wärmefchutzes wurde feft geftellt, indem man ein Eifenrohr mit 2 cm Zwifchenraum mit einem Blechrohre umhüllte, den Zwifchenraum mit Füllftoff füllte und dann 45 Grad C. warmes Waffer in das Rohr brachte. Das Waffer kühlte in 110 Minuten ab

in einem Mantel aus	Kiefelguhr	Baufchutt	Afche	Sand	Luft
auf	39	33,3	35,8	34,3	37,2 Grad C.;

die Diatomeen-Erde ift alfo auch in diefer Beziehung allen anderen Stoffen überlegen.

Das Gewicht von 1 cbm trockener Kiefelguhr ift 302,7 kg, gegen 1762 kg von 1 cbm Sand und 842 kg von 1 cbm Afche; hiernach ift diefe Deckenfüllung auch fehr leicht.

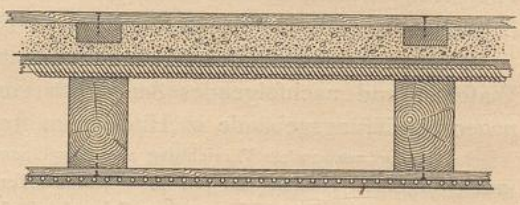
Leider find die Koften bedeutend; 1 cbm Kiefelguhr, rofa geglüht, koftet 15 Mark (befte), ungeglüht mit grauer Farbe 10 Mark [38]).

28. Geftreckter Windelboden.

Je nach der Höhenlage der Wellerung zu den Balken unterfcheidet man den geftreckten, den halben und den ganzen Windelboden.

Der geftreckte Windelboden (Fig. 51) entfteht, wenn man lange Wellerftangen über die Balken hinftreckt. Er wird vorwiegend verwendet, wo es auf billige Herftellung einer warmen Decke ankommt, welche nicht viel zu tragen hat, d. h. in landwirthfchaftlichen Gebäuden; man deckt hier häufig nur einen etwas ftarken Lehmfchlag auf die Wellerung, womit Decke und Fufsboden hergeftellt find. Da hierbei die fchwachen Stakftangen die aufgebrachte Laft nach den Balken übertragen müffen, fo ift die Tragfähigkeit einer folchen Decke fehr gering. Soll ein regelrechter Fufsboden hergeftellt werden, fo bringt man Füllungsmaterial in einer

Fig. 51.



[38]) Ueber die gefundheitliche Bedeutung des Füllftoffes für die Balkenfache fiehe auch noch:

Emmerich, R. Die Verunreinigung der Zwifchendecken unferer Wohnräume in ihrer Beziehung zu den ektogenen Infectionskrankheiten. Zeitfchr. f. Biologie 1882, S. 253.

Die Zwifchendecken in Wohnhäufern als Krankheits-Heerde. Deutfche Bauz. 1883, S. 35.

Recknagel. Vortheile und Nachtheile der Durchläffigkeit von Mauern und Zwifchenböden der Wohnräume. Deutfche Viert. f. öff. Gefundheitspfl. 1885, S. 73.

Nussbaum, Ch. Hygienifche Forderungen an die Zwifchendecken der Wohnhäufer. Archiv f. Hygiene, Bd. 5, S. 264.

Verunreinigung der Zwifchendecken der Wohnräume und ihr Einfluss auf die Gefundheit der Bewohner. Mittel zur Verhütung und Bekämpfung der Verunreinigungen. Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 329.

Die hygienifchen und technifchen Anforderungen an Zwifchendecken in Wohngebäuden. Deutfches Baugwksbl. 1887, S. 535.

Heinzelmann, H. Die Fehlböden (Zwifchendecken). Ihre hygienifchen Nachtheile und deren Vermeidung. München 1891.

Falkenhorst, C. Das Buch von der gefunden uud praktifchen Wohnung. Heft 1: Unfere unfichtbaren Feinde. Leipzig 1891.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Stärke von 8 bis 10 cm (Fig. 51) auf den Lehmſchlag und lagert in dieſen die Fuſsbodenlager gerade über den Balken ein, um die Laſt thunlichſt unmittelbar auf dieſe zu bringen. Da aber der Fuſsboden auf der Füllung liegt und die Lager in letztere eingedrückt werden, ſo iſt eine Laſtübertragung durch die Stakung auch ſo nicht ganz zu umgehen.

Vortheilhaft iſt die Verwendung des geſtreckten Windelbodens bei Anordnung von Blindbalkenlagen (Fig. 52), weil die Balkenfache für die Blindbalken ganz frei bleiben, dieſe alſo hoch, d. h. leicht ausgebildet werden können. Von allen Windelböden iſt der geſtreckte auch der leichteſte, belaſtet alſo die Balken am wenigſten. Durch die vollſtändige Auflagerung auf die Balken geht aber den übrigen Decken-Conſtructionen gegenüber Höhe verloren, und die deſshalb anzuſtrebende Dünnheit der Decke beeinträchtigt die Dichtigkeit gegen Wärme und Schall. Die Unzuträglichkeiten, welche aus den völlig hohlen Balkenfachen bezüglich des Ungeziefers entſtehen, wurden oben bereits erwähnt.

29. Halber Windelboden.

Der halbe Windelboden (Fig. 52) entſteht, wenn man die Wellerung innerhalb der Balkenfache etwa in halber Höhe der Balken anbringt, ſo daſs der Fuſsboden

Fig. 52.

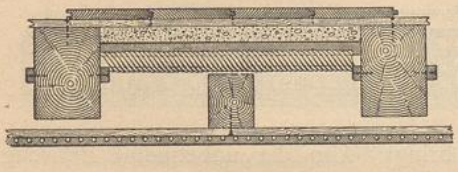
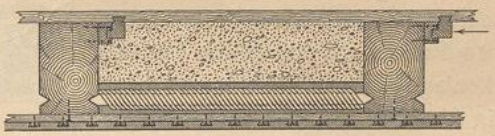


Fig. 53.



unmittelbar auf die Balken gelagert werden kann. Die Wellerhölzer werden auf Weller- oder Stakleiſten gelagert (Fig. 52) oder in Weller- oder Staknuthen, welche man in entſprechender Höhe an den Balken anbringt, eingeſchoben (Fig. 53).

An ſich ſind beide Anordnungen gleichwerthig; jedoch werden die Leiſten meiſt vorgezogen, weil das Annageln derſelben einfacher iſt, als das Einſtoſsen der Nuthen in die meiſt wahnkantigen Balken. Auf die Wellerung bringt man, wie früher, Lehmſchlag und Füllung. Da der Fuſsboden nun unmittelbar auf den Balken ruht, ſo iſt die Stakung der Laſt faſt ganz entzogen. Dieſe Ausfüllung der Balkenfache iſt die bei den Windelböden jetzt am meiſten verwendete; ſie wird um ſo dichter, aber auch um ſo ſchwerer, je weiter unten man die Stakung einſetzt.

Die ſchwachen, meiſt aus Schwartenbrettern geſpaltenen Wellerhölzer ſind für Fäulniſsvorgänge günſtige Angriffspunkte, und man hat ſie daher, nebſt den Wellerleiſten, vereinzelt wohl durch aus Rechteckeiſen geſchnittene Leiſten und Stäbe erſetzt [39]), wodurch man ſelbſtverſtändlich zu nicht unbeträchtlich höheren Koſten gelangt.

Eine gewöhnliche Balkendecke mit halbem Windelboden, Fuſsboden und Putzdecke, 35 cm dick, 6 m frei tragend, koſtet für 1 qm Grundfläche etwa 15 bis 16 Mark [40]).

30. Ganzer Windelboden.

Der ganze Windelboden (Fig. 53) iſt dem vorigen in allen Einzelheiten gleich, unterſcheidet ſich von demſelben nur dadurch, daſs die Wellerung genug weit unten angeordnet wird, um die Deckenſchalung einen unter der Stakung angebrachten dünnen Lehmputz in allen Punkten berühren zu laſſen. Dieſe Ausfüllung der

39) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2099.

40) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 134, 143; 1890, S. 65.

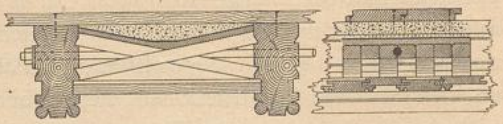
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Balkenfache ift die dichteſte, aber auch ſchwerſte von allen Windelböden; ſie empfiehlt ſich daher für gut ausgeſtattete Wohngebäude, nicht jedoch an ſolchen Stellen, wo es auf das Tragen ſchwerer Laſten ankommt; ſie wird übrigens, des groſsen Gewichtes wegen, nur wenig verwendet.

31. Kreuzſtakung.

Eine von den vorigen abweichende Art der Stakung iſt die Kreuzſtakung, bei welcher die meiſt unumwickelten Stakhölzer mit abwechſelnder Neigung nach links und rechts zwiſchen die Leiſten oder Nuthen (Fig. 54) der Balken eingeſetzt werden. Dieſe ſchrägen Stakhölzer bilden eine ſehr wirkſame Abſpreizung der Bohlenbalken[41]) gegen Kanten und Werfen. Sie wirken wie Streben kleiner Hängewerke, welche die auf einen Balken kommende Laſt auf die beiden Nachbarn mit übertragen, ſomit die ganze Balkenlage tragfähiger machen.

Fig. 54.



Die wagrechte Seitenkraft dieſer Strebendrücke kann von den ſchmalen Balken jedoch nicht aufgenommen werden, deren ſeitliche Durchbiegung die Strebenwirkung aufheben würde. Zur Aufhebung dieſer wagrechten Seitenkraft werden daher in Abſtänden von etwa 2 m Rundeiſenanker durch die Balkenlage gezogen, welche man durch in der Mitte angebrachte Mutterſchlöſſer mit Gegengewinde[42]) in Spannung bringt. Um die unbequeme Bohrung aller Balken zu vermeiden, kann man dieſe Rundeiſenanker zweckmäſsig durch auf und unter die Balken genagelte Bandeiſen erſetzen, wie ſie für eiſerne Balken in Fig. 55 u. 56 angegeben ſind. Bei Bretterfuſsböden wird die Aufhebung der wagrechten Kräfte jedoch auch ſchon durch die quer zu den Balken laufenden und an dieſe angenagelten Fuſsbodendielen, bezw. Deckenſchalbretter bewirkt; unbedingt nothwendig ſind die Anker alſo nur, wenn ſolche Bretterlagen ganz oder, wie in Fig. 54, zum Theile fehlen.

Fig. 55.

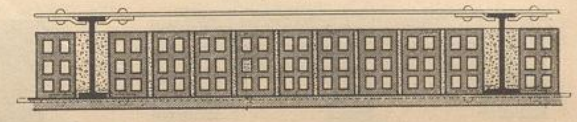
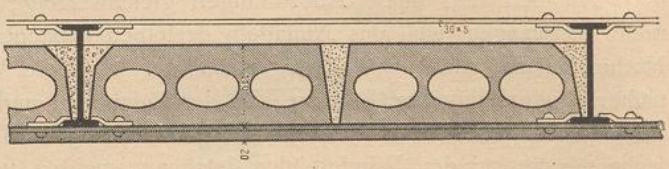


Fig. 56.



Ueber die Stakhölzer bringt man zunächſt behufs Schlieſsens der gebliebenen Oeffnungen eine Lage von Langſtroh mit Lehm und Lehmſchlag, darauf dann die Füllung.

4) Einſchubböden.

32. Conſtruction.

Einſchubböden ſind den Windelböden gleichfalls ſehr ähnlich; nur bringt man in die Nuthen oder auf die Leiſten der Balken ſtatt der Stakhölzer Schwartenbretter. Der Einſchub wird entweder einfach (Fig. 57 u. 58, rechtes Fach) oder als Stülplage (Fig. 59) ausgebildet; bei beiden werden die Fugen ſorgfältig mit Lehm verſtrichen und mit Lehmſchlag überdeckt. Die über dieſem liegende Füllung iſt meiſt

41) Siehe: *American engineer* 1887, S. 230.

42) Siehe: Theil III, Band 1 dieſes »Handbuches«, Fig. 448, S. 163 (2. Aufl.: Fig. 458, S. 176).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 57.

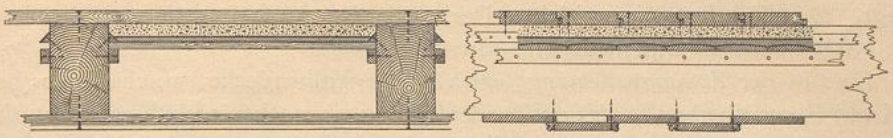
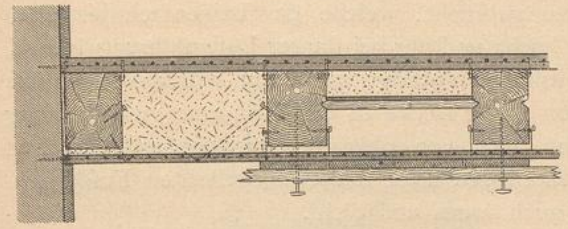
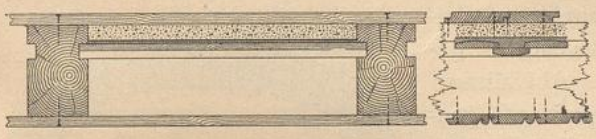


Fig. 58.



nur wenige Centimeter ſtark, und der gröſste Theil der Balkenfache bleibt frei. Liegen die Einſchubbretter auf Leiſten, ſo wird wohl auch eine dreieckige Leiſte über dieſelben genagelt (Fig. 57), um ein Ausheben der Bretter auszuſchlieſsen. Die Stülpdecke (Fig. 59) hat vor den neben einander liegenden Brettern des einfachen Einſchubes den Vortheil gröſserer Dichtigkeit. Sind Nuthen zum Anbringen des Einſchubes vorgeſehen, ſo muſs man an den Enden der Balken bis auf die Nuthen hinunter Ausſchnitte von Brettbreite anbringen, um die letzten Einſchubbretter in die Nuthen einbringen zu können. Wegen ihrer Leichtigkeit iſt dieſe Einſchubdecke ſehr beliebt und wird häufiger verwendet, als der halbe Windelboden, dem ſie jedoch an Dichtigkeit nachſteht.

Fig. 59.



Ganz beſonders leicht kann die in Fig. 60 dargeſtellte Abart dieſer Decke hergeſtellt werden. Hier ruhen die Bretter oben auf den Balken zur Seite oder unterhalb (Fig. 61) kleiner, den Fuſsboden tragenden Auffchieblinge; nach Verſtrich der Bretter wird der entſtehende Zwiſchenraum zwiſchen den Auffchieblingen mit Füllung geſchloſſen. Dieſe Decke iſt weder gegen Schall noch Wärmeübertragung dicht, belaſtet aber die Balken ſehr wenig und wird daher in ſolchen Gegenden verwendet, wo der ſchlechte Untergrund thunlichſt leichte Anordnung aller Gebäudetheile verlangt.

Fig. 60.

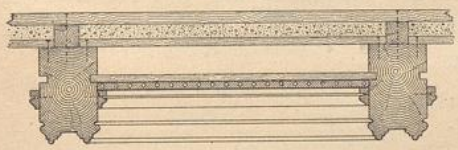
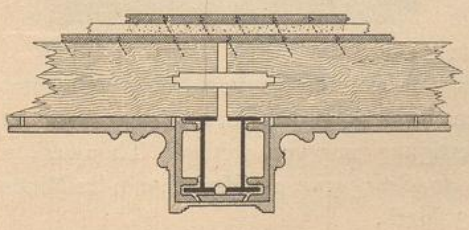
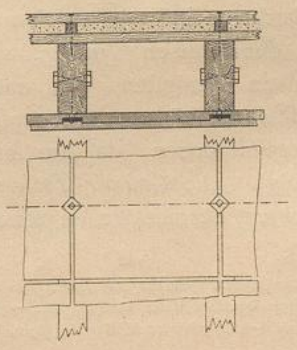


Fig. 61.





Beſonders ſchwer wird die Decken-Conſtruction, wenn man, wie dies in Oeſterreich üblich iſt, die Stülpdecke — dort Sturzboden genannt — auf die

Balken aufnagelt, alsdann die Füllung aufbringt und in letztere die Fufsbodenlager verlegt. Die Dichtheit einer folchen Decke ift eine grofse, aber auch die für dieſelbe erforderliche Conſtructionshöhe eine bedeutende.

33. *Rabitz*'s Balkendecken.

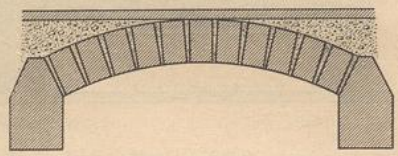
Eine in der Zuſammenſetzung ſehr einfache Balkendecke, welche einen hohen Grad von Feuerſicherheit beſitzt und weder Wellerung, noch Einſchub erfordert, iſt die nach dem Patent *Rabitz* conſtruirte (Fig. 58 linkes Fach[43]). Auf die in Art. 44 zu beſprechende Deckenputzlage wird unmittelbar eine die Balken auch unten noch umgreifende Fachfüllung aus Torfſtreu gebracht, welche das Balkenfach bis oben hin füllt. Da Torfſtreu an ſich nicht leicht und nur bei ſtarker Luftzuführung brennt, die Füllung hier durch die widerſtandsfähige Putzlage noch ſehr wirkſam vor Hitze und Luftzug geſchützt wird, ſo iſt von dieſer Decke in der That eine gute Wirkung bei Feuersbrünſten zu erwarten, wenn auch von oben her für den erforderlichen Schutz geſorgt iſt, wie in Fig. 58 durch den nach *Rabitz* hergeſtellten Fufsboden. Die Decke iſt dabei ſehr leicht und auch warm und dicht.

5) Beſondere Anordnungen.

34. Decken mit Wölbkappen.

In Fällen, wo beſondere Dichtigkeit der Decken verlangt wird (z. B. zwiſchen Ställen und Futterböden) hat man zwiſchen die Balken gewölbte Kappen aus Backſteinen eingeſetzt. Die Anordnung iſt nicht zu empfehlen, da die Balken durch das Anſchneiden der Kämpferflächen weſentlich geſchwächt (Fig. 62) und durch das Abſchlieſsen gegen die Luft mittels die Feuchtigkeit anſaugenden Mauerwerkes der Gefahr ſchnellen Faulens ausgeſetzt werden. Der Bogenſchub iſt, wenn er nicht durch die Umfaſſungswände aufgehoben werden kann, durch eiſerne Verankerungen aufzunehmen.

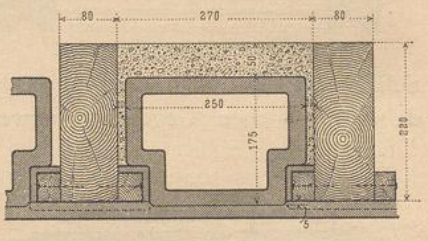
Fig. 62.



35. Decken von *Laporte*.

Mehr iſt die in Fig. 63 dargeſtellte Art der Fachausfüllung mit Hohlſteinen, Syſtem *Laporte*, zu empfehlen, welche wegen der nicht ſehr grofsen Abmeſſung der gebrannten Hohlſteine eine eng getheilte Balkenlage aus Bohlenbalken (ſiehe Art. 21, S. 35) vorausſetzt. Dieſe Anordnung, bei welcher die Unterflächen der Steine zur Aufnahme des Putzes gerieft, die Balken in gewöhnlicher Weiſe berohrt oder mit Plieſterplatten benagelt ſein müſſen, iſt in Frankreich vielfach ausgeführt[44]).

Fig. 63.



Derartige Decken ſind vergleichsweiſe leicht und haben den grofsen Vorzug, trotz der hölzernen Balken wenigſtens von unten faſt vollſtändig vor Feuer geſchützt zu ſein. In Deutſchland können die grofsen hohlen Thonformen bislang nur zu hohem Preiſe bezogen werden, da ihre Anfertigung nur von wenigen Thonwerken auf Beſtellung erfolgt. Die *Grande Tuilerie de Bourgogne* zu Montchanin-les-Mines liefert 1 qm der hohlen Terracotten zu etwa 3 Mark.

---

43) D. R.-P. Nr. 3789.

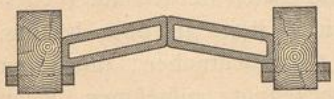
44) Hohle Terracotten nach Patent *Laporte* liefert die *Grande Tuilerie de Bourgogne* in Montchanin-les-Mines. — Ueber derartige Decken ſiehe: Deutſche Bauz. 1886, S. 202. — *Annales induſtrielles* 1885, II, S. 39. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2119. — *Le génie civil*, Bd. 16 (1890), S. 316.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine ähnliche Anordnung mit Hohlſteinen zeigt auch Fig. 64, nach welcher auch breitere Gefache ausgefüllt werden können. Hier iſt für den Deckenputz beſondere Schalung anzubringen, und der Vortheil des Schutzes gegen Feuer entfällt.

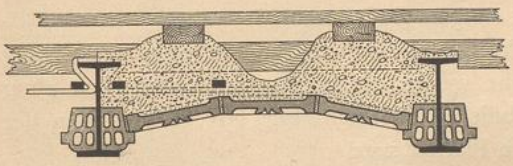
36. Andere Ausfüllungen mit Thonplatten.

Fig. 64.



Derartige Plattenwölbungen, für welche die Widerlager durch entſprechend geformte ſeitliche Einſchubleiſten an den Balken gewonnen werden, können aus hohlen Platten oder einfachen oder auch doppelten Lagen voller Platten mit Luftzwiſchenraum auch in der Weiſe ausgebildet werden, daſs man die Wölbung wie in Fig. 65 aus mehr als zwei Platten in jedem Balkenfache herſtellt [45]). Die von unten ſichtbaren Platten werden in Frankreich und Belgien verziert und glaſirt. Ein beſonderer Schutz der Balken gegen Feuer erſcheint nicht erforderlich, weil die in Gyps verſetzten und mit Gyps überdeckten Platten doch keine feuerſichere Decke ergeben, da der Gyps bei mäſsiger Hitze ſchon zerfällt.

Fig. 65.



Hierher gehört auch die gleichfalls aus Frankreich und Belgien ſtammende Ausfüllung mit den Dachziegeln ähnlichen Thonflieſen [45]), wie ſie in zwei Ausbildungen in Fig. 66 u. 67 dargeſtellt ſind.

Fig. 66.

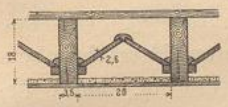


Fig. 67.

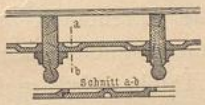


Fig. 66 zeigt eine Zwiſchendecke aus zwei Reihen mit Gyps verſtrichener, gegen einander gelehnter Thonflieſen, unter der dann eine der Dichtigkeit wegen mit Gyps überfüllte Deckenſchalung zu beſonderer Ausbildung der Decke angebracht iſt. In Fig. 67 bleiben die Balken unten ſichtbar und ſind daher verziert; die hier wagrecht aufgelegten vertieften Thonflieſen ſind unten glaſirt, gegen die Balken mit Gyps verſtrichen und geeignet, zur Erhöhung der bei der dargeſtellten Conſtruction nur geringen Dichtigkeit eine Lage Füllſtoff aufzunehmen. Dieſe Decken ſind auſserordentlich leicht, aber auch wenig dicht.

Solche Decken ermangeln der Feuerſicherheit gänzlich, und in Fig. 67 wirkt auch die aus ſchmalen, vertieften Feldern gebildete Unteranſicht nicht ſehr günſtig.

37. Ausfüllungen mit leichtem Steinmaterial.

Einen erheblich billigeren Erſatz der Ausfüllungen mit hohlen Terracotten durch einheimiſche Bauſtoffe bietet die Ausfüllung mit rheiniſchen Tuff- oder ſonſtigen leichten Schwemmſteinen (Fig. 68), welche nahezu eben ſo leicht und nicht minder dicht für Wärme und Schall iſt, als die Terracotta-Decke [46]). Da man die Balkenfache bei 1½ Stein Spannweite mit Steinen ausſetzen kann, ohne Schübe auf die Balken fürchten zu müſſen, ſo kann die Balkentheilung weiter gewählt werden, als bei der Anordnung in Fig. 63. Die Sicherung der Balken gegen Feuer iſt in Fig. 68 derjenigen in Fig. 64 gleichwerthig. Die Tragfähigkeit der Schwemmſtein-Ausfüllung iſt bei der geringen Feſtigkeit dieſer Steine kleiner, als die der Terracotta-Decken; doch kommt dieſer Unterſchied hier nicht in Betracht, da bei der geringen Balkentheilung aller dieſer Anordnungen die Fuſsbodenbretter die Laſten ganz auf die Balken übertragen und die Füllung nahezu unbelaſtet bleibt.

Fig. 68.



45) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

46) Siehe: Deutſche Bauz. 1886, S. 3.

Eine ausgezeichnete Fachausfüllung, welche neuerdings viel Verwendung findet, ergeben die *Mack*'ſchen Gypsdielen[47]). Die Decke nach Fig. 71 koſtet, mit Gypsdielen (ſtatt der in die Abbildung eingetragenen, weiter unten zu beſprechenden Spreutafeln) ausgeſtattet, etwa 13,5 Mark für 1 qm[48]). Die Dielen werden auf Wellerleiſten verlegt und in den Fugen mit Gyps verſtrichen. Liegen ſie oben bündig, ſo kann man hölzerne Fuſsbodentheile unmittelbar auf ſie aufſchrauben; unten mit den Balken bündig liegende können unmittelbar den Deckenputz aufnehmen, wenn man die Balkenunterflächen vorher berohrt hat. Die Tragfähigkeit genügt ſelbſt für groſse Weiten der Balkenfache. Derlei Decken ſind ſehr leicht, dicht und warm, zwar wegen des Zerfallens des Gypſes in der Hitze nicht feuerſicher, doch aber ziemlich widerſtandsfähig gegen Feuer, weil auch der zerfallene Gyps die zähen Beimengungen noch leidlich ſchützt und einigen Zuſammenhalt wahrt.

Eben ſo dicht und warm, noch leichter, aber weniger feuerſicher und tragfähig iſt die Füllung mit Korkſteinen[49]), welche wegen der geringen Tragfähigkeit einer Unterlage von Stakhölzern oder Einſchubdielen bedürfen (Fig. 69). Die Fugen der Platten ſind zu verſtreichen, und über den Platten wird noch eine wenige Centimeter ſtarke Füllung eingebracht. Abgeſehen von der Unterlage von Wellerhölzern iſt dieſe Decken-Conſtruction jener aus Gypsdielen faſt ganz gleich; letztere erſcheint aber wegen der gröſseren Tragfähigkeit und wegen der Möglichkeit unmittelbaren Befeſtigens der übrigen Theile überlegen.

Fig. 69.



Nahe verwandt den Gypsdielen ſind die Spreutafeln von *Katz*[50]). Die Bearbeitung mit Säge und Meſſer iſt, wie bei Holz möglich; auch haften Holzſchrauben vollkommen in der Maſſe. Eine Seite der Tafeln wird rauh geformt, damit ſie Deckenputz unmittelbar aufnehmen können.

Wie Fig. 70 u. 71 zeigen, erfolgt die Deckenausbildung nach Art der halben Windelböden, bezw. Einſchubdecken durch Auflagern der Spreutafeln auf Wellerleiſten mit oder ohne Füllung, je nachdem die Art des aufzulegenden Fuſsbodens es erfordert. Die Anordnung nach Art des ganzen Windelbodens (Fig. 72), bei der kein Platz für Wellerleiſten vorhanden iſt, wird ermöglicht, indem man verzinkte Drähte, entweder winkelrecht zu den Balken d_1 oder im Zickzackmuſter d_2, in etwa 10 cm Abſtand ſtraff unter die Balken nagelt. Die Zickzackführung hat den Zweck, die Drähte nachträglich recht ſtraff ſpannen zu können. Auf dieſes Drahtnetz werden die Spreutafeln s loſe aufgelegt. Die Fugen zwiſchen den Tafeln und an den

Fig. 70.

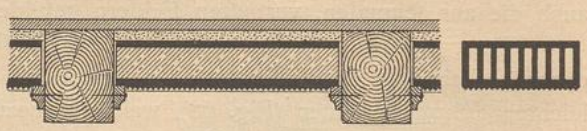
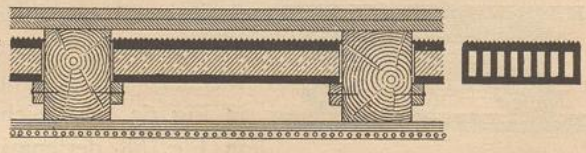


Fig. 71.



47) Siehe über dieſelben Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 171, S. 196) dieſes »Handbuches«.
48) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 7.
49) Siehe über dieſelben Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 167, S. 194) dieſes »Handbuches«
50) Siehe über dieſelben ebendaſ., Art. 172, S. 196.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Balken werden auch hier mit Gyps verſtrichen, ſo daſs jedes Durchrieſeln der Füllung ausgeſchloſſen iſt. Auch dieſe Decken-Conſtruction iſt leicht, dicht und warm, jedoch nur wenig feuerbeſtändig.

Bei Belaſtungsverſuchen mit gleichförmig vertheilter Laſt zeigten ſich bei 80 cm Balkenentfernung auf den Anordnungen in Fig. 72 u. 73 die erſten feinen Riſſe im

Fig. 72.

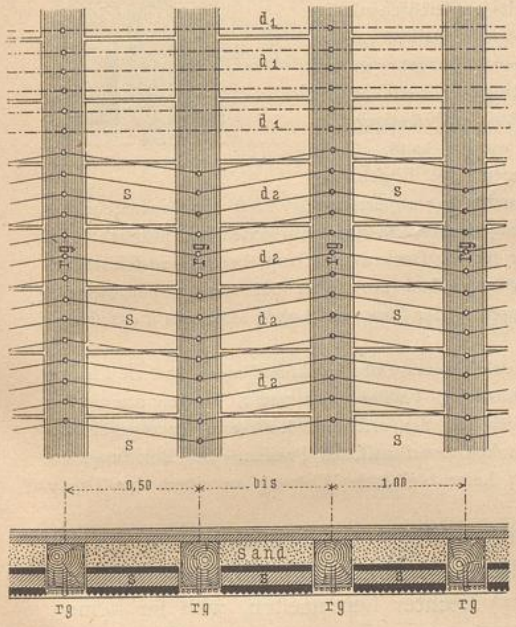
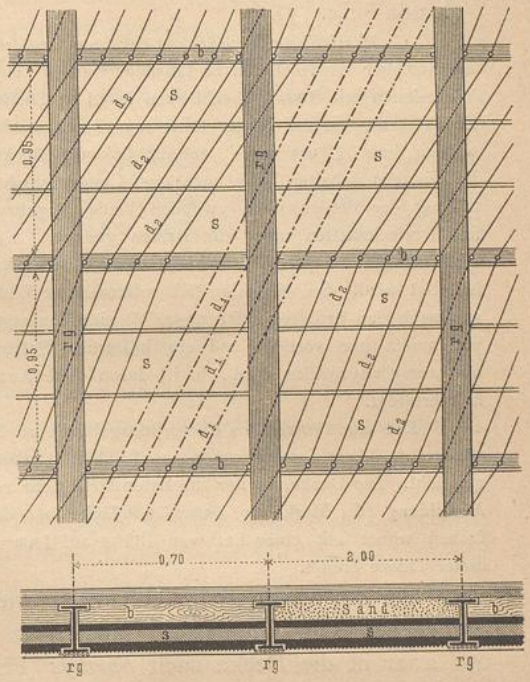


Fig. 73.

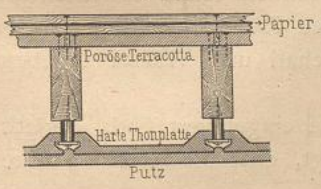


unteren Deckenputze bei 670 kg für 1 qm; erſt bei 1000 kg für 1 qm erreichten ſie beträchtliche Gröſse [51]).

38. Amerikaniſche Ausfüllungen.

In Amerika iſt ein ganz eigenartiger feuerſicherer Bauſtoff in ausgedehntem Gebrauche, welcher, auf die Balken genagelt, dieſe von oben vor dem Feuer völlig ſchützt und bei ſehr geringem Gewichte als Erſatz der Fachausfüllungen ſehr leichte Deckenanordnungen liefert. Es iſt dies ein mit Sägemehl gemengter gebrannter, daher in fertigem Zuſtande ſtark poriger Thon, welcher, wenn aus ſandigem Thone angefertigt, *Porous terracotta*, aus ſandfreiem Thone hergeſtellt, *Terracotta lumber* [52]) genannt wird. Dieſe porigen Thonplatten beſitzen groſse Dichtigkeit gegen Wärme und Schall, ſind erheblich ſicherer gegen Feuer, als dichter Backſtein, haben ziemlich hohe Tragfähigkeit und ſchlieſslich die ſchätzbare Eigenſchaft, ſich wie Holzplatten nageln zu laſſen. Dieſe Platten werden auf eng getheilten ſchmalen Bohlenbalken verlegt (Fig. 74) und genagelt, in den ſtumpfen Fugen mit Cement gedichtet und vom Fuſsboden unmittelbar überdeckt, welcher durch

Fig. 74.



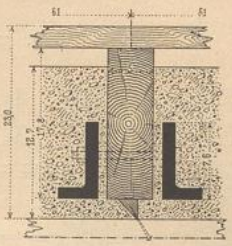
[51]) Die Druckfeſtigkeit der Spreutafeln beträgt 18,3 kg für 1 qcm des vollen Querſchnittes.

[52]) Siehe: *American engineer* 1887, S. 230.

die Thonplatten genagelt wird. Die Eigenſchaften dieſer billig herzuſtellenden Platten ſind in jeder Beziehung höchſt ſchätzbare, und der Verſuch, dieſelben auch bei uns einzuführen, würde vorausſichtlich erfolgreich ſein.

Betonausfüllungen, welche bei Verwendung eiſerner Balken jetzt ſehr gebräuchlich ſind, wurden zur Herſtellung feuerſicherer Decken aus hölzernen Bohlenbalken von *Furneſs*[53]) in Philadelphia in erheblicher Ausdehnung eingeführt, z. B. im Univerſitätsgebäude des Staates Pennſylvania (Fig. 75).

Fig. 75.



Gleichzeitig zur Verſtärkung der 5,2 m weit frei tragenden Balken und um ein Auflager für den Beton zu ſchaffen, wurden beiderſeits ungleichſchenkelige Winkeleiſen mit 8 mm dicken Bolzen in 61 cm Theilung an die Balken gebolzt. Die Winkeleiſen ſind in der Mitte um 7,6 cm nach oben durchgebogen und werden durch 10 mm dicke, auf die Bolzen geſteckte Ringe ſo weit von den Balken fern gehalten, daſs noch eine Cementſchicht behufs vollſtändiger Einhüllung der Bohlenbalken zwiſchen beide eingebracht werden kann. Unten ſind Dreieckleiſten unter die Balken genagelt, an denen eine Einſchalung bloſs zum Einſtampfen des Betons, wenn man dieſen unmittelbar abputzen will, ſonſt als Deckenſchalung befeſtigt wird. So wird eine faſt vollkommene Einhüllung der Balken auch von unten her möglich. Da nun nach den neueſten Erfahrungen[54]) eine Feuersgefahr für die Decken überhaupt beinahe ausſchlieſslich von unten her vorliegt und ein hölzerner Fuſsboden von oben her ſelbſt bei ſtarker Feuersbrunſt nur wenig angegriffen wird, ſo iſt durch dieſe Anordnung in der That ein hohes Maſs von Feuerſicherheit erreicht.

Die von *Furneſs* im Univerſitätsgebäude zu Philadelphia ausgeführten Abmeſſungen ſind in Fig. 75 angegeben. Der Cement wurde aus 1 Theil Portland-Cement, 3 Theilen Sand und 3 Theilen Steinſchlag gemiſcht. Die Decke, in der die Betonſtärke ſehr reichlich bemeſſen erſcheint, koſtete in der angegebenen Ausbildung 16,4 Mark für 1 qm Grundfläche bei den hohen amerikaniſchen Preiſen. Bei Belaſtungsverſuchen wurde mit einer Laſt von 735 kg auf 1 qm noch keine bleibende Wirkung an einem der Theile dieſer Decke erzielt.

Die Anordnung empfiehlt ſich, wie die in Fig. 74 dargeſtellte, an ſolchen Stellen zur Nachahmung, wo man trotz hölzerner Balken Feuerſicherheit verlangt, und zwar iſt die Decke nach *Furneſs* (Fig. 75) leichter herzuſtellen, weil ſie keinen auſsergewöhnlichen Bauſtoff verlangt, wie in Fig. 74.

39. Daubenfüllung.

In leichten Holz-Architekturen findet ſich in einzelnen Gegenden (Schwarzwald) eine gefederte Daubenfüllung (Fig. 76), welche ſich gewölbeartig zwiſchen die Balken ſpannt und durch etwas keilförmig geſchnittene Scheitelſchluſsfedern feſt eingeklemmt wird. Die Anordnung giebt keine gute Dichtung, iſt ſehr feuergefährlich und daher ſelten.

Fig. 76.



6) Wandanſchluſs der Fachausfüllung.

40. Wandanſchluſs.

Bei allen Ausfüllungen der Balkenfache iſt ein dichter Anſchluſs an die Wände ſehr wichtig und bedarf beſonderer Aufmerkſamkeit. Iſt dieſer Wandanſchluſs nicht gut, ſo rieſelt die Füllung durch die an den Wänden beſonders leicht entſtehenden Riſſe des Deckenputzes, ſo daſs in den darunter liegenden Räumen ein fortwährender Sandregen an den Wänden entſteht. Auch für Schall und Wärme ergeben dieſe Wandfugen günſtige Durchgangsöffnungen.

An denjenigen Wänden, in welche die Balkenköpfe eingelagert ſind, ergiebt ſich die Abdichtung von ſelbſt, wenn man nur dafür ſorgt, daſs die letzten Stücke

53) Siehe: *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 368.

54) Vergl.: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

der Fachausfüllung feſt gegen die Wand gekeilt, bezw. geſtampft werden und daſs z. B. die Fugen zwiſchen Thonplatten und der Wand guten Verſtrich erhalten; hier iſt die Abdichtung gegen die Wand nicht ſchwieriger, als in der Fachausfüllung ſelbſt.

Beſondere Vorſicht verlangen aber die Anſchlüſſe an diejenigen Wände, an denen Streichbalken (*9* u. *16* in Fig. 37, S. 30) oder Streichwechſel (*13* in Fig. 37) hinſtreichen. Legt man dieſe ſtumpf gegen die Wand, ſo bleibt ſtets wegen der Unebenheit beider Theile eine offene Fuge, welche gewöhnlich zu eng iſt, um ſicher geſchloſſen werden zu können, und welche ſich ſpäter in Folge Eintrocknens des Balkens noch erweitert. Man lege daher hier nach Fig. 7 (S. 6) den an der Aufsenſeite ſchräg abgeſchnittenen Streichbalken etwa 4 cm von der Wand ab, ſchlage den Zwiſchenraum mit roh keilförmig behauenen Backſteinen oder Holzleiſten aus, welche auch nach dem Eintrocknen des Balkens in Folge des anfänglichen Einkeilens feſt bleiben werden, verſtreiche deren Fugen und bringe ſchlieſslich nach Bedarf noch Füllung auf. In ſolcher Weiſe kann ein auf die Dauer völlig ſicherer Wandanſchluſs auch an dieſen Seiten erzielt werden.

c) Decke im engeren Sinne.

41. Ueberſicht.

Die Decke bildet den oberen Abſchluſs des unterliegenden Raumes; ſie kann aus den übrigen vorher beſprochenen Theilen, d. h. der Fachfüllung und den Balken, beſtehen oder beſonders ausgebildet ſein, iſt überhaupt mehr ausſchmückender als nothwendiger Bautheil.

Eine beſondere Ausbildung der Decke fehlt jedoch nur in den untergeordnetſten Räumen, z. B. in Lagerräumen, wo auf den Balken nur ein Fuſsboden ruht (Fig. 15, S. 11 u. Fig. 25, S. 20), oder in landwirthſchaftlichen Bauten, wo z. B. der unten glatt abgeſtrichene geſtreckte Windelboden (Fig. 51, S. 40) auch die Decke bilden kann.

In den weitaus häufigſten Fällen erhält die Decke eine beſondere Ausbildung, und zwar im Weſentlichen nach den im Nachfolgenden beſchriebenen Anordnungen. Weitere Einzelheiten über Deckenausbildung, insbeſondere über die mehr decorative Behandlung der Deckenflächen, bringt Theil III, Band 3, Heft 3 dieſes »Handbuches«.

42. Verſchalte und geputzte Decken.

1) Am häufigſten kommt wohl die verſchalte und geputzte Decke (Fig. 40, 48, 51 bis 53, 60, 68 u. 71) zur Anwendung. Bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 178, S. 200 u. Art. 203, S. 244) dieſes »Handbuches« wurde über die Bekleidung von Holzwerk mit Putz Mehrfaches mitgetheilt. Unter Hinweis auf die eben angezogenen zwei Stellen iſt hier das Folgende zu ſagen. Unter die Balken wird eine 2 cm ſtarke, ſtumpf geſtoſsene Schalung aus ungehobelten, häufig ſogar alten Brettern genagelt. Damit das Werfen und Reiſsen der Bretter dem Putz nicht ſchädlich werde, dürfen die Schalbretter nur ſchmal ſein oder müſſen vielfach geſpalten werden. Auf dieſe Schalung ſtreckt man winkelrecht zur Faſerrichtung der Schalbretter rund 8 mm ſtarke Putzrohrſtengel (Fig. 40, 48, 51, 52, 60, 68 u. 71) in etwa 2,5 cm Abſtand und befeſtigt dieſe durch geglühte Eiſendrähte, welche in 10 bis 12 cm Abſtand von einander geſpannt und je hinter dem dritten Rohrſtengel mit breitköpfigen, geſchmiedeten Rohrnägeln an die Schalung genagelt werden. Da dieſe Nagelung an verſchiedenen Drähten in verſchiedenen Rohrzwiſchenräumen erfolgt, ſo hängt ſchlieſslich jeder Stengel unbeweglich in den Drahtſchlingen. Wegen der faſt

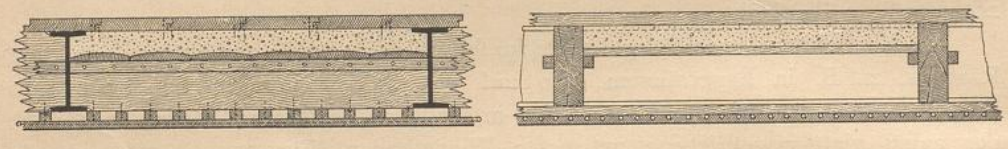
vollkommenen Raumbeſtändigkeit gut getrockneten Rohres iſt dieſes Mittel zur Befeſtigung des Putzes auf Holz beſonders geſchätzt.

In Gegenden, wo Rohr nicht zu haben iſt, treten an ſeine Stelle häufig ſog. Wurf- oder Pliefterlatten (Fig. 53), d. h. trapezförmige, etwa 12 bis 15 mm dicke und in der Mitte 20 bis 25 mm breite Tannenlatten, welche gleichfalls quer zur Faſerrichtung der Schalbretter unter dieſe genagelt werden; ſtatt ſo geſtalteter Latten verwendet man auch ſolche mit Längseinſchnitten und -Nuthen [55]). Derartige Latten ſind minder gut als Rohr, weil ſie beim Putzen feucht werden, ſich ſpäter zuſammenziehen und ſo die Haftfeſtigkeit des Putzes beeinträchtigen.

Beſſer, aber theuerer und daher noch ſeltener ſind Putzknöpfe, 12 bis 15 mm dicke abgeſtumpfte Kegel von etwa 3 cm mittlerem Durchmeſſer, mitten durchbohrt, aus gebranntem Thon, welche im Quincunxmuſter mit je einem Nagel, die kleinere Grundfläche nach oben, unter die Schalung genagelt werden.

Alle drei Mittel dienen dazu, den nun einzubringenden glatten, gefilzten und geſchlemmten Deckenputz aus Weiſskalk, Gyps oder einem Gemenge beider zu mechaniſchem Anhaften an der Holzfläche der Schalung zu zwingen. Da die loſen, unter der Schalung liegenden, raumbeſtändigen Putzſtengel die Bewegungen der Schalbretter nicht mitmachen, was bei den Putzknöpfen und bezüglich der Nagelung auch bei den Pliefterlatten der Fall iſt, ſo ergeben ſie die beſte Befeſtigung des Putzes.

Fig. 77.

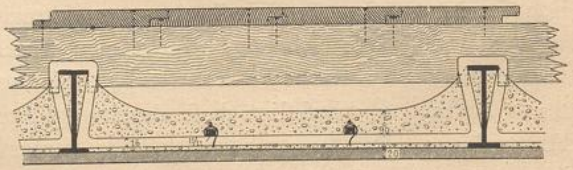


Ein Beiſpiel der Herſtellung einer geputzten Decke auf Lattung ſtatt auf voller Schalung zeigt Fig. 77, wobei weſentliche Abweichungen von dem vorſtehend Geſagten nicht vorkommen.

Es werden auch von einer Reihe von Fabriken patentirte Gewebe aus Draht und Rohrſtengeln oder Holzleiſten geliefert [56]), welche unter der Schalung, die dann auch durch eine weite Lattung erſetzt werden kann, ausgerollt und genagelt werden und eine beſonders ſchnelle und bequeme Vorbereitung derſelben für die Putzherſtellung ermöglichen; ſie liefern daſſelbe Ergebniſs, wie die mühſamere Berohrung [57]).

Von der Decke nach unten vorſpringende Unterzüge werden entweder gleichfalls mit Rohrabſchnitten winkelrecht zur Faſerrichtung gerohrt und geputzt oder glatt gehobelt, profilirt und bemalt.

Fig. 78.



Soll eine Deckenfläche geputzt werden, welche an ſich geeignet erſcheint, den Putz unmittelbar aufzunehmen, wie z. B. eine Decke aus Gypsdielen oder Spreutafeln (Fig. 72 u. 73), Beton, Gyps

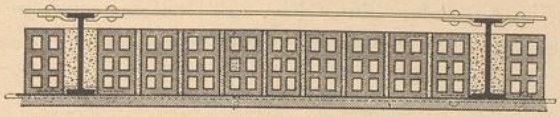
55) Vergl. Fig. 405 (S. 245) in Theil III, Band 2, Heft 1 dieſes »Handbuches«.

56) Z. B. von *Staufs & Ruff* in Cottbus, *Ernſt Loth & Co.* in Halberſtadt (D. R.-P. Nr. 10891 u. 22033) etc.

57) Siehe über ſolche Gewebe und Geflechte auch Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 203, S. 245 u. 246) dieſes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 79.



oder Backſtein (Fig. 78 bis 82) oder einer Mörtelfläche (Fig. 83), liegen in der Deckenfläche aber die Unterflächen von hölzernen oder auch eiſernen Balken zu Tage, ſo muſs man den unter den Balkenflächen anzubringenden Putz zunächſt — etwa mittels eines Streifens Dachpappe — vom Balken abſondern, damit deſſen Bewegungen unter der Wirkung von Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes, bezw. der Wärme den Putz nicht zerſtören. Auſserdem muſs ein Haftmittel unter den Balken, wie unter der Deckenſchalung angebracht werden, das bei Holzbalken aus quer gelegten kurzen Abſchnitten von Putzrohr oder Plieſterlatten, aus Thonknöpfen oder einem ſchmalen Streifen der oben erwähnten Putzgewebe beſteht, bei eiſernen Balken in der Regel aus einem an den benachbarten Deckentheilen zu befeſtigenden Streifen Drahtgewebe. Trotz dieſer Vorkehrungen machen ſich aber die Balken-

Fig. 80.

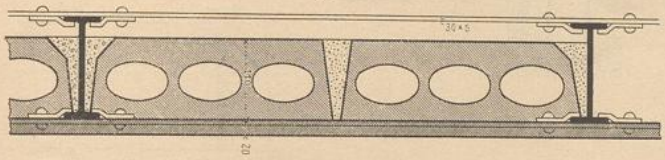


Fig. 81.

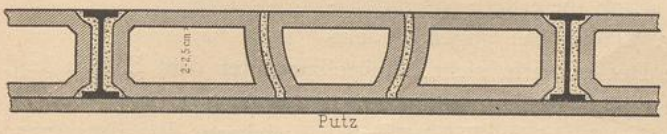


Fig. 82.

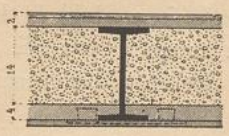
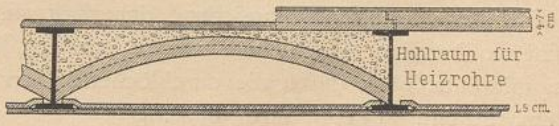


Fig. 83.



unterflächen in ebenen Putzflächen in der Regel durch Riſſe im Putz kenntlich. Man thut daher gut, das unmittelbare Anbringen von Putz unter den Balken zu vermeiden, wozu verſchiedene Mittel weiter unten angegeben werden. Iſt ein derartiges Anbringen nicht zu umgehen, ſo richte man die Deckenbemalung ſo ein, daſs unter ihr die bei guter Ausführung jedenfalls nur feinen Riſſe verſchwinden.

Das Putzen geſtattet Ausſchmückung durch Malerei und Stuck und gewährt auch einen geringen Schutz der Balken gegen den erſten Feuerangriff; einer irgend wie erheblichen Feuersbrunſt widerſteht eine ſolche Decke jedoch nicht.

43. Decken mit vertieften Putzfeldern.

2) Eine Abart dieſer Decke bildet die Decke mit vertieften geputzten Balkenfeldern (Fig. 60, S. 43), bei welcher die Deckenſchalung als Einſchub in Nuthen ausgebildet, der Grund der entſtehenden vertieften Felder geputzt, die Balkenunterſeite aber gehobelt und profilirt wird. An den Wänden und etwaigen Unterzügen kehrt die Balkenprofilirung mittels eingeſetzter Balkenwechſel wieder — ein Mittel, das auch zur Theilung allzu langer Balkenfache in kürzere Felder angewendet werden kann.

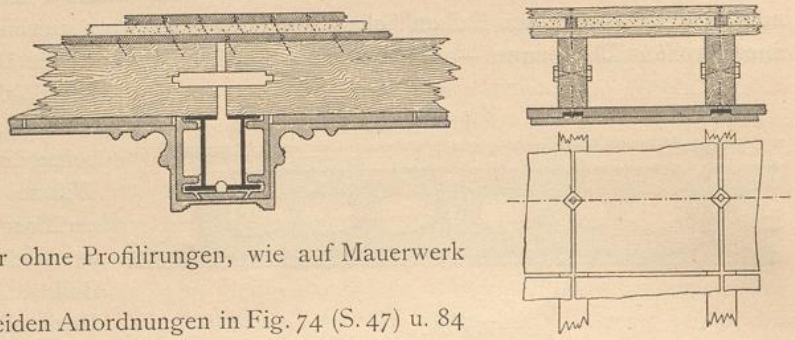
44. Putz auf Thontafeln.

3) Putz auf gebrannten Thontafeln (Fig. 74 u. 84) wird in Amerika zur Erzielung von Feuerſicherheit verwendet. Die Balkenlagen beſtehen aus eng ge-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

legten Bohlenbalken, unter welche mittels eiſerner Unterlagsplättchen unten rauhe Tafeln aus gebranntem Thon mit (Fig. 74) oder ohne (Fig. 84) Zwiſchenraum genagelt werden. Die Unterlagsplättchen verſchwinden in Vertiefungen, welche in den Mitten der unter den Balken liegenden Seiten der Thonplatten angebracht ſind. Auf dieſem Thonbelag wird der Dekkenputz mit oder ohne Profilirungen, wie auf Mauerwerk hergeſtellt [58]).

Fig. 84.



Von den beiden Anordnungen in Fig. 74 (S. 47) u. 84 ſtellt die letztere das *Syſtem White*, die erſtere das *Pioneerſyſtem* dar. Letzteres (Fig. 74) iſt das gegen Feuersgefahr wirkſamere, weil die Deckenplatte nicht unmittelbar unter dem Balken liegt, alſo die Hitze beſſer fern hält. Dieſer Abſtand wird durch Einſetzen der Befeſtigungsnägel oder Schrauben in kleine Eiſenröhrchen geſichert. Bei der Anordnung in Fig. 74 ſind aufserdem die eiſernen Befeſtigungstheile nicht blofs durch den Putz, ſondern noch durch einen Luftraum über dem Putze vor der Hitze geſchützt.

Ein Bedenken gegen beide Anordnungen liegt in der Befeſtigung einer ziemlich ſchweren Tafel mit nur wenigen Nägeln oder Schrauben von unten unter den Balken.

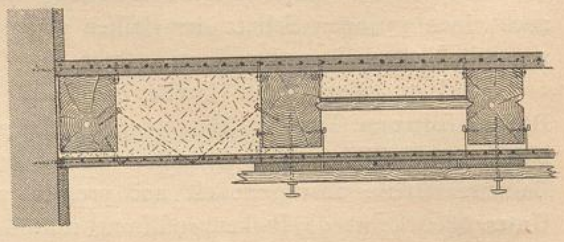
Wird die Befeſtigung hinreichend dauerhaft ausgeführt, ſo entſteht in Fig. 74 eine faſt vollkommen feuerſichere Decke, da die Balken unten durch die Thonplatten mit Putz, oben durch die durchlöcherte Terracotta für das Feuer unzugänglich gemacht ſind. (Vergl. Art. 38, S. 47.)

45. *Rabitz*-Decken.

4) In Deutſchland werden feuerſichere Putzdecken ohne Holzſchalung in neueſter Zeit nach den Patenten *Rabitz* [59]) und *Monier* [60]) und in der Anordnung von *Mack* [61]) ausgeführt.

Rabitz ſpannt in einiger Entfernung unter den Balken Drahtgewebe aus, welche mit Haken in der Wand und unter den Balken, ſo wie in jedem Balkenfache noch durch einen 10 mm ſtarken, in 50 cm Abſtand nach den beiden Nachbarbalken aufgehängten Draht gehalten ſind (Fig. 85 linkes Fach). Die etwa 1 m breiten Bahnen des Drahtgewebes werden quer unter den Balken ſtraff angezogen und zuſammengenäht. Nach einer neueren Anordnung ſpannt *Rabitz*

Fig. 85.



58) Siehe: Deutſche Bauz. 1884, S. 225. — Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 436, 450. — *American engineer* 1887, S. 230.
59) Siehe hierüber Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 271, S. 334) dieſes »Handbuches«.
60) Siehe ebendaſ., Art. 264 u. 265, S. 329—331.
61) Siehe: Wochbl. f. Baukde. 1887, S. 280. — Deutſches Baugwksbl. 1889, S. 85.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einzelne ſtarke Drähte quer unter die Balken, wie in Fig. 72 u. 73 (S. 47, Syſtem *Katz*), hängt ſie mit Drahtſchlingen und Haken an den Balken auf und legt dann ſchwächere Drähte in enger Theilung darüber hin, welche in allen Ueberkreuzungen mit Draht gebunden werden (Fig. 85 rechtes Fach).

Auf einzelne unter die Balken geſchraubte Lagerbretter wird nun eine Bretterlage von etwa 15 mm Dicke unter das Drahtnetz gelegt (Fig. 85 rechts) und der Patentputz, vorwiegend aus Cement beſtehend, 2,5 bis 3,0 cm ſtark, eingeſtampft. Nach kurzer Zeit iſt die Maſſe tragfähig genug, um das Abnehmen der Rüſtung zu geſtatten, worauf die Unterſeite glatt gerieben wird. Die Tragfähigkeit dieſes Putzes wird ſo groſs, daſs eine leichte, die Balkenfache füllende Bettung ohne Weiteres darauf gebracht werden kann. *Rabitz* ſchlägt zu dieſem Zwecke Torfgrus vor (ſiehe Art. 27, S. 39 u. Fig. 85 links); es iſt jedoch jede andere Fachausfüllung auch verwendbar (Fig. 85 rechts, Einſchubdecke). Der Luftraum zwiſchen Putz und Balken ſchützt im Vereine mit der erheblichen Widerſtandsfähigkeit des Mörtels gegen Feuer die verdeckten Holztheile vollſtändig, wie wiederholt bei Feuersbrünſten und durch Verſuche nachgewieſen iſt [62]).

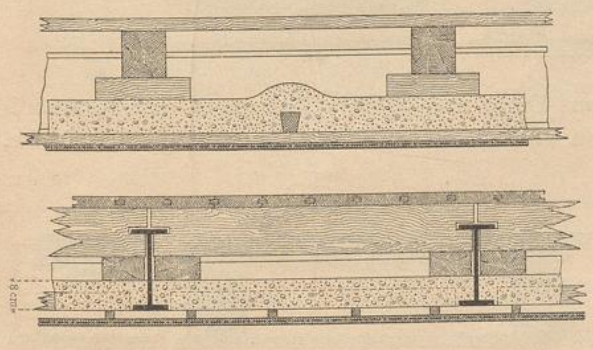
Zwiſchen den umſchloſſenen Drähten und dem Putzmörtel bildet ſich eine ſehr innige, wie von manchen Seiten behauptet wird, nicht bloſs mechaniſche, ſondern auch chemiſche Verbindung, und da das Wärmeausdehnungs-Verhältniſs des Drahtes von dem des Cementes nur unerheblich abweicht, ſo wirken beide Stoffe gut zuſammen, und es entſteht eine Widerſtandsfähigkeit, welche weit höher iſt, als die der gleich dicken Cementplatte.

Was die Lage des Drahtes in der Mörtelplatte anlangt, ſo ergiebt ſich aus dem Umſtande, daſs der Draht vorwiegend Zugbeanſpruchung, der Cement Druckbeanſpruchung zu widerſtehen vermag, daſs man den Draht ſo nahe an die gezogene Aufsenfläche der auf Biegung beanſpruchten Platte legen ſoll, wie dies mit Rückſicht auf den Schutz des Drahtes vor Feuer zuläſſig erſcheint, d. h. etwa zwiſchen $^1/_4$ und $^1/_3$ der Dicke der Platte von der gezogenen Seite aus gemeſſen. Der Deckenputz hat jedoch, wenn überhaupt, ſo geringe Laſten zu tragen, daſs man hier den Draht oder das an ſich weniger tragfähige Drahtgewebe unbedenklich in die Mitte der Plattendicke legen kann.

46. *Monier*-Decken.

5) Der Putz nach *Monier* unterſcheidet ſich von dem nach *Rabitz* weſentlich nur dadurch, daſs die Platten mit rechtwinkelig überkreuzter und gebundener Drahteinlage nicht im Gebäude, ſondern geſondert hergeſtellt und fertig eingebracht werden. Es iſt ſomit der Putz nach *Monier* nicht fugenlos, und die Befeſtigung unter den Balken wird eine andere, wie bei *Rabitz*, etwa die in Fig. 74 u. 84 dargeſtellte ſein müſſen. Wie bei dieſen Anordnungen dienen dünne *Monier*-Platten auch häufig nur als Träger des eigent-

Fig. 86.



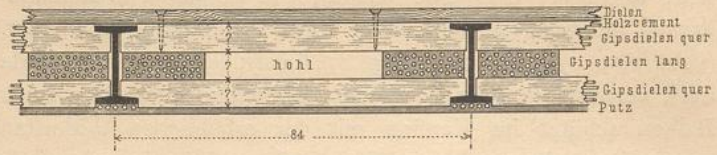
62) Z. B. beim Brand in der Marine-Ausſtellung zu Cöln im Sommer 1890.

lichen Putzes, welcher auf ihrer Unterfeite angebracht wird; folche Verwendung der *Monier*-Platten [63]) zeigt Fig. 83; das Anbringen von *Rabitz*-, bezw. *Monier*-Putz unter einer Gypsfüllung auf Latten ift in Fig. 86 dargeftellt. Der Preis diefer Putzarten beträgt für 1 qm je nach Stärke und örtlichen Verhältniffen 1,0 bis 1,5 cm dick 2,5 bis 3,0 Mark, 5 cm dick bis 6 Mark fertig verlegt.

47. Decken mit Gypsdielen.

6) Nach *Mack* (fiehe Theil III, Bd. 2, Heft 3, Art. 171 [S. 196] u. Art. 201 [S. 243], fo wie Art. 37 [S. 46] im vorliegenden Hefte diefes »Handbuches«) werden die Gypsdielen unter die Balken gefchraubt, wobei auch die in Fig. 74 u. 84 angegebenen Verfahren zur Erzielung eines Luftraumes zwifchen Putz und Balken verwendbar find.

Fig. 87.



Die etwa 3 cm dicken Platten können bei gutem Verftriche der Fugen und Schrauben felbft die Deckenfläche bilden oder fie können noch mit einer dünnen Putzfchicht überzogen werden. Eine folche Decke ift in Fig. 87 veranfchaulicht.

48. Decken mit Spreutafeln.

7) Auch die Spreutafeln von *Katz* (vergl. Theil III, Bd. 2, Heft 1 diefes »Handbuches«, Art. 172 [S. 196], fo wie Art. 37 [S. 46] im vorliegenden Hefte) geftatten, nach Fig. 72 auf Drahtnetz mit der rauhen Seite nach unten verlegt, das unmittelbare Anbringen von Deckenputz, deffen Anhaften durch das Drahtnetz noch verbeffert wird.

Sowohl bei Gypsdielen wie bei Spreutafeln find die etwa fichtbar bleibenden Balkenunterflächen vor Aufbringen des Putzes in der in Art. 41 (S. 49) befprochenen Weife vorzubereiten (Fig. 72 u. 87).

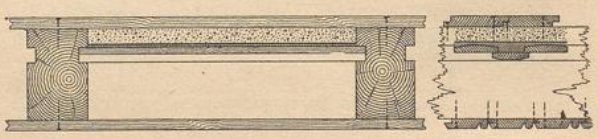
Durch den Putz wird ein Schutz der Gypsdielen und Spreutafeln vor Feuer von unten wohl gefchaffen; immerhin wird bei ftarkem Feuer ein Zerfallen auch über dem durchhitzten Putze noch eintreten, und es können daher die beiden letzten Deckenbildungen nicht den gleichen Sicherheitsgrad gewähren, wie eine *Rabitz*- oder *Monier*-Decke. Auch die Tragfähigkeit beider ift erheblich geringer, als die des

Fig. 88.



fehr widerftandsfähigen Gefüges aus Draht und Mörtel. Nur die *Katz*'fche Anordnung nach Fig. 72 (S. 47) giebt ein dem *Rabitz*'fchen ähnliches Gefüge der Decke, mit der Verfchlechterung jedoch, dafs die Drähte ganz in die Oberkante des Putzes fallen und nur mangelhaft umhüllt werden.

Fig. 89.

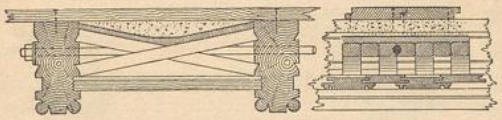


49. Getäfelte Decken.

8) Die getäfelte Decke entfteht, wenn man eine ge-

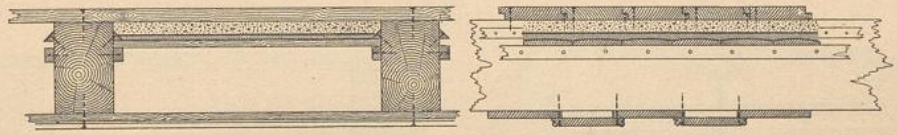
[63]) Ueber *Monier*-Platten fiehe auch: Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 266, S. 331) diefes »Handbuches«.

Fig. 90.



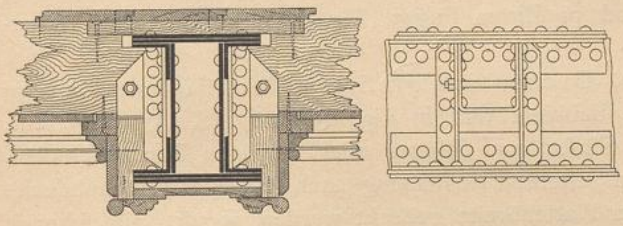
hobelte Schalung ohne Putz unter die Balken bringt (Fig. 88 u. 89). Dieſelbe bedarf der Verzierung, erhält daher an der Falzung angeſtoſsene Profile (Fig. 88), oder es werden profilirte Leiſten über die Fugen genagelt (Fig. 89). Man kann die Schalung auch als Stülpdecke aus zwei Lagen von Brettern herſtellen, welche profilirt und geſpundet ſind, wie in Fig. 90, oder über einander greifen (Fig. 91).

Fig. 91.



Die Täfelung kann in weniger einförmiger Weiſe auch durch geometriſche Figuren aus untergenagelten Profilleiſten geſchmückt werden, wobei jedoch die Bretterfugen die Felder der Figuren in unangenehmer Weiſe durchſchneiden. Es iſt daher beſſer, die ſeitlich genutheten Leiſten unmittelbar unter die Balken, bezw. ſo weit nöthig unter den Balkenwechſel zu nageln und dann geleimte Brettertafeln ſo in die Nuthen einzulegen (Fig. 92), daſs ſie ſich frei zuſammenziehen und ausdehnen können; man erzielt in ſolcher Weiſe gut zu bemalende Feldflächen ohne Fugen.

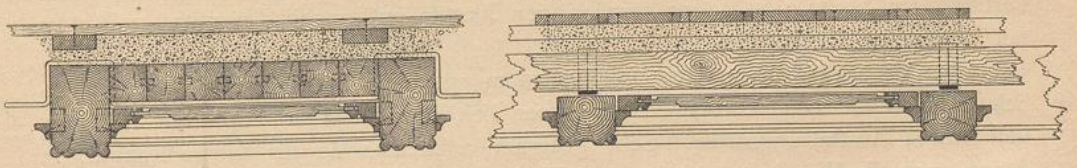
Fig. 92.



9) Die Caſſetten-Decke (Fig. 93) theilt zunächſt durch zwiſchen die Balken geſetzte Wechſel die Deckenfläche in regelmäſsige, meiſt rechteckige Felder ein, um welche die Profilirung der Balken und Wechſel als Rahmen herum läuft. An die Seitenflächen der Balken und Wechſel werden ringsum laufende Profilleiſten geſchraubt, auf welche dann die Bodenfüllungen der entſtandenen Caſſetten meiſt in geſtemmter Arbeit, ſonſt als

50. Caſſetten-Decken.

Fig. 93.



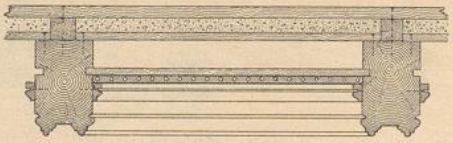
glatte geleimte Tafeln loſe aufgelagert werden. Die Füllungen können ſchlieſslich durch Malerei, durch geſchnitzte oder durch aus Gyps-, bezw. Zinkguſs hergeſtellte Ornamente ausgeſchmückt werden. Reiſsen der Bretter iſt durch die bewegliche Lagerung verhütet.

Auch mittels Stuck kann man die Ausſchmückung der von den Balken und Wechſeln gebildeten Caſſetten erreichen, wobei aber Balken und Wechſel wie die Füllungen berohrt werden müſſen, wenn man vollſtändig geputzte Flächen haben

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

will. Eine Caſſetten-Decke, bei der die Rahmen von den Balken und Wechſelprofilen nebſt angeſchraubten Profilleiſten und der Boden durch glatten Putz gebildet werden, zeigt Fig. 94. Dieſe Deckenausbildung iſt von allen die reichſte.

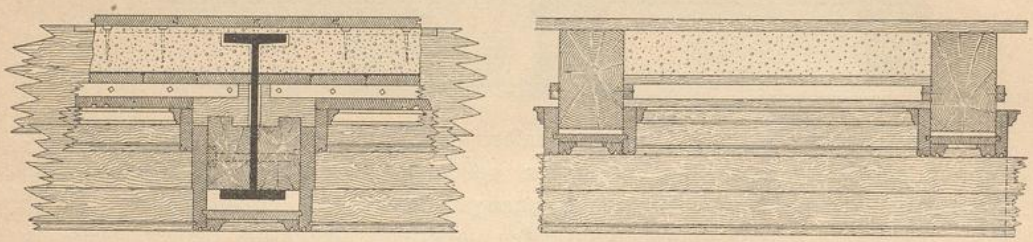
Fig. 94.



51. Einſchubdecken.

10) Die Einſchubdecke legt die Täfelung zwiſchen die Balken auf Leiſten (Fig. 95) oder in Nuthen (Fig. 90), ſo daſs die zu hobelnden und zu profilirenden Balken vor der Täfelung vortreten und lange Balkenfelder bilden, deren Böden

Fig. 95.



von gehobelten Brettern mit profilirten Fugen oder Fugenleiſten gebildet werden. Auch hier kann man ſtatt der einfachen Einſchubdecke eine Stülpdecke aus doppelter Bretterlage mit geſpundeten und profilirten Fugen (Fig. 90) oder einfacher Ueberdeckung verwenden.

52. Decken aus glaſirten Thonfliefen.

11) Fayence-Decken[64]), Decken aus glaſirten Thonfliefen, kommen in Frankreich und Belgien vor; Beiſpiele ſind in Fig. 65 u. 67 (S. 45) dargeſtellt. Die Fliefen können auſser der Glaſur auch Blätter oder ſonſtigen Formenſchmuck tragen. In der durch Fig. 67 dargeſtellten Ausbildung nach Art einer Einſchubdecke müſſen die Balkenfache mit einer Plattenbreite gedeckt werden, werden alſo ſchmal; in Fig. 65 iſt eine gröſsere Weite durch eine Art von Plattenwölbung erreicht, welche durch Anbringen entſprechender Kämpfervorſprünge oder -Leiſten an Holzbalken auch bei dieſen verwendbar ſind.

Um auch unter hölzernen Balken ebene Fayence-Decken anbringen zu können, ſo daſs die Balken nicht, wie in Fig. 67, vortreten, befeſtigt *E. Müller* in Jory unter den Balken zunächſt einen Roſt aus Guſs- oder Schmiedeeiſen, in deſſen Maſchen die bunten verzierten Platten eingelegt werden. Die zwiſchen den Platten vortretenden Stege des Roſtes werden den Platten entſprechend verziert und etwa mit Bronzefarbe behandelt.

Derartige Decken beſitzen, mit Luftraum unter die Balken gelegt, einen ziemlich hohen Grad von Feuerſicherheit, eignen ſich aber für Wohnräume nur bei ganz beſtimmten Ausſtattungsarten. Sehr geeignet erſcheinen ſie für ſolche Räume, in denen auch die Wände ganz oder zum Theile mit glaſirten Fliefen (*tiles*) belegt ſind, wie dies z. B. in manchen Erfriſchungsräumen engliſcher Reſtaurants und Vergnügungsanlagen gebräuchlich iſt.

---

64) Siehe: Polyt. Journ., Bd. 262, S. 284. — Sprechſaal 1886, S. 721. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

Literatur

über »Balkendecken in Holz«.

RINECKER, F. Zimmermanns-Arbeiten in Nord-Amerika. Zeitſchr. d. bayer. Arch.- u. Ing.-Ver. 1869, S. 76.
Etagengebälke aus dem Mittelalter. HAARMANN's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1877, S. 9.
Planchers en bois. La ſemaine des conſt. 1877—78, S. 314.
CHERY, J. *Conſtructions en bois et en fer. 3e partie, 1e ſection: Diſpoſitions économiques des traverſes en bois pour planchers.* Paris 1879.
VOGDT. Hölzerne Balkenlagen über gröſseren Räumen. Deutſche Bauz. 1879, S. 149.
KORTÜM. Ueber Holzbalkendecken in Wohngebäuden. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 370.

3. Kapitel.

Balkendecken in Holz und Eiſen.

53. Ueberſicht.

Es ſind hier ſolche Decken zu beſprechen, in deren tragenden Theilen Holz und Eiſen ſich in der Laſtaufnahme vereinigen. Sie ſind gegenüber den übrigen Deckenarten ſelten, da Dauer und Feſtigkeit der beiden Bauſtoffe zu ſehr verſchieden ſind, um durch ihre Vereinigung zu wirklich zweckmäſsigen Anordnungen zu führen.

Die ſcharfe Trennung der drei, bezw. vier Beſtandtheile der Decke iſt hier nicht in gleicher Weiſe, wie im vorhergehenden Kapitel durchzuführen; es ſollen daher Beiſpiele von Geſammtanordnungen in allen ihren Theilen gleichzeitig vorgeführt werden.

Die bei weitem meiſten hierher gehörenden Conſtructionen verwenden das Holz zur unmittelbaren Unterſtützung des Fuſsbodens, während die eigentlichen Deckenträger aus Eiſen gebildet werden.

54. Gewöhnliche Anordnung.

Die am häufigſten, insbeſondere in Deutſchland, vorkommende Anordnung iſt die in Art. 4 (S. 7) bereits berührte, bei welcher die hölzernen Balken, welche für die vorhandene lichte Weite zu geringe Querſchnittsabmeſſungen haben, auf eiſerne Unterzüge — meiſt I-Träger — gelagert werden. Die Balkenlage, die Ausfüllung der Balkenfache, die Lagerung des Fuſsbodens und die Deckenunterfläche werden in einer der im vorhergehenden Kapitel vorgeführten Weiſen ausgebildet; der eiſerne Unterzug ſpringt in ganzer Höhe vor der Deckenunterfläche vor.

Wenn man an den Unterflächen der Holzbalken in gewöhnlicher Weiſe die Bretterſchalung, die Berohrung und den Putz anbringt, und wenn dieſe Balken unmittelbar auf den I-Trägern aufruhen, ſo entſteht der Miſsſtand, daſs der obere Flanſch der letzteren im Deckenputz völlig verſchwindet, was unconſtructiv und unſchön ausſieht. Man lege deſshalb zwiſchen die Unterflächen der Balken und den oberen Flanſch des Unterzuges Brettſtücke von ſolcher Dicke ein, daſs die Oberkante des letzteren bündig mit der Putzunterkante zu liegen kommt.

55. Anordnungen von geringer Conſtructionshöhe.

Auch die nunmehr vorzuführenden Decken-Conſtructionen gehören zu jenen Anordnungen, bei denen ſchwache Holzbalken ſich auf eiſerne Deckenträger ſtützen. Beiſpiele der hierbei in das Auge gefaſſten Ausbildungen zeigen Fig. 65, 77, 78, 84, 86, 92, 95, 97 u. 99.

Fig. 92 (S. 55) entſpricht dem Falle, daſs über einem weiten Raume eine Decke hergeſtellt werden ſoll, welche möglichſt wenig Höhe wegnimmt. Deſshalb ſind niedrige, ſtarke Kaſtenträger faſt unmittelbar unter die Fuſsbodenbretter gelegt, welche in ſeitlich angenieteten Blechkaſten die gewöhnlichen Holzbalken aufnehmen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Füllung der Balkenfache, welche nach einer der im vorhergehenden Kapitel (unter b) angegebenen Weifen erfolgt, ift nicht dargeftellt; dagegen ift angedeutet, wie die Fufsbodenbretter über dem Eifen der Träger zu lagern find und wie der niedrige Vorfprung des Trägers nach unten durch Ausbildung einer getäfelten Decke verdeckt werden kann. Der ganze Träger fteckt in einem aus profilirten Leiften gebildeten Kaften, welcher durch auf die Gurtung des Trägers greifende eingepafste Klötze getragen wird. Diefe Klötze werden durch die unter die Balken gefchraubten Tragleiften der Deckentäfelung am Herausfallen verhindert; eine unmittelbare Verbindung zwifchen Holz und Eifen, welche Anbohren des Eifens bedingt hätte, ift nicht vorgenommen.

In Fig. 84 (S. 52) liegen die eifernen Träger ganz unter den über ihnen geftofsenen und verklammerten Bohlenbalken. Auch hier ift ein breiter Kaften unter der Balkenlage nach amerikanifchem Mufter hergeftellt, indem die doppelt angeordneten Träger zunächft mit in Cementmörtel aufgefetzten, dem Trägerquerfchnitte angepafsten gebrannten Thonplatten verkleidet und darüber mit profilirtem Gypsputze bedeckt wurden [65]). Es ift fo ein wirkfamer Schutz der Träger gegen Feuer erzielt, welche durch unmittelbaren Angriff des Feuers erfahrungsmäfsig fchnell, unter Umftänden fchneller als ftarke Holzbalken zerftört werden [66]).

Das eigenartige Anbringen von Thonfliefen nach *Syftem White* unter den Holzbalken als Träger des Putzes der Decke wurde fchon in Art. 44 (S. 51) befprochen.

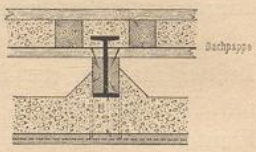
In Fig. 86 (S. 53 [67]) find zwifchen die enger gelegten Eifenbalken fchwache Holzträger unter Einfchneiden der Trägerflanfche in die Hirnenden eingefetzt. Die Fachausfüllung ift durch eine 8 cm ftarke Lage eines Gemenges von Gyps und Steinbrocken gebildet, gegen welche die kleinen Traghölzer durch keilförmige Holzeinlagen abgefangen find.

Letztere dienen zugleich dazu, die Hölzer in die genau richtige Höhenlage zu bringen. Die Hölzer tragen einen gefederten Fufsboden, deffen Bretter parallel zu den eigentlichen (Eifen-)Balken gelegt find. Um eine Putzdecke auf Rohr oder nach *Rabitz*, bezw. *Monier* anbringen zu können, ift jedesmal mitten zwifchen zwei Holzträgern ein Abfchnitt einer hölzernen Schwalbenfchwanzleifte zwifchen den unteren Flanfchen der I-Balken in den Gyps eingeftampft, unter welchen dann die den Deckenputz tragenden Latten für Rohrputz in enger, für *Rabitz*-, bezw. *Monier*-Putz in weiterer Theilung genagelt werden können. Die Koften diefer Decke betrugen 10,2 Mark für 1 qm.

56. Vorfchläge von *Stolz*.

Stolz [68]) macht für derartige Decken die in Fig. 96 u. 97 dargeftellten Vorfchläge [69]), welche von dem Gefichtspunkte ausgehen, derartige Decken nach den von ihm gefammelten Erfahrungen thunlichft feuerficher zu geftalten. Nach *Stolz* droht den Decken von oben her wenig Gefahr, da, wie fchon früher erwähnt wurde, felbft bei ftarken Feuersbrünften hölzerne Fufsböden wegen Mangels an Luft höchftens ankohlen, wenn nur kein anfachender Zug durch die Decke felbft kommen kann. Höchft gefährdet find dagegen die Deckenunterflächen, und in diefen befonders die Rückfprünge, welche neben vorfpringenden Theilen (Unterzügen u. dergl.) entftehen. Solche Vorfprünge find daher zu vermeiden; Unterzüge müffen alfo in der Deckendicke thunlichft verfteckt werden, wenn diefe auch dadurch wachfen follte.

Fig. 96.



Stolz führt in diefer Beziehung an, dafs ein 75 cm unter der Decke liegendes Ofenrohr die Einfchubbretter in den Balkenfachen entzündete, obwohl an der unter den Balken liegenden Bretterfchalung keine Brandfpuren zu finden waren. Aus gleichem Grunde ift es auch von befonderer Wichtigkeit, die Träger von unten her feuerficher einzuhüllen, da fie durch Erhitzen ihre Tragfähigkeit verlieren.

---

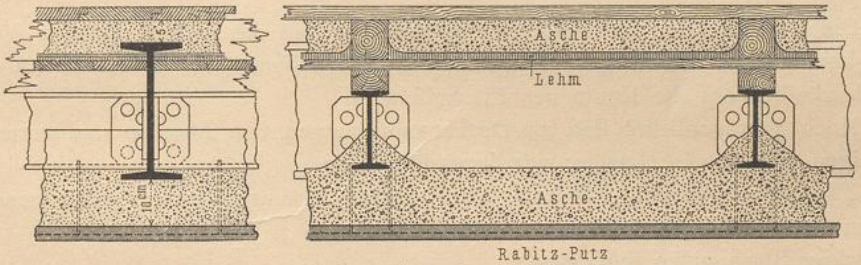
65) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 436. — *American engineer* 1887, S. 230.
66) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 417.
67) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 43.
68) Der derzeitige Brand-Director von Magdeburg.
69) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 96 ſtellt eine gewöhnliche Zimmerdecke dar, bei der die Träger von oben und unten durch Aſchenfüllung, und zwar oben weniger als unten, geſchützt ſind. Zur Stützung der unteren Aſchenlage iſt eine *Rabitz*-Decke mindeſtens 10 cm unter den Balken aufgehängt, und an dieſen iſt die Aſche ſo weit aufgeſchüttet, daſs der Balken nebſt den auf den unteren Flanſch geſetzten Tragleiſten für den Einſchub noch genügend geſchützt wird. Der Einſchub liegt ſo tief, daſs auch der Balkenkopf noch ganz in Aſche gehüllt iſt. Die Fuſsbodenlager ſtehen ſo weit von den Balken ab, daſs ein die erſteren ergreifender Brand letztere noch nicht erheblich erhitzen kann. Auf den Einſchub und unter die Fuſsbodenlager iſt eine Lage von Dachpappe gebracht, um das Durchrieſeln der oberen Aſchenlage durch den Einſchub und das Entſtehen von Luftzug von unten durch die Decke zu verhindern.

Fig. 97 zeigt eine gleiche Decke, deren weite Spannung aber die Anordnung eines ſtarken Unterzugträgers nöthig gemacht hat. Die Eiſenbalken ſind innerhalb

Fig. 97.



1/15 n. Gr.

der Höhe des Unterzuges an deſſen Steg befeſtigt und von unten eben ſo, wie in Fig. 96, derart geſchützt, daſs 10 cm Aſche unter der Unterzugkante bleiben. Um nun auch die obere Gurtung des Unterzuges genügend einzuhüllen, ſind Polſterhölzer auf die Balken gelegt, ſo daſs der hier mit Lehmſchlag ſtatt mit Dachpappe eingedichtete Einſchub der oberen Gurtung des Unterzuges nahe liegt und die Verfüllung der Fuſsbodenlager dieſen deckt. Ein ſchwacher Punkt bleibt die Ueberkreuzung der Lagerhölzer mit dem Unterzuge; doch iſt die hier entſtehende Gefahr wegen der geringen Ausdehnung der gefährdeten Stelle nicht erheblich. Auch daſs der Brand durch die Holztheile bis zu den oberen Gurtungen der Balken durchdränge, iſt nicht zu befürchten.

So ſorgfältig dieſe Decken mit Rückſicht auf Sicherung gegen Feuer und Auswahl billiger Bauſtoffe durchgebildet ſind, ſo iſt nicht zu verkennen, daſs ſie durch ihre das gewöhnliche Maſs (beſonders bei Anordnung von Unterzügen) weit überſchreitende Dicke und den dadurch entſtehenden Mehraufwand an Mauerwerk in den Wänden nicht gerade ſparſam genannt werden können.

57. Franzöſiſche Anordnungen.

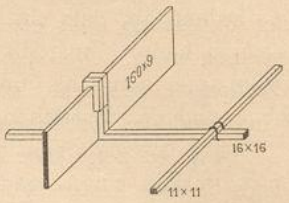
In Frankreich ſind derartige Deckenausbildungen [70]) ſehr beliebt. Zunächſt iſt eine ganze Reihe derſelben nach verſchiedenen Erfindern genannt; dieſelben zeigen wenig Abweichungen von einander und ſind wegen zu kleiner Einzeltheile und ſchwieriger Zuſammenſetzung nur in beſchränktem Maſse zur Ausführung gekommen. Es gehören hierher die Syſteme *Angot*, *Bellemare*, *Batelier*, *Jeannette*, welche die Träger aus möglichſt leichten Band- und Quadrateiſen bilden. Ueber die Träger

[70]) Siehe: *Annales induſtr.* 1883—II, S. 5 u. ff.

ſtrecken ſich ſchwache Balken zur Aufnahme des Fuſsbodens, und die Ausfüllung der Balkenfache wird aus Gyps-Beton auf einem Roſte von dünnen Quadrateiſen gebildet.

Auf die Dauer ſcheint ſich nur eine derartige Conſtruction zu behaupten, die von *Vaux* (Fig. 98), welche weit verbreitet iſt. Die Träger beſtehen aus mit $^1/_{10}$ Pfeil nach oben durchgebogenen, hochkantig geſtellten Flacheiſen, welche in den Wänden verankert ſind.

Fig. 98.



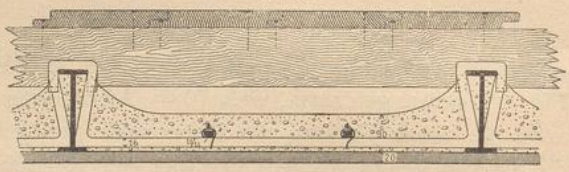
Gegen einander werden dieſe Bänder durch geſchmiedete Bügel aus Quadrateiſen abgeſteift, ſo daſs ſie nicht kippen können. Die Querbügel tragen zwiſchen je zwei Balken von 75 cm Abſtand zwei kleine quadratiſche Eiſenleiſten mit Draht feſt gebunden, und an das ſo gebildete Leiſtennetz hängt man die Deckenfüllung aus feinem Gyps-Beton, welcher, weich eingebracht, auf den umhüllten Leiſten erhärtet (ſiehe auch Fig. 78, S. 50 u. Fig. 65 links, S. 45). Ueber die Flacheiſenbalken ſtreichen in der Querrichtung ganz ſchwache Balken oder Lagerhölzer, und dieſe nehmen dann die Fuſsbodenbretter auf. Unter dem unten auf Bretterſchalung eben abgeglichenen Gyps-Beton wird der Gypsputz der Decke aufgetragen.

Die weſentlichſten Mängel dieſer Anordnung ſind die äuſserſt geringe ſeitliche Steifigkeit und die ſchwierige Auflagerung der Flacheiſenträger, ſo wie die Lagerung der Holzbalken auf die Kante des Flacheiſens.

Noch gebräuchlicher ſind die Deckenanordnungen von *Thuasne* und namentlich diejenigen von *Rouſſel*, letztere vorwiegend in Paris.

Thuasne verwendet I-Balken, über deren Gurtungen behufs Einſetzens der kleinen quadratiſchen Querſtäbe rechteckige Blechmuffen geſchoben werden.

Fig. 99.

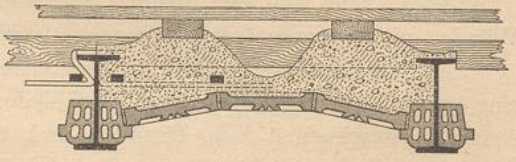


Dieſe Muffen ſind behufs Aufnahme der Querſtäbe quadratiſch gelocht, und nach Einſchieben der Stäbe werden Splinte in dem Zwiſchenraume zwiſchen Muffe und Trägerſteg durch die gelochten Stabenden geſchoben. Die Querſtäbe tragen, wie bei *Vaux*, mit Draht gebundene Querleiſten, und die Zwiſchendecke wird, wie bei allen derartigen franzöſiſchen Syſtemen aus Gyps-Beton, in den Stabroſt eingeſtampft.

Das Syſtem *Rouſſel* (Fig. 99) unterſcheidet ſich gegen jenes von *Thuasne* nur dadurch, daſs die Querſtäbe, wie bei *Vaux*, bügelartig über die I-Träger gebogen werden und dieſe ſehr wirkſam gegen einander abſteifen. Auch hier hängt die Gypsdecke am Roſte der Quer- und Längsſtäbe.

Auch Fig. 100 zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch der Gyps-Beton nach unten durch Fayence-Flieſen (vergl. Art. 52, S. 56) abgeſchloſſen iſt. Für letztere wird ein gutes Widerlager durch Hohlziegel gebildet, welche, auf die untere Gurtung der Balken geſetzt, dieſer zugleich eine beſſere Wirkung durch Vergröſserung des vorſpringenden Körpers verleihen.

Fig. 100.



$^1/_{15}$ n. Gr.

Da dieſes Flieſengewölbe eine erhebliche Tragfähigkeit beſitzt, ſo wird dieſe Decke auch ohne den Roſt von Eiſenſtäben gebildet, welcher deshalb nur in die linke Hälfte eingetragen iſt.

Oben ruhen auf den in gröſseren Abſtänden gelagerten hölzernen Querbalken die Fuſsbodenlager wieder der Länge nach, ſo daſs die Bretter wieder winkelrecht zu den Balken laufen. Der Gyps-Beton umhüllt ſowohl die Querbalken, wie die Längslager wenigſtens ſo weit, daſs ſie unverſchieblich liegen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei allen diefen Syftemen ift die Theilung der Querftäbe etwa 75 cm, die der Längsftäbe etwa 25 cm. Sie tragen kleine Lagerbalken auf den Trägern und den Gypsputz der Decke ohne Zwifchenmittel unter der Gyps-Betonfüllung. Unter den Trägerflächen erhält der Putz keine befondere Befeftigung.

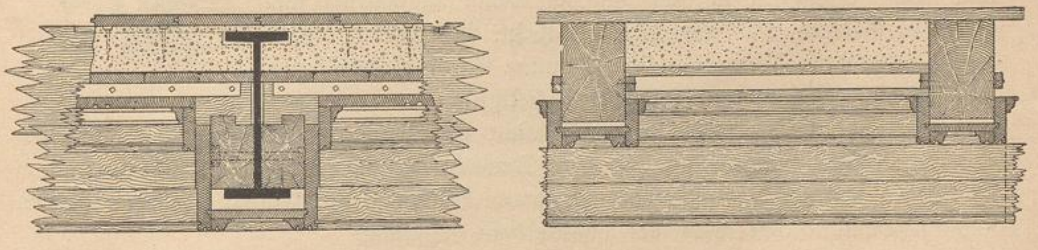
Die kleinen Querbalken bleiben jedoch auch wohl weg, und dann werden die Längslager dicht neben die Eifenbalken unmittelbar in den Gyps-Beton gelagert, welcher dazu tragfähig genug ift, namentlich wenn er das Stabgerippe enthält, oder auf Fliefenbogen ruht. Da die Laften dann nicht mehr von den Holztheilen, fondern durch die Gypsfüllung auf die Balken übertragen werden, fo bildet diefe Ausbildung der franzöfifchen Gypsdecke ftreng genommen fchon ein Beifpiel der in Kap. 4 zu befprechenden Decken aus Eifen und Stein oder Mörtel.

Dafs diefe Gypsdecken wegen des Zerfallens des Gypfes in der Hitze nicht zu den feuerficheren zu rechnen find, wurde bereits in Art. 36 (S. 45) erwähnt. Aus diefem Grunde find auch die den Träger begleitenden Kämpferftücke in Fig. 100 nicht fo geftaltet, dafs fie den unteren Trägerflanfch ganz einhüllen. Es wäre jedoch diefe noch fpäter (in Kap. 4, unter b) zu befprechende Formung auch hier wohl am Platze, weil die Fliefendecke auch nach Zerfallen des Gypfes noch als ziemlich widerftandsfähig anzufehen ift, wenn nur die Balken ihre Tragfähigkeit nicht durch Erhitzen verlieren.

58. Neuere deutfche Anordnungen.

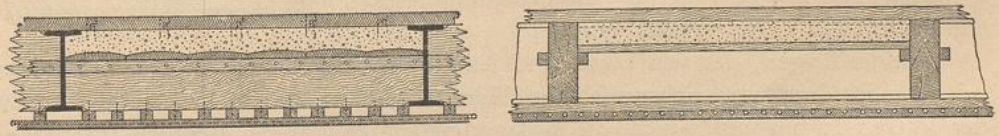
Eine weitere deutfche Anordnung diefer Gruppe zeigt Fig. 101 [71]), welche der in Fig. 92 (S. 55) dargeftellten ähnlich ift. Die möglichft in der Decke verfteckten I-Unterzüge tragen über dem unteren Flanfch an den Steg gebolzte Lagerhölzer für

Fig. 101.



die Holzbalken. An die Lagerhölzer find zugleich die den unteren Theil der Unterzüge verdeckenden Verfchalungen aus profilirten Brettern angebolzt; in übereinftimmender Weife find auch die unteren Balkentheile behandelt.

Fig. 102.



Auch Fig. 102 [72]) zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch die enger gelegten Eifenbalken ganz in der Decke verfchwinden. Die Querbalken aus Bohlen lagern unmittelbar auf dem unteren Flanfch.

71) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 410.
72) Siehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 298.

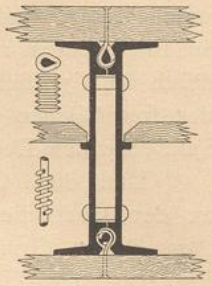
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

59. Anordnungen mit besonders geformten Trägern.

Für die Ausbildung der Decken mit Eisenträgern und Holz sind auch besondere Trägerformen eingeführt worden.

Der Träger von *Gocht*[73]) in Chemnitz (Fig. 103), gewalzt von der Königin-Marienhütte in Cainsdorf (18 cm hoch aus Flusseisen) mit einem Widerstands-Moment von 132 (in Centim.) bezweckt die unmittelbare Nagelung der Fussbodenbretter und der Deckenschalung an die Eisenträger.

Fig. 103.



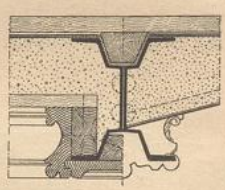
Zu diesem Zwecke wird in die Hohlkehlen, welche beim Zusammennieten der getrennt gewalzten Trägerhälften entstehen, eine birnförmige, gerippte Gussleiste oder ein mit Draht umwickeltes dünnes Rundeisen (Fig. 103) vor dem Vernieten eingelegt. Treibt man nun Nägel durch die Bretter in die Hohlkehlen, so biegen sich diese um die Einlagen herum und werden zu Befestigungshaken. In halber Höhe haben die Stege kleine Ansätze zur Auflagerung von Einschubbrettern, welche die Füllung aufnehmen, so dass die Gesammtanordnung einer hölzernen Balkenlage völlig entspricht.

Dieser Träger wurde in der Nicolai-Apotheke zu Chemnitz, im Block *G* der Lagerhäuser der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Gesellschaft und in den Erfrischungsräumen *Meins* in Hamburg verwendet.

Der Träger von *Klette*[74]), gleichfalls von der Königin-Marienhütte in Cainsdorf (21 cm hoch, 29,8 kg für 1 m schwer), mit einem Widerstands-Moment von 225 (in Centim.) gewalzt, ist in Fig. 104 u. 105 in älterer und neuerer Gestalt dargestellt.

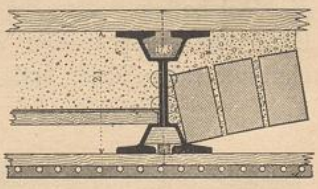
Fig. 104 zeigt links die Anordnung einer hölzernen Einschubdecke auf Lagerhölzern, welche vom unteren Flansch getragen werden und zugleich eine Verschalung des Trägers aufnehmen. Die Fussbodenbretter ruhen auf kleinen Lagerhölzern, welche mit Asphalt in die obere Gurtung eingesetzt sind. Die Füllung ist in gewöhnlicher Weise angeordnet und unter den Brettern mit Asphaltfilz abgedeckt. Die untere Trägerverschalung ist noch an einer in die untere Gurtung eingelegten und seitlich verschraubten Holzleiste befestigt.

Fig. 104.



In Fig. 105 ist an der neueren Gestalt des Trägerquerschnittes links eine gewöhnliche Einschubdecke mit geputzter Deckenschalung gezeigt. Der Hohlraum in der oberen Gurtung ist mit einer nagelbaren Mischung aus Asphalt und Holzabfällen heiss angefüllt, so dass auch hier unmittelbare Nagelung der Fussbodenbretter, wie bei *Gocht*, ermöglicht ist; die Träger werden mit dieser Füllung angeliefert. In die untere Gurtung lassen sich, zufolge der gewählten Form des Gurtungsquerschnittes, Holzklötze fest einklemmen, unter denen die Deckenschalung befestigt wird. Gelegenheit zur Auflagerung der Einschubbretter giebt der obere Absatz der unteren Gurtung.

Fig. 105.



Beide Träger, der von *Gocht* und jener von *Klette*, namentlich der letztere, zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Widerstands-Momente und breite Lagerflächen der unteren Gurtung aus, welche die Auflagerung auf die Wände wesentlich erleichtern. Beide sind wiederholt zur Zufriedenheit der Ausführenden zur Verwendung gelangt.

Ein dem *Klette*'schen Träger sehr ähnlicher kann auch aus den Walzeisen von *Lindsay*[75]) zusammengesetzt werden.

---

[73]) Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 96, 555; 1887, S. 44.

[74]) Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 129, 298. — Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 146, 234. — Civiling. 1886, S. 283.

[75]) Englisches Patent. — Siehe auch: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289. — *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209. — Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 389.

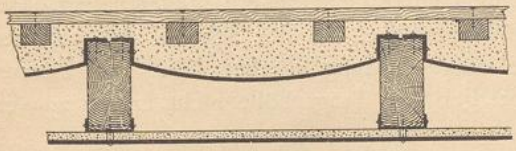
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Schwierigkeiten, welche durch eine dauerhafte Befeſtigung von hölzernen Brettern auf eiſernen Balken entſtehen, ſucht der Patenthaken von *L. Bethe* in Stade [76]) zu beſeitigen.

60. Engliſche Anordnungen.

Im Gegenſatze zu dieſen Anordnungen mit Eiſenbalken und hölzerner Stützung des Fuſsbodens werden in England Decken verwendet, bei denen die Träger wieder Holzbalken, die Theile, welche den Fuſsboden tragen, aber aus Eiſen, und zwar Eiſenblech hergeſtellt ſind (Syſtem *Edwin May*). Ein Beiſpiel dieſer vielfach verſchiedenen Anordnungen zeigt Fig. 106.

Fig. 106.



Auf die Balken ſind 6 bis 8 mm ſtarke Hängebleche genagelt, welche mittels Bettung und Lagerbohlen den Fuſsboden aufnehmen. Nach unten iſt die Balkenlage gleichfalls durch ein ſchwaches Blech abgeſchloſſen. Die Theile ſind zugleich ſo angeordnet, daſs die Decke einen hohen Grad von Feuerſicherheit erhält.

Von oben kann die Hitze nicht eindringen, da die Holztheile des Fuſsbodens nur mit der feuerſicheren Füllung in unmittelbarer Berührung ſtehen. Unten iſt das Blech mittels eiſerner Hülſen für die Nägel um einige Centimeter von den Balken entfernt gehalten; der Zwiſchenraum iſt mit Füllſtoff geſchloſſen und jeder Balken unten noch mit einer Blechkappe verſehen.

Bedenklich ſind ſolche Anordnungen mit dünnen Blechen in feuchten Räumen, da die Bleche leicht durchroſten; ſie müſſen jedenfalls durch guten Anſtrich oder Verzinkung geſchützt ſein.

Literatur

über »Balkendecken in Holz und Eiſen«.

Nouveau ſyſtème de planchers en bois et fer. Nouv. annales de la conſt. 1873, S. 78.

Planchers en fer et en bois, étude comparative de divers types. Nouv. annales de la conſt. 1875, S. 103.

DÖRFEL. Vergleich der neuen Decken-Conſtruction, d. i. wo Träme und Diebelbäume zwiſchen Traverſen aufliegen, mit der alten Conſtruction, wo die Träme und Diebelbäume auf der Haupt- und Mittelmauer aufliegen. Zeitſchr. d. öſt. Ing.- u. Arch.-Ver. 1875, S. 152.

Planchers, ſyſtème Murat. Nouv. annales de la conſt. 1882, S. 26.

GRISON, H. *Planchers en bois et en fer.* Nancy 1891.

---

4. Kapitel.

Balkendecken in Stein, bezw. Mörtel und Eiſen.

Hierher gehören Anordnungen, bei denen eiſerne Träger die eigentlich tragenden Theile der Decken-Conſtruction bilden und die Ausfüllung der Trägerfache ganz oder zum Theile mit Stein, bezw. mit Mörtelkörpern erfolgt; in der Regel hat dieſe Fachfüllung dann auch die Fuſsbodenlaſt zu tragen.

a) Auswölbung der Trägerfache.

61. Auswölbung mit Vollſteinen.

Eine häufig vorkommende Decken-Conſtruction iſt diejenige, bei der zwiſchen die eiſernen Träger aus Backſteinen (Vollſteinen) gewölbte Kappen eingezogen werden [77]).

[76]) Siehe: Deutſche Bauz. 1883, S. 315.

[77]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 159; 1888, S. 63. — Wochſchr. d. öſt. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 67.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

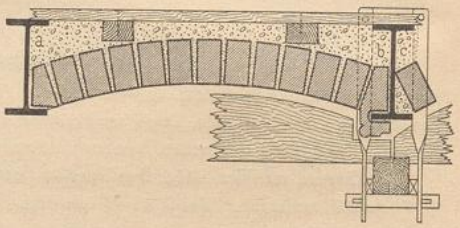
Fig. 107 zeigt drei Abarten dieſer Anordnung. Es werden zwiſchen die in einzelnen Fällen bis zu 3,0 m, gewöhnlich etwa 1,5 m, von einander entfernten Träger 1/2 Stein ſtarke Kappen geſpannt, deren Kämpfer durch zugehauene (Fig. 107 links) oder geformte Steine (Fig. 107 am rechtsſeitigen Träger links) oder Mörtel (107 am rechtsſeitigen Träger rechts), bezw. Beton gebildet werden. Die zweite dieſer Anordnungen ſchützt den Träger von unten her gegen Feuer.

Als Mörtel wird meiſt Cementmörtel im Miſchungsverhältniſſe 1 : 3 verwendet. Die Lehrbogen für die Schalung werden auf kleinen Hängerüſtungen angebracht und beſtehen aus kreisförmig geſchnittenen Brettern; bei *Moller*'ſcher Wölbung kann man die Lehrbogen auf den Hängerüſtungen unter den Trägern gleiten laſſen. Der Pfeil der Bogen richtet ſich nach der Trägerhöhe, da der Scheitel der äuſseren Laibung ſich thunlichſt nicht über die obere Gurtung erheben ſoll. Das Hervortreten der Gewölberücken iſt jedoch bei geringer Trägerhöhe nicht immer zu vermeiden.

Der Raum über den Gewölben wird zweckmäſsig mit trockenem Sande, beſſer mit einem ganz mageren Gemenge von Cement oder Kalk mit Sand (1 : 10) oder einem Beton aus Schlacken und Kalkmilch gefüllt. Dieſe Füllung trägt dann in der Regel mittels eingebetteter Lagerhölzer den hölzernen Fuſsbodenbelag, welcher voll aufliegen ſoll; oder die Füllung nimmt je nach der Benutzung der Räume Eſtriche aus Gyps, Cement, Beton oder Aſphalt auf, oder ſie wird mit Flieſenbelägen abgedeckt.

Dieſe Auswölbung mit vollen Steinen iſt bei der Erweiterung des Regierungsgebäudes zu Hildesheim [78]) in ausgedehntem Maſse unter völliger Umhüllung der unteren Gurtung der eiſernen Träger nach der zweiten Anordnung in Fig. 107 zur Ausführung gekommen.

Fig. 107.



Man hing zunächſt mittels Hängebügel, ähnlich dem in Fig. 107 dargeſtellten, mit Seitentheilen aus Rundeiſen und Ober- und Untertheil aus Bandeiſen eine breite Bohle unter jeden Balken, auf welcher die den Trägerflanſch einhüllende Reihe aus Dreiviertelſteinen in Cementmörtel verſetzt wurde. Nachdem dieſe abgebunden war, unterſtützte man wieder ähnlich, wie in Fig. 107, kleine Lehrbretter auf den überragenden Seitenkanten der Bohlen und wölbte nun die Kappen mit Vollſteinen aus.

Die Arbeit der Kappenwölbung wurde für 1,75 Mark für 1 qm, einſchl. Verſetzen der Trägerſteine, vergeben. Eine glatte Kappe ohne Trägerumhüllung hätte 1,35 Mark gekoſtet. 1000 Stück verzierte Dreiviertelſteine für ſchwächere Balken koſteten 81,5 Mark, für die ſtärkeren Unterzüge 103,5 Mark. Die geſammten auf die Einhüllung der Träger-Unterflanſche entfallenden Koſten betrugen durchſchnittlich 3,38 Mark für 1 lauf. Meter Träger. Der durch die kräftige Hervorhebung der Träger zwiſchen den Kappen mittels der unbedeckten Hüllenſteine erzielte Geſammteindruck iſt ein guter.

Für viele Räume iſt die gewölbte Unterfläche der Balkenfache unerwünſcht. Das Anbringen einer glatten, geſchalten und geputzten Decke kann, auch wenn die unteren Gurtungen der Träger mit Stein eingehüllt ſind, erzielt werden, indem man in die Auswölbung ſchmale Bohlenſtücke mit einmauert, deren Unterkante bündig mit den tiefſten Steintheilen liegt und zum Anbringen der Deckenſchalung benutzt wird [79]).

Von beſonderer Wichtigkeit iſt bei dieſen Decken neben der Seitenſteifigkeit der Träger möglichſte Leichtigkeit der Fachausfüllung, da dieſe zur Verminderung

[78]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 201.
[79]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 65.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

des Kappenſchubes beiträgt. Es ſind daher künſtliche poröſe oder Tuffſtein-Schwemmſteine für ſolche Auswölbungen beſonders geeignet. Auch Kunſtſteine aus Aſche und Mörtel ſind für ſolche Zwecke vorgeſchlagen worden [80]).

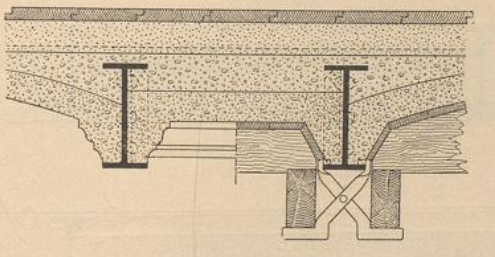
Bei einer beſtimmten Bauausführung [81]) wurden die 2 m weiten Trägerfelder bei 21 cm Pfeil 12 cm ſtark in Tuffſtein und gewöhnlichem Schwarzkalkmörtel ausgewölbt und die Zwickel dann mit Schlacken-Beton aus 3 Theilen Kohlenſchlacke und 1 Theil Weiſskalk überſtampft. Die Ausführung erfolgte kurz vor Eintritt des Froſtes (Mitte December), die Ausrüſtung nach Aufgang des Froſtes in den ungeſchützten Kappen (im April). Die Kappen wurden dann mit 1250 kg auf 1 qm über die ganze, mit 1880 kg auf 1 qm einſeitig bis zur Mitte und mit 1525 kg auf 1 qm in der Nähe des Scheitels belaſtet, während Nagelarbeiten am Fuſsboden mit ſchweren Hämmern nahe der Laſt ausgeführt wurden. Hierbei wurde kein Riſs beobachtet.

Bei 1970 kg für 1 qm einſeitiger Belaſtung zeigte ſich dann ein Riſs, 75 cm vom belaſteten Kämpfer entfernt, in der inneren Laibung. Nach zweitägiger Ruhe wurde weiter belaſtet, und bei 2000 kg auf 1 qm entſtand auch ein Riſs 5,5 cm vom unbelaſteten Kämpfer in der äuſseren Laibung. Bei 2400 kg auf 1 qm einſeitiger Belaſtung erfolgte ſchlieſslich der Bruch.

Dieſe zwiſchen die eiſernen Träger eingeſetzten Wölbungen üben nun einen beträchtlichen Seitenſchub auf die Träger aus, welcher für die an beiden Seiten Gewölbe aufnehmenden Träger bei voller Belaſtung allerdings ganz, bei Belaſtung nur eines der anſchlieſsenden Gewölbe jedoch nach Maſsgabe des in Kap. 6 Vorzuführenden nur zum Theile zur Ausgleichung gelangt. Die Träger werden ſomit nicht bloſs lothrecht, ſondern auch wagrecht belaſtet, und da ſie in der üblichen ſchmalen I-Form gegen die letztere Art der Beanſpruchung nur wenig Steifigkeit beſitzen, ſo wird es in vielen Fällen nöthig, dieſe Schübe durch Anker aus Rundeiſen völlig aufzuheben, wobei dann für die freie Trägerlänge zwiſchen den Ankern eine geringe Beanſpruchung in wagrechtem Sinne noch bleibt.

Für derartige Anordnungen ſind daher ſolche Trägerquerſchnitte beſonders zweckmäſsig, welche auch in ſeitlicher Richtung, d. h. für die lothrechte Mittelaxe berechnet, ein groſses Widerſtandsmoment beſitzen. Solche Träger ſind die in Fig. 103, 104 u. 105 dargeſtellten Patentträger von *Gocht* und von *Klette*, auch der zuſammengeſetzte von *Lindſay* [82]). Wie Fig. 105 rechts zeigt, ergiebt namentlich der *Klette*'ſche Träger eine gute Kämpferanlage; ähnlich ſind auch die Verhältniſſe beim Träger von *Lindſay*. Auch das enge Zuſammenlegen je zweier gut mit einander verbundener Träger bildet ein gutes Mittel, um für weit geſpannte Kappen groſse Seitenſteifigkeit der Träger zu erzielen (Fig. 108 u. 109).

Fig. 108.

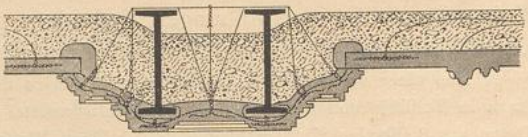


Für die von beiden Seiten eingewölbten Träger wird die ſeitliche Beanſpruchung ſelten ſo groſs, daſs aus ihr eine unbequeme Stärke der Träger erwüchſe; im Endabſchluſſe der ganzen Balkenanlage tritt aber der Schub des letzten Gewölbes frei auf, ohne einen Gegenſchub zu finden; hier muſs alſo ſtets eine beſondere Vorkehrung zur Aufnahme der Schübe getroffen werden. Bei ſtarken Auſsenwänden des überdeckten Raumes kann man dieſe als Widerlager des letzten Gewölbes benutzen; einerſeits iſt jedoch die Wandſtärke, namentlich bei hoher Lage der Decke,

80) Von *Schröder* in: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 499.
81) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 46.
82) Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 109.

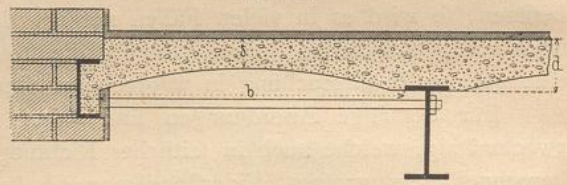


nur in seltenen Fällen zur Aufnahme wagrechter Kräfte genügend; anderseits hat es Bedenken, die übrigens ganz auf dem beweglichen Trägerroste ruhende Decke mit der unbeweglichen Wand in feste Verbindung zu bringen. Es wird daher in den meisten Fällen entlang der Abschlusswand noch ein Träger zu legen sein, der nun dem vollen Seitenschube ausgesetzt wird und daher der Verankerung bedarf. Stellt man zu diesem Zwecke mittels fest angezogener Bolzenanker eine das letzte Gewölbe umfassende Verbindung des vorletzten mit dem letzten Träger her, so kann man den so entstandenen Körper als einen wagrecht liegenden Träger ansehen, dessen äussere Gurtung vom letzten, dessen innere Gurtung vom vorletzten und dessen Wand von der letzten Kappe, verbunden mit den Zugankern, gebildet wird; dieser muss nun im Stande sein, den vollen Schub der vorletzten Kappe auf die freie Länge des überdeckten Raumes zu tragen.

Die beiden letzten Träger werden sonach bei voller Belastung der beiden letzten Kappen am ungünstigsten, und zwar in dreierlei Weise beansprucht:

1) Als Träger auf zwei Stützen von der Breite des überdeckten Raumes in lothrechtem Sinne durch die volle Last der Kappen; diese Beanspruchung fällt für den letzten Träger weg, wenn man ihn in die Mauer oder auf einen Mauerabsatz lagern kann, wie in Fig. 110.

Fig. 110.



2) Der letzte Träger an der Wand als continuirlicher Träger, dessen Oeffnungsweite gleich der Ankertheilung ist, in wagrechtem Sinne durch den von den Ankerzügen als Stützendrücken aufzuhebenden Schub der belasteten letzten Kappe; diese Beanspruchung fällt für den vorletzten Träger aus, weil sich an ihm die Schübe von beiden Seiten her ausgleichen.

3) Als Gurtungen eines Trägers, dessen Höhe gleich der Trägertheilung ist, in wagrechtem Sinne durch den vollen Schub der belasteten vorletzten Kappe.

Auf dieser Grundlage wird in Kap. 6 die Bemessung derartiger Decken vorgenommen werden.

Will man die Kappenschübe unmittelbar in jeder Kappe aufheben, so ist die in Fig. 111 u. 112 dargestellte Anordnung von Flacheisen zu empfehlen, da die Lochung aller Träger für Rundeisenanker höchst unbequem ist.

Fig. 111.

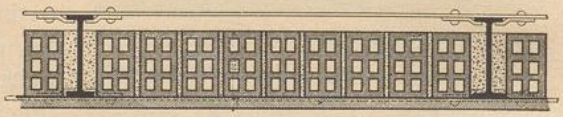
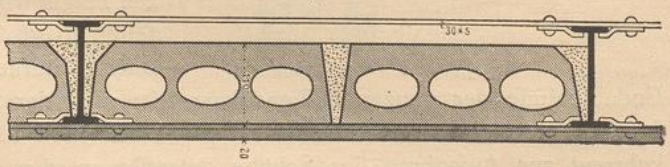


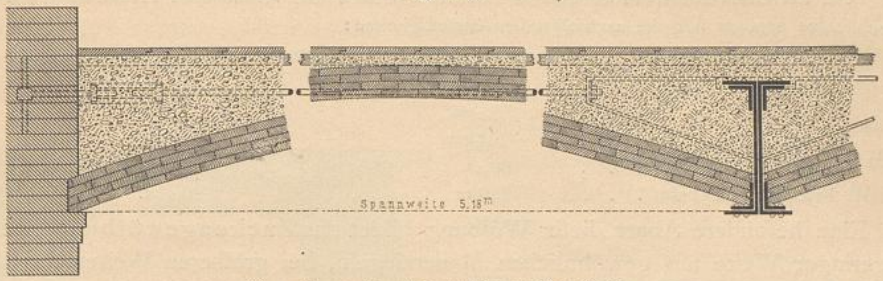
Fig. 112.



Verankerte Auswölbungen von ganz besonders bedeutenden Abmessungen, wie sie der nordamerikanische Architekt *Guastavino*, z. B. in der öffentlichen Bibliothek zu Boston[83]), dem Gebäude des Arion-Club und vielen Wohngebäuden in New-York, so wie auch in Speichern und Seidenwebereien zu Barcelona ausgeführt hat, sind in Fig. 113 u. 114 dargestellt.

83) Siehe: *Engng. news*, Bd. 24 (1889), S. 434.

Fig. 113.

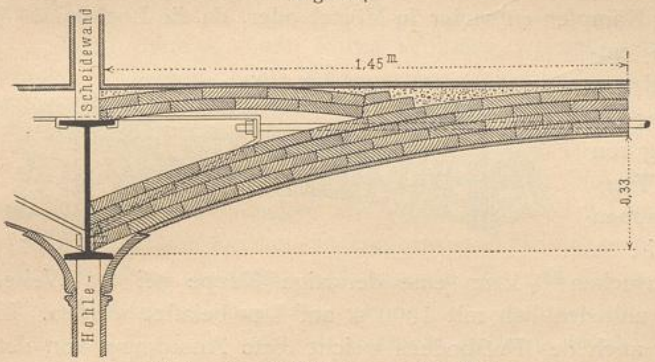


Vom Haus des Arion-Club zu New-York.
1/80 n. Gr.

Die Wölbung wird in gebrannten Thonplatten von $30 \times 15 \times 2{,}5$ cm, die unterſte Schicht in einem ſchnell bindenden Patent-Mörtel, die übrigen in gewöhnlichem Cementmörtel verſetzt, ausgeführt. Man kann ſich hiermit der im einzelnen Falle erforderlichen Stärke ſehr genau anſchlieſsen, während die vollen Backſteine in dieſer Beziehung ſehr unhandlich ſind. Die Unterfläche der unterſten Schicht wird auch glaſirt ausgeführt.

Die Bogenzwickel ſind in Fig. 113 mit leichtem, magerem Beton überſtampft, der den Träger ganz einhüllt; in den Beton ſind leichte Fuſsbodenlager eingeſtampft, auf denen ein Bretterfuſsboden befeſtigt iſt. Um das ſo entſtehende bedeutende Gewicht zu vermeiden, ſind in Fig. 114 Hohlräume in den Bogenzwickeln durch Aufſetzen kleiner Kappen auf die groſsen gelaſſen. Die Verankerung iſt aus Rundeiſen und Flacheiſenbogen ſo angeordnet, daſs ſie leicht in Spannung verſetzt werden kann, ganz im Mauerwerk bleibt, alſo dem Feuer nicht ausgeſetzt iſt, und die Träger möglichſt in ganzer Höhe faſſt.

Fig. 114.



Decken in Miethhäuſern zu New-York.
1/20 n. Gr.

Feuerſicher iſt aber dieſe Decke nicht vollkommen, da das Feuer die Träger von unten erreichen kann; denn auch in Fig. 114 iſt eine nothdürftige Deckung der Träger nur da erreicht, wo Zwiſchenwände unter ihnen ſtehen.

Die Spannweite der einzelnen Kappen wird bei 1/10 Pfeilverhältniſs bis zu 12,2 m ausgeführt, wobei die Anzahl der Plattenſchichten von 2 bis 6 ſteigt; 3 Schichten reichen unter gewöhnlichen Verhältniſſen bei 3,7 m. Der Preis dieſer Decke für 1 qm wird je nach der Dicke der Wölbung von der geringſten bis zur gröſsten zu 13,5 bis 31,6 Mark für 1 qm angegeben.

Nach angeſtellten Verſuchen iſt die Tragfähigkeit dieſer Deckenart bei 10-facher Sicherheit gegen Bruch ermittelt, wie in nachſtehender Tabelle angegeben iſt:

Stichbogentonne			Böhmiſche Kappe		
Weite	Anzahl der Plattenſchichten	Tragfähigkeit	Weite	Anzahl der Plattenſchichten	Tragfähigkeit
1,5	2	4820	1,5 bis 3,7	2	4000
1,5 bis 3,7	3	3000	3,7 bis 4,9	3	4520
3,7 bis 4,9	4	3000	4,9 bis 6,1	4	4800
4,9 bis 6,1	5	3000	6,1 bis 7,3	5	5000
6,1 bis 7,3	6	3000			
Meter		Kilogr. für 1 qm	Meter		Kilogr. für 1 qm

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Beim Zerreifsen zweier Probetafeln aus mehreren mit Cement verbundenen Platten auf einer *Fairbanks*-Mafchine ergaben fich die nachfolgenden Zugfeftigkeiten:

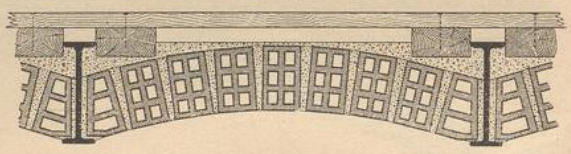
Des Probeftückes	1. Probe (2 Jahre alt)	2. Probe (2 Jahre 2 1/2 Monate alt)
Länge und Breite . . .	31,8 cm	31,8 cm
Dicke	8,3 cm	7,6 cm
Querfchnitt	264 qcm	242 qcm
Bruchlaft	60,4 t	23,3 t
Feftigkeit für 1 qcm . . .	230 kg	96,5 kg.

Eine befondere Abart diefer Wölbung bildet das Zackengewölbe[84]), welches bei geringer Weite aus gewöhnlichen Mauerziegeln, bei gröfseren Weiten aus Wölbziegeln hergeftellt werden foll, und zwar erfolgt die Wölbung in *Moller*'fcher Art auf einer Holzlehre, welche der durch Vorfpringen der Steinkanten zackig gebildeten Unterfläche entfprechend ausgefchnitten ift. Der Bogen erhält, nahezu wie ein fcheitrechter geformt, fehr geringen Pfeil. Die zur Aufnahme des Putzes rauh geformte Unterfläche und der geringe Pfeil werden als befondere Vortheile gerühmt, jedoch erzeugt letzterer einen ftark vergröfserten Schub; erftere ruft ungleichmäfsige und ungewöhnliche Stärke des Putzes hervor. Die Anordnung ift einer fehr flachen Auswölbung in keinem wefentlichen Punkte überlegen.

62. Auswölbung mit hohlen Kunftfteinen.

Die Auswölbung mit Hohlziegeln und Lochfteinen (Fig. 111 u. 115) wird wie die vorige ausgeführt, wobei der Kämpfer entweder in Mörtel oder, da die Lochfteine[85]) kein Zuhauen geftatten, in entfprechenden Formfteinen anzulegen ift. Die Bemeffung der Kappen kann wie jene bei Verwendung von Vollfteinen erfolgen, da die Tragfähigkeit von der der vollen Kappen nicht erheblich verfchieden ift[86]).

Fig. 115.



Nach franzöfifchen Verfuchen[87]) kann eine derartige Kappe bei 4 m Weite, 0,11 m Stärke und 1/10 Pfeil unbedenklich mit 1000 kg auf 1 qm belaftet werden. In der allgemeinen Anordnung auch des Fufsbodens weicht diefe Anordnung von der vorigen nicht ab. Fig. 115 zeigt insbefondere einen hölzernen Fufsboden, welcher wegen der geringen Trägerhöhe nicht unmittelbar auf der Ueberfüllung des Bogens ruht. Wegen des geringen Gewichtes der Hohlziegel (etwa 1200 kg für 1 cbm) können die Träger diefer Decken nicht unerheblich leichter fein, als die der Wölbungen aus Vollfteinen.

Auch die Ausfetzung der Fache mit Hohlfteinen nach Fig. 111 u. 112, welche nur fehr geringe Höhe beanfprucht, hat fich nach franzöfifchen Verfuchen[88]) als ebenfo tragfähig bewiefen, wenn nach *Bleuze* die in Fig. 111 angegebenen Flacheifenverbindungen der Trägerflanfche oben und unten in etwa 1,0 m Theilung angebracht und die Fugen in Cementmörtel hergeftellt werden.

Eine gleichfalls leichte Decke liefert die 1/4 Stein ftarke Auswölbung nach Fig. 116[89]). Die ganz ungelochten Träger nehmen mittels eingefetzter Holzklötze

---

84) Siehe: Bautechniker 1884, S. 173 (Patent *Schober*).

85) Ueber die Feftigkeit der Lochfteine fiehe Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 85) diefes »Handbuches«.

86) Eine einfchlägige Conftruction vom *Lycée Janfon de Sailly* zu Paris, bei welcher die 26 cm hohen I-Träger paarweife gelegt find, die lichte Weite der Kappen 1,90 m, die Pfeilhöhe 16 cm, die Wölbdicke im Scheitel 8 cm und jene am Kämpfer 11 cm beträgt, ift befchrieben in: *Le génie civil* 1885, S. 19.

87) Siehe: *Annales induftr.*, Bd. 7 (1883), S. 135.

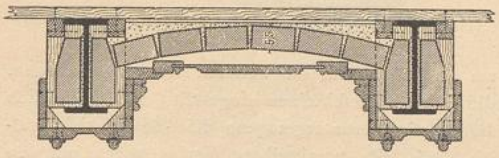
88) Siehe ebendaf., Bd. 7 (1883), S. 5 u. ff.

89) Vergl. auch: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 409.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

kleine, mit ihrer Oberkante mit den Trägern bündig liegende Leiſten auf, welche den Fuſsboden tragen. Dieſer ruht nicht unmittelbar auf der wenig tragfähigen Füllung, ſondern überträgt die Verkehrslaſt unmittelbar auf die Träger. Die Füllung iſt aus flach liegenden, poröſen Steinen gebildet, welche gewölbeartig auf in die Trägerflanken geſetzten Kämpferſtücken ruhen. Die Fugen ſind mit Kalkmörtel gefüllt.

Fig. 116.



Um die Dichtigkeit zu erhöhen, iſt dieſe Wölbung oben mit einer dünnen Sandſchicht abgeglichen. Die Wölbung verſpannt zugleich die Holzklötze ſo, daſs ſie nicht aus den Trägern fallen können. Unter der Füllung iſt an den Klötzen die Trägerverſchalung verſchraubt, welche auf ihrer Oberkante die in Rahmen und Füllung gearbeitete Deckentäfelung trägt.

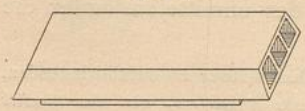
Da das Gewicht der poröſen Steine bis auf 1000 kg für 1 cbm ſinkt, ſo hat dieſe im Aeuſseren reiche, trotzdem nur wenig Höhe einnehmende Decke ein ſehr geringes Gewicht. Sie geſtattet jedoch keine ſehr weite Trägertheilung, da der ununterſtützte Fuſsboden bei groſser Weite der Fache und gewöhnlicher Stärke zu groſse Durchbiegungen annehmen würde. Die gewöhnliche Trägertheilung iſt auch hier 75 cm.

Wird dieſe $^1/_4$ Stein ſtarke Wölbung aus gut gebrannten poröſen oder Lochſteinen in Cement- oder verlängertem Cementmörtel ausgeführt, ſo kann man ſie den in Wohnräumen gewöhnlich vorkommenden Laſten unbedenklich ausſetzen, alſo den Fuſsboden auf die Kappen wirklich auflagern.

Nahe verwandt mit den Hohlziegeldecken ſind die in Frankreich und Amerika verbreiteten Zwiſchendecken aus hohlen Gyps- oder Terracotta-Kaſten, welche in ſehr verſchiedenartigen Formen vorkommen und bei denen die Träger zweckmäſsig mittels der von *Bleuze* zuerſt angegebenen, in Fig. 111 u. 112 dargeſtellten Flacheiſen mit einander verſpannt werden.

Hohle Gypsblöcke (Fig. 112) trugen bei Verſuchen *Oudry's*[88]), bei 16 cm Höhe, 100 cm Trägerentfernung, Füllung der Fugen mit Gyps und 30 Procent Hohlraum, durch 6 Wochen 3000 kg auf 1 qm, ohne Spuren des Nachgebens zu zeigen. Ein Gewicht von 200 kg, welches 3 m hoch mitten auf eine 70 cm weite und 16 cm ſtarke Füllung fiel, ſo wie ein ſolches von 370 kg, welches auf dieſelbe Füllung, aber mit untergelegten Querſtäben nach Fig. 111 u. 112 in 50 cm Theilung von 1 m Höhe ſchlug, brachten keine Formänderung hervor. *Ginain* erzielte auf 12 cm hohen Füllungen mit 3140 kg Laſt auf 1 qm eben ſo wenig Zerſtörungen; dabei zeigten die nur ſchwach verſteiften Träger keinerlei ſeitliche Ausweichung.

Fig. 117.



Hohlziegel gewöhnlichen Formates (Fig. 111) mit etwa 40 Procent Hohlraum zeigten ähnlich günſtige Verhältniſſe, und Terracotten nach *Perrière* (Fig. 117[90]), welche in der Fabrik *Derain & Dinz* bei Châlons-ſur-Saône in Längen von 55 bis 70 cm, bei 20 cm Fuſsbreite, angefertigt werden, haben bei Verſuchen im *Conſervatoire des arts et métiers* zu Paris eine Tragfähigkeit von über 2000 kg für 1 qm gezeigt.

Eine deutſche Ausführung einer tragenden Gyps-Zwiſchendecke aus dem Gerichtshauſe zu Frankfurt a. M.[91]) zeigt Fig. 118.

Zunächſt wurde die Deckenbekleidung mit 3 Hanfgewebe-Einlagen gegoſſen und fertig unter die Träger gebracht, indem man Bindedrähte an die mit eingegoſſenen verzinkten Drahtenden anknüpfte. In die Bekleidungstafeln der Felder waren bügelartig nach oben vorragende Drähte zu inniger Verbindung mit den übrigen Schichten der Decke eingegoſſen.

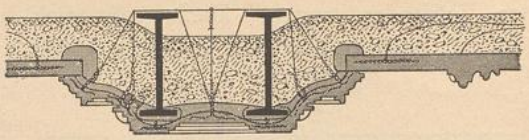
---

[90]) Siehe: Schweiz. Bauz., Bd. 5 (1885), S. 16. — *Le génie civil* 1885, S. 19.

[91]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 275.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 118.



Vom Gerichtshaus zu Frankfurt a. M.

Nach genauer Einpaſſung dieſer Bekleidung wurde eine weitere Gypslage mit Hanfgewebe-Einlagen eingebracht, um die Bekleidungsſtücke mit den Trägern ſicherer, als durch die Bindedrähte zu vereinigen. Weiter wurden Gypsleiſten eingeſtrichen, um die Fugen zwiſchen der Trägerbekleidung und den Bekleidungstafeln der Fache ſicher zu decken und dieſe Tafeln am Verſchieben zu hindern. Dieſe Körper genügten, um als Rüſtung für die weiteren Arbeiten zu dienen.

Nun wurde eine dicke Lage aus Gyps mit Kalkbrei und Kieſelſteinen eingefüllt, und ſchlieſslich der Feuerſicherheit wegen eine nach den Trägern bogenartig heruntergezogene Kies-Betonſchicht aufgeſtampft. Das Einbringen der Schichten erfolgte ſo, daſs alle unmittelbare Verbindungen mit den Nachbarn eingehen konnten.

Die Tragfähigkeit dieſer Decke iſt nicht geringer, als die einer guten Betonkappe, und Erſchütterungen ſind nicht im Stande, die reiche Gypsdecke zu verletzen. Schwere fallende Gewichte ſchlugen nur kleine Löcher, ohne die Umgebung zu verletzen. Die Koſten der Decke betrugen für die Gypstheile je nach dem Reichthum der Ausſchmückung 12 bis 15 Mark, für den Beton 5,25 Mark für 1 qm.

Nach dem bereits in Art. 35 (S. 44) erwähnten Patent *Laporte* iſt in Frankreich auch die Auswölbung eiſerner Träger mit Terracotten [92]) gebräuchlich, welche für wagrechte und gewölbte Unterfläche in Fig. 119 u. 120 dargeſtellt iſt. Die Formſtücke werden für Trägertheilungen von 65, 70 und 75 cm, ſo wie für Trägerhöhen von 12 bis 22 cm von der *Société anonyme de la Grande Tuilerie de Bourgogne* zu Montchanin-les-Mines in der Weiſe hergeſtellt, daſs die Seitenſtücke für alle Fachweiten gleich breit, nämlich 21,5 cm in der Mitte, die Schluſsſtücke für die verſchiedenen Weiten 17,5, 22,5 und 27,5 cm breit, alle Stücke 32 cm lang geformt werden; die Wandſtärke beträgt 2,0 bis 2,5 cm. Die Stoſsfugen werden in beiden Randreihen bündig, in der mittleren um 16 cm, d. h. die halbe Stücklänge, verſetzt angeordnet. Die 1 cm weiten Fugen werden in Gyps oder Cement geſetzt; auf der Unterſeite der Stücke ſind Längsrillen eingeformt, welche das mechaniſche Anhaften des unmittelbar unter die Terracotten zu bringenden Deckenputzes bezwecken.

Fig. 119.

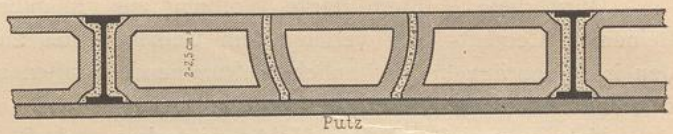
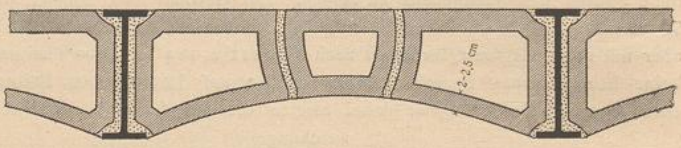


Fig. 120.



Ueber die Tragfähigkeit dieſer offenbar dichten und für den Schall ſchwer zu durchdringenden, dabei trockenen Deckenfüllung ſind Verſuche vom *Conſervatoire des arts et métiers*, von der *Société centrale des architectes* und der *Société nationale des architectes*, ſämmtlich in Paris, angeſtellt, welche die nachfolgenden Ergebniſſe lieferten [93]).

Auf die unten flache Decke nach Fig. 119 wurde 84 Stunden nach der Herſtellung auf die halbe Breite eines Trägerfaches Eiſenballaſt aufgepackt. Es erfolgte der Bruch bei 65 cm Trägertheilung unter 7380 kg Auflaſt auf 1 qm, bei 70 cm Theilung unter 7300 kg Auflaſt und bei 75 cm Theilung unter 6710 kg. Noch gröſser erwies ſich die Tragfähigkeit der unten gewölbten Decke nach Fig. 120; die Terracotten für 12 bis 14 cm hohe Träger brachen unter 11 350 kg gleichförmiger Laſt auf 1 qm, die für 14 bis 16 cm

92) Siehe: *Annales induſtr.*, Bd. 7 (1883), S. 5 u. ff. — Deutſche Bauz. 1886, S. 202.

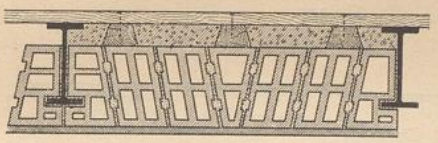
93) Nach: *Annales induſtr.*, Bd. 7 (1883), S. 110, 139.

Trägerhöhe bei 15510 kg und die für 18 bis 22 cm Höhe bei 14000 kg. Es erfcheint fomit zuläffig, die Belaftung einer derartigen Decke bis zu 1500 kg auf 1 qm zu fteigern, während man für die unten ebenen Stücke etwa bis 800 kg für 1 qm gehen kann.

Diefe Decken-Conftruction hat vor den meiften anderen in die Augen fpringende Vorzüge. Sie ift dem Bauftoffe nach an fich trocken, beftändig gegen Feuersgefahr und wegen der 50 bis 60 Procent des Inhaltes betragenden Hohlräume fehr leicht, dabei fchwer durchdringlich für Schall, Wärme und Feuchtigkeit. Die entftehenden weiten Canäle kann man fogar zu Lüftungszwecken benutzen. Naturgemäfs kann fie aber in ausgedehntem Mafse nur Anwendung finden, wenn die Herftellung der Terracotten fo gefteigert ift, dafs diefe gängige Handelswaare werden, da das Anfertigen in kleiner Zahl zu theuer werden würde. Auch dann wird der Preis vergleichsweife hoch bleiben.

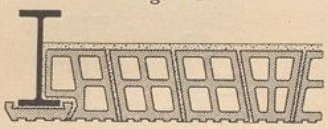
Die Fachfüllung kann eben fowohl Eftriche, wie auch hölzerne Fufsböden auf Lagerbohlen aufnehmen; das Anbringen der letzteren bedingt dann das Einfetzen einzelner Holzdübel in die Stofsfugen der Terracotten mittels Cement.

Fig. 121.



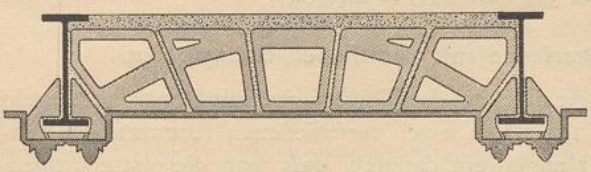
Einige Beifpiele von derartigen amerikanifchen Ausführungen zeigen Fig. 121, 122, 123 u. 124 [94]). Diefe Conftructionen haben fämmtlich die Geftalt von fcheitrechten Bogen aus hohlen Terracotta-Kaften und befitzen grofse Tragfähigkeit. Ein befonderer Werth wird hier, im Gegenfatze zu den franzöfifchen Anordnungen, darauf gelegt, die Träger auch mit dem Unterflanfch dem Feuer zu entziehen. Eine derartige Anordnung mit gebrannten Thonfliefen wurde fchon in Art. 57 (S. 60) und eine folche für Vollfteine in Art. 61 (S. 63) vorgeführt; in Fig. 121 u. 124 umgreifen die Hohlfteine den unteren Trägerflanfch — wie in Fig. 125 (rechter Träger links) die Vollfteine — vollftändig, fo dafs durch die unter dem Träger liegenden Lufträume ein befonders wirkfamer Schutz entfteht. Die Fugen find in Fig. 121 durch rechteckige Nuthen in den Lagerflächen der Hohlfteine, in welche der Mörtel federartig eingreift, befonders gefichert.

Fig. 122.



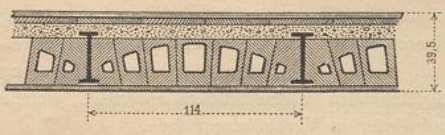
In Fig. 122 ift der Schutz der Träger bei fehlendem Luftraume weniger wirkfam durch unmittelbar unter den Flanfch gelegte Thonplatten erzielt, welche, zuerft verlegt, fchwalbenfchwanzartig von den Rändern der Hohlfteine umfafft werden. Die Hohlfteine find unten für die Aufnahme des Putzes fchwalbenfchwanzförmig genuthet.

Fig. 123.



In Fig. 123 ift gleichfalls eine keilförmige Thonplatte unter die Träger gefetzt, aber fo tief, dafs ein Luftraum darüber bleibt und ein fehr wirkfamer Schutz des Trägers durch Putzplatte und Hohlraum erzielt wird. Die

Fig. 124.



94) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 32; 1887, S. 435, 451. — *American engineer*, Bd. 13 (1887), S. 230. — *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 368.

Form der Terracotta-Kaften ift hier fo gewählt, dafs aus dem befonders kräftigen Schrägftege der Seitenftücke und der Oberfeite des Schlufsftückes beim Zufammenfügen ein fehr wirkfamer Bogen entfteht.

Der Schutz der Eifenträger durch feuerfichere Umhüllung ift, wie fich bei einer Reihe von Bränden gezeigt hat, äufserft wichtig.

Fig. 125.

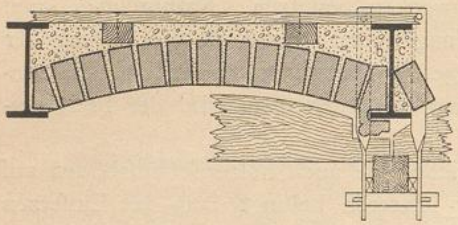
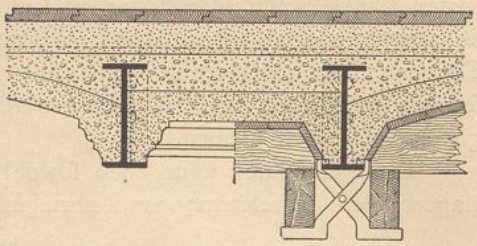


Fig. 126.



Was die Ausführung diefer Decken anlangt, fo wird zwifchen die 0,75 bis 2,00 m weit gelegten Träger eine der Geftalt der Fachfüllung entfprechende Hängerüftung nach Fig. 125, 126, 127 oder 128 eingebracht, welche nach dem Erhärten der Einwölbung leicht wieder zu befeitigen ift und wo möglich der Unterftützung von unten nicht bedarf.

Fig. 127.

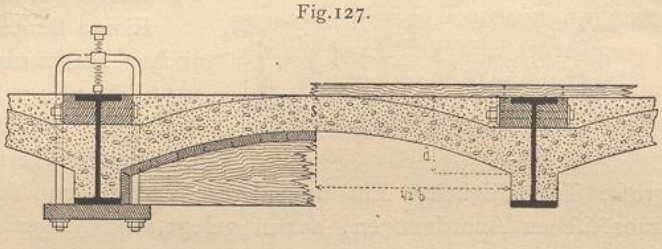
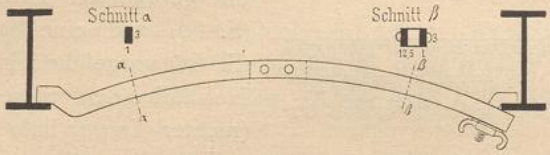


Fig. 128.



Die Preife diefer vorzüglichen Decken-Conftructionen find leider hoch; für Philadelphia wird der Preis der in Fig. 124 dargeftellten Decke von 39,5 cm Dicke mit 25,4 cm hohen I-Balken in 114 cm Theilung, einfchl. Fufsboden und Deckenputz, zu 36,8 Mark für 1 qm angegeben.

b) Ausfüllung der Trägerfache mit künftlichen Steinplatten.

63. *Schneider*'s Decken-Conftruction.

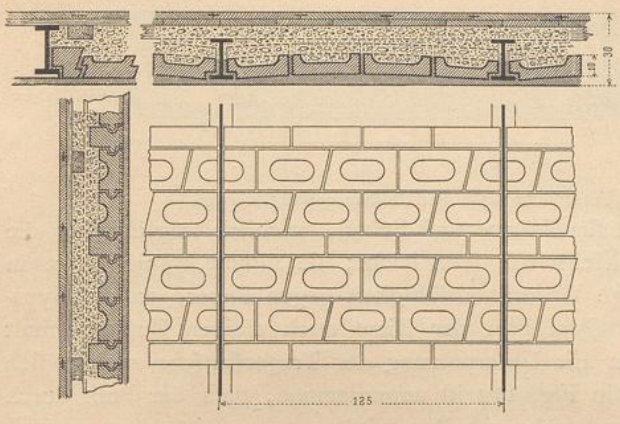
Hierher gehört zunächft die Ausfetzung der Trägerfache mit Doppelkeilziegeln nach *Schneider* in Wien, in Fig. 129 [95]) in zwei verfchiedenen Anordnungen dargeftellt. Möglichfte Leichtigkeit ift angeftrebt dadurch, dafs man die plattenartigen, nur etwa 10 cm dicken Ziegel von oben her topfartig aushöhlt. Die Stücke greifen mit fchräg gefchnittenem Falze oder mit Halbkreisnuth und Feder allfeitig in einander, wobei für das Auffetzen auf die Trägerflanfche entweder befondere Formftücke verwendet oder gewöhnliche Stücke ausgeklinkt werden.

Der Pfeil wird fo flach — mit $^1/_{16}$ bis $^1/_{150}$ Pfeilverhältnifs — gewählt, dafs die Anordnung einem fcheitrechten Bogen nahe kommt und fomit unmittelbares Putzen der Decke auf der rauhen Steinunterfläche geftattet. Um aber die Tragfähigkeit zu erhöhen, werden in gewiffen Abftänden, in Fig. 129 hinter je zwei Topfreihen, ftärkere Rippen aus hochkantig ftehenden vollen Stücken eingefetzt, welche mit den flachen Theilen auch durch Falzung oder Nuth und Feder in Verbindung ftehen.

95) Siehe: *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 129. — Deutfche Bauz. 1889, S. 542.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 129.



Das Gewicht der Ziegel beträgt für 1 qm etwa 200 kg; die Koften find 6,25 Mark.

Die in Wien vorgefchriebene Belaftungsprobe der Wohnräume mit 400 kg für 1 qm hält die Decke ohne erkennbare Formänderung aus. Abgefehen von der wagrechten Verbindung der Schichten unter einander ift diefe Fachfüllung einem fchwachen fcheitrechten Bogen aus Vollfteinen wohl nicht überlegen.

64. Vorfchläge von *Stolz*.

Auch einige der *Stolz*-fchen Vorfchläge für feuerfichere Decken[96]) mit eifernen Balken find hier anzuführen, nämlich die in Fig. 130 u. 131 dargeftellten. In Fig. 130 find die Balken oben gegen den Unterzugträger gefetzt, fo dafs diefer nach unten vortritt und mittels eines rechteckigen Kaftens von *Rabitz*- oder *Monier*-Maffe mit Afchenfüllung eingehüllt werden mufste. Diefer Vorfprung entfpricht wegen der Bildung von hohlen Ecken den in Art. 56 (S. 58) entwickelten Grundfätzen nicht ganz; doch wird die Feuerficherheit nicht wefentlich beeinträchtigt, weil felbft fehr hohe Hitzegrade die Träger nicht in gefährlichem Mafse erwärmen können. Die Decke wird bei diefer Anordnung übrigens vergleichsweife dünn. Will man trotz des Vorragens des Unterzuges eine ebene Unterfläche haben, fo mufs man den die Afche tragenden Putz entfprechend tief hängen (Fig. 131), alfo die ganze Decke dicker machen.

Fig. 130.

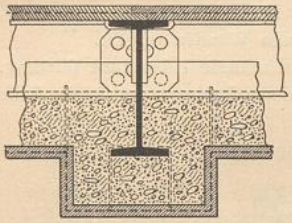
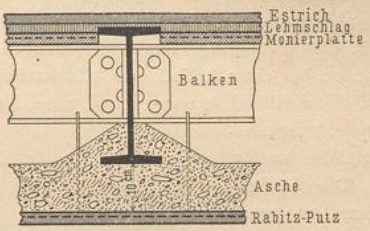


Fig. 131.



Um die Träger auch von oben zu decken, ift zunächft eine Lage von *Monier*-Tafeln aufgelegt, welche in Fig. 130, 5 cm dick Träger und Unterzug deckend, zugleich den Fufsboden bildet und fo nur mäfsigen Schutz gewährt.

Um ebene Lagerung zu ermöglichen, mufste den Balken im Anfchluffe der obere Flanfch genommen werden. In Fig. 131 liegt die Balkenoberkante fo weit unter der Oberkante des Unterzuges, dafs diefe etwa bündig mit den *Monier*-Platten bleibt; über das Ganze ift dann ein dünner Lehmfchlag gebreitet, der einen Eftrich aufnimmt. Diefe Anordnung giebt einen wirkfameren Feuerfchutz nach oben, als die in Fig. 130.

65. Decke mit Gypsdielen.

Eine fehr gute Fachausfüllung wird nach Patent *Wayfs*[97]) mit *Mack*'s Gypsdielen (vergl. Art. 37, S. 46 u. Art. 47, S. 54), wie in Fig. 132 gezeigt ift, hergeftellt.

Auf die Unterflanfche wird eine Lage von Gypsdielen quer gelegt, nachdem fie an den Kanten fo ausgenuthet find, dafs die Unterfläche mit der der Träger bündig wird; hierauf werden entlang den Trägern je zwei Reihen Gypsdielen längs gelegt und darauf wieder eine Lage in der Querrichtung. Die

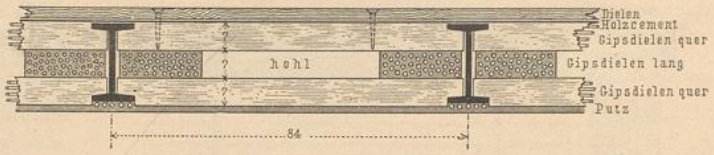
96) Siehe Art. 56 (S. 58) und: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

97) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 65.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dicke wird ſo bemeſſen, daſs die oberſte Lage wieder bündig mit den Trägern liegt. Man kann nun oben den etwa nothwendigen Fuſsboden unmittelbar auf die Gypsdielen ſchrauben, nachdem alle Fugen ſorgfältig mit Gyps gedichtet ſind, und die rauhe Unterfläche kann unmittelbar geputzt werden.

Fig. 132.



Dieſe Decke iſt ſehr dicht für Wärme und Schall, reichlich tragfähig für die gewöhnlichen Laſten und vergleichsweiſe ſehr leicht; ſie nimmt wenig Höhe in Anſpruch und beſitzt auch einige Widerſtandsfähigkeit gegen Feuer, da die Gypsdielen ſelbſt nach Zerfallen des Gypſes in der Hitze noch einigen Zuſammenhalt bewahren. Sorgfalt bedingt hier die Unterputzung der Trägerflanſche, welche ſich leicht durch Riſſe auszeichnet; in Fig. 132 iſt angenommen, daſs der Putz durch unter die Träger geſpannte Rohrgewebe gehalten wird.

Die Gefahren mangelhafter Füllſtoffe entfallen; Gerüſte zum Einbringen ſind nicht erforderlich; Feuchtigkeit iſt ausgeſchloſſen; die Dichtigkeit gegen gröſsere Waſſermengen iſt namentlich dann vollkommen, wenn die oberſte Lage mit Cement eingedichtet wird; eingeſchloſſene Holztheile ſind nicht vorhanden. Auch die unmittelbare Auftragung eines Eſtrichs iſt möglich.

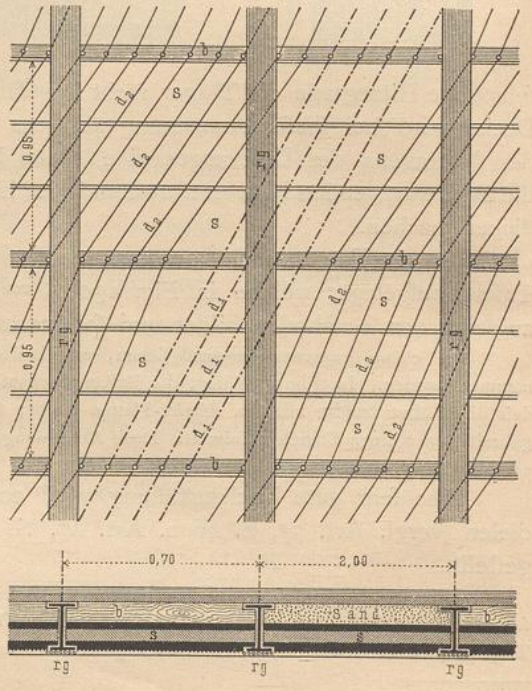
Der Preis der in Fig. 132 dargeſtellten, für 6 m Weite berechneten Decke iſt 17,8 Mark für 1 qm, wobei aber in das Gewicht fällt, daſs die geringe Dicke Erſparungen in den Wänden ergiebt.

Die Belaſtungsproben ergaben bei einer Auflaſt von 4250 kg für 1 qm keinerlei erkennbare Wirkung. Ein Gewicht von 55 kg, aus 2 m Höhe fallend, erzeugte oben einen 5 mm tiefen Eindruck und kleine Riſſe an der Unterſeite der oberen Dielenlage; ähnliche Erfolge erzielte ein aus der Höhe von 3 m fallendes Gewicht von 25 kg. Die Deckenfläche iſt hier alſo ganz beſonders gut gegen Verletzungen von oben her geſchützt.

66. Decke mit Spreutafeln.

Schlieſslich iſt hier die Decke aus Eiſenträgern mit *Katz*'s Spreutafeln (vergl. Art. 37, S. 46 und Art. 48, S. 54 [98]) zu erwähnen, welche, nach dem Vorgange in Fig. 72 (S. 47) ausgebildet, in Fig. 133 dargeſtellt iſt.

Fig. 133.



Um hier die Drähte, welche das Auflager der Spreutafeln bilden, anbringen zu können, ſind zunächſt Holzbohlen *b* zwiſchen die Träger eingeſetzt, welche die Riegel für die gerade oder im Zickzack in 10 cm Theilung geſpannten verzinkten Drähte d_1 und d_2 aufnehmen. Unter die Bohlen, wie unter die Träger ſind dann durch Streifen Dachpappe von den Holz- und Eiſenflächen geſonderte, ſchmale Rohrgewebe *rg* geſpannt, die Spreutafeln *s* dann verlegt und mit Gyps gedichtet, auf der rauhen Unterſeite unmittelbar unterputzt und mit Füllung bedeckt. Die Bohlenſtücke *b* dienen erforderlichenfalls oben zugleich zur Befeſtigung der Fuſsbodenbretter, welche alſo

[98]) Siehe auch Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 172, S. 196) dieſes »Handbuches«.

den Eisenbalken entlang laufen. In Fig. 133 ist auf einem solchen Blindboden dann ein Stab- oder Parquetboden angedeutet.

Da hierfür volles Auflager des Fussbodens auf die Füllung mit ihren Gefahren nothwendig ist, eingeschlossene Holztheile nicht umgangen werden können, das Gewicht auch nicht unbeträchtlich grösser ist, so ist diese Deckenanordnung, obwohl sie sonst ähnliche Vorzüge besitzt, doch nicht als so vollkommen zu bezeichnen, wie die vorige. Was die Sicherheit der Deckenfläche anlangt, so waren einige Arbeiter nicht im Stande, dem Deckenputze durch Hüpfen auf den unabgedeckten Spreutafeln sichtbare Verletzungen beizubringen. Uebrigens lieferten Belastungsversuche ähnliche Ergebnisse, wie die in Art. 37 (S. 47) angegebenen.

c) Ausfüllung der Trägerfache mit Beton.

67. Steinschlag-, Kies- u. Schlacken-Beton.

Von ganz besonderer Wichtigkeit sind die in den letzten Jahren immer mehr verwendeten Decken aus Eisenbalken mit Betonausfüllung, unter welchen gewölbte und gerade Betondecken zu unterscheiden sind.

Bezüglich der zu verwendenden Betonmischungen vergleiche man Theil I, Band 1, erste Hälfte, wo auch die Bruchfestigkeiten verschiedener Mischungen angegeben sind. Als besonderer Baustoff ist jedoch noch der Schlacken-Beton, aus Kohlenschlacken und Cement- oder Kalkmörtel bestehend, anzuführen.

Die Firma *Odorico* in Frankfurt a. M. verwendet Schlacken-Beton aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 7 Theilen Schlacken [99]) von Tauben- bis Hühnereigrösse. Bei versuchsweiser Verwendung am Bau des Krankenhauses zu Karlsruhe wurde 1 Theil Cement mit 6 Theilen Schlacken und etwas Sand [100]) gemischt. Zu Ueberfüllungen von Tragbogen oder Platten aus Beton wird häufig, der Leichtigkeit halber, eine Mischung von 1 Theil Weiskalk mit 8 bis 10 Theilen Schlacke verwendet, welche einen ziemlich hohen Grad von Zusammenhalt erreicht.

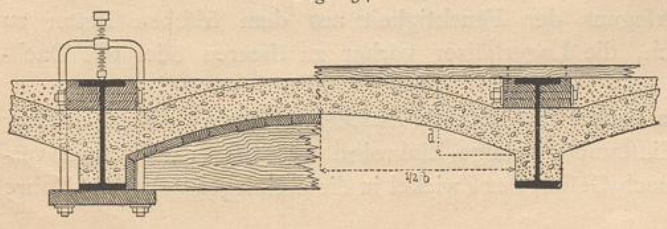
Die Zugfestigkeit des Schlacken-Betons beträgt etwa das 0,7-fache [100]) derjenigen von Kies-Beton, während das Gewicht nur knapp 0,5-fach so gross ist.

1) Gewölbte Betondecken.
(Betonkappen.)

68. Betonmischung.

Den Pfeil der gewölbten Betondecken kann man sehr flach halten, da nach Ausweis in Kap. 6 selbst bei starken Lasten und geringem Pfeile die Stärke des Bogens noch so gering wird, dass die Verwendung von Steinschlag-Beton wegen der unvermeidlichen Löcher hier häufig ausgeschlossen erscheint und man meist Kies- oder Schlacken-Beton verwenden muss. Der flache Pfeil und die geringe Stärke kommen der Erleichterung der an sich schweren Decke zu gute; um diese Vortheile thunlichst auszunutzen, legt man den äusseren Bogenscheitel in der Regel gleich hoch mit Trägeroberkante und füllt dann den unter dem Kämpfer verbleibenden Raum bis zum unteren Flansch

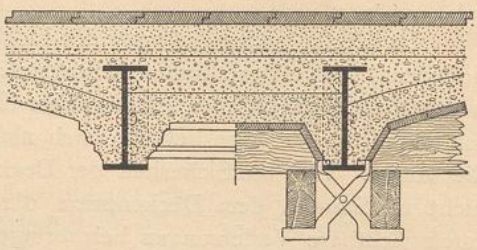
Fig. 134.



[99]) Siehe: Deutsche Bauz. 1890, S. 46.
[100]) Siehe ebendas., S. 7.

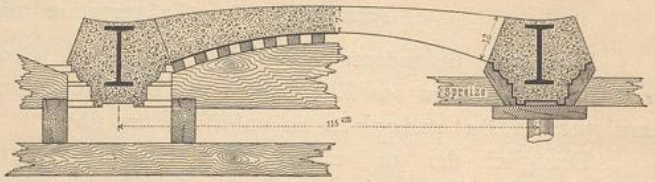
gleichfalls mit Beton aus (Fig. 134 u. 135) oder umhüllt den Balken unten noch vollſtändig mit Beton (Fig. 136).

Fig. 135.



Gewöhnlich enthält der gegrabene oder gebaggerte Kies an ſich erhebliche Sandbeimengungen; ſolche Kiesarten werden meiſt im Verhältniſſe von 5 Theilen Kies auf 1 Theil Portland-Cement gemiſcht. Bei ſorgfältigerer Bereitung aus reinem Kies und Cementmörtel kann man jedoch gleich gute Erfolge mit magereren Miſchungen erzielen.

Fig. 136.



So ſind die Gewölbe von ſchweizeriſchen Betonbrücken [101]) nach dem Verhältniſſe 1 Cement, 2 Sand und 4 Kies gemiſcht, die Flügel nach 1 : 2 : 6, die Widerlager ſogar nach 1 : 3 : 7 [102]).

69. Herſtellung und Ausrüſtung.

Die Herſtellung erfolgt, indem man auf Hängerüſtungen (Fig. 125, 128, 134 u. 135) oder unterſtützter Einrüſtung (Fig. 136 u. 137) unterhalb der Träger eine volle Schalung auf Bretterbogen herſtellt und auf dieſer den Beton in dünnen Lagen feſt einſtampft. Man beginnt hierauf mit der Füllung an den Trägern und ſchlieſst ſie allmählich nach dem Scheitel ab. Dabei iſt die angegebene Miſchung durchweg nur in der Stärke des Scheitels einzubringen; die Zwickel an den Trägern können, wie in Fig. 134 angedeutet iſt, mit einer mageren Füllmiſchung, etwa magerem Schlacken-Beton, ausgefüllt werden, welche nur eben genügend abbindet, um keine Schübe zu äuſsern, und dabei möglichſt leicht iſt. Dieſe Ausfüllung wird mit oder oberhalb der Trägeroberkante abgeglichen und nimmt erforderlichenfalls nach Fig. 138, 139 u. 140 für die Befeſtigung hölzerner Fuſsböden etwas ſchwalbenſchwanzförmig geſchnittene Lagerbohlen auf, auf welchen die Bretter ſpäter vernagelt werden. In Fig. 134 ſind die Lager an die Träger gebolzt; doch können die Bolzen in weiter Theilung ſitzen, bei guter Ueberfüllung auch ganz fehlen. Um ein Quellen der Lagerhölzer in Folge Eindringens der Feuchtigkeit aus dem friſchen Beton zu vermeiden, empfiehlt es ſich, die Lagerhölzer vorher zu theeren oder mit Dachpappe zu umhüllen.

Fig. 137.

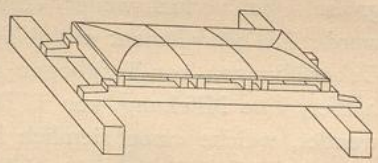
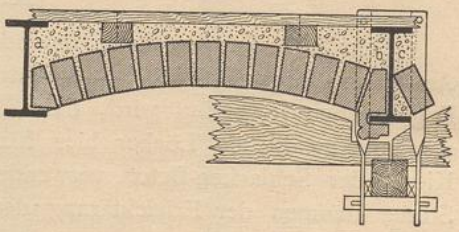


Fig. 138.



Bei nordamerikaniſchen Bauten hat man die Zwickelausfüllung dadurch leichter gemacht, daſs man beim Einſtampfen einige Zinkrohre mit offener Naht und verſchiedenem Durchmeſſer je nach Geſtalt der Zwickel in dieſe einlegte [103]). Die Rohre

[101]) Siehe: Schweiz. Bauz., Bd. 4 (1884), S. 136.

[102]) Ueber Verſuche mit Betonkappen und Steinkappen ſiehe: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 159.

[103]) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

Fig. 139.

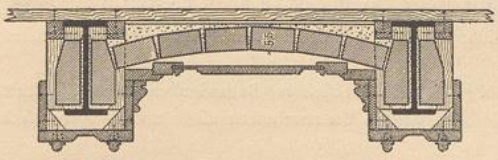
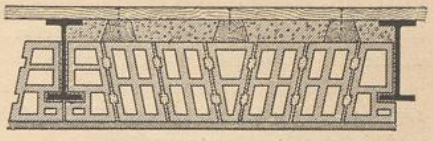


Fig. 140.

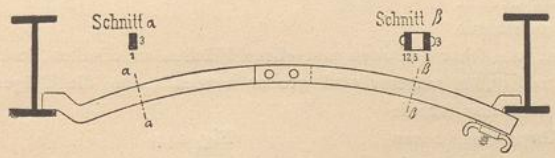


wurden im Inneren gegen den Aufsendruck in solcher Weise verspreizt, dass man diese Ausspreizung vom freien Rohrende aus leicht auslösen und herausziehen, dann den Rohrdurchmesser durch weiteres Aufwickeln verringern, also das Rohr herausziehen konnte. Die Rohre sind hiernach für weitere vorzustreckende Kappentheile immer wieder verwendbar. Auf diese Weise ist, namentlich bei grossen Kappen und starken Bogenpfeilen, eine sehr erhebliche Erleichterung zu erzielen.

Die Hängerüstungen, welche die Aufstellung eines Stielgerüstes unter der Decke (Fig. 136) ersparen, können in verschiedenster Weise angeordnet sein. Fig. 134 u. 138 zeigen über die Träger greifende Eisenbügel aus Flach- oder Rundeisen, welche in Fig. 138 Lagerhölzer und in Fig. 134 Lagerbohlen für die Aufstellung der Lehrbogen tragen und nach Fertigstellung der Kappen nach unten (Fig. 138), bezw. nach oben (Fig. 134) herausgezogen werden; die bleibenden Löcher sind zu verputzen.

Die Rüstscheere von *K. Michael* in Zwickau (Fig. 135 [104]) vermeidet die Löcher im Beton, da sie sich nur auf die untere Gurtung legt, und erleichtert das Ausrüsten erheblich. Sie ist besonders für das Einwölben von Steinkappen zu empfehlen, da bei diesen das Hinaufführen der Bügel über die Träger unbequem ist.

Fig. 141.



Die Rüstung von *Spaniol* in Schiffweiler (Fig. 141 [104]) ist einfach, da sie Hängerüstung und Bogen in einen Körper aus schwachem Bandeisen vereinigt. Der Eisenbügel ist am einen Ende einfach, am anderen doppelt, an ersterem zur Lagerung auf die untere Gurtung gekrümmt und am anderen mittels Flügelschraube im doppelten Flacheisen leicht zu befestigen. Da die Flügelschraube im Schlitze gleiten kann, so sind nicht allzu sehr verschiedene Weiten mit demselben Bügel einzurüsten. Die Eisenbügel nehmen unmittelbar die Schallatten auf. Selbstverständlich können diese Bügel auch so geformt werden, dass sie für vertiefte Felder, wie in Fig. 138 u. 134 passen [105]).

Die Ausrüstung erfolgt bei den angegebenen Mischungen frühestens nach 10 Tagen; während dieser Zeit ist im heissen Sommer dauernde Feuchthaltung der Füllung durch leichtes Begiessen, wenn möglich auch Bedecken mit einer feuchten Sandschicht zu empfehlen. Noch einige Zeit nach der Ausrüstung soll die Wölbung keinen schweren Lasten, namentlich keinen Stössen ausgesetzt werden; selbst für den Verkehr der Arbeiter lege man Laufbretter auf die Decke.

Im Nachstehenden seien einige Beispiele von neueren ausgeführten Betonkappen vorgeführt.

70. Beispiele ausgeführter Betonkappen.

α) Eine ganz besonders starke Anordnung dieser Art zeigt Fig. 135 aus einem neuen Schulhause zu Mainz [106]). Hier sind die Träger paarweise zusammengelegt, was sich für die Aufnahme der Schübe der Kappen als zweckmäßig erweisen kann (vergl. Kap. 6); in die engen Fache ist eine gerade, in die weiten eine gewölbte Betondecke gelegt, welche dann eine bis über die Träger reichende Zwickel-

104) Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 597.

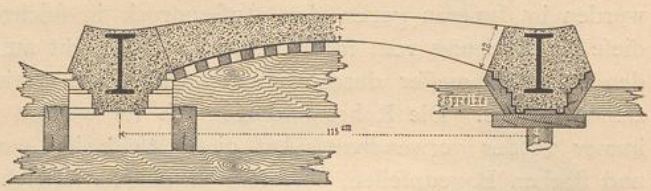
105) Vergl. sonst auch *Rilling* (D. R.-P. Nr. 3970), für verschiedene Weiten und Pfeile, auch für ebene Platten unverändert verwendbar; so wie: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 201.

106) Siehe: Deutsche Bauz. 1886, S. 3.

füllung trägt. Diese ist dann wieder mit gewöhnlicher Bettung zur Aufnahme der Fufsbodenlager überdeckt. Um Gewicht und Kosten dieser aufsergewöhnlich starken Decke thunlichst herabzumindern, ist die Zwickelfüllung in magerem Schlacken-Beton, aus leichten porösen Schlacken mit Weifskalk ausgeführt, welcher für 1 cbm fertig 6 Mark kostete.

β) Im Gerichtshause zu Frankfurt a. M[107]) sind feuersichere Betondecken nach Fig. 142, 143, 144 u. 145 als abgewalmte Tonnen-Cassetten von den beiden Unternehmern *Löhr* und *Odorico* nach verschiedenen Verfahren ausgeführt, indem jedes Feld eines rechtwinkeligen Rostes aus Balken und Zwischenträgern mittels einer Kappe aus Beton von 8 Theilen Kiessand, 1 Theil Cement und 1/4 Theil Kalk gedeckt wurde.

Fig. 142.



Die Ausführung der ziemlich umfangreichen Arbeiten nach *Löhr* ist in Fig. 142, 143 u. 144 dargestellt. Zunächst wurden hölzerne Kasten aus zwei Seitentheilen und einer Bodenbohle unter den Trägern so zusammengesetzt, wie Fig. 142 rechts im Querschnitt, 143 im Grundrifs zeigt. Die Seitenwände der Kasten bilden nach Fig. 143 verstrebte, rechtwinkelige Eckstücke, zwischen welche keilförmig abgeschnittene Mittelstücke eingetrieben wurden, um einerseits verschiedene Längen der Felder mit denselben Theilen einrüsten, andererseits das durch die Feuchtigkeit etwas quellende Holz leichter ausrüsten zu können. Innen waren die Kasten mit genau nach dem verlangten Querschnitte der Trägerhülle geformtem Zinkblech ausgeschlagen, das vor jeder Benutzung etwas gefettet wurde, damit der Cement nicht anbinden konnte. Diese Kasten wurden zuerst mit einer dünnen Lage Cement genau ausgestrichen, um scharfe Kanten und ebene Flächen zu erhalten, und in diese Masse wurde der Beton, von unten nach oben magerer und grober werdend, um die Träger herum, unter genauem Abgleichen der Kämpferflächen für die Kappen, eingestampft. Nach Abbinden dieses Körpers setzte man die in Fig. 144 dargestellte Kappenrüstung auf entsprechende Lagerhölzer in das Feld ein. Die Aufsenfläche auch dieser bestand aus gefettetem Zinkblech auf ganz dünner Lattung (Fig. 142 links); hierauf wurden auch die Kappen innen fetter, aufsen magerer und grober eingestampft. Nach der Ausrüstung wurden die Nähte nachgefugt und mit dem Messer gesäubert.

Fig. 143.

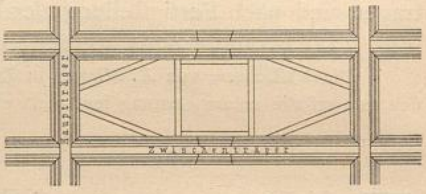
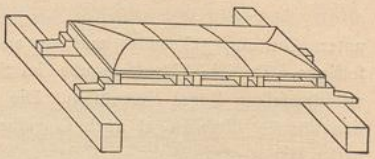


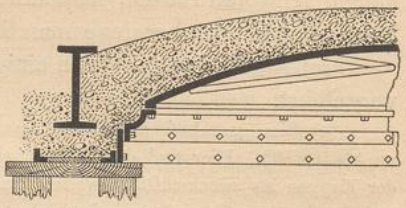
Fig. 144.



Die Beschaffungskosten dieser Einrüstung betrugen 15 Mark für 1 qm, wurden aber durch die Wiederverwendung schliefslich sehr gering.

Die Firma *Odorico* verwendete dagegen die in Fig. 145 dargestellte, aus Eisenblech und Gufseisenleisten durch Verschraubung für die Trägerhülle und die Kappenlaibung gemeinsam hergestellte Einrüstung auf Stielen und Bohlen unter den Trägern, in welche der gesammte Beton für beide Theile unten fett, oben magerer und grober auf einmal eingestampft wurde. Damit die Arbeiter auf den Blechböden verkehren konnten, ohne diese zu verdrücken, waren noch Rundeisen-Schrägsteifen eingeschraubt. Die Beschaffungskosten dieser Einrüstung betrugen 45 Mark für 1 qm.

Fig. 145.



Die Kosten der Decke ohne Träger, Einrüstung und Fufsboden betrugen durchschnittlich 6,5 Mark für 1 qm.

Bei der Probebelastung riefen 3000 kg auf 1 qm noch keine erkennbare Veränderung des Gefüges hervor. Ein 2,5 m hoch fallendes Gewicht von 25 kg schlug ein rundes Loch in die Kappe, ohne diese sonst zu verletzen.

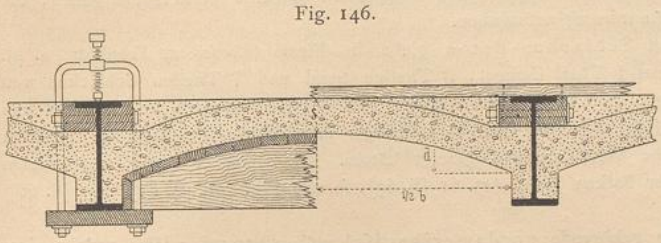
Die sämmtlichen zu malenden Innenflächen von Cementkörpern wurden mit kohlensaurem Am-

[107]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 274.

moniak übergeſtrichen, um als Grundlage für die durch friſchen Cement gefährdete Bemalung eine dünne Schicht kohlenſauren Kalkes zu erzielen.

γ) Bei Erweiterung des Bahnhofes zu Erfurt[108]) wurden Betonkappen in einer Ausdehnung von 3400 qm aus 1 Theil Cement und 8 Theilen ziemlich ſandfreiem Kies mit 1,5 cm bis 2,0 cm Cement-Eſtrich der Miſchung 1 Theil Cement und 2 Theilen Sand ausgeführt. Die Kappen hatten bei 1/10 Pfeilverhältniſs 11 cm Stärke und wurden dann nach Fig. 146 bis auf die unteren Trägerflanſche hinabgeführt, welche unten ſichtbar blieben. Die Kappen hatten zum Theile unmittelbar nach der Herſtellung eine Kälte von 6 Grad R. auszuhalten, erwieſen ſich aber als dadurch nicht beſchädigt und trugen, 14 Tage alt, 2850 kg auf 1 qm unter ziemlich ſchweren Hackenſchlägen, ohne eine Veränderung zu zeigen; dagegen brach eine verſuchsweiſe hergeſtellte ebene Betonplatte von gleicher Stärke ſchon unter geringer Laſt.

Fig. 146.



Bezüglich der gelegentlich dieſer Ausführung verhandelten Frage, ob ſo flache Kappen in Folge Treibens des Betons Schub äuſsern oder als Platten wirken, giebt *Schumann* in Amöneburg an, daſs unter Waſſer zwar 1/4 Jahr lang ſtarkes Treiben ſtattfindet, welches erſt nach 2 Jahren aufhört; auf 1 m Länge ſind Ausdehnungen beobachtet: nach 1/4 Jahr um 0,2 mm, nach 1/2 Jahr um 0,22 mm, nach 1 Jahr um 0,27 mm, nach 2 Jahren um 0,3 mm. Natürliche Bauſteine dehnen ſich oft nach der Verwendung mehr aus. Dieſe Maſse genügen nicht, um das Auftreten erheblicher Schübe abzuleiten. Nun iſt es aber ſogar wahrſcheinlich, daſs ſich die trocken erhärtenden Kappen zuſammenziehen, worauf die Schwindriſſe und der Umſtand hindeuten, daſs Probewürfel aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Sand bei 10 cm Seitenlänge 1 Woche unter Waſſer und 3 Wochen trocken erhärtet 0,042 mm Seitenverkürzung ergaben.

Es wäre aber gefährlich, auf Grund dieſer Beobachtungen anzunehmen, daſs die flachen Kappen überhaupt nicht ſchieben, und dann die Träger nur auf die lothrechten Laſten zu berechnen; denn die Plattenkörper brechen jedenfalls leichter, als die Kappen, und wenn nun eine als Kappe berechnete Fachfüllung zunächſt auch wirklich als Platte wirkte, ſo würde ſie dadurch Spannungen erleiden, die über die berechneten erheblich hinausgehen. Sollten in Folge davon feine Riſſe entſtehen, ſo iſt die Plattenwirkung jedenfalls aufgehoben, und die Gewölbewirkung beginnt nun unter ganz geringem Verkanten der Theile. Es iſt daher nöthig, den Kappenſchub gleich in die Trägerberechnung einzuführen.

δ) Bei Erbauung des Krankenhauſes zu Karlsruhe[109]) wurden drei Arten von Fachfüllungen in Betracht gezogen: ebene Betonplatten, Kappen aus Beton und Kappen aus Schlacken-Beton. Die erſte Anordnung wurde aufgegeben, weil die Platten an ſich dick werden und viel Füllung verlangen, alſo im Ganzen ſchwer werden. Bei den Kappen erzielt man zwar etwas vergröſserte Tragfähigkeit, wenn man dieſelben mit den Zwickeln als einen Körper bildet; aber dieſe Anordnung wird ſchwerer und theuerer, als möglichſt dünne Tragbogen mit magerer leichter Ueberfüllung. Bezüglich dieſer Anordnung wurde dann für die 1,3 bis 1,5 m weiten Felder ein Vergleich eines Tragbogens mit 1/9 Pfeilverhältniſs aus 1 Theil Cement, 2 Theilen Sand und 4 Theilen Kies nebſt Ueberfüllung aus 8 Theilen Schlacken mit 1 Theil Weiſskalk mit einem Bogen nebſt Zwickeln aus 1 Theil Cement und 6 Theilen Schlacken mit etwas Sand angeſtellt. Der Schlacken-Beton beſaſs die 0,7-fache Zugfeſtigkeit des Kies-Betons; machte man letzteren alſo 10 cm ſtark, ſo muſſte der Schlacken-Beton 14 cm dick ſein. Die Decke aus Schlacken-Beton würde dann auf 1 qm 80 kg leichter, als die aus Kies-Beton, aber nicht billiger. Da man auſserdem den Gehalt der Schlacken an Schwefelverbindungen fürchtete, ſo erſchienen die mit Schlacken-Beton zu erzielenden Vortheile nicht durchſchlagend, und man wählte den Kies-Betonbogen, theerte aber die oberen Trägertheile, um ſie einer etwaigen ungünſtigen Einwirkung des Schwefels in den Schlacken der Ueberfüllung zu entziehen. Nach oben wurden die Bogenkämpfer bis unter den oberen Tägerflanſch hinaufgezogen, um eine Art von Einſpannung zu erzielen.

Es entſtand ſo die in Fig. 147 dargeſtellte Anordnung, auf deren Ueberfüllung ein Parquet-Fuſsboden in Aſphalt verlegt und welche von unten her abgeputzt wurde. Die Trägerflanſche blieben auch hier unten ſichtbar. Die Träger erleiden hier bei 660 kg für 1 qm Geſammtlaſt der Decke für 1 qcm 1000 kg

[108]) Siehe: Deutſche Bauz. 1889, S. 491.

[109]) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 7.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Spannung. Die Koften beliefen fich auf 15,0 Mark für 1 fertiges Quadr.-Meter, während der Anfchlag für Holzbalken mit Gypsdielen, Füllung, Parquet auf Blindboden und Deckenputz etwa nach Fig. 71 (S. 46), unter Erfatz der dort gezeichneten Spreutafeln durch Gypsdielen, 13,4 Mark für 1 qm und wegen der geringeren Laft etwas weniger Mauerwerk ergab. Der Unterfchied erfchien nicht grofs genug, um die gewählte, jedenfalls ficherere Anordnung aufzugeben.

Fig. 147.



ε) Günftige Erfahrungen mit Schlacken-Beton giebt die Firma *Odorico* zu Frankfurt a. M. an [110]). Kappen von 2 m Weite aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 7 Theilen Schlacken von Tauben- bis Hühnereigröfse ertrugen bei 12 cm Scheitelftärke und 15 cm Kämpferftärke im Alter von 4 Wochen nach einander für 1 qm 1000 kg voller, 2600 kg einfeitiger und 2880 kg Belaftung der mittleren Hälfte, ohne dafs fich irgend welche Veränderungen gezeigt hätten. Die Kämpfer der Kappen waren mit Hülfe paarweifer Anordnung der Balken (fiehe Art. 61 [S. 65], fo wie Fig. 108 [S. 65], 109 [S. 66]) kräftig unterftützt.

ζ) Eine eigenartige, hierher gehörende nordamerikanifche Conftruction [111]), welche dem Grundgedanken nach Aehnlichkeit mit den Platten von *Rabitz* und *Monier* befitzt, zeigt Fig. 148. Der

Fig. 148.



Fig. 149.



einzudeckende Raum wird mit einer Schaar von gedrehten Quadrateifen (Fig. 149) geringer Stärke überdeckt, welche dann in untere Anfätze einer zwifchen den Stäben etwas gewölbten Betonplatte eingeftampft werden. Das Drehen hat den Zweck, die Haftfeftigkeit des Eifens im Beton zu erhöhen. Die Schaar der Quadrateifen bildet gewiffermafsen die Zuggurtung des plattenförmigen Deckenträgers, deffen Druckgurtung der obere volle Betonkörper darftellt. Eiferne Träger find hier alfo ganz vermieden. Unter ftofsweife wirkenden Laften und für grofse Spannweiten dürfte die Anordnung bei der nie ganz zu überwindenden Unzuverläffigkeit des Betons unter Zug- und Scherbeanfpruchung ihre Bedenken haben.

71. Unterflächen.

Will man bei gewölbter Fachfüllung unten ebenen Abfchlufs haben, fo kann man *Rabitz*- oder *Monier*-Putz mit Eifenbügeln unter die Trägerflanfche hängen oder in den Beton auf den Trägerflanfchen Holzklötze zum Befeftigen der Verfchalung für eine gerohrte und geputzte Decke einfetzen. Es laffen fich jedoch auch die gewölbten Fachfüllungen ganz gefällig ausftatten, wie dies z. B. im Dienftgebäude der Provinzial-Steuerdirection zu Berlin, Alt-Moabit, mittels untergelegter gekrümmter Stuckplatten mit erhabenen, gegoffenen Verzierungen gefchehen ift.

2) Gerade Betondecken.

72. Betonplatte.

Bei den Füllungen gerader Betondecken ruht ein im Querfchnitte rechteckiger Betonkörper auf dem unteren Balkenflanfch, wie in Fig. 150 bis 153, überträgt daher keinerlei Schub auf die Träger, mufs aber bei plattenartiger Wirkung bezüglich der Laftübertragung gröfsere Stärke erhalten, weil der Widerftand der Betonplatten gegen vorwiegende Biegung weniger zuverläffig ift, als gegen vorwiegenden Druck (vergl. Art. 70, S. 79, unter γ). Hierdurch werden die Decken beträchtlich fchwerer und der Vortheil der geringeren Beanfpruchung der Träger geht zum Theile wieder verloren. Füllt man die Trägerhöhe mit einer Betonplatte aus, fo wird die Decke bei der guten Schallübertragung durch eine dichte Platte und dem Fehlen der Hohlräume meift nicht fo fchalldicht werden, wie die fchwächere, in den Zwickeln anderweitig überdeckte Betonkappe.

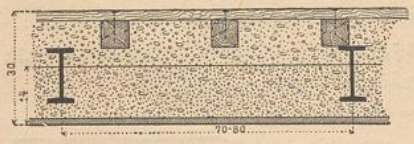
---

[110]) In: Deutfche Bauz. 1890, S. 46.

[111]) Siehe: *Nouv. annales de la conftr.* 1887, S. 29.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 150.



73. Gewöhnliche Anordnungen.

Ein Beifpiel einer ftarken ebenen Decke, welche der gewölbten Anordnung in Fig. 135 (S. 76) entfpricht, zeigt Fig. 150 [112]).

Die Träger find hier auch unten vom Beton umhüllt, daher vor dem Feuer gefichert und bei der Deckenausbildung nicht hinderlich. Die eigentliche Betonplatte trägt noch eine etwa 11 cm ftarke Lage von Schlacken-Beton, welche die Schaldichtigkeit erhöht und die Lagerhölzer aufnimmt. Die Unterfläche konnte hier auf dem Beton geputzt werden.

Fig. 151 u. 152 zeigen Decken, wie fie von *Heufsner* [113]) in Wohngebäuden in Hannover ausgeführt find.

Die ftärkeren Decken der unteren Gefchoffe wurden nach Fig. 151 ausgeführt. Auf der eigentlichen Betonplatte wurden die Lagerhölzer mittels untergelegter Keile genau ausgerichtet und dann mit Schlacken-Beton ausgeftampft. Die Träger-Unterflanfche find bündig eingeputzt.

Fig. 151.

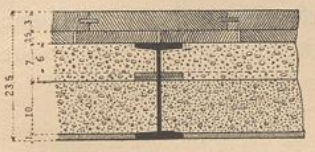
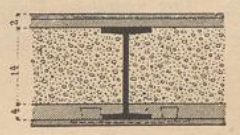


Fig. 152.



Für die Decken, welche nur Schlafräume tragen, ift die Betonplatte erheblich fchwächer, die Schlacken-Betonlage ftärker, die ganze Decke alfo leichter gemacht. Um die Decke unten von den Bewegungen der Träger unabhängig zu machen, find neben den Kanten des Unterflanfches fchwalbenfchwanzförmige Klötzchen eingefetzt, auf die ein Streifen Dachpappe genagelt wurde und welche zugleich zur Befeftigung einer Berohrung unter der Pappe dienten.

Die ebenen Schlacken-Betonplatten aus den Werkftättengebäuden des Hauptbahnhofes zu Frankfurt a. M. [114]), ausgeführt von *Odorico* in Frankfurt a. M., find im Zuftande der Entftehung durch Fig. 153 dargeftellt.

Fig. 153.

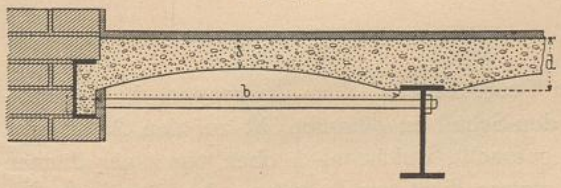


Der Beton befteht aus 7 Theilen Gasfchlacke von Sandkorn- bis 4 cm Gröfse und 1 Theil Cement. Das Mengen erfolgte trocken; die Maffe wurde dann nafs durchgearbeitet und auf der in Fig. 153 gezeichneten Holzfchalung nur 8 cm ftark zwifchen die Träger geftampft. Die Ausrüftung erfolgte nach 3 bis 4 Tagen, und bei der gleich vorgenommenen Belaftungsprobe ergaben 2100 kg auf 1 qm noch keine Formänderung. Auf den Platten liegen in Wohnräumen Lagerbohlen mit Bretterfufsboden, fonft Cement-Eftrich oder Terrazzo.

74. Befondere Anordnungen.

Um zu verhüten, dafs fich die Kanten der Träger-Obergurtungen in einem nicht mit Holz bedeckten Fufsboden durch Riffe bemerkbar machen, hat man die Betonplatte, wie in Fig. 154 u. 155, oben über die Träger weg gelegt. Trotz der unten gekrümmten Geftalt wirkt der Beton in Fig. 154 in der Regel plattenartig, da wefentliche Schübe auf die Träger nicht übertragen werden können. Um jedoch etwa entftehende Schübe nicht auf die Wand zu bringen, ift die in Art. 61 (S. 66) erklärte Verankerung des vorletzten mit dem Wandträger vorgenommen.

Fig. 154.

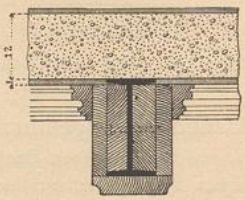


112) Siehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 3.
113) Siehe: Deutfche Bauz. 1887, S. 608. — Wochbl. f. Baukde. 1887, S. 449.
114) Siehe: Deutfche Bauz. 1889, S. 572.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

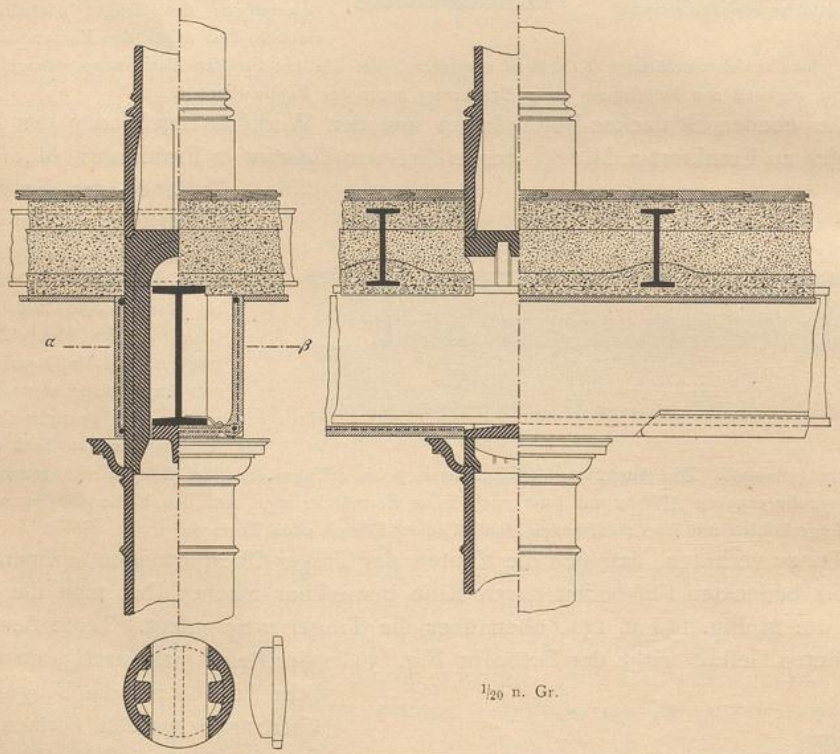
Bei der Conſtruction in Fig. 155 (von *Heuſsner* in Hannover ausgeführt) ſind die Träger zur Ausbildung einer Decke mit vertieften Balkenfeldern mittels Holzverſchalung benutzt. Die beiden Decken in Fig. 154 u. 155 klingen unter dem oben ſtattfindenden Verkehre. Fig. 155 iſt unter Schlafräumen angebracht und daher mit Linoleum abgedeckt, wodurch der Schall gedämpft wird. Die Anordnung in Fig. 154 eignet ſich beſonders für die Herſtellung im Freien liegender Decken, z. B. Balcon-Decken, da die Träger ſelbſt nach dem Entſtehen kleiner Riſſe gut gegen Näſſe geſchützt ſind. Sind die Träger oben bündig mit dem Beton, ſo ſind Abtrennungen des Betons von den Trägern unvermeidlich, in welche das Waſſer eindringt; alsdann entſteht die Gefahr, daſs die Träger roſten.

Fig. 155.



In Fig. 156 iſt eine Deckenanordnung mit Betonplatte dargeſtellt, welche allen Anforderungen genügen dürfte. Die unteren Trägerflanſche tragen eine dünne Betonplatte, deren Dicke genau der verlangten Tragfähigkeit entſpricht und welche

Fig. 156.



1/20 n. Gr.

Schnitt $\alpha\beta$.

die unteren Trägertheile ganz gegen Feuer ſichern. Der Deckenputz iſt unmittelbar unter den Beton gebracht. Um den Schall zu dämpfen, iſt auf den Beton eine Lage möglichſt unelaſtiſcher Füllung gebracht, welche nach oben von einer dünnen Lage Schlacken-Beton bedeckt iſt. Letztere dient zur Aufnahme der Nägel und der Jutelage für einen nach Patent *Ludolff* anzubringenden Parquet- oder Stabfuſsboden und zugleich zur ſicheren Einhüllung der Eiſenbalken von oben, um dieſe auch hier

gegen Feuer zu ſichern und zu verhindern, daſs ein Ablöſen der Trägerkanten die Fuſsbodenanordnung verletzt. Die zwiſchen zwei Betonlagen vollkommen eingeſchloſſene Füllung kann in dieſer Anordnung, ſelbſt bei mangelhafter Beſchaffenheit, keine Uebelſtände hervorrufen.

Der Unterzug dieſer Decke hat zugleich einen etwas vergröſserten Körper und ziemlich wirkſamen Feuerſchutz durch Einhüllen in einen Kaſten aus *Rabitz*- oder *Monier*-Putz erhalten. Zu dieſem Zwecke ſind ſtarke Tragdrähte unter den Balken der Decke befeſtigt, an denen zwei weitere in den unteren Kaſtenecken durch lothrechte Drahtnetze aufgehängt ſind; auch zwiſchen dieſe iſt ein Drahtnetz eingeſpannt, ſo daſs nun ein vollſtändiger Kaſten, in den unteren Ecken mit Rundſtab verziert, eingeputzt werden kann. Die unteren Eckdrähte ſind mittels Flacheiſenklammern auch gegen die untere Gurtung des Unterzuges abgeſteift. Die Breite des Kaſtens iſt ſo bemeſſen, daſs ſie das runde Zwiſchenfatzſtück der Stütze zwiſchen den Wandungen aufnehmen kann, das ſomit ganz verſchwindet. Die Luftſchichten zwiſchen den Kaſtenwänden und dem Unterzuge ſichern letzteren auch gegen bedeutende Hitzegrade. Die Anordnung verſtöſst nur gegen die von *Stolz* (vergl. Art. 56, S. 58) aufgeſtellte Regel, daſs unter den Decken keine vorſpringenden Theile liegen ſollen. Da aber ſelbſt bedeutende Hitzegrade hier erſt nach ſehr langer Dauer eine ſchädliche Wirkung auf die Träger ausüben können, ſo iſt darin kein Mangel zu erkennen.

Trotz ihrer groſsen Dichtigkeit und Stärke nimmt dieſe Zwiſchendecke doch nur eine geringe Höhe ein.

75. Bemeſſung der Eiſenträger.

Wegen der ebenen Schalung ſind die geraden Betondecken etwas einfacher herzuſtellen und werden daher häufig den gewölbten vorgezogen; die oben angeführten Vortheile laſſen jedoch die letzteren den erſteren im Allgemeinen überlegen erſcheinen.

Bei Verſuchen, welche nicht bis zum Bruche getrieben wurden, hat man nun auch bei mit Wölbung hergeſtellten Betondecken wiederholt keinen Schub auf die Träger bemerkt. Es iſt jedoch nicht zu empfehlen, bei der Bemeſſung der Träger von dieſen Schüben abzuſehen, da ſie beim Entſtehen von ſelten ganz zu vermeidenden Riſſen ſich entwickeln müſſen, andererſeits aber in den meiſten Fällen die Kappen ſo angeordnet werden können, daſs die Schübe ſich an jedem Träger für alle Belaſtungen aufheben, wie in Kap. 6 nachgewieſen werden wird.

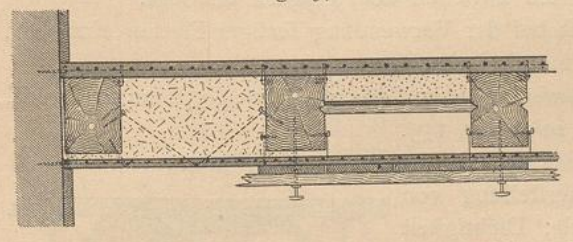
d) Rabitz- und Monier-Decken.

76. *Rabitz*-Decken.

In neueſter Zeit verbreitet ſich die Verwendung von Decken, welche nach den Patenten *Rabitz* und *Monier* aus Eiſenträgern und Mörtelplatten mit Drahteinlage in verſchiedener Weiſe zuſammengeſetzt werden (vergl. Art. 33 [S. 44], 45 [S. 52] u. 46 [S. 53]).

Derartige Anordnungen können zunächſt nach *Rabitz* wie in Fig. 157 ausgeführt werden, wenn man dort die Holzbalken durch eiſerne Träger erſetzt. Die Füllung erfolgt dabei zwiſchen den beiden Mörtelplatten gleichfalls mittels Torfgruſs oder Kieſelguhr in dünner Lage oder in voller Stärke; die Drähte werden mittels Blechbügeln an den Trägern befeſtigt. Die Hohlräume zwiſchen den Platten können in Fällen, wo es auf das Warmhalten auch der Fuſsböden ankommt, zum Einlegen von Heizrohren benutzt werden.

Fig. 157.



Bei der Ausführung derartiger Decken werden zuerſt die ſtärkeren Drähte quer

über die Balken gespannt, bei 8 bis 12 mm Stärke in 20 bis 25 cm Theilung; alsdann werden die 5 bis 6 mm starken Längsdrähte in 10 bis 15 cm Theilung eingebunden und das Ganze mit Laufbrettern eingedeckt. Nun wird der Mörtel aus Gyps oder Cement und Sand oder aus beiden gemischt auf einer verschieblich zwischen die Träger eingesetzten Rüstung in Bahnen quer zu den Balken etwa 1,0 m breit eingestampft, wobei einzelne Löcher zum späteren Einbringen der Füllung ausgespart werden. Unter Verschieben der Rüstung reiht man so Bahn an Bahn. Nach Schluss der oberen Platte spannt man die Drähte unten, drückt den Putz in das Gitter und streicht ihn glatt ab. Schliesslich erfolgt das Einbringen der Füllung durch die ausgesparten, später zu verputzenden Löcher.

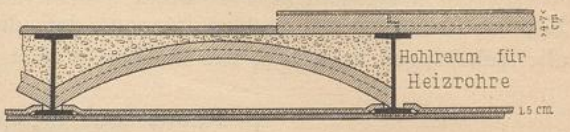
Will man die untere Platte mit der Füllung erst einbringen, so spanne man unter das obere Gitter nach Fertigstellung der übrigen Arbeiten einen billigen Zeugstoff, damit der Mörtel für die obere Platte beim Einbringen ohne Rüstung nicht in die Füllung fällt.

Man kann jedoch in diesem Falle nach Herstellung der unteren Platte auch die obere in Bahnen auf beweglicher Rüstung herstellen, wenn man nach Herstellung einer Querbahn das herausgezogene Gerüst sogleich durch eine entsprechende Bahn der Füllung ersetzt.

Uebrigens ist die Füllung nicht unbedingt erforderlich, da die dichten Platten die Wärme wenig durchlassen und der Schall durch den Hohlraum wesentlich gemildert, wenn auch nicht aufgehoben wird.

Eine ganz ähnliche Decke nach *Monier* zeigt Fig. 158 in ihrem rechten Theile. Hier sind die fertigen Platten, 4 bis 7 cm stark für den Fussboden auf die Träger, für den Deckenputz 1,5 cm stark mit aufgekrümmten Rändern zwischen die unteren Gurtungen gebracht. Die Platten haben die Drahtgitter im unteren Viertel, bezw. in der Mitte und bestehen aus fettem Cementmörtel (1 : 1 bis 1 : 3). Die oberen Platten erhalten an den Rändern Falzung und werden mit Cement verstrichen; aus den unteren lässt man die Drahtenden vorragen, welche nach Verlegen der Platten unter den unteren Gurtungen verflochten werden, um hier den am Träger nicht haftenden Deckenputz zu halten. Der Putz wird ohne Weiteres unter die untere Platte gebracht.

Fig. 158.



Werden die Platten ohne Fuge über mehrere Trägerfache gestreckt, wie in Fig. 159, so kann man zweckmäfsig den Zugspannungen in dem entstehenden continuirlichen Träger durch eine geschlängelte Gestalt der Drahteinlagen folgen, indem man sie über den Trägern hoch, mitten zwischen den Trägern tief legt.

Das Einbringen von Füllung ist bei der Verwendung fertiger Platten einfacher, als bei Herstellung derselben an Ort und Stelle.

Die Anordnung einer nach *Monier* ganz in Cement, bezw. Gyps ausgeführten, reich ausgestatteten Cassetten-Decke zeigt Fig. 159.

Fig. 159.



Bei den zu Fig. 157, 158 rechts u. 159 beschriebenen Anordnungen ist die Herstellung von Bretterfussböden nicht wohl möglich; Dichtigkeit gegen Schall ist nur durch Einbringen von Füllung herzustellen, welche, abgesehen von der Ausführung

in Torfgruſs, das Gewicht der Decke erheblich vergröſsert; dabei wird das Zittern und Dröhnen der oberen Platte unter geringen Verkehrsſtöſsen doch nicht vermieden.

77. *Monier*-Bogenplatten.

Voll aufgelagerten (auch Holz-) Fuſsboden kann man verwenden, wenn man gekrümmte *Monier*-Platten bogenartig zwiſchen die Träger ſpannt (Fig. 158 links). Letztere müſſen dann für die Aufnahme der Seitenſchübe verſtärkt werden, werden hierin aber durch einen etwa vorhandenen geraden Deckenputz weſentlich unterſtützt. Da dieſe Bogen bei einſeitiger Belaſtung in wechſelndem Sinne gebogen werden, ſo iſt es zweckmäſsig, den Platten, wenn ſie ſtark genug dazu ſind, zwei Drahteinlagen im oberen und unteren Viertel zu geben.

Die Bogenplatten, welche beim Einbringen von Betonleiſten auf die Unterflanſche nicht wie in Fig. 158 auf dieſe geſetzt zu werden brauchen, daher das Trägerfach gröſstentheils hohl laſſen, werden mit magerem, leichtem (z. B. Schlacken-) Beton, welcher bei Bretterfuſsböden die Lagerhölzer nach Fig. 115 (S. 68), 138 (S. 76), 139 (S. 77) u. 140 (S. 77) oder Fig. 146 (S. 79) aufnimmt, nach Bedarf hinterfüllt.

Belaſtungsverſuche mit *Monier*-Platten lieferten die nachfolgenden Ergebniſſe.

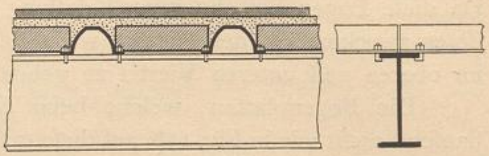
Nr.	der Platten				Drahteinlage			Belaſtung		Erfolg
	Länge	Spannweite	Dicke	Pfeil	Art	Drähte in Richtung der Spannweite	Drähte in Richtung der Länge	Art	Gröſse	
1	60	150	5	0	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	2 von 10 mm 1 » 8 » 2 » 6 » 4 » 5 »	5 mm dick in 6 cm Abſtand	voll	1813	45 mm Durchbiegung ohne Bruch.
2	60	100	5	0	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	3 von 8 mm 2 » 7 » 2 » 6 » 2 » 5 »	5 mm dick in 6 cm Abſtand	voll	3000	6,5 mm Durchbiegung; Entſtehen von ſichtbaren Haarriſſen.
3	60	450	5	40	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	3 von 14 mm 6 » 8 »	6 mm dick in 7 cm Abſtand	einſeitig bis Scheitel	2550	12 mm Hebung der unbelaſteten, 13 mm Senkung der belaſteten Seite, ohne Bruch.
								»	2608	Bruch im Mörtel.
4	60	450	5	40	2 Drahtgeflechte in den Dritteln	5 mm dick in 6 cm Abſtand	5 mm dick in 6 cm Abſtand	einſeitig bis Scheitel	2455	15 mm Hebung der unbelaſteten, 13 mm Senkung der belaſteten Seite, ohne Bruch.
								»	2970	Bruch im Mörtel.
5	60	450	1 Cement 1 Sand 5	40	ohne Einlage	—	—	einſeitig bis Scheitel	1060	8 mm Hebung der unbelaſteten, 11 mm Senkung der belaſteten Seite, Bruch.
	Centim.							Kilogr. auf 1 qm		

e) Sonſtige Anordnungen.

78. Decken mit Belageiſen.

Eine im Brückenbau häufiger, als im Hochbau verwendete Deckenanordnung iſt die in Fig. 160 dargeſtellte aus Belageiſen [115]) und Backſtein-Flach- oder -Rollſchichten [116]). Die auf die Träger gelegten Belageiſen werden, um jede Lochung der erſteren zu vermeiden, mittels kleiner Hakenſchrauben in ſolchen Entfernungen von einander befeſtigt, daſs die Zwiſchenräume mit Backſteinen überdeckt werden können. Um die Ungleichförmigkeiten in der Laſtvertheilung auf die Träger in Folge durchlaufender Continuität der Belageiſen zu vermeiden, mache man die Länge der letzteren gleich der Trägertheilung. Für gewöhnliche Verhältniſſe genügt die Ueberdeckung durch die Länge flach gelegter Ziegel oder beſſer Hohlſteine; für ſchwerere Laſten muſs man die Ziegel hochkantig ſtellen, und nur unter auſsergewöhnlichen Verhältniſſen ſind die Belageiſen auf Steinbreite zuſammenzurücken, wobei dann die Deckung wieder mittels Flachſchicht oder Rollſchicht aus Zweiquartiren erfolgen kann. Dieſe Decke erhält zunächſt noch eine Ueberfüllung aus Sand oder, zur Verhinderung des Durchrieſelns, beſſer aus ganz magerem Mörtel, bezw. Schlacken-Beton, welche dann jede Art von Fuſsboden aufnehmen kann.

Fig. 160.



Die Ueberdeckung der Zwiſchenräume kann ſtatt mit Backſteinen zweckmäſsiger mittels Beton erfolgen.

Eine ebene, geputzte Decke iſt bei dieſer Conſtruction wegen der Höhlungen der Belageiſen nur mittels beſonderer Hilfsmittel — etwa nach *Rabitz* oder *Monier* — herzuſtellen. Dagegen kann man die Träger bei nicht zu bedeutender Höhe derſelben in der Ueberdeckung verſchwinden laſſen, wenn man die Belageiſen auf den unteren Trägerflanſch legt.

Für beſſer ausgeſtattete Räume iſt dieſe Anordnung wegen der ſchwierigen, an ſich unſchönen Deckenausbildung nicht zu empfehlen.

79. Steinerne Caſſetten-Decken.

Als letzte Decke aus Stein und Eiſen, deren Verwendung ſich jedoch auf beſondere Fälle beſchränkt, iſt die Decke aus Steinplatten auf Eiſenträgern, ſteinerne Caſſetten-Decke, zu nennen. Dieſe Anordnung wird ſchon dadurch ſchwierig, daſs nur wenige Geſteinsarten die Herſtellung ſolcher auf Biegung zu beanſpruchender Platten erlauben. Aber ſelbſt geeignetem Material muſs eine bedeutende Stärke gegeben werden, wenn man ähnliche Tragfähigkeit, wie die von Wölbungen oder auch Mörtelplatten erzielen will. Die Decken werden daher theuer und ſchwer und geben beim Vorhandenſein verborgener Riſſe ſelbſt im beſten Geſtein keine groſse Sicherheit. Betrachtet man die Steinplatten nur als Fachfüllung und überträgt die Laſten durch Lagerbalken auf die Träger, ſo werden die Koſten noch ungünſtiger.

Ein Beiſpiel ſolcher Deckenbildung zeigt die ſteinerne Caſſetten-Decke der Eingangshalle im *Lycée Janſon de Sailly* zu Paris [117]).

Hier ſind zwiſchen die 26 cm hohen Träger zur Bildung von 107 cm weiten quadratiſchen Caſſettenfeldern zunächſt eiſerne Querträger von 13 cm Höhe gelegt. Jedes Feld iſt dann zunächſt durch in die Trägerhöhlungen eingepaſſte Randſteine eingefaſſt, welche innen die Randprofilirung der Caſſette und oben

115) Siehe: Theil I, Band 1, erſte Hälfte (S. 196) dieſes »Handbuches«.

116) Eine derartige Decke mit Holzüberdeckung in Aſphalt ſiehe in: Deutſche Bauz. 1883, S. 397.

117) Siehe: *Le génie civil* 1885, S. 19.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einen Falz zur Aufnahme der 10 cm ſtarken ſteinernen Deckplatte tragen; oben wird die Caſſette durch dieſe Platte geſchloſſen. Die unteren Gurtungen der Träger ſind in die profilirten Randſteine bündig eingelaſſen.

Man hat jedoch hier die Steinplatten nicht zur Aufnahme der Fuſsbodenlaſt benutzt, ſondern Lagerbalken über die Träger geſtreckt, welche alſo die Steinplatten völlig entlaſten.

In einigen Fällen, z. B. über den ſeitlichen Hallen des *Trocadéro*-Palaſtes zu Paris, hat man in die durch die eiſernen Träger gebildeten Caſſettenfelder eigens zu dieſem Zwecke angefertigte Terracotta-Platten gelegt.

Literatur

über »Balkendecken in Stein, bezw. Mörtel und Eiſen«.

Hyatt, Th. *An account of ſome experiments with Portland cement concrete, combined with iron etc.* London 1878.

Weiterer Beitrag zur Frage der Verwendung des Betons im Hochbau. Deutſche Bauz. 1879, S. 393.

Kortüm. Maſſive horizontale Deckenconſtruction zwiſchen Eiſenträgern. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 328.

Murat. *Planchers à plafonds monolithes unis, moulurés et ſculptés. Moniteur des arch.* 1881, S. 73.

Decken aus hohlen Gewölbeſteinen, Neuwieder Tuffſteinen und aus Gyps. Baugwks.-Ztg. 1882, S. 271.

Maſſive Deckenconſtruction, Syſtem Murat. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 102.

Schneider, G. Apparat zum Einrüſten von Decken aus Beton. Deutſche Bauz. 1882, S. 549.

Koch, A. Hohle Gewölbeſteine (Hourdis), Syſtem Laporte, von gebrannter Erde. Eiſenb., Bd. 16, S. 74.

Ein Beitrag zur Frage der Verwendung des Eiſens im Hochbau. Deutſche Bauz. 1883, S. 166.

Hourdis pour planchers. Syſtème Laporte. Nouv. annales de la conſt. 1883, S. 105.

Die Wölbungen zwiſchen Traverſen. Wochſch. d. öſt. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 67.

Fire-proof building materials. American architect, Bd. 15, Nr. 20, Suppl., S. 1.

Wagner, W. Herſtellung ebener Cementbetondecken. Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 405.

Hollow brick for flat arches. American architect, Bd. 18, Nr. 510, Suppl., S. 1.

Steindecken im London-Pavilion. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 32.

Goldſchmidt, R. Cementguſs-Decken. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 43.

Klette, H. Schwamm- und fäulniſsſichere Fuſsboden- und Deckenconſtruction. Civiling. 1886, S. 283.

Wagner, W. Zement- und Schlacken-Betondecken. Eine hygieniſche Zeitfrage. Deutſche Bauz. 1886, S. 3.

Schwamm- und fäulniſsſichere Fuſsboden- und Zwiſchendecken-Konſtruktion. Deutſche Bauz. 1886, S. 129.

Füllungen für Decken-Konſtruktionen nach dem Syſtem »Laporte«. Deutſche Bauz. 1886, S. 202.

Cement- und Schlackenbeton-Decken. Schweiz. Bauz., Bd. 7, S. 125.

Herſtellung feuerſicherer Decken aus Cementbeton und Gyps. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 274.

Daly, M. *Planchers en fer et en béton. La ſemaine des conſt.*, Jahrg. 13, S. 350 u. ff.

---

5. Kapitel.

Balkendecken in Eiſen.

80. Decken mit Wellblech.

Der für ganz in Eiſen conſtruirte Balkendecken am meiſten verwendete Bauſtoff iſt das Wellblech, welches je nach der Form der Wellen in zwei Arten: flaches Wellblech und Trägerwellblech geſondert wird[118]). Die Wellen der erſten Art beſtehen aus flachen, tangentiell an einander ſchlieſsenden Kreisbogen, die der zweiten beſtehen aus Halbkreiſen, welche unmittelbar zuſammenſchlieſsen oder durch kurze

118) Siehe auch Theil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 194, S. 200) und Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 240 u. 241, S. 304, ſo wie Art. 251, S. 314) dieſes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Tangentenſtücke verbunden ſind. Die Abmeſſungen und Widerſtandsmomente der Wellbleche verſchiedener Fabriken werden im nächſten Kapitel mitgetheilt werden [119]).

Die tragenden Balken ſind gewöhnlich gewalzte I-Eiſen, auf deren untere Flanſche die Bleche gelagert werden. Letztere kommen gerade oder gebogen (bombirt) zur Verwendung; die Biegung ſollen ſie bei der Herſtellung, nicht auf der Bauſtelle erhalten, obwohl dadurch der Preis etwas erhöht wird. Ueberall, wo irgend welche Feuchtigkeit auf die Bleche wirken kann, ſollen verzinkte Bleche verwendet werden. In geſchützter Lage genügt es, wenn die Bleche nach der Abnahme in der Fabrik gereinigt und mit Bleimennige grundirt, nach dem Verlegen einmal mit Bleimennige und zweimal mit Oelfarbe nachgeſtrichen werden.

Bombirte Wellbleche, als Bogen verwendet, geſtatten in der Regel, wegen der hier vorwiegenden Beanſpruchung des Bleches auf Druck, die Verwendung leichterer Bleche; dagegen ſind die Träger, da auf dieſelben Seitenſchübe ausgeübt werden, ſtärker zu wählen.

Zur Ueberfüllung verwendet man mageren Mörtel, noch beſſer Beton. Für hölzerne Fuſsböden werden die Lagerhölzer in letzteren eingeſtampft; Eſtriche und Plattenbeläge können darauf ohne Weiteres verlegt werden. Nach unten kann die Eiſen-Conſtruction ſichtbar bleiben, oder man kann an die Eiſenträger eine Deckenſchalung anhängen, welche man erforderlichenfalls auch zu putzen in der Lage iſt.

In ſehr geſchickter Weiſe wurden im Muſeum für Völkerkunde zu Berlin derart conſtruirte Decken zur Ausführung gebracht.

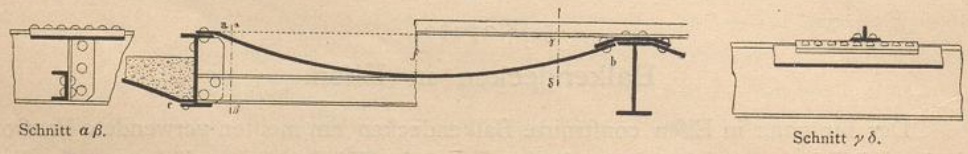
Die 15 m tiefen, durch ſchmiedeeiſerne Unterzüge auf gufseiſernen Säulen in der Mitte unterſtützten Decken der Ausſtellungsſäle beſtehen aus gewölbtem und ſauber verzinktem, zwiſchen gewalzten Trägern geſpanntem Wellblech, auf welches Beton aufgetragen iſt; letzterer iſt mit Mettlacher Thonflieſen belegt. Die verzinkten Bleche erhielten zum Schutz gegen Blindwerden, gleich nachdem ſie aus dem Metallbad gekommen waren, einen Ueberzug, der aus einer Miſchung von Dammarlack und holländiſchem Standöl beſtand. Die unteren Flanſche der Walzträger ſind an den ſichtbaren Unterflächen mit gepreſſten Meſſingflieſen geſchmückt; auch dieſe wurden mit Firniſs überzogen, welcher ſie vor dem Oxydiren ſchützt und ihnen eine goldähnliche Färbung verleiht [120]).

Wellblech, insbeſondere Trägerwellblech, wird zu Decken-Conſtructionen auch noch in der Weiſe verwendet, daſs man die tragenden Walzbalken wegläſſt und nur bei gröſseren Spannweiten einen Unterzug anordnet. Von ſolchen Deckenanordnungen wird unter C die Rede ſein.

81. Decken mit Tonnenblechen.

Selten im Hochbau [121]), jedoch ſehr häufig im Brückenbau, iſt die Decke aus Tonnenblechen (Fig. 161) auf eiſernen Trägern, für welche hier kurz die wichtigſten Geſichtspunkte angegeben werden ſollen. Die Bleche werden bis zu 4 qm Gröſse bei

Fig. 161.



Schnitt $\alpha\beta$. Schnitt $\gamma\delta$.

den verſchiedenſten Längen- und Breitenverhältniſſen und gewöhnlich 4 bis 10 mm Stärke mit $^1/_8$ bis $^1/_{12}$ Pfeil, und zwar meiſt nach unten gebogen, verwendet. Be-

119) Siehe auch über die Profile Nr. I bis VI der »Actien-Geſellſchaft für Verzinkerei und Eiſenconſtruction, vorm. *Jacob Hilgers*« in Rheinbrohl: Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 241, S. 305) dieſes »Handbuches«.

120) Siehe: Zeitſchr. f. Bauw. 1887, S. 48.

121) Siehe: Decke des Güterbahnhofes St. Pancras der Midland-Eiſenbahn, London. Organ f. d. Fortſchr. d. Eiſenbahnw. 1888, S. 92, 157.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſonders wichtig iſt hier wieder die Lagerung auf den Trägern. Dieſe iſt meiſt mittels umgebogenen Randes der Tafel nach *a* in Fig. 161 ausgeführt, wobei aber das Umbiegen des Randes unbequem und die Lochung der Träger unvortheilhaft iſt; beſonders muſs man ſich vor Befeſtigungen, wie in Fig. 162 hüten, weil dabei der Zug der Platten die L-Eiſen von der Trägerwand abbiegt; in ſolchen Fällen müſſen die L-Eiſen erſt durch eine durchgehende Kopfplatte verbunden werden, wie ſie bei *b* in Fig. 161 dargeſtellt iſt. Sie vermeidet das Umbiegen der Plattenränder und braucht nicht mit den Trägern vernietet zu ſein, beſeitigt ſomit die Schwächung gewalzter Träger, wie ſie bei *a* in Fig. 161 eintrat. Die Stärke der Kopfplatte wähle man etwas gröſser, als die der Bleche. Beſondere Sorgfalt verlangt auch die Nietung der ſchwachen Bleche; ſie muſs zur Vermeidung zu groſser Lochlaibungspreſſungen in enger Theilung, mit Nieten von 10 bis 15 mm Durchmeſſer, erfolgen. Da die unbelaſtete Oeffnung hier nur einen ſehr geringen Gegenzug zur Entlaſtung der Träger vom Zuge der belaſteten liefert, ſo müſſen zahlreiche Steifen zwiſchen die Träger eingeſetzt werden. Am unmittelbarſten erfolgt die Aufhebung der Züge durch Aufnieten der Steifen auf die Kopfplatte mit unten verſenkten Nieten (*b* in Fig. 161); kann man dieſe jedoch der Fuſsbodenanordnung wegen nicht anbringen, ſo müſſen ſie (*a* in Fig. 161) unter die Bleche geſetzt werden, können auch, aus T-Eiſen gebildet, gekrümmt unter die Bleche genietet und dann zur Verlaſchung der Plattenſtöſse benutzt werden.

Fig. 162.



Werden die Bleche mit Beton überdeckt, ſo niete man kleine L-Eiſen mit aufrecht ſtehendem, in den Beton greifendem Schenkel auf den Plattenrand; die Druckfeſtigkeit der zwiſchen dieſen Winkelſchenkeln gefaſſten Betonplatte hebt den Zug der Tonnenbleche in jedem Balkenfache für jede Belaſtungsart unmittelbar auf, ſo daſs für die Träger bei allen möglichen Belaſtungen nur lothrechte Kräfte aufzunehmen bleiben.

Die Wölbung der Bleche nach oben zu legen (*c* in Fig. 161) iſt zwar für die Auflagerung auf die Träger günſtig, in welcher man ſo die Nietung ganz entbehren kann, wenn der Rand gut am Stege anliegt; da aber die leicht verbiegbaren Bleche in dieſer Lage namentlich der zum Scheitel unſymmetriſchen Belaſtung nur ſchlecht widerſtehen, ſo müſſen ſie jedenfalls durch Beton-Ueberbettung verſteift ſein. Dieſe ſteife Ueberbettung kann dann, wie bei den Wellblechbogen, zur Verſchwächung der Trägerverankerung ausgenutzt werden.

Zum Schutze gegen Roſten werden die Tonnenbleche meiſt verzinkt, mindeſtens gut angeſtrichen und auſserdem gewöhnlich mit einer dünnen Lage von weichem Aſphalt überzogen. Die Ueberdeckung erfolgt allgemein am beſten mit magerem Mörtel oder Beton, in, bezw. auf welchem dann jeder Fuſsbodenbelag befeſtigt werden kann. Deckenſchalung iſt nur mittels Anhängens an die Träger möglich.

Kann Feuchtigkeit in die Decken dringen, ſo muſs für Entwäſſerungslöcher in den Scheiteln hängender Platten geſorgt werden; ein Mangel der nach oben gewölbten Platten iſt das Zuſammenführen des Waſſers nach den Trägern.

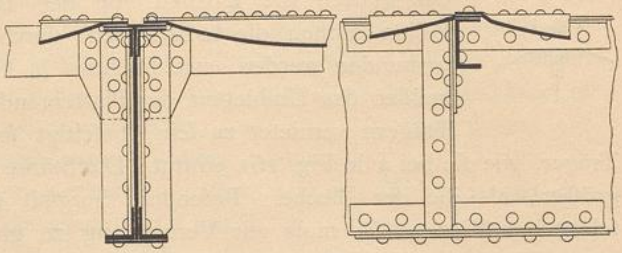
82. Decken mit Buckelplatten.

Noch ſeltener ſind im Hochbau die Buckelplatten-Decken (Fig. 163) aus *Mallet*ſchen Platten. Ihre Form iſt die eines nach der Mitte zu allmählig in eine Kugelkappe übergehenden Kloſtergewölbes. Die gebräuchlichen Einzelabmeſſungen werden in Kap. 6 mitgetheilt werden.

Die Buckelplatten werden ſtets mit wagrecht abgebogenem Rande verſehen und

müſſen auf allen vier Seiten voll aufliegen und vernietet werden. Sie bedurfen daher eines Roſtwerkes von Trägern, deſſen Maſchen ihrer Grundform genau entſprechen. In Fig. 163 iſt ein weit geſpannter Hauptträger dargeſtellt, an welchen kleine Querträger aus ⊏-Eiſen anſchlieſsen.

Fig. 163.



Durch dieſe Roſtanordnung erfolgt zugleich die Ausſteifung der Träger gegen die wagrechten Züge der Platten in wirkſamſter Weiſe. Dieſe Platten widerſtehen nach oben oder unten gewölbt etwa gleich gut; die nach oben gewölbt verlegten ſchränken die Maſſe der Ueberfüllung ein, haben aber in feuchter Lage wieder den Mangel, daſs ſie das Waſſer nach den Trägern führen. Die nach unten gewölbten erhalten im Scheitel je ein Entwäſſerungsloch mit eingeſchraubtem Röhrchen, an welchem auch etwa entſtehendes Schwitzwaſſer abtropft. Unter dieſe Abzugsröhrchen iſt ein Netz von Sammelrinnen mit Abfallrohren zu legen. Selbſtverſtändlich ſind dieſe Entwäſſerungsanlagen nur bei freier Lage der Decke oder ſonſtigem erheblichem Waſſerandrange erforderlich.

Auch dieſe Platten werden am beſten verzinkt, wenigſtens gut angeſtrichen und zweckmäſsig oben mit Aſphalt überzogen, damit die Randfugen gedeckt werden. Ueber Fuſsboden- und Deckenanordnung gilt das von den Tonnenblechen Geſagte.

Dieſe Art der Deckenanordnung kommt jedenfalls nur in den am ſchwerſten belaſteten Gebäuden, etwa groſsen Lagerſpeichern, vor.

Literatur

über »Balkendecken in Eiſen«.

Ueber die Conſtruction eiſerner Decken in Wohngebäuden. CRELLE's Journ. f. Bauk., Bd. 14, S. 73.

Planchers en fer. Syſtème Kaulek. — Syſtème Baudrit. — Syſtème Jeanette. — Syſtème Roſier. Revue gén. de l'arch. 1851, S. 74 u. Pl. 12, 13.

Planchers en fer ſyſtème Joly. Revue gén. de l'arch. 1851, S. 181.

Planchers de fer. Revue gén. de l'arch. 1853, S. 54, 338 u. Pl. 7—12, 29.

Die Verhandlungen über eiſerne Balkendecken in den Verſammlungen des königl. Architekten-Vereins in London. Allg. Bauz. 1854, S. 141.

La queſtion des planchers en fer diſcutée en Angleterre. Revue gén. de l'arch. 1854, S. 86.

AUBERT, L. *Emploi du fer et de la fonte dans les conſtructions. III. Dispoſitions générales des planchers. Revue gén. de l'arch.* 1855, S. 97.

Beitrag zur Konſtrukzion eiſerner Zimmerdecken. Allg. Bauz. 1856, S. 261.

Syſtèmes divers de planchers en fer économiques, employés dans les plus récentes conſtructions de Paris. Nouv. annales de la conſt. 1856, S. 27.

ROUVENAT, P. E. *Eſſai ſur l'emploi des fers à double* T *dans la conſtruction des planchers.* Paris 1858. *Étude générale ſur les planchers en fer. Nouv. annales de la conſt.* 1860, S. 115.

JOLLY, C. & JOLLY FILS. *Études pratiques ſur la conſtruction des planchers et poutres en fer etc.* Paris 1862. *Aſſemblages bridés pour planchers en fer. Syſtème A. Oſſelin. Gaz. des arch. et du bât.* 1864, S. 268.

SCHWAEBLÉ & A. DARRU. *Emploi des fers dits fers Zorès dans la conſtruction des planchers. Nouv. édit.* Paris 1867.

RICHAUD, J. *Notes et renſeignements pratiques ſur la conſtruction et la réſiſtance des planchers, poutres et poitrails de fer. Gaz. des arch. et du bât.* 1868—69, S. 209.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dihm, H. Ueber die Verwendung fchmiedeeiferner I-Balken für Deckenconftructionen. Zeitfchr. d. Ver. deutfch. Ing. 1869, S. 383.

Liger, F. *Aſſemblages des planchers, des pans de fer et des pans de fonte. Gaz. des arch. et du bât.* 1872, S. 41, 51, 92, 146.

Lanck. *De l'emploi rationnel et décoratif des fers à planchers. Gaz. des arch. et du bât.* 1872, S. 163; 1873, S. 13.

Barré, L. A. *Conſtruction des planchers métalliques. Moniteur des arch.* 1880, S. 84.

Kapaun, F. Ueber Decken-Conſtructionen im Auslande. Zeitfchr. d. öſt. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 82.

Das Kunſtgewerbe-Muſeum in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 442.

Der *Gerber*'fche Träger mit frei fchwebenden Stützpunkten im Hochbau. Zeitfchr. f. Baukde. 1882, S. 543.

Guadet. *Planchers métalliques du nouvel hotel des poſtes à Paris. La ſemaine des conſt.*, Jahrg. 7, S. 138, 150, 222.

Haesecke. Allgemeine Einführung von Eiſenbalken-Decken und deren Anordnung. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 134, 143.

6. Kapitel.

Stärke der Deckentheile und -Unterſtützungen.

a) Belaſtungen.

Die Abmeſſungen der tragenden Deckentheile hängen vom Eigengewicht der Decken-Conſtruction und von der Gröſse der von der Decke zu tragenden Nutzlaſt ab.

1) Eigengewicht der Decken.

Für die einfacheren Conſtructionen der Holzbalkendecke ſind die Eigengewichte in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 359, S. 318 [122]) dieſes »Handbuches« bereits angegeben worden; dieſer Tabelle wird hier noch hinzugefügt: 83. Eigengewicht.

Es wiegt:	Kilogr.
1 cbm Gyps-Beton	1400
1 cbm Füllſand	1600
1 cbm Backſtein-Beton	1700
1 cbm Kies-Beton	2200
1 cbm Schlacken-Beton (1 Theil Cement, 3 Theile Sand, 7 Theile Schlacke)	1000 bis 1100
1 cbm Schlacken-Beton mit Weiſskalk (4 : 1)	1235
1 cbm Korkſteine	300
1 qm Spreutafeln von *Katz* (ſiehe Art. 37, S. 45)	50
1 cbm Tuffſtein	800 bis 900
1 qm hohle Terracotten, Syſtem *Laporte* (ſiehe Art. 35, S. 44)	80 bis 90
1 qm hohle Terracotten, amerikaniſches Syſtem (ſiehe Fig. 121 bis 124, S. 71)	100 bis 220
1 cbm Aſche	850
1 cbm Bauſchutt	1530
1 qm Gypsdielen von *Mack* für jedes Centimeter Dicke	6,5
1 qm Thonplattenwölbung, Syſtem *Guaſtavino* (ſiehe Fig. 113 u. 114, S. 67)	170 bis 195
1 cbm Mauerwerk aus hohlen Backſteinen	1250
1 qm hohle Gypsblöcke, Syſtem *Perrière* (ſiehe Fig. 117, S. 69)	50
1 cbm Kieſelguhr, etwas feucht	450

[122]) 2. Aufl.: Art. 22, S. 17.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Es wiegt:	Kilogr.
1 cbm Kieſelguhr, trocken	300
1 cbm Kalkpulver	940
1 cbm Torfſtreu (Torfgruſs)	130
1 cbm Torfſtreu mit etwas Kieſelguhr und Kalkpulver	300
1 cbm poröſe Terracotta-Platten (ſiehe Fig. 74, S. 47 u. Fig. 84, S. 52)	1100
1 cbm trockenes Eichenholz	750
1 cbm trockenes Kiehnenholz	600
1 qm *Monier*- oder *Rabitz*-Platten, 1,5 cm dick	35
3 » »	75
4 » »	90
5 » »	110
1 qm in Backſtein (1/2 Stein ſtark) zwiſchen Eiſenträgern gewölbter Decke, einſchl. Fuſsbodenlager und Bretterfuſsboden	375
1 qm desgl. ohne Fuſsboden	325
1 qm desgl., 1/4 Stein ſtark, mit Fuſsboden	250
1 qm desgl., 1/4 Stein ſtark, ohne Fuſsboden	200
1 qm desgl., in Töpfen gewölbt, 10 cm Topfhöhe	93
13 » »	101
16 » »	131
18 » »	148
26 » »	196
1 qm einer 4,5 m weiten Spreutafel-Decke mit Holzbalken, Fuſsboden, Füllung und Deckenputz, 20 cm Geſammtdicke (nach Fig. 72, S. 47)	275
1 qm desgl. mit Eiſenbalken, 20 cm Geſammtdicke (nach Fig. 73, S. 47 u. Fig. 133, S. 74)	200
1 qm Gypsdielen-Decke mit Eiſenbalken von 6 m Weite mit drei Lagen Gypsdielen, 23 cm Geſammtdicke (nach Fig. 87 [S. 54] u. 132 [S. 74])	160
1 qm Decke mit Tuffſteinausrollung auf Holzbalken, 4,5 m weit, mit Fuſsboden, Füllung und Deckenputz (nach Fig. 68, S. 45)	350
1 qm Gyps-Betondecke, einſchl. Träger und Holzfuſsboden, bei 70 cm Trägertheilung, Syſteme *Vaux*, *Thuasne*, *Rouffel* (ſiehe Fig. 98 u. 99, S. 60)	290
1 qm Decke mit gebogenen *Monier*-Platten, 5 cm dick, Schlacken-Betonfüllung, Fuſsboden und Deckenputz (ſiehe Fig. 158, S. 84), einſchl. Träger	330
1 qm Balkendecke mit Tuffſtein ausgerollt, mit Fuſsboden und Deckenputz	370
1 qm mit hohlen Gypsblöcken ausgeſetzte Decke, einſchl. Träger und Fuſsboden, bei 70 cm Trägertheilung (ſiehe Fig. 112, S. 66)	240
1 qm desgl. mit Hohlziegeln ausgeſetzt (ſiehe Fig. 111, S. 66)	270
1 qm Decke in Hohlziegeln gewölbt, einſchl. Träger und Fuſsboden (ſiehe Fig. 115, S. 68)	260
1 qm Decke mit unten ebenen Terracotten (ſiehe Fig. 119 [S. 70], 121 u. 122 [S. 71], 126 [S. 72]), einſchl. Träger und Fuſsboden	220
1 qm desgl., unten gewölbt (ſiehe Fig. 120, S. 70)	220

Bei ſeltener vorkommenden Decken-Conſtructionen, für welche die Gewichte erfahrungsmäſsig nicht feſt ſtehen, ſtellt man zweckmäſsig eine genaue Gewichtsberechnung auf, indem man zuerſt den Bodenbelag und die Deckenbildung, dann die Fachfüllung und ſchlieſslich das Tragwerk feſt ſtellt, für den unten liegenden Theil jedesmal das feſt geſtellte Gewicht des aufruhenden mit in Rechnung ſtellend. Nach dieſem Gedankengange ſollen im Folgenden die einzelnen Theile der Decken ihren Abmeſſungen nach beſprochen werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

2) Nutzlaft.

84. Nutzlaft.

Die Nutzlaften, welche die Decken-Conftructionen zu tragen haben, find bereits in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 359, S. 318 [123]) diefes »Handbuches« angegeben worden. Hierzu fei noch bemerkt, dafs die Lagerhäufer der Seehäfen jetzt in den unteren Gefchoffen mit 1500 kg und im oberften Gefchofs mit 900 kg für 1 qm Deckenfläche berechnet werden; in den zwifchengelegenen Gefchoffen läfft man die Belaftung allmählig abnehmen.

Nach einem von einer Commiffion des Architekten-Vereins zu Berlin 1885 erftatteten Gutachten, betreffend den Schutz der Perfonen in öffentlichen Verfammlungsräumen, foll als Belaftung jene durch Menfchengedränge (für 1 qm 6 erwachfene Perfonen zu je 75 kg, zufammen 450 kg) gerechnet werden.

b) Abmeffungen der Deckentheile.

1) Stärke der Fufsbodenbeläge.

85. Hölzerne Fufsböden.

Die Stärke der Fufsbodenbeläge entzieht fich in den allermeiften Fällen einer Berechnung. Wenn man bei den gewöhnlichen hölzernen Fufsböden die Bretter fo berechnet, dafs fie fich bei einer zuläffigen Beanfpruchung von 80 kg für 1 qcm als Träger auf zwei Stützen zwifchen letzteren frei tragen können, fo fallen für die gewöhnlichen Balkentheilungen und in Rückficht auf die Abnutzung die Bretterftärken zu gering aus. Nur in fchwer belafteten Speichern, zumal bei der in Fig. 25 (S. 20) dargeftellten Conftruction ohne Balken, werden die Bohlen rechnungsmäfsig ftärker. Hier empfiehlt es fich, die eigentlichen (unteren) Tragbohlen nach den berechneten Mafsen auszuführen, fie dann aber mit einer zweiten, erftere rechtwinkelig kreuzenden, mindeftens 3 cm dicken Bohlenlage abzudecken, welche nach erfolgter Abnutzung allein ausgewechfelt werden kann.

86. Eftriche u. Plattenbeläge.

Eftriche aus Gyps, Cementmörtel oder Afphalt dürfen nicht als tragende Bautheile angefehen werden; fie bedürfen vielmehr als Unterftützung einer Fachausfüllung, welche die ganze Belaftung aufzunehmen im Stande ift; der Eftrich nimmt nur die Abnutzung auf. Eben fo bilden die Beläge mit natürlichen Steinplatten, Thonfliefen etc. nur eine fchützende, keine tragende Schicht; auch fie bedürfen daher einer durchlaufenden Unterftützung.

2) Stärke der Ausfüllungen der Balkenfache.

87. Gewöhnliche Fachausfüllungen.

Die Wellerung oder Stakung und die Einfchubdecke (fiehe Fig. 52 u. 53 [S. 41], 54 [S. 42], 57, 59 u. 60 [S. 43]) find nicht im Stande, erhebliche Laften aufzunehmen, bedürfen daher des Schutzes eines tragfähigen Fufsbodens; nur der geftreckte Windelboden (fiehe Fig. 51, S. 40) wird in ländlichen Gebäuden wohl unmittelbar geringen Laften, wie niedrigen Lagen von Futter oder Stroh, ausgefetzt. Eben fo wird auch der Dübelboden (fiehe Fig. 48 bis 50, S. 38) in der Regel keinen Laften ausgefetzt.

88. Fachausfüllungen mit künftlichen Steinen.

Ebene Fachfüllungen mit Gypsdielen (fiehe Fig. 87, S. 54), Spreutafeln (fiehe Fig. 70 bis 73, S. 46 u. 47), Tufffteinen (fiehe Fig. 68, S. 45), Terracotta (fiehe Fig. 74, S. 47), Gyps-Beton (fiehe Fig. 86 [S. 53], 98 u. 99 [S. 60]), Hohlziegeln (fiehe Fig. 79, S. 51), poröfen Ziegeln, hohlen Gypsblöcken (fiehe Fig. 80, S. 51), hohlen Terracotta-Kaften (fiehe Fig. 63 [S. 44], 64 [S. 45], 117 [S. 69], 119 bis 122

[123]) 2. Aufl.: Art. 24, S. 19 u. 20.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

[S. 70 u. 71]) können zwar grofsentheils, namentlich bei Anordnungen wie in Fig. 79 (S. 51), 117 (S. 69), 119 bis 122 (S. 70 u. 71), erhebliche Laften tragen, deren Gröfse in den früheren Mittheilungen über Belaftungsverfuche angegeben ift; in der Regel erhalten fie jedoch keine Laft, da diefe von nur lofe oder gar nicht auf der Füllung ruhenden Hölzern oder Brettern auf die Balken oder Träger gebracht wird. Nothwendig ift diefe Entlaftung bei den Anordnungen in Fig. 68 (S. 45), 74 (S. 47), 86 (S. 53), 98 u. 99 (S. 60), da diefe wenig Tragfähigkeit befitzen. Die Tragfähigkeit der aus einzelnen Theilen — poröfen oder hohlen Ziegeln, Gyps- oder Terracotta-Kaften — zufammengefetzten Füllungsplatten hängt, da fie auf Biegung beanfprucht werden, lediglich von der Zugfeftigkeit des die Fugen füllenden Mörtels ab. Die Dicke der Platte d ift bei der Trägertheilung b, der Nutzlaft p für die Flächeneinheit, dem Gewichte g der Flächeneinheit des Fufsbodens und der Ueberfüllung, dem Gewichte γ der Raumeinheit der Platte und der zuläffigen Beanfpruchung s des Fugenmörtels auf Zug für die Flächeneinheit zu beftimmen nach der Formel:

$$d = \frac{3b^2}{2s}\left[\frac{\gamma}{4} + \sqrt{\left(\frac{\gamma}{4}\right)^2 + \frac{(p+g)s}{3b^2}}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1.$$

Beifpiel. Ein hölzerner Bretterfufsboden von 3 cm Dicke mit 8 cm Unterfüllung aus Schlacken-Beton wiegt für 1 qm $(g =)$ $0{,}03 \cdot 600 + 0{,}08 \cdot 1230 = 116$ kg und hat $(p =)$ 500 kg Nutzlaft auf 1 qm zu tragen. Die Theilung b der eifernen Träger fei 0,8 m und das Gewicht der Platte für Hohlziegel $(\gamma =)$ 1250 kg für 1 cbm. Die Fugen werden in Cementmörtel der Mifchung 1 : 3 ausgeführt, welchem mit Sicherheit nur $(s =)$ 15 000 kg Zug auf 1 qm zugemuthet werden dürfen. Es mufs dann fein

$$d = \frac{3 \cdot 0{,}8^2}{2 \cdot 15\,000}\left[\frac{1250}{4} + \sqrt{\left(\frac{1250}{4}\right)^2 + \frac{(500 + 116)\,15\,000}{3 \cdot 0{,}8^2}}\right] = 0{,}16 \text{ m}.$$

89. Ebene Betonplatten.

Ebene Betonplatten (Fig. 164 bis 167 [124]) unterfcheiden fich hinfichtlich der Stärkenbeftimmung von den eben befprochenen Fachausfüllungen nicht, welche nach Gleichung 1 erfolgt. Da jedoch der Beton in Folge des gleichmäfsigen Gefüges mehr Sicherheit gegen Zugbeanfpruchung befitzt, als eine Platte aus einzelnen durch Fugen getrennten Körpern, für welche nicht eigentlich die Zugfeftigkeit des Mörtels, fondern nur das von mancherlei Zufälligkeiten abhängige Anhaften des Mörtels an den Steinen in Frage kommt, fo kann die zuläffige Zugbeanfpruchung s hier höher — bei den fetteren Betonarten und guter Herftellung bis 30 000 kg für 1 qcm — angenommen werden. Eine Ueberfüllung aus Schlacken-Beton (Fig. 164 bis 166) kann, wenn fie unmittelbar auf der ganz frifchen Betondecke eingeftampft ift, als mit zur berechneten Plattendicke gehörend angefehen werden.

Fig. 164.

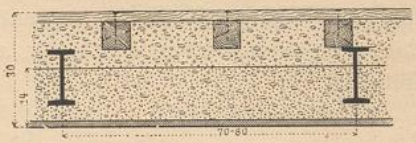


Fig. 165.

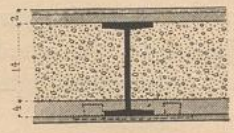


Fig. 166.

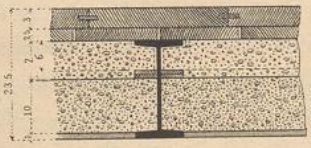
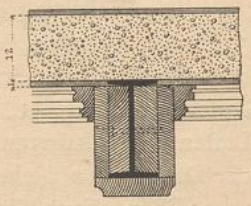


Fig. 167.



124) Vergl.: Art. 72 (S. 80) — ferner: Engesser, F. Ueber die Feftigkeit von Beton-Bogen. Deutfche Bauz. 1881, S. 580.

Fig. 168.

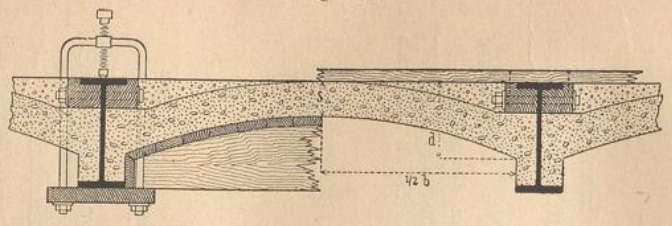


Fig. 169.

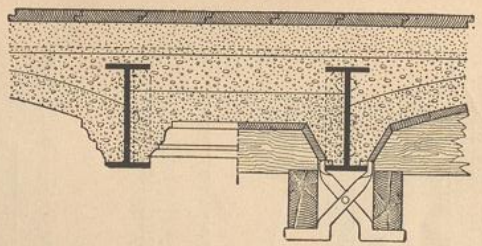


Fig. 170.

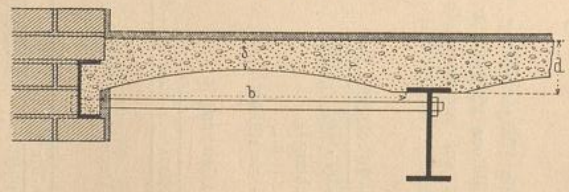


Fig. 171.

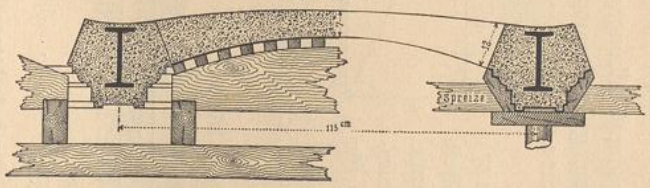


Fig. 173.

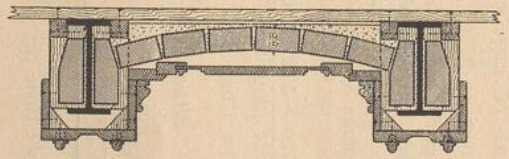


Fig. 174.

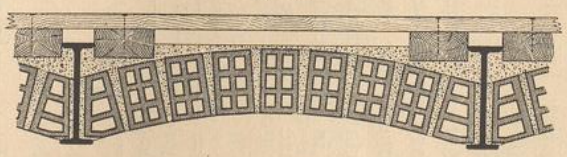


Fig. 176.

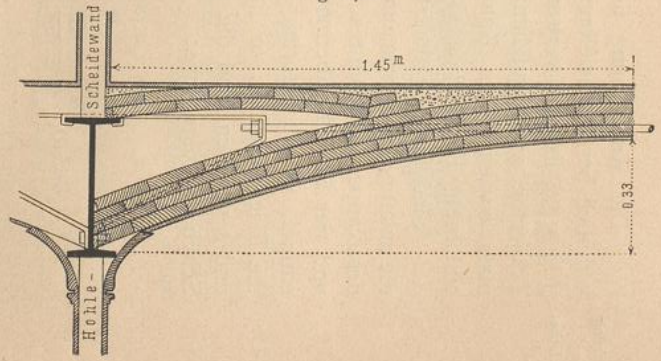


Fig. 172.

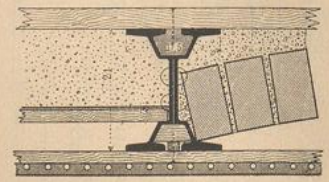
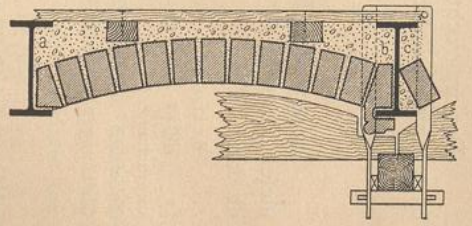


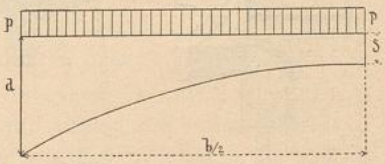
Fig. 175.



90. Auswölbung der Balkenfache.

Die Auswölbung der Balkenfache ohne Uebermauerung im Scheitel ift gewöhnlich bei Betonwölbung (Fig. 168 bis 171 [125]), jedoch auch bei Backfteinwölbung (Fig. 172 bis 176) verwendbar. Als Weite b der Wölbung wird in der Regel die Trägertheilung anzufehen fein; doch kann man, genau genommen, auch das Lichtmafs zwifchen den Kanten der Trägerflanfchen einführen (Fig. 168 u. 170).

Fig. 177.



Sind für eine derartige Wölbung (Fig. 177) die zuläffige Beanfpruchung auf die Flächeneinheit des Kappenquerfchnittes s, das Gewicht der Kappe und der Schenkelübermauerung γ für die Raumeinheit, die gleichförmig vertheilte Nutzlaft p für die Flächeneinheit, fo find in der Regel p, γ, b und s gegeben, und die ganze Wölbhöhe d, die Scheitelftärke δ und der wagrechte Schub H' folgen aus:

$$d = \frac{b^2 (6p + 5\gamma\delta) + 16 s\delta^2}{24 s\delta - \gamma b^2}; \quad \ldots \quad 2.$$

$$\delta = 0{,}75\, d - \frac{5}{32}\frac{\gamma b^2}{s} - \sqrt{\left(0{,}75\, d - \frac{5}{32}\frac{\gamma b^2}{s}\right)^2 - \frac{b^2}{16 s}(\gamma d + 6p)}; \quad \ldots \quad 3.$$

$$H' = \frac{s\delta}{2} \quad \ldots \quad 4.$$

Der wagrechte Widerftand, welchen ein unbelaftetes Gewölbe einem benachbarten, voll belafteten höchftens leiften kann, beträgt:

$$H'' = \frac{\sqrt{9 s^2 (d - 2\delta)^2 + \gamma s b^2 (d + 5\delta)} - 3 s (d - 2\delta)}{8} \quad \ldots \quad 5.$$

In gewiffen Fällen, namentlich bei grofsem δ und kleinem d, kann fich nach diefen Formeln H'' gröfser als H' ergeben, was widerfinnig wäre. In folchen Fällen ift dann $H'' = H'$ anzunehmen.

Beifpiel. Für einen Speicherboden feien die Trägertheilung ($b =$) $1{,}6$ m, die Belaftung ($p =$) 750 kg auf 1 qm, das Gewicht des verwendeten Betons 2200 kg für 1 cbm und die zuläffige Beanfpruchung (s) für die Betonmifchung mit Rückficht auf vorkommende Stöfse $30\,000$ kg für 1 qm; fchliefslich foll der Scheitel die Stärke von 10 cm erhalten, fonach $\delta = 0{,}1$ m fein. Es ift dann nach Gleichung 2 die ganze Wölbhöhe

$$d = \frac{1{,}6^2 (6 \cdot 750 + 5 \cdot 2200 \cdot 0{,}1) + 16 \cdot 30\,000 \cdot 0{,}1^2}{24 \cdot 30\,000 \cdot 0{,}1 - 2200 \cdot 1{,}6^2} = 0{,}288 \text{ m},$$

und der Schub des Gewölbes für 1 m Länge nach Gleichung 4

$$H' = \frac{30\,000 \cdot 0{,}1}{2} = 1500 \text{ kg},$$

ferner der Widerftand des unbelafteten Gewölbes nach Gleichung 5

$$H'' = \frac{\sqrt{9 \cdot 30\,000^2 (0{,}228 - 2 \cdot 0{,}1)^2 + 2200 \cdot 30\,000 \cdot 1{,}6^2 (0{,}228 + 5 \cdot 0{,}1)} - 3 \cdot 30\,000\,(0{,}228 - 2 \cdot 0{,}1)}{8} = 1110 \text{ kg}.$$

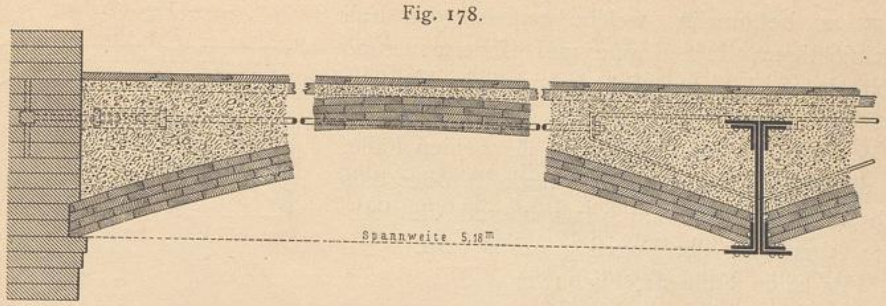
Wäre z. B. wegen beftimmter Höhe der ganzen Decke von vorn herein $d = 0{,}3$ m vorgefchrieben, fo wäre nach Gleichung 3

$$\delta = 0{,}75 \cdot 0{,}3 - \frac{5}{32}\frac{2200 \cdot 1{,}6^2}{30000} - \sqrt{\left(0{,}75 \cdot 0{,}3 - \frac{5}{32}\frac{2200 \cdot 1{,}6^2}{30000}\right)^2 - \frac{1{,}6^2}{16 \cdot 30000}(2200 \cdot 0{,}3 + 6 \cdot 750)} = 0{,}092 \text{ m}$$

zu machen.

[125]) Siehe: Engesser, F. Ueber die Feftigkeit von Beton-Bogen. Deutfche Bauz. 1881, S. 580.

Fig. 178.



91. Auswölbung mit Scheitelübermauerung.

Die Auswölbung der Balkenfache mit Uebermauerung im Scheitel wird namentlich bei Backſteinwölbungen (ſiehe Fig. 172 bis 174 u. 178) verwendet, iſt jedoch auch bei Betonwölbungen verwendbar, wenn man eine Wölbung aus fetter Miſchung von der mageren Ueberſchüttung geſondert herſtellt (ſiehe Fig. 169 u. 179). Das Gewicht der Uebermauerung kann in der Regel gleich dem der Wölbung γ geſetzt werden. Bei Backſteinwölbungen iſt hier δ (ſiehe Fig. 125, S. 72) gegeben, nämlich der gewählten Steinſtärke gleich zu ſetzen. Uebermauerung und Scheitel haben zuſammen die Stärke h.

Fig. 179.



Mit Bezug auf Fig. 180 ſind hier bei den obigen Bezeichnungen

$$d = \frac{8\,s\,\delta\,(3h-\delta) + b^2\,(6p+5\gamma h)}{24\,\delta s - \gamma b^2}, \quad \ldots\ldots\ 6.$$

$$\delta = 0{,}5\sqrt{9\,(d-h)^2 + \frac{b^2}{s}\left[\frac{\gamma\,(d+5h)}{2} + 3p\right]} - \frac{3}{2}\,(d-h), \quad \ldots\ 7.$$

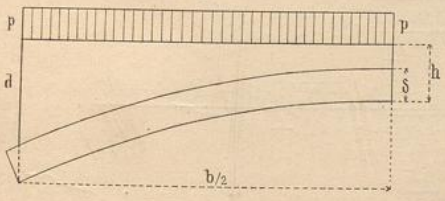
$$H' = 0{,}5\;s\;\delta\,, \quad \ldots\ldots\ 8.$$

und der gröſstmögliche Gegenſchub des unbelaſteten Gewölbes

$$H'' = 0{,}125\left[\sqrt{9s^2\,(d-h-\delta)^2 + \gamma s b^2\,(d+5h)} - 3s\,(d-h-\delta)\right] \quad 9.$$

Würde hiernach $H'' > H'$, ſo wäre $H'' = H'$ anzunehmen. Bei durch die Trägerverhältniſſe feſt geſetztem d und angenommenem δ kann h beſtimmt werden aus

Fig. 180.



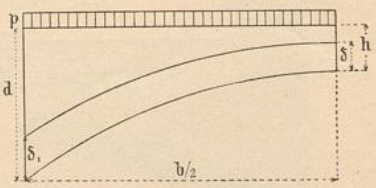
$$h = \frac{8\,s\,\delta\,(3d+\delta) - b^2\,(6p+\gamma d)}{5\gamma b^2 + 24\,s\,\delta} \quad 10.$$

Eine üble Eigenſchaft aller Kappenwölbungen iſt die wagrechte Belaſtung der ſie aufnehmenden Träger, da dieſe in ſeitlicher Richtung nicht viel Widerſtand leiſten können, ſelbſt wenn man beſondere, theuere Trägerquerſchnitte — etwa nach *Gocht*, *Klette* oder *Lindſay* — verwendet.

Die Kappen laſſen ſich jedoch ſo bemeſſen, daſs die unbelaſtete im Stande iſt, ohne Ueberſchreitung der zuläſſigen Beanſpruchung einen dem Schube der benachbarten, belaſteten Kappe gleichen Widerſtand zu leiſten, wobei dann auf die Träger keine ſeitliche Belaſtung, ſondern nur ein geringes Verdrehungsmoment einwirkt. Die Abmeſſungen ſolcher Kappen gleichen Schubes ſind nach Gleichung 11

bis 20 zu beſtimmen, welche zugleich den Fall berückſichtigen, daſs Kappe und Uebermauerung verſchiedenes Einheitsgewicht haben (ſiehe Fig. 179 u. 181).

Fig. 181.



Zu unterſcheiden ſind noch die beiden Fälle, daſs die Kappe überall gleich ſtark iſt oder daſs ſie ſo an Stärke zunimmt, daſs überall die lothrechte Abmeſſung der Fugen gleich δ wird.

Für beide Fälle iſt (Fig. 181)

$$\delta_1 = \delta\,(1 + k), \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 11.$$

und zwar im erſteren Falle

$$k = 8\left(\frac{d-h}{b}\right)^2, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 12.$$

im letzteren Falle

$$k = 16\left(\frac{d-h}{b}\right)^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 13.$$

Die Pfeile werden bei dieſen Kappen ſehr flach. Die Werthe für k folgen für einige der gewöhnlichſten Pfeilverhältniſſe $\frac{d-h}{b}$ aus der nachſtehenden Zuſammenſtellung.

$\frac{d-h}{b} =$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{22}$
Kappenſtärke bleibt unverändert $k = 8\left(\frac{d-h}{b}\right)^2$	0,055	0,036	0,025	0,020	0,0165
Kappenſtärke wächst $k = 16\left(\frac{d-h}{b}\right)^2$	0,111	0,072	0,050	0,040	0,033

Ein dem vorliegenden Falle nach Schätzung entſprechender Werth für k iſt zunächſt anzunehmen; dann ergeben ſich die übrigen Abmeſſungen nach dem aus äuſseren Bedingungen von vornherein feſt ſtehenden h, wie folgt:

$$\delta = \frac{b}{2}\sqrt{\frac{3p}{s\,(2+k)}}\,; \quad \ldots \ldots \ldots \quad 14.$$

$$d = h + b\,\frac{6\,[\gamma h\,(2+k) + p\,(1+2k)] + (\gamma_1 - \gamma)\,\delta\,(6+k)\,(2+k)}{\sqrt{432\,sp\,(2+k) - \gamma\,b\,(2+k)}}\,; \quad 15.$$

$$H' = H'' = \frac{\delta s}{2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 16.$$

Das Verdrehungsmoment für den Träger iſt

$$M_t = \frac{s\,\delta^2\,(1+k)}{6} \text{ für die Längeneinheit des Trägers} \quad \ldots \quad 17.$$

Das Gewicht der Längeneinheit einer Kappe iſt (Fig. 181)

$$G = b\left[\frac{\gamma}{3}\,(d + 2h) + (\gamma_1 - \gamma)\,\frac{\delta}{2}\left(1 + \frac{k}{3}\right)\right] \quad \ldots \ldots \quad 18.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ift das Einheitsgewicht der Uebermauerung gleich dem der Kappe, alfo $\gamma = \gamma_1$, fo bleiben die obigen Gleichungen beftehen; nur geht Gleichung 15 über in

$$d_{\gamma=\gamma_1} = h + b\,\frac{6\,[\gamma h\,(2+k) + p\,(1+2k)]}{\sqrt{432\,sp\,(2+k) - \gamma b\,(2+k)}} \quad \ldots\ldots 19.$$

und Gleichung 18 in (Fig. 181)

$$G_{\gamma=\gamma_1} = \frac{\gamma b\,(d+2h)}{3} \quad \ldots\ldots\ldots 20.$$

Ergiebt fich in beftimmtem Falle nach Gleichung 14 ein δ, welches gröfser ift, als das zunächft angenommene h, fo ift in den weiteren Formeln δ ftatt h einzuführen, und die Kappe erhält im Scheitel keine Uebermauerung.

Es ift fchliefslich zu prüfen, ob für die berechnete Kappe $\frac{d-h}{b}$, d. h. das Pfeilverhältnifs, mit demjenigen übereinftimmt, welches dem zuerft angenommenen k-Werthe nach Gleichung 12 oder 13 zu Grunde liegt. Ift dies nicht der Fall, fo ift die Rechnung mit dem dem berechneten $\frac{d-h}{b}$ nach Gleichung 11 oder 12 entfprechenden k zu wiederholen. Da fich jedoch die Gröfsen δ und d mit erheblichen Abweichungen von k nur langfam ändern, fo wird diefe Berichtigungsrechnung nur felten erforderlich werden.

Beifpiel. In einem Lagerhaufe follen die Kappen zwifchen Eifenträgern fo gewölbt werden, dafs letztere keinen Seitenfchub erhalten. Die Dicke der Decke foll an den fchwächften Stellen, wegen Dichtigkeit gegen Kälte, mindeftens ($h =$) 18 cm betragen. Die Kappen werden in hartem Backftein mit $\gamma_1 = 0{,}0018$ kg für 1 cbcm und mit Rückficht auf Stöfse $s = 6$ kg für 1 qcm gewölbt, dann mit Schlacken-Beton ($\gamma = 0{,}00123$ kg für 1 cbcm) überftampft; die Trägertheilung ift ($b =$) 150 cm, die zu tragende Verkehrslaft ($p =$) 0,12 kg für 1 qcm.

Es ift zunächft bei Backfteinwölbung gleich bleibende Kappenftärke vorauszufetzen und daher nach der Zufammenftellung zu Gleichung 11 bis 14, bei dem angenommenen Pfeilverhältniffe $\frac{d-h}{b} = \frac{1}{20}$, $k = 0{,}02$ einzuführen. Es wird dann nach Gleichung 14

$$\delta = \frac{150}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot 0{,}12}{6 \cdot 2{,}02}} = 12{,}92 \text{ cm} = \backsim 13 \text{ cm},$$

und nach Gleichung 15

$$d = 18 + 150\,\frac{6\,(0{,}00123 \cdot 18 \cdot 2{,}02 + 0{,}12 \cdot 1{,}04) + (0{,}0018 - 0{,}00123) \cdot 12{,}92 \cdot 6{,}02 \cdot 2{,}02}{\sqrt{432 \cdot 6 \cdot 0{,}12 \cdot 2{,}02} - 0{,}00123 \cdot 150 \cdot 2{,}02} = 24{,}72 \text{ cm} \backsim \backsim 25 \text{ cm};$$

ferner nach Gleichung 16

$$H' = H'' = \frac{12{,}92 \cdot 6}{2} = 37{,}8 \text{ kg für 1 lauf. Centim. Träger,}$$

nach Gleichung 17

$$M_t = \frac{6 \cdot 12{,}92^2 \cdot 1{,}02}{6} = 170 \text{ cmkg für 1 lauf. Centim. Träger,}$$

endlich nach Gleichung 18

$$G = 150\left[\frac{0{,}00123}{3}\,(25 + 2 \cdot 18) + (0{,}0018 - 0{,}00123)\,\frac{13}{2}\left(1 + \frac{0{,}02}{3}\right)\right] = 4{,}31 \text{ kg für 1 lauf. Centim. Träger.}$$

Bei diefen Abmeffungen wird $\frac{d-h}{b} = \frac{25-18}{150} = \frac{1}{21{,}4}$; angenommen war $\frac{1}{20}$. Diefe Abweichung hat auf k einen fo geringen Einflufs, dafs die Berichtigungsrechnung nicht angeftellt zu werden braucht.

92. Fachausfüllung mit *Monier*- und *Rabitz*-Platten.

Die Stärke ebener Mörtelplatten [126]) mit Drahteinlagen, wie fie in Fig. 182, 183 rechts u. 184 dargeftellt find, kann, wenn man die Spannungsvertheilung in der

[126]) Ueber ausgedehnte Belaftungsverfuche mit *Monier*-Platten fiehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 297 — ferner: Wayss, G. A. Das Syftem *Monier*. Berlin 1887.

Platte als nach Fig. 185 [127]) vorgehend anfieht, nach den nachfolgenden Regeln bemeffen werden. Es bezeichne q die gefammte bleibende und bewegliche Auflaft der Platte für die Flächeneinheit, γ das Gewicht der Raumeinheit der Platte felbft, s die zuläffige Beanfpruchung der Flächeneinheit des Plattenquerfchnittes auf Druck (bei Cement-Mörtel der Mifchung 1 : 3 etwa 16 kg für 1 qcm), s_e die zuläffige Zugbeanfpruchung auf die Flächeneinheit des Querfchnittes der eingelegten Drähte, δ die Plattendicke, b die Theilung der die Platte tragenden Träger,

Fig. 182.

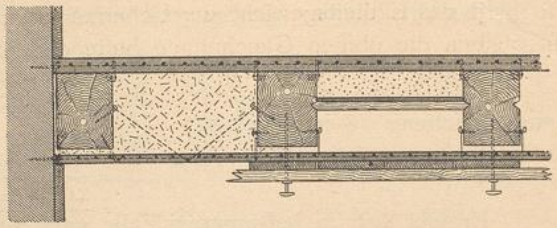


Fig. 183.

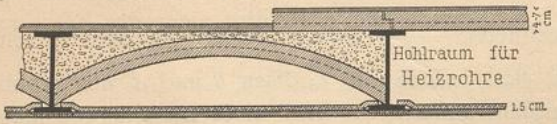


Fig. 184.



d den Durchmeffer der eingelegten Drähte, t die Theilung der letzteren (Fig. 185) und a den Abftand der Drahteinlage von der gezogenen Aufsenkante der Platte; alsdann mache man

$$\delta = 0{,}3 \left[2a + \frac{\gamma b^2}{s} + \sqrt{\left(2a + \frac{\gamma b^2}{s}\right)^2 + \frac{20 q \,.\, b^2}{3 s}} \right] \quad \ldots \quad 21.$$

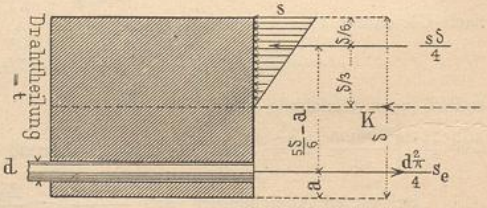
$$d = \sqrt{\frac{t}{\pi} \frac{s}{s_e} \delta} \quad \text{oder} \quad t = \pi \frac{s_e}{s} \frac{d^2}{\delta} \quad \ldots \quad 22.$$

Wird noch der Abftand a als Theil der Plattendicke feft gelegt, alfo $a = \frac{\delta}{m}$ gefetzt, fo lautet Gleichung 21:

$$\delta = \frac{1{,}5\, m}{5m - 6} \frac{\gamma b^2}{s} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} \,.\, \frac{5m - 6}{m} \,.\, \frac{sq}{\gamma^2 b^2}}\right) \quad \ldots \quad 23.$$

Die Formeln liefern für durchlaufende, über den Trägern nicht geftofsene Platten (Fig. 182 u. 184) etwas ficherere Ergebniffe, als für die Platten mit Fugen über den Trägern (Fig. 183 rechts). Man kann daher die zuläffigen Beanfpruchungen s und s_e für durchlaufende Platten etwas höher annehmen, als für unterbrochene, vorausgefetzt, dafs die Drahteinlage nach Fig. 184 gefchlängelt ausgebildet ift.

Fig. 185.



Beifpiel. Auf einem Trägerrofte von (b =) 80 cm Theilung, welcher (q =) 0,04 kg auf 1 qcm Grundfläche zu tragen hat, foll eine Platte aus Cement-Mörtel (von der Mifchung 1 : 5) des Gewichtes (γ =) 0,002 kg für 1 cbcm und mit der zuläffigen Druckbeanfpruchung (s =) 8 kg für 1 qcm hergeftellt werden, in welcher die Drahteinlage um (a =) 1 cm von der Unterkante abfteht.

[127]) Vergl.: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 462 — ferner eine fchärfere Berechnung in: Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 209 u. 224.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Nach Gleichung 21 wird

$$\delta = 0{,}3 \left[2 \cdot 1 + \frac{0{,}002 \cdot 80^2}{8} + \sqrt{\left(2 \cdot 1 + \frac{0{,}002 \cdot 80^2}{8}\right)^2 + \frac{20 \cdot 0{,}04 \cdot 80^2}{3 \cdot 8}} \right] = 5{,}6 \text{ cm}.$$

Wird für den Draht die Beanſpruchung von ($s_e =$) 1000 kg für 1 qcm zugelaſſen und ſollen ($d =$) 0,4 cm ſtarke Drähte zur Verwendung kommen, ſo iſt nach Gleichung 22 die Theilung

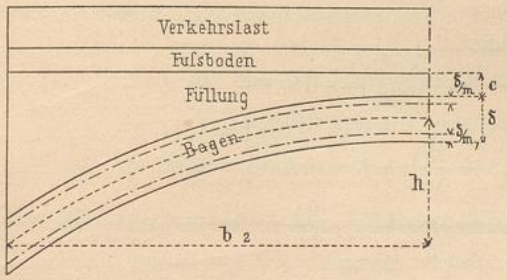
$$t = 3{,}14 \frac{1000}{8} \frac{0{,}4^2}{5{,}6} = 11{,}2 \text{ cm}$$

weit zu machen. Wäre beſtimmt, daſs die Drahteinlage ſich um den ($m =$) 5,6-ten Theil der Dicke von der Unterkante befinden ſoll, ſo würde ſich nach Gleichung 23 eben ſo ergeben haben

$$\delta = 1{,}5 \frac{5{,}6 \cdot 0{,}002 \cdot 80^2}{(5 \cdot 5{,}6 - 6) \cdot 8} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4\,(5 \cdot 5{,}6 - 6) \cdot 8 \cdot 0{,}04}{3 \cdot 5{,}6 \cdot (0{,}002 \cdot 80)^2}} \right] = 5{,}6 \text{ cm}.$$

Die gebogenen Mörtelplatten für Trägerfache (Fig. 183) erhalten zweckmäſsig zwei Drahteinlagen, da der Sinn der Biegungsmomente für alle Querſchnitte wechſeln kann.

Fig. 186.



Die Aufſtellung der Regeln für die Stärkenbemeſſung erfolgt mit Bezug auf Fig. 186. Es bedeute s die zuläſſige Beanſpruchung des Plattenmörtels auf Druck für die Flächeneinheit des Querſchnittes, s_e diejenige des Drahtes in den Drahteinlagen, p die Nutzlaſt für die Flächeneinheit, g das Gewicht eines etwa vorhandenen Fuſsbodenbelages für die Flächeneinheit, γ das Gewicht der Raumeinheit der Plattenüberfüllung, γ_1 das Gewicht der Raumeinheit des Plattenmörtels, b die Trägertheilung (Bogenweite), h den Pfeil der Bogenmittellinie, c die Höhe der Bogenüberfüllung im Scheitel, δ die Plattenſtärke und $\frac{\delta}{m}$ den Theil der Plattenſtärke, welchen die Drahteinlage oben und unten abſchneidet; die Plattenſtärke folgt alsdann aus

$$\delta = \frac{1}{\frac{8hs}{b^2} - \gamma_1} \left[\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \frac{3{,}1\, m\, p\, h \left(\frac{8hs}{b^2} - \gamma_1\right)}{5m - 6}} \right]; \quad \ldots \quad 24.$$

darin iſt q aus der Erklärungsgleichung:

$$q = \gamma \left(c + \frac{h}{5}\right) + g + 0{,}6p \quad \ldots \quad 25.$$

zu beſtimmen. Der Drahtdurchmeſſer d oder die Drahttheilung t der Einlagen folgt aus

$$d = b \sqrt{\frac{m\,t\,p}{8{,}1\,(5m - 6)\,\delta\, s_e}} \quad \text{oder} \quad t = \frac{8{,}1\,(5m - 6)\,\delta\, s_e}{mp} \left(\frac{d}{b}\right)^2 \quad \ldots \quad 26.$$

Der gröſste Schub H', welchen eine voll belaſtete Bogenplatte leiſtet, ergiebt ſich zu

$$H' = \frac{b^2}{8h} \left[\gamma_1 \delta + \gamma \left(c + \frac{h}{5}\right) + g + p \right], \quad \ldots \quad 27.$$

und bezeichnet g_1 nach der Erklärungsgleichung

$$g_1 = \gamma_1 \delta + \gamma \left(c + \frac{h}{5}\right) + g, \quad \ldots \quad 28.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſo ergiebt ſich der gröſste Gegenſchub H'', den eine unbelaſtete Bogenplatte leiſten kann, aus

$$H'' = \frac{s\delta^2(5m-6) + 3mg_1b^2}{\delta(5m-6) + 24mh} \quad \ldots\ldots\ldots 29.$$

Beiſpiel. Ein mit ($p =$) 0,05 kg für 1 qcm belaſteter Cement-Eſtrich von 3 cm Dicke wiegt ($g =$) 0,006 kg für 1 qcm und ruht auf einer Sandfüllung mit ($\gamma =$) 0,0016 kg Gewicht für 1 cbcm zwiſchen Trägern von ($b =$) 150 cm Theilung. Die Sandfüllung iſt im Scheitel ($c =$) 8 cm ſtark; der Pfeil der Bogenplatte beträgt ($h =$) 15 cm; 1 cbcm der Platte wiegt ($\gamma_1 =$) 0,002 kg; die Drahteinlagen ſollen aus ($d =$) 0,4 cm dicken Drähten beſtehen und um $\frac{\delta}{4}$ ($m = 4$) von den Aufsenflächen entfernt ſein. Die zuläſſige Beanſpruchung des Cement-Mörtels (der Miſchung 1 : 3) auf Druck ſei ($s =$) 16 kg für 1 qcm, diejenige des Drahtes ($s_e =$) 1100 kg für 1 qcm. Alsdann iſt nach Gleichung 25

$$q = 0{,}0016\left(8 + \frac{15}{5}\right) + 0{,}006 + 0{,}6 \cdot 0{,}05 = 0{,}0536 \text{ kg};$$

alſo nach Gleichung 24

$$\delta = \frac{1}{\frac{8 \cdot 15 \cdot 16}{150^2} - 0{,}002}\left[\frac{0{,}0536}{2} + \sqrt{\left(\frac{0{,}0536}{2}\right)^2 + \frac{3{,}1 \cdot 4 \cdot 0{,}05 \cdot 15\left(\frac{8 \cdot 15 \cdot 16}{150^2} - 0{,}002\right)}{5 \cdot 4 - 6}}\right] = 3{,}2 \text{ cm}.$$

Ferner iſt nach Gleichung 26 die Drahttheilung

$$t = \frac{8{,}1 \cdot (5 \cdot 4 - 6) \cdot 3{,}2 \cdot 1100}{4 \cdot 0{,}05}\left(\frac{0{,}4}{150}\right)^2 = 14{,}2 \text{ cm}.$$

Der gröſste Schub der vollen Kappe auf 1 cm Länge wird nach Gleichung 27

$$H' = \frac{150^2}{8 \cdot 15}\left[0{,}002 \cdot 3{,}2 + 0{,}0016\left(8 + \frac{15}{5}\right) + 0{,}006 + 0{,}05\right] = 15 \text{ kg}.$$

Nach Gleichung 28 wird $g_1 = 0{,}002 \cdot 3{,}2 + 0{,}0016\left(8 + \frac{15}{5}\right) + 0{,}006 = 0{,}03$ kg, alſo nach Gleichung 29 der gröſstmögliche Gegenſchub der unbelaſteten Bogenplatte auf 1 cm Länge

$$H'' = \frac{16 \cdot 3{,}2^2(5 \cdot 4 - 6) + 3 \cdot 4 \cdot 0{,}03 \cdot 150^2}{3{,}2(5 \cdot 4 - 6) + 24 \cdot 4 \cdot 15} = 7 \text{ kg}.$$

93. Fachausfüllung mit Tonnenblechen.

Sind die Balkenfache mit Tonnenblechen ausgefüllt (Fig. 187 u. 188), ſo iſt der wagrechte Zug, welcher ſich in einem Bleche der vollen Belaſtung q, des Pfeiles f (Fig. 188) und der Weite (Trägertheilung) b entwickelt, $H' = \frac{qb^2}{8f}$, während der Gegenzug des nur mit der Eigenlaſt g für die Einheit belaſteten Nachbarbleches $H'' = \frac{gb^2}{8F}$ beträgt. Nach H' könnte man nun das Blech der Dicke nach bemeſſen; jedoch ergeben ſich ſo ſelbſt bei flachen Pfeilen zu geringe Stärken. Die Bleche wurden früher mindeſtens

Fig. 187.

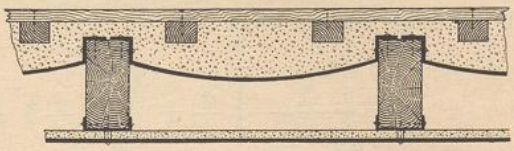
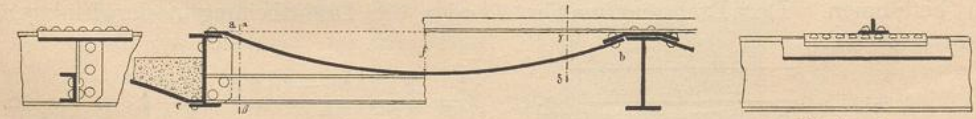


Fig. 188.

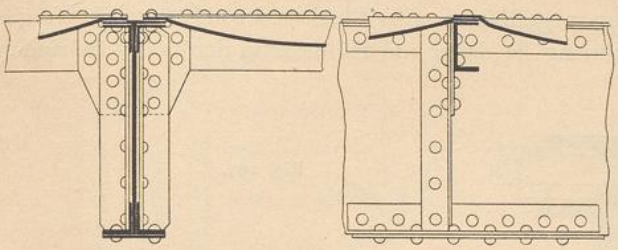


Schnitt $\alpha\beta$. Schnitt $\gamma\delta$.

8 mm ſtark gemacht; nachdem durch die Verzinkung ein guter Schutz gegen Roſten geſchaffen iſt, geht man bis zu 4 mm herunter. Die übrigen Abmeſſungen der Bleche ſind ziemlich beliebig; jedoch geht man in der Gröſse der einzelnen Bleche nicht gern über 4 qm hinaus; ſchmale und dünne Bleche ſind erheblich kleiner. Werden die Bleche, was in der Regel geſchieht, mit Beton überſtampft, ſo kann man deſſen Druckfeſtigkeit zum Ausgleiche des wagrechten Zuges der Platte ausnutzen, ſo daſs

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 189.



ein ſolcher nie von einem Trägerfache auf das benachbarte übertragen wird.

Die Vernietung erfolgt nach den in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abſchn. 3, Kap. 2) dieſes »Handbuches« gegebenen Regeln, und zwar iſt der Nietberechnung für die Längeneinheit des Bleches bei der Befeſtigung nach Fig. 188 bei *a* die Kraft H', bei Befeſtigung nach Fig. 188 bei *b* die Kraft $\sqrt{H'^2 + \frac{q^2 b^2}{4}}$ zu Grunde zu legen.

94. Fachausfüllung mit Buckelplatten.

Wenn die Balkenfache mit Buckelplatten überdeckt ſind (ſiehe Fig. 189), ſo ſind für die Stärkenabmeſſungen letzterer einfache Berechnungen wenig zuverläſſig; man beſtimmt ihre Tragfähigkeit am ſicherſten nach den Verſuchsergebniſſen, welche in der nachfolgenden Zuſammenſtellung angeführt ſind. Die Randvernietung kann ſchwächer ſein, als bei den Tonnenblechen.

Buckel-Platten von der Dillinger Hütte zu Dillingen a. d. Saar.

L = Länge, B = Breite der Platte, b = Breite des geraden Randes, h = Pfeil des Buckels (in Millim.), G das Gewicht (in Kilogr.).

Nr.	B	L	b	h	G = Gewicht für 1 Stück bei einer Blechſtärke von								
					6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10 mm
1	1490	1490	78	130	104	112,5	121,5	130	139	147,5	156,5	165,5	173,5
2	1140	1140	40	85	61	66	71	76	81	86	91	96	101
3	1098	1098	40	75	56,5	61	66	70,5	76	81	85	90	94
4	1098	1098	78	78	56,5	61	66	70,5	76	81	85	90	94
5	1000	1000	60	72	47	51	54,5	58,5	62,5	66,5	70,5	74	78
6	750	750	60	45	26,5	28,5	30,5	33	35	37	39,5	41,5	44
7	500	500	60	27	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5
8	1630	1270	80	130	96,5	105	113	121,5	129,5	137,5	145,5	153,5	161,5
9	1100	770	55	80	39,5	43	46	49,5	53	56,5	59,5	63	76
10	1265	1265	80	100	75	81	87,5	94	100	106,5	112,5	118,5	124,5
	Millim.				Kilogr.								

Bezeichnet P die zuläſſige gleichförmig vertheilte Belaſtung von Buckelplatten von 0,9 bis 1,0 m frei tragender Länge für 1 qm, G das Gewicht für 1 qm und d die Blechdicke, ſo ergeben ſich die folgenden Zahlenbeziehungen:

d	G	P	d	G	P
2	14,8	560	5,0	38,6	3400
2,5	19,0	730	6,0	46,8	4900
3,0	23,2	1160	7,0	55,0	6300
4,0	31,0	2000	8,0	63,2	7700
Millim.	Kilogr.		Millim.	Kilogr.	

Preis der Buckelplatten etwa 280 Mark für 1000 kg einſchl. Verlegen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

95. Fachausfüllung mit Wellblech.

Das Wellblech überdeckt ſchmale Räume ohne Träger (Fig. 190); über breiteren werden die Tafeln auf allen Trägern geſtoſsen. Das Blech wirkt alſo ſtets als Träger auf zwei Stützen, und die Berechnung iſt daher mit Hilfe der in den neben ſtehenden Tabellen angegebenen Widerſtandsmomente ($W = \frac{\mathcal{J}}{e}$[128]) leicht durchzuführen. Die gebräuchlichen Abmeſſungen der Blechtafeln gehen aus den Bemerkungen zu den Tabellen hervor.

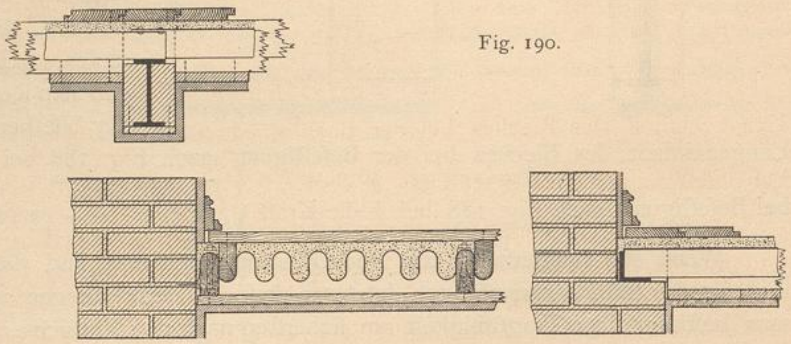


Fig. 190.

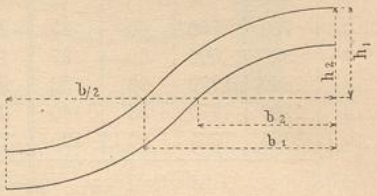
Da, wo das Widerſtandsmoment einer Blechſorte nur für $d = 1$ mm angegeben iſt, erhält man die Widerſtandsmomente anderer Blechſtärken durch Veränderung der angegebenen Momentenzahl nach dem Verhältniſſe der Blechſtärke.

Die Längen der Tafeln werden in der Regel bis 4,0 m und die Breiten bis 1,0 m geliefert.

Die Tabellen zeigen, daſs die Widerſtandsmomente, welche gröſser als 92 ſind, lediglich in Trägerwellblechen (ſiehe S. 106) erreicht werden und daſs man alſo in einem ſolchen Falle zur Verwendung dieſer gezwungen iſt.

In Fällen, wo das erforderliche Widerſtandsmoment kleiner als 90 iſt, ſind vergleichende Rechnungen zwiſchen beiden Arten zu empfehlen, da das flache Wellblech bei kleinerem Widerſtandsmoment zugleich erheblich geringeres Gewicht hat, und daher unter Umſtänden das leichtere Ergebniſs liefern kann.

Fig. 191.



Für beliebige flach gewellte Bleche ergiebt ſich das Trägheitsmoment für die wagrechte Mittelaxe und eine Wellenbreite b nach der Formel (Fig. 191)

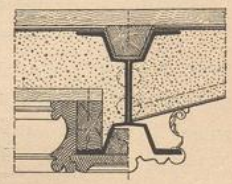
$$\mathcal{J} = \frac{64}{105}(b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3), \quad . \quad . \quad . \quad 30.$$

für welche die Maſse b_1, b_2, h_1 und h_2 durch Auftragen einer Viertelwelle in groſsem Maſsſtabe oder auch durch Berechnung leicht zu ermitteln ſind.

96. Fachausfüllung mit Wellblechbogen.

Werden die Balkenfache mit Wellblechbogen oder ſog. bombirtem Wellblech ausgefüllt (ſiehe Fig. 192 rechts u. Fig. 193), ſo ſind die Abmeſſungen, Gewichte und Widerſtandsmomente der Wellbleche den Tabellen auf S. 106 zu entnehmen.

Fig. 192.



Es bezeichne mit Bezug auf Fig. 194: b die Bogenweite (Trägertheilung), h den Pfeil der Bogenmittellinie, g das Ge-

128) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 299, S. 263; 2. Aufl. Art. 89, S. 66) dieſes »Handbuches«.

a) Flache Wellbleche.

Dillinger Hütte zu Dillingen a. d. Saar.

h	*b*	*d*	*B*	*L*	*G*	*W*	Freitragende Länge (in Met.) gleichf. verth. Belaftung				
							1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
45	150	2,0	1,05	3,0	18,5	19	1140	507	285	182	127
75	230	3,0	0,92	3,0	29	52	3120	1387	780	499	347
75	230	3,5	0,92	3,0	34	60	3600	1600	900	576	400
75	230	4,0	0,92	3,0	39	67	4020	1787	1005	643	447
75	230	4,5	0,92	3,0	44	73	4380	1947	1095	701	487
75	230	5,0	0,92	3,0	49	80	4800	2133	1200	768	533
75	230	5,5	0,92	3,0	54	86	5160	2293	1290	826	573
75	230	6,0	0,92	3,0	59	92	5520	2453	1380	883	613
Millim.			Met.		Kg.		Kilogr.				

Preis des Wellbleches, einfchl. Verlegen, etwa 290 Mark für 1000 kg.

Hein, Lehmann & Co. zu Berlin.

In den Dicken von 1 bis 26 der deutfchen Lehre.

Nr.	*h*	*b*	*G* für 1 qm bei 1 mm Stärke	*W* bei 1 m Breite und 1 mm Stärke
2½/10	25	100	9,4	7,5
3/10	30	100	9,8	9,5
3½/10	35	100	10,4	12
4/10	40	100	11,1	14
4½/10	45	100	11,5	16
2½/10	25	150	8,5	7
3/15	30	150	8,8	8,5
3½/15	35	150	9,1	10
4/15	40	150	9,4	12
4½/15	45	150	9,8	14
5/15	50	150	10,2	16
	Millim.		Kilogr.	

Jacob Hilgers zu Rheinbrohl.

Nr. der deutfchen Blechlehre	*d*	*G* für 1 qm gedeckte Fläche, einfchl. Ueberdeckungen				
		Profil I. *b* = 120 mm *h* = 25 »	Profil II. *b* = 135 mm *h* = 30 »	Profil III. *b* = 150 mm *h* = 40 »	Profil IV. *b* = 150 mm *h* = 45 »	Profil V. *b* = 76 mm *h* = 25 »
15	1,50	14,6	14,8	15,7	16,6	16,4
16	1,33	13,4	13,6	14,5	15,2	15,0
17	1,25	12,2	12,3	13,1	13,8	13,6
18	1,13	11,0	11,1	11,9	12,4	12,3
19	1,00	9,8	9,9	10,5	11,0	10,9
20	0,88	8,5	8,6	9,2	9,7	9,6
21	0,75	7,3	7,4	7,9	8,3	8,2
	Millim.	Kilogr.				

L. Fr. Buderus, Germania bei Neuwied.

Nr.	*h*	*b*	*d*	*G* für 1 mm Dicke	*L* bis
Z	12	40	0,5—0,875	11	3,1
X	25	75	0,6—1,0	10,1	»
A	27	85	0,8—1,5	9,5	»
B	29	122	0,8—1,75	8,8	»
C	35	137	0,8—1,75	9,1	»
D	40	150	0,8—2	9,2	»
E	75	230	3—5	9,9	»
	Millim.			Kilogr.	Met.

Breeft & Co. zu Berlin.

L bis 4 m.

Nr.	*b*	*h*	*d*	*G*	*B*	Nr.	*b*	*h*	*d*	*G*	*B*
A	200	80	4	68	0,45	*C*	180	60	2	30	0,55
»	»	»	3	51	»	»	»	»	1,5	22,5	»
»	»	»	2	32	»	»	»	»	1	15	»
»	»	»	1	16	»	*D*	180	50	1	13	0,60
B	180	70	2	32	0,55	*E*	150	45	1	9	0,60
»	180	70	1,5	24	»	*F*	90	25	1	10	0,75
»	»	»	1	16	»						
	Millim.			Kilogr.	Met.		Millim.			Kilogr.	Met.

b Breite, *h* Höhe einer Welle, *d* Dicke des Bleches (in Millim.); *B* und *L* Breite und Länge (in Met.), bis zu welcher die Bleche geliefert werden; *G* Gewicht (in Kilogr.) für 1 qm; *W* Widerftandsmoment (bezogen auf Centim.) für 1 m Breite; gröfste Beanfpruchung des Eifens 750 kg für 1 qcm. (In einigen Tabellen ift *W* für die Breite *b* einer Welle angegeben, was im Kopf der betreffenden Tabelle befonders bemerkt ift.)

β) Trägerwellbleche.

Hein, Lehmann & Co. zu Berlin.

Nr.	h	b	G für 1 qm bei 1 mm Stärke ca.	W für 1 m Breite bei 1 mm Stärke	Nr.	h	b	d	G für 1 qm bei 1 mm Stärke	W für 1 m Breite = 10 Wellen bei 1 mm Stärke
1	15	40	10,7	5,1	5a	50	100	1—2	12,5	17
2	20	40	12,6	7,6	6	60	100	1—2	14,1	25,2
3	15	50	9,8	4,7	7	70	100	1—3	15,7	33
4	25	50	12,6	9,8	8	80	100	1—5	17,3	40,5
5	30	60	12,6	11,7	9	90	100	1—5	18,9	48,4
					10	100	100	2—5	20,5	56,5
					11	110	100	2—5	22,1	68
	Millim.		Kilogr.			Millim.			Kilogr.	

L. Fr. Buderus, Germania b. Neuwied.

Nr.	h	b	d	G für 1 qm bei 1 mm Stärke	W für 1 mm Stärke und die Breite b
0	45	90	1-1½	12	1,550
I	50	90	»	13	1,835
II	55	90	»	14	2,105
III	60	90	»	15	2,440
VII	60	100	1—3	14,25	2,617
VIII	65	100	»	15	2,980
IX	70	100	2—3	15,8	3,330
X	75	100	»	16,6	3,600
XI	80	100	»	17,5	4,050
XVI	80	120	2—5	14,64	4,461
XVII	90	120	»	16,55	5,385
XVIII	100	120	»	17,50	6,383
	Millim.			Kilogr.	

Jacob Hilgers zu Rheinbrohl.

Nr. der deutschen Blechlehre	d	Gewicht für 1 qm ohne Ueberdeckung						
		Profil O. b = 90 mm h = 45 »	Profil A. b = 90 mm h = 50 »	Profil B. b = 90 mm h = 60 »	Profil C. b = 90 mm h = 70 »	Profil D. b = 100 mm h = 80 »	Profil E. b = 100 mm h = 90 «	Profil F. b = 100 mm h = 100 »
5	4	48	52	60	68	72	76	84
9	3	36	39	45	51	54	57	63
16	2	24	26	30	34	36	38	42
19	1	12	13	15	17	18	19	21
	Millim.	Kilogr.						

A. Kammerich & Co. zu Berlin.

Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
1	10	20	0,5	6	1,850	19	80	100	1	17	40,500
2	15	30	1	12	5,533	20	80	100	1,5	25,5	60,400
3	20	30	1	13,5	8,800	21	80	100	2	34	80,000
4	25	40	1	13,8	10,700	22	80	100	2,5	42,5	99,600
5	30	40	1	15	14,350	23	80	100	3	51	118,600
6	45	90	1	12	17,267	24	80	100	4	68	156,500
7	45	90	1,5	18	25,633	25	90	100	2	37	96,800
8	45	90	2	24	33,844	26	90	100	2,5	46	120,630
9	50	90	1	13	20,389	27	90	100	3	55,5	144,040
10	50	90	1,5	19,5	30,355	28	90	100	4	74	190,200
11	50	90	2	26	40,089	29	100	100	2	40	115,220
12	60	90	1	15	27,166	30	100	100	3	60	171,000
13	60	90	1,5	22,5	40,533	31	100	100	4	80	225,800
14	60	90	2	30	53,610	32	100	100	5	100	279,800
15	70	90	1	16	34,777	33	100	130	2	33	98,338
16	70	90	1,5	24	51,888	34	100	130	3	49,5	146,169
17	70	90	2	32	68,722	35	100	130	4	66	193,161
18	70	90	2,5	40	85,366	36	100	130	5	82,5	239,400
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Pfeiffer & Druckenmüller zu Berlin.

Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
DE 8	70	90	2	32	68,000	*E* 4	60	90	1	15	26,600
» 6	70	90	1,5	24	51,100	*F* 4	50	90	1	13	21,000
» 4	70	90	1	16	34,300	*G* 4	45	90	1	12	17,000
E 8	60	90	2	30	53,000	» 3	45	90	0,75	9-10	12,750
» 6	60	90	1,5	23	36,900						
1	50	100	1	12	17,000	18	80	100	3	52	120,000
2	60	100	1	14	25,200	19	90	100	3	55	144,000
3	70	100	1	16	33,600	20	120	100	2	47	152,500
4	60	100	1½	21	37,800	21	80	100	4	71	160,000
5	80	100	1	17	40,000	22	100	100	3	61	169,200
6	90	100	1	18	48,000	23	90	100	4	76	182,000
7	60	100	2	29	50,400	24	140	100	2	52	199,600
8	70	100	1½	23,5	50,500	25	80	100	5	90	200,000
9	100	100	1	20	56,400	26	100	100	4	81	225,600
10	80	100	1½	25,5	60,000	27	120	100	3	70	228,800
11	70	100	2	31	67,000	28	90	100	5	96	230,000
12	90	100	1½	28	72,000	29	100	100	5	101	282,000
13	80	100	2	35	80,000	30	140	100	3	78	299,400
14	100	100	1½	30	84,600	31	120	100	4	94	305,000
15	90	100	2	38	96,000	32	120	100	5	118	381,000
16	70	100	3	48	101,100	33	140	100	4	106	393,200
17	100	100	2	40	112,800	34	140	100	5	133	499,000
	Millim.			kg			Millim.			kg	

L. Bernhard & Co. zu Berlin.

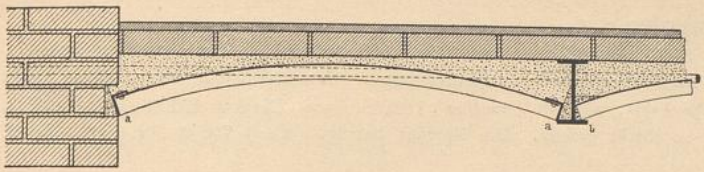
Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
1	20	30	1	13,4	7,800	17	100	120	2	33	98,208
2	30	44	1	13,9	12,181	18	101	120	3	50	146,550
3	50	90	1	12,5	19,355	19	102	120	4	67	194,258
4	50,5	90	1,5	18,7	28,989	20	103	120	5	84	241,600
5	60	90	1	14	25,966	21	120	140	3	50	176,986
6	60,5	90	1,5	21,1	39,289	22	121	140	4	63	235,393
7	61	90	2	28,4	51,333	23	122	140	5	84,7	292,985
8	70	90	1	15,6	33,344	24	123	140	6	102,5	350,085
9	71	90	2	31,6	66,111	25	150	160	3	54,2	237,569
10	72	90	3	48	98,378	26	151	160	4	72,6	315,556
11	80	100	1	16	39,070	27	152	160	5	91,2	393,075
12	81	100	2	32,4	77,410	28	153	160	6	109	470,000
13	82	100	3	49	114,010	29	200	200	3	57,1	338,440
14	90	100	2	35	92,210	30	201	200	4	77	443,215
15	91	100	3	53	137,110	31	202	200	5	96,5	554,935
16	92	100	4	71	182,400	32	203	200	6	116,3	664,045
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Breeft & Co. zu Berlin.

Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
1	100	130	4	66	244,00	2	80	110	1	16	40,14
»	100	130	3	49	183,00	3	70	90	2	34	60,68
»	100	130	2	33	122,00	»	70	90	1,5	25,5	45,49
1a	100	100	3	61	169,20	»	70	90	1	17	30,30
»	100	100	2	40	112,80	4	60	90	2	30	47,71
1b	90	100	2	37	96,80	»	60	90	1,5	22,5	35,67
»	90	100	1,5	27,5	73,00	»	60	90	1	15	23,61
2	80	110	4	63	160,56	5	50	90	1	13	17,61
»	80	110	3	47	120,42	6	45	90	1	12	14,87
»	80	110	2	32	80,32	7	30	90	1	15,5	6,02
»	80	110	1,5	24	60,26	8	20	90	1	14,5	2,74
	Millim.			kg			Millim.			kg	

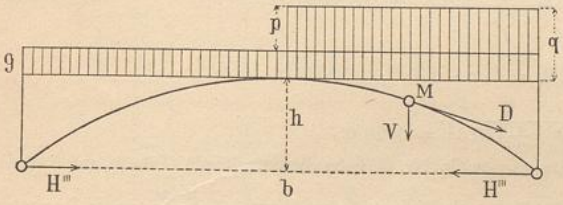
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 193.



wicht des Bleches, der Ueberfüllung und des Fufsbodens für die Flächeneinheit, p die Nutzlaft für die Flächeneinheit, $q = p + g$ die Gefammtlaft für die Flächeneinheit, M das ungünftigfte Biegungsmoment bei einfeitiger Belaftung, H' den wagrechten Bogenfchub bei voller Belaftung, H'' den gröfstmöglichen Gegenfchub des unbelafteten Bogens, H''' den von der ungünftigften einfeitigen Belaftung erzeugten Bogenfchub, V die lothrechte Scherkraft im Querfchnitte des gröfsten Biegungsmomentes bei ungünftigfter einfeitiger Belaftung, D den winkelrechten Druck auf den Querfchnitt des gröfsten Biegungsmomentes bei ungünftigfter einfeitiger Belaftung und s die zuläffige gröfste Beanfpruchung auf 1 qcm des Blechquerfchnittes. Alsdann ift

Fig. 194.



$$H' = \frac{q b^2}{8 h}; \quad \ldots \quad 31.$$

$$M = 0{,}01615\, p b^2; \quad \ldots \quad 32.$$

$$H''' = \frac{(g + 0{,}6\, p)\, b^2}{8 h}; \quad \ldots \quad 33.$$

$$V = (0{,}2676\, g + 0{,}16\, p)\, b; \quad \ldots \quad 34.$$

$$D = \sqrt{H'''^2 + V^2}; \quad \ldots \quad 35.$$

$$H'' = \frac{s + \frac{g b^2}{8} \cdot \frac{e}{\mathfrak{J}}}{\frac{1}{F} + h \frac{e}{\mathfrak{J}}}. \quad \ldots \quad 36.$$

In diefen Gleichungen bedeutet F den Querfchnitt des Bleches und $\frac{\mathfrak{J}}{e} = W$ das Widerftandsmoment des Querfchnittes, welche aus den Tabellen auf S. 105 u. 106 zu entnehmen oder aus Gleichung 30 durch Divifion von $\mathfrak{J}$ mit der halben Blechhöhe zu berechnen ift.

Die gröfste im Bleche vorkommende Beanfpruchung ift

$$\sigma_1 = \frac{M e}{\mathfrak{J}} + \frac{D}{F} \text{ (Druck)} \quad \ldots \quad 37.$$

$$\sigma_2 = \frac{M e}{\mathfrak{J}} - \frac{D}{F} \text{ (Zug)} \quad \ldots \quad 38.$$

Wird der Wellblechbogen, wie zu empfehlen, mit magerem Beton überftampft, fo kann man als Gegenfchub des unbelafteten Bogens die Summe der Werthe annehmen, welche fich aus Gleichung 5 u. 36 für die vorliegenden Mafse und zuläffigen Beanfpruchungen ergeben; jedoch darf felbftverftändlich auch hier der Gegenfchub

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

des unbelaſteten Bogens höchſtens gleich dem Schube H' (Gleichung 31) des belaſteten Bogens geſetzt werden.

Beiſpiel. Ein ($b =$) 3,0 m weiter Bogen von ($h =$) 0,25 m Pfeil iſt mit magerem Backſtein-Beton durchſchnittlich 0,23 m hoch überſchüttet und trägt 0,025 m Cement-Eſtrich. Der erſtere wiegt 1600 kg, der letztere 2500 kg für 1 cbm; alſo iſt $g = 0{,}23 \cdot 1600 + 0{,}025 \cdot 2500 = 431$ kg, und mit dem Gewichte des Bleches wird $g = 450$ kg geſetzt. Die Nutzlaſt beträgt ($p =$) 700 kg für 1 qm. Es iſt dann nach Gleichung 31

$$H' = \frac{(700 + 450)\, 3^2}{8 \cdot 0{,}25} = 5175 \text{ kg};$$

nach Gleichung 32

$$M = 0{,}01615 \cdot 700 \cdot 3^2 = 101{,}75 \text{ mkg};$$

ferner nach Gleichung 33

$$H''' = \frac{(450 + 0{,}6 \cdot 700)\, 3^2}{8 \cdot 0{,}25} = 3915 \text{ kg};$$

weiter nach Gleichung 34

$$V = (0{,}2676 \cdot 450 + 0{,}16 \cdot 700)\, 3 = 696 \text{ kg};$$

endlich nach Gleichung 35

$$D = \sqrt{696^2 + 3915^2} = 3976 \text{ kg}.$$

Wird nun Trägerwellblech von *Hein, Lehmann & Co.* Nr. 6 (ſiehe die betreffende Tabelle auf S. 106) unterſucht, ſo iſt für dieſes bei 1 mm Stärke für Meter als Einheit $\frac{\mathcal{J}}{e} = W = \frac{25{,}2}{100 \cdot 100 \cdot 100} = 0{,}0000252$. Der Querſchnitt für 1 m Breite ergiebt ſich bei dem Eiſengewichte von 7800 kg für 1 cbm aus dem Blechgewichte von 14,1 kg für 1 qm mit $\frac{14{,}1}{7800} = 0{,}0018$ qm.

Nach Gleichung 37 iſt demnach der gröſste Druck

$$\sigma_1 = \frac{101{,}75}{0{,}0000252} + \frac{3976}{0{,}0018} = 6247200 \text{ kg auf 1 qm},$$

und nach Gleichung 38 der gröſste Zug

$$\sigma_2 = \frac{101{,}75}{0{,}0000252} - \frac{3976}{0{,}0018} = 1828200 \text{ kg auf 1 qm}.$$

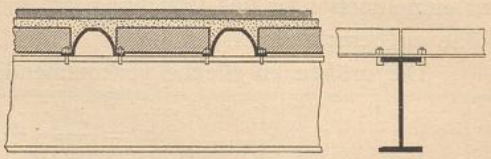
Wegen der ſtarken Spannungsſchwankung in einer und derſelben Faſer iſt das Blech trotz der niedrigen Beanſpruchung nicht als zu ſtark zu bezeichnen. Der gröſstmögliche Gegenſchub des Blechbogens iſt nach Gleichung 36

$$H'' = \frac{7000000 + \frac{450 \cdot 3^2}{8 \cdot 0{,}0000252}}{\frac{1}{0{,}0018} + \frac{0{,}25}{0{,}0000252}} = 2490 \text{ kg für 1 m Länge}.$$

97. Fachausfüllung mit Belageiſen.

Sollen die Balkenfache mit Belageiſen ausgefüllt werden (Fig. 195), ſo werden letztere zweckmäſsig auf allen Trägern geſtoſsen, damit aus der Continuität nicht Ueberlaſtungen einzelner Träger entſtehen. Will man jedoch die Vortheile der Continuität für die Belageiſen ausnutzen, ſo muſs man die Träger den vergröſserten Auflagerdrücken des continuirlichen Belageiſens entſprechend bemeſſen. In der Regel iſt es alſo nur nöthig, das Gewicht der Ueberfüllung genau zu ermitteln und nach dieſem, ſo wie der Nutzlaſt die Belageiſen als Träger auf zwei Stützen zu berechnen. Für die Zwecke des Hochbaues wird es in faſt allen Fällen genügen, zur Deckung der Zwiſchenräume zwiſchen den Belageiſen quer oder höchſtens lang gelegte Flachziegel zu verwenden. Sicherer iſt die Ausfüllung mit Beton, wobei man jedoch zum Einbringen kleiner Schalungen zwiſchen den Belageiſen bedarf.

Fig. 195.



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

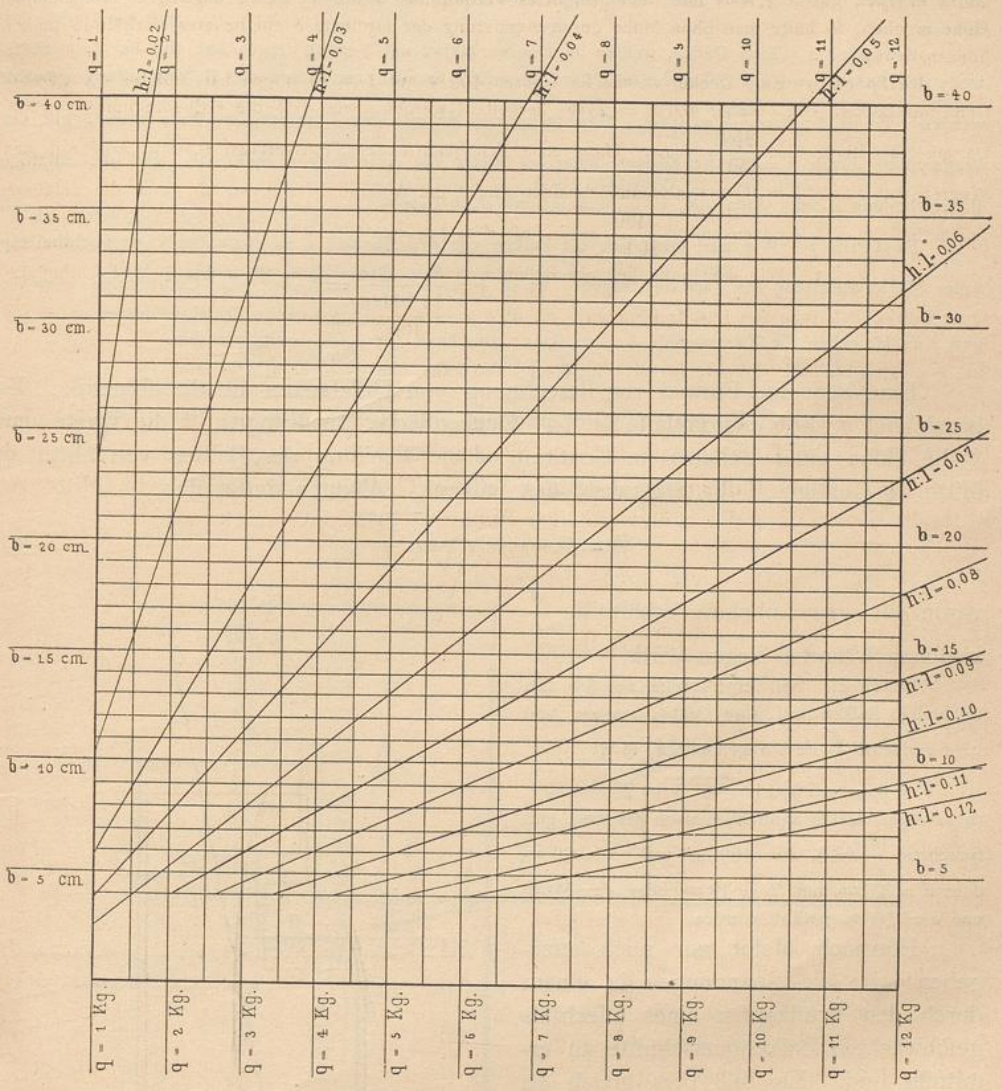
3) Querfchnittsermittelung für Balken und Träger.

98. Hölzerne Balken.

Holzbalken haben ausfchliefslich rechteckigen Querfchnitt, und zwar — mit Rückficht auf vortheilhafteſte Gewinnung aus dem runden Stamme — des Seitenverhältniſſes 5 : 7 [129]).

Die Berechnung [130]) erfolgt etwas zu ſicher für die gröſste Stützweite jedes

Fig. 196.



q in Kilogr.; 1 kg = 1 cm.

Balkens bei 80 kg zuläſſiger Beanſpruchung als Träger auf zwei Stützen. Alle hierher gehörenden Berechnungen können durch Benutzung der Auftragung in Fig. 196 um-

[129]) Siehe Theil III, Band 1 (Art. 156, S. 110; 2. Aufl.: Art. 15 , S. 114) dieſes »Handbuches«.

[130]) Angaben über die Eigengewichte hölzerner Balken finden ſich in einer Tabelle in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 318; 2. Aufl.: S. 17) dieſes »Handbuches«.

gangen werden [131]). Es bezeichnet dort b die Breite, l die gröfste Stützweite, h die Höhe eines Balkens (in Centim.) und q die Gefammtbelaftung für 1 lauf. Centim.

Beifpiel 1. Ein Balken ift für 5,5 m Stützweite bei 1,05 m Fachtheilung zu berechnen; die Eigenlaft der Decke (halber Windelboden) beträgt 300 kg und die Nutzlaft 250 kg für 1 qm. Die Laft für 1 cm ift demnach $q = \frac{1{,}05\,(300 + 250)}{100} = 5{,}8$ kg. Wird die Breite verfuchsweife mit 22 cm angenommen, fo führen die Coordinaten $q = 5{,}8$ und $b = 22$ zu der fchrägen Transverfalen $h : l = 0{,}05$, und es mufs alfo $h = 0{,}05 \cdot 550 = 27{,}5$ cm fein, ein geeignetes Verhältnifs. Hätte fich eine ungeeignet erfcheinende Höhe ergeben, fo hätte man ohne Mühe durch Aenderung der Ordinate b ein befferes Verhältnifs finden können.

Beifpiel 2. Eine Decke, welche im Ganzen 400 kg auf 1 qm zu tragen hat, foll bei 4,5 m Stützweite aus Balken von $b = 20$ und $h = 25$ cm hergeftellt werden; wie darf die Balkentheilung gewählt werden? Es ift $h : l = \frac{25}{450} = 0{,}056$. Man fuche den Schnitt der Transverfalen $0{,}056 = h : l$ mit der Wagrechten durch $b = 20$ cm; alsdann fchneidet diefer die Abfciffe $q = 6{,}5$ kg ab, und die zuläffige Balkentheilung d folgt dann aus $\frac{d \cdot 400}{100} = 6{,}5$ mit $d = 1{,}625$ m.

Beifpiel 3. Wie weit kann fich ein Balken von $b = 15$ und $h = 25$ cm bei 1,1 m Fachtheilung unter 500 kg Belaftung für 1 qm frei tragen? Es ift $q = \frac{1{,}1 \cdot 500}{100} = 5{,}5$ kg; die Coordinaten $q = 5{,}5$ und $b = 15$ geben die Transverfale $h : l = 0{,}058$; alfo kann $l = \frac{25}{0{,}058} = 430$ cm fein.

Eine bequeme Formel zur Berechnung von Holzbalken ift die folgende. Es bezeichnet q die Gefammtlaft für 1 qm Deckenfläche (in Kilogr.), b die Breite und h die Höhe eines Balkens (in Centim.), d die Theilung der Balken von Mitte zu Mitte (in Centim.), l die Stützweite des Balkens. Alsdann findet ftatt

$$h = 0{,}000968\, l \sqrt{q \frac{d}{b}}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 39.$$

worin für gewöhnliche Verhältniffe $\frac{d}{b}$ zwifchen 5 und 6 liegen wird.

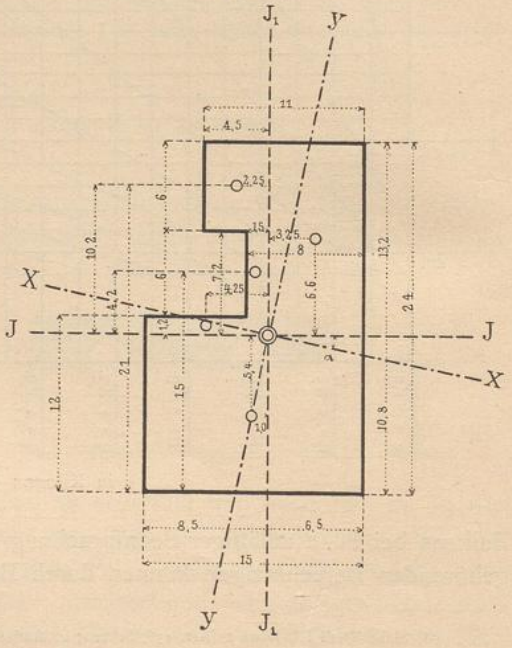
Beifpiel. Soll eine Decke aus 5 m frei tragenden Balken auf 1 qm 500 kg tragen, und wird zunächft $\frac{d}{b} = 5$ angenommen, fo ift

$$h = 0{,}000968 \cdot 500 \sqrt{500 \cdot 5} = 24{,}2 \text{ cm}$$

zu machen. Dabei kann dann nach Belieben, entfprechend $\frac{d}{b} = 5$, $d = 100$ cm und $b = 20$ cm oder $d = 90$ cm und $b = 18$ cm oder $d = 80$ cm und $b = 16$ cm gewählt werden.

Hiernach bleibt nur noch anzugeben, wie die Spannungen in einem durch den Bruftzapfen eines Wechfels gefchwächten Balkenquerfchnitte zu ermitteln find. Es foll dies gleich an einem Beifpiele vorgeführt werden, welches die Auflagerung des mit 5 bezeichneten ausgewechfelten Balkens der Gruppe A in Fig. 37 (S. 30) auf den Wechfel an der Wand zum Gegenftande hat.

Fig. 197.



[131]) Vergl. auch: Garten. Diagramm zur Beftimmung der Querfchnitte hölzerner Balken. Deutfche Bauz. 1887, S. 342.

Die Decke hat 400 kg zu tragen und 0,75 m Balkentheilung; alfo ift $q = 3$ kg und bei $b = 15$ cm, $l = 5{,}45$ m ergiebt die Auftragung in Fig. 196 $h : l = 0{,}043$, alfo $h = 0{,}043 \cdot 545 = 23{,}5 =$ rund 24 cm. Der Wechfel foll aus einem Abfchnitte deffelben Holzes hergeftellt werden. Die Laft, welche er vom Balken in feiner Mitte erhält, ift $545 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} =$ rund 820 kg; feine Stützweite von Balkenmitte bis Balkenmitte beträgt $2 \cdot 75 = 150$ cm, folglich das Angriffsmoment $M = \frac{820}{2} \cdot \frac{150}{2} = 30750$ cmkg.

Der Bruftzapfen im Wechfel wird nach Fig. 197 ausgeführt. Vom bleibenden Querfchnitte ift zuerft der Schwerpunkt zu fuchen. Diefer fteht ab

von der Unterkante: $\dfrac{11 \cdot 6 \cdot 21 + 8 \cdot 6 \cdot 15 + 12 \cdot 15 \cdot 6}{11 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 12 \cdot 15} = 10{,}8$ cm;

von der rechten Kante: $\dfrac{11 \cdot 6 \cdot 5{,}5 + 8 \cdot 6 \cdot 4 + 12 \cdot 15 \cdot 7{,}5}{11 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 12 \cdot 15} = 6{,}5$ cm.

Demnach ift das Trägheitsmoment für die wagrechte Schwerpunktsaxe

$$\mathcal{J} = 11 \frac{13{,}2^3 - 7{,}2^3}{3} + 8 \frac{7{,}2^3 - 1{,}2^3}{3} + 15 \frac{1{,}2^3 + 10{,}8^3}{3} = 14360;$$

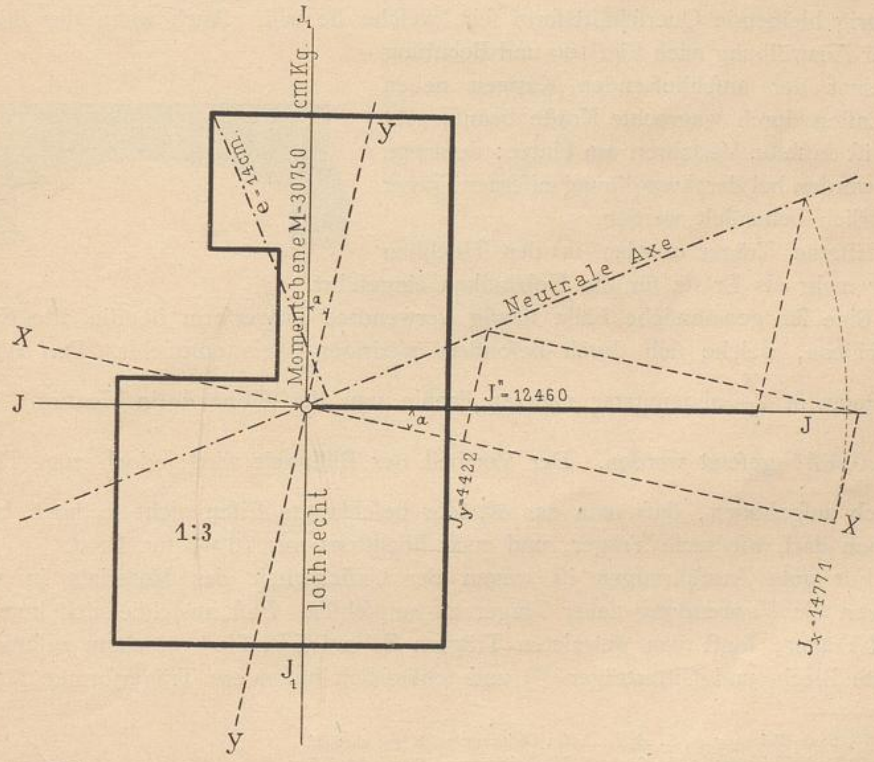
für die lothrechte Schwerpunktsaxe

$$\mathcal{J}_1 = 12 \frac{6{,}5^3 + 8{,}5^3}{3} + 6 \frac{1{,}5^3 + 6{,}5^3 + 4{,}5^3 + 6{,}5^3}{3} = 4842.$$

Das Centrifugalmoment H[132]) ift

$$H = 13{,}2 \cdot 6{,}5 \cdot 3{,}25 \cdot 6{,}6 - 6 \cdot 4{,}5 \cdot 2{,}25 \cdot 10{,}2 - 6 \cdot 1{,}5 \cdot 4{,}2 \frac{1{,}5}{2} - 1{,}2 \cdot 8{,}5 \cdot 4{,}25 \frac{1{,}2}{2}$$
$$+ 15 \cdot 10{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 5{,}4 = + 2044.$$

Fig. 198.



[132]) Vergl. Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 269; 2. Aufl.: S. 39) diefes »Handbuches«.

Demnach folgt der Winkel α, welchen die erfte Trägheitshauptaxe X mit der Axe $\mathcal{J}$ bildet [133]) aus

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot 2044}{4842 - 14360} = \frac{2H}{\mathcal{J}_1 - \mathcal{J}}.$$

Daraus ergiebt fich $\alpha = -11^0 37' 21''$, ferner

$$\sin 2\alpha = -0{,}3946\,, \quad \sin^2\alpha = 0{,}0406\,, \quad \cos^2\alpha = 0{,}9594,$$

und fchliefslich [134])

$$\mathcal{J}_x = \mathcal{J}\cos^2\alpha + \mathcal{J}_1 \sin^2\alpha - H\sin 2\alpha = 14360 \cdot 0{,}9594 + 4842 \cdot 0{,}0406 + 2044 \cdot 0{,}3946 = 14771\,,$$
$$\mathcal{J}_y = \mathcal{J}\sin^2\alpha + \mathcal{J}_1 \cos^2\alpha + H\sin 2\alpha = 14360 \cdot 0{,}0406 + 4842 \cdot 0{,}9594 + 2044 \cdot 0{,}3946 = 4422.$$

In Fig. 198 ift auf Grund diefer Werthe die Berechnung der gröfsten Spannung der gefährdetften Ecke am Bruftzapfen durchgeführt.

Die neutrale Axe ergiebt fich, wenn man die Ebene $\mathcal{J}$ (Fig. 198) (hier wagrecht) mit dem Winkel α gegen die X-Axe feft legt, um den die Momentebene (hier lothrecht) von der Y-Axe abfteht, dann vom Schwerpunkte aus $\mathcal{J}_x = 14771$ und $\mathcal{J}_y = 4422$ in irgend einem Mafsftabe auf der X-Axe abfetzt und in beiden Punkten die Winkelrechte zur X-Axe zieht. Trägt man dann den Abfchnitt auf der Winkelrechten in $\mathcal{J}_x$ im Winkel α auf der Winkelrechten in $\mathcal{J}_y$ auf und verbindet diefen Punkt mit dem Schwerpunkte, fo erhält man die neutrale Axe.

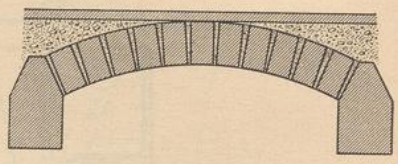
Man beftimme nun den Abftand e des am entfernteften von der neutralen Axe liegenden Punktes (Fig. 198), hier $e = 14$ cm, übertrage $\mathcal{J}_x$ auf die neutrale Axe und ziehe von da die Winkelrechte zur X-Axe; diefe fchneidet auf der den Winkel α mit der X-Axe einfchliefsenden Geraden $\mathcal{J}$ dann einen Werth $\mathcal{J}''$ (hier $\mathcal{J}'' = 12460$) ab, welcher mit e und M die ungünftigfte Spannung nach der Gleichung

$$\sigma = \frac{Me}{\mathcal{J}} = \frac{30750 \cdot 14}{12460} = 34{,}5 \text{ kg} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 40.$$

ergiebt. Der Wechfel ift alfo trotz der Schwächung reichlich ftark. Hierbei ift das Verdrehungsmoment, welches fich aus der Lagerung des Balkenendes aufserhalb des Schwerpunktes ergiebt, vernachläffigt.

Nach diefem Verfahren laffen fich alle gefchwächten Balken behandeln, mag die übrig bleibende Querfchnittsform fein, welche fie will. Auch wenn der Balken bei der Auswölbung nach Fig. 199 und Belaftung nur einer der anfchliefsenden Kappen neben den Laften durch wagrechte Kräfte beanfprucht wird, ift daffelbe Verfahren am Platze; derartige Fälle werden bei der Auswölbung eiferner Träger ausführlich behandelt werden.

Fig. 199.



99. Eiferne Träger.

Eiferne Träger werden in den Hochbau immer mehr als Erfatz für die Holzbalken eingeführt.

Eine für gewöhnliche Fälle häufig verwendete Trägerform ift die alte Eifenbahnfchiene, welche fich durch befonders niedrigen Preis empfiehlt. Das Widerftandsmoment $\frac{\mathcal{J}}{e}$ abgenutzter neuerer Profile von der Höhe h (in Centim.) kann $\frac{\mathcal{J}}{e} = 0{,}06\,h^3$ gefetzt werden. Der Vortheil der Billigkeit wird jedoch zum Theile dadurch aufgehoben, dafs man das oft fehr befchädigte Eifen nicht fo hoch beanfpruchen darf, wie neue Träger, und zwar höchftens mit 700 kg für 1 qcm.

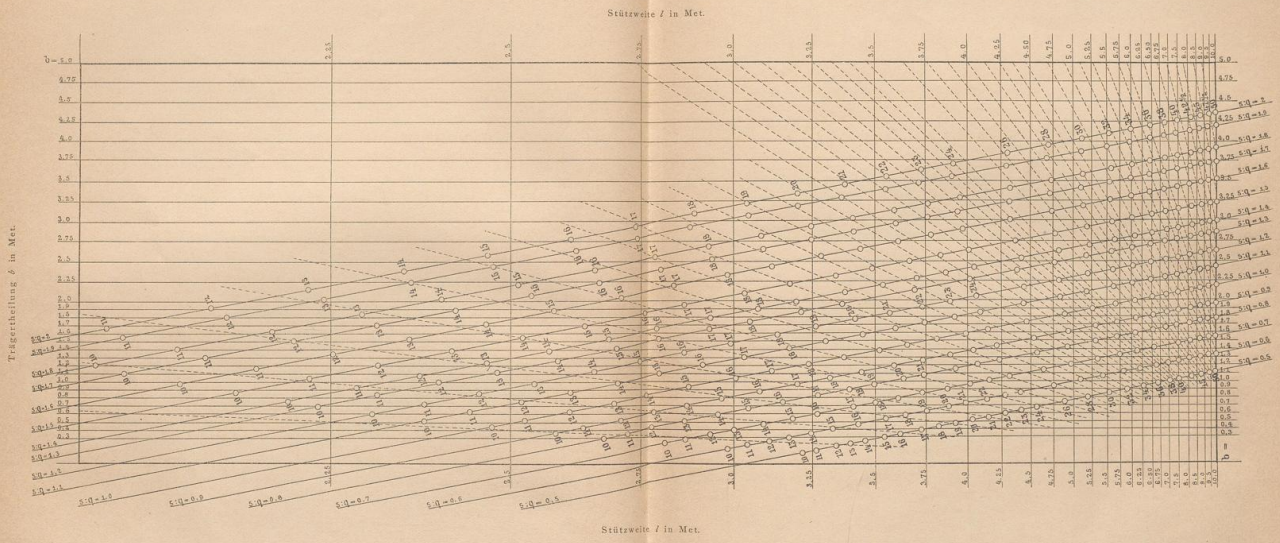
Für gute Ausführungen ift wegen der Unficherheit des Materials in alten Schienen die Verwendung neuer Träger zu empfehlen. Faft ausfchliefslich kommen hier **I**-Träger, fonft von gewalzten Trägern **Z**- und **C**-Profile [135]), dann zufammengefetzte Blech- und Gitterträger [136]) und fchliefslich befondere Trägerformen für be-

133) Nach Gleichung 46, S. 269 (2. Aufl.: Gleichung 24, S. 39) ebendaf.
134) Nach Gleichung 45, S. 269 (2. Aufl.: Gleichung 22, S. 39) ebendaf.
135) Siehe die betreffenden Tabellen in Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 197 u. 198) diefes »Handbuches«.
136) Siehe Theil III, Band 1 (Abth. I, Abfchn. 3, Kap. 7) diefes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

8

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Zeichnerifche Darftellung der Normal-I-Eifen
für die Unterfuchung ihrer Tragfähigkeit unter lothrechter Belaftung.

Fig. 200.

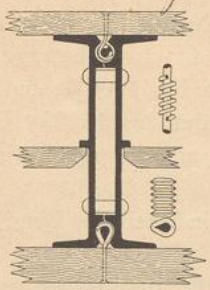


Fig. 201.

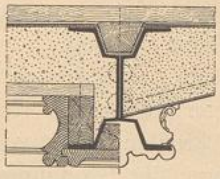
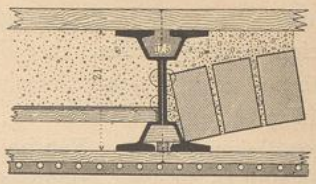


Fig. 202.

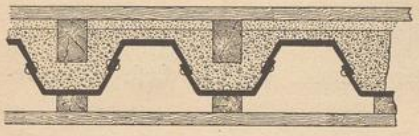


ſtimmte Zwecke, namentlich Erzielung gröſserer Seitenſteifigkeit, wie der von *Gocht* (Fig. 200), der von *Klette* (Fig. 201 u. 202) und der mit *Lindſay*-Eiſen (Fig. 203 u. 204) unten oder oben und unten verſtärkte I-Träger zur Verwendung.

100. Berechnung lothrecht belaſteter Träger.

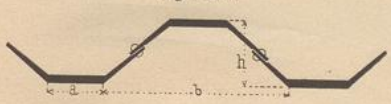
Sind die Träger nur lothrecht belaſtet, ſo ſind die gröſsten Biegungsmomente für die nach dem früher Geſagten meiſt verwendeten Träger auf zwei Stützen leicht zu ermitteln.

Fig. 203.



Die deutſchen Normal-Profile für I-Eiſen können mit Hilfe der neben ſtehenden Tafel berechnet werden. In derſelben bedeutet b die Theilung der Deckenträger (in Met.), l die Stützweite (in Met.), g die geſammte Deckenbelaſtung für 1 qm (in Kilogr.) und s die zuläſſige Beanſpruchung des Trägerquerſchnittes (in Kilogr. auf 1 qcm). Die Coordinaten l und b führen durch ihren Schnittpunkt zu oder in die Nähe einer der punktirten ſchrägen Leitlinien, die man bis zum Schnitte mit derjenigen ausgezogenen, von rechts nach links fallenden, ſchrägen Transverſalen verfolge, welche zu dem dem vorliegenden Falle entſprechenden Verhältniſſe $s:q$ gehört. Die Nummer der kleinen Null, welche auf der ausgezogenen Transverſalen $s:q$ zunächſt rechts von der geſtrichelten Leitlinie liegt, iſt diejenige des zu verwendenden I-Normal-Profiles [137]).

Fig. 204.



Beiſpiel 1. Es ſoll der dem Beiſpiele in Art. 96 (S. 108) für Wellblechbogen entſprechende Träger, vorläufig ohne Rückſicht auf die ſeitlichen Beanſpruchungen, ermittelt werden, und zwar für 5,3 m Stützweite. Es war $q = p + g = 1150$ kg; die Weite der Fache $b = 3{,}0$ m; die zuläſſige Beanſpruchung ſei $s = 1100$ kg für 1 qcm; alſo $s:q = 1100:1150 = 0{,}95$.

Verfolgt man in der neben ſtehenden Tafel die dem Coordinatenſchnitte $l = 5{,}3$ und $b = 3$ nächſt liegende geſtrichelte Leitlinie bis zu der $s:q = 0{,}95$ entſprechenden (zu interpolirenden) Transverſalen, ſo liegt auf letzterer zunächſt rechts von der Leitlinie der dem Querſchnitte Nr. 36 entſprechende kleine Kreis; der Querſchnitt dieſer Nummer iſt zu verwenden. Dieſer Träger bedarf jedoch noch der Prüfung auf Widerſtandsfähigkeit gegen ſeitliche Beanſpruchung, welche für einen ähnlichen Fall weiter unten durchgeführt wird.

Beiſpiel 2. Das Eigengewicht einer 6 m frei tragenden, mit Beton ausgewölbten Decke beträgt 400 kg und die Nutzlaſt 400 kg für 1 qm; demnach iſt $q = 800$ kg. Wie weit dürfen Träger des Profils Nr. 28 aus einander gelegt werden, wenn die Beanſpruchung für 1 qcm 1000 kg betragen ſoll?

Es iſt $s:q = 1000:800 = 1{,}25$. Die geſtrichelte Leitlinie, welche zunächſt links von Nr. 28 auf der Transverſalen $s:q = 1{,}25$ feſt gelegt wird, ſchneidet die Abſciſſe $l = 6{,}0$ m bei der Ordinate $b = 1{,}54$ m; ſo weit dürfen die Träger alſo von einander entfernt liegen.

Beiſpiel 3. Wie weit können ſich 1,0 m von einander liegende Träger Nr. 26 bei 1050 kg Beanſpruchung unter 900 kg Nutzlaſt für 1 qm frei tragen?

Es iſt $s:q = 1050:900 = 1{,}18$. Die $s:q = 1{,}18$ und Nr. 26 entſprechende geſtrichelte Leitlinie ſchneidet auf der Ordinate $b = 1{,}0$ die Abſciſſe $l = 6{,}6$ m ab.

137) Siehe die betreffende Tabelle in Theil I, Band 1, erſte Hälfte (S. 198) dieſes »Handbuches«.

Bei diesen Berechnungen mittels der vorstehenden Tafel kann die Eisenbahnschiene von 13 cm Höhe bezüglich des Widerstandsmomentes dem Normal-Profil Nr. 17 gleich gesetzt werden. Ihre Beanspruchung soll jedoch nur 700 kg für 1 qcm betragen, während man diejenige neuer Träger unter stark bewegten Lasten bis 1000 kg, unter mäfsig bewegten bis 1200 kg, unter ganz ruhenden, stetigen Lasten bis 1500 kg für 1 qcm steigern kann. Nur bei grofsen Profilen, etwa von Nr. 40 an, empfiehlt sich eine um 15 Procent ermäfsigte Annahme der Spannungen.

Ueber die Berechnung der Blech- und der Gitterträger ist in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abschn. 1, Kap. 7) das Erforderliche zu finden.

101. Berechnung von Trägern mit Seitenschüben.

Wenn die Träger auch wagrechten Kräften ausgesetzt sind [138]), so entstehen vorwiegend aus den Schüben von Auswölbungen und Wellblechbogen, so wie aus den Zügen von Tonnenblechen, welche sich bei Belastung nur eines anschliefsenden Faches nicht vollkommen ausgleichen, sondern einen nach der Seite des unbelasteten Faches gerichteten Schub von der Gröfse $H' - H''$ (vergl. die Gleichungen 4 u. 5 [S. 96], 8 u. 9 [S. 97], 27 [S. 101], 29 [S. 102], 31 u. 36 [S. 107]), bezw. einen nach der Seite des belasteten Faches gerichteten Zug von der Gröfse $H' - H'' = \frac{(q-g)\,b^2}{8\,h}$ (vergl. Art. 93, S. 102) ergeben, schräge Belastungen der Träger, welche diese ganz besonders ungünstig beanspruchen.

Beispiel. Als Beispiel sollen hier die Träger einer Decke nach Fig. 205, bezw. 206 durchgerechnet werden. Für die Fachfüllung kommt Gleichung 6 (S. 97) zur Anwendung. Es sei die Länge der

Fig. 205.

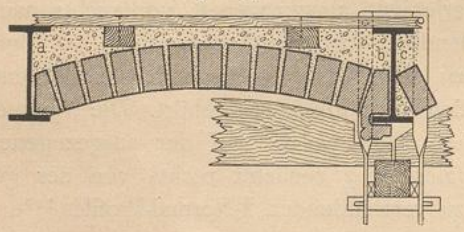
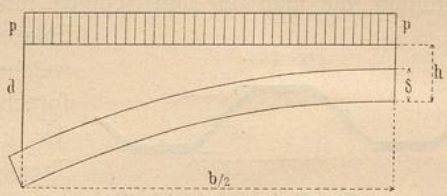


Fig. 206.



Träger ($l =$) 5,5 m, die Theilung ($b =$) 1,7 m, $\delta = 0{,}12$ m, $h = 0{,}20$ m, γ für Backsteine 1700 kg, $p = 750$ kg und mit Rücksicht auf Stöfse für Backstein $s = 50000$ kg für 1 qm. Demnach ist nach Gleichung 6 (S. 97)

$$d = \frac{8 \cdot 50000 \cdot 0{,}12\,(3 \cdot 0{,}2 - 0{,}12) + 1{,}7^2\,(6 \cdot 750 + 5 \cdot 1700 \cdot 0{,}2)}{24 \cdot 0{,}12 \cdot 50000 - 1700 \cdot 1{,}7^2} = 0{,}295 = \text{rund } 0{,}3 \text{ m}.$$

Das Gewicht für 1 m dieser Kappe ist nach Gleichung 20 (S. 99)

$G = \frac{1}{3} \cdot 1700 \cdot 1{,}7\,(0{,}3 + 2 \cdot 0{,}2) \;\ldots = 675{,}0$ kg,
3 cm Cement-Estrich $1 \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}03 \cdot 2500 \;\ldots = 128{,}5$ »,
1 lauf. Meter Träger schätzungsweise $\ldots = 96{,}5$ »,
zusammen $900{,}0$ kg.

Das Gewicht g für 1 qm ist somit $\frac{900}{1{,}7} =$ rund 530 kg.

Der Schub der voll belasteten Kappe ist nach Gleichung 8 (S. 97)

$$H' = 0{,}5 \cdot 50000 \cdot 0{,}12 = 3000 \text{ kg für 1 m Trägerlänge}$$

und der gröfste Gegenschub der unbelasteten Kappe nach Gleichung 9 (S. 97)

$$H'' = 0{,}125\left[\sqrt{9 \cdot 50000^2\,(0{,}3 - 0{,}2 - 0{,}12)^2 + 1700 \cdot 50000 \cdot 1{,}7^2\,(0{,}3 + 5 \cdot 0{,}2)} - 3 \cdot 50000\,(0{,}3 - 0{,}2 - 0{,}12)\right],$$

$$H'' = 2640 \text{ kg}.$$

Die wagrechte Belastung eines zwischen einer belasteten und einer unbelasteten Kappe liegenden Trägers ist somit

$$\frac{H' - H''}{100} = \frac{3000 - 2640}{100} = 3{,}6 \text{ kg für 1 cm}.$$

[138]) Vergl. hierüber auch: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 393.

Die gröfste lothrechte Belaftung eines Trägers tritt für volle Laft beider anfchliefsenden Kappen ein; fie beträgt für 1 qm der Decke $750 + 530 = 1280$ kg.

Die lothrechte Belaftung eines Trägers zwifchen belafteter und unbelafteter Kappe ift

$$\frac{900 + \frac{1{,}7 \cdot 750}{2}}{100} = 15{,}4 \text{ kg für } 1 \text{ cm}.$$

Wird noch die zuläffige Beanfpruchung des Eifens zu 1100 kg für 1 qcm feft gefetzt, fo ift mit Bezug auf die Tafel bei S. 113 für den voll belafteten Träger $s : q = 1100 : 1280 = 0{,}86$. Zunächft unter der punktirten Leitlinie der Coordinaten $l = 5{,}5$ und $b = 1{,}7$ liegt auf $s : q = 0{,}86$ das Profil Nr. 32, welches alfo bei voller Belaftung genügt.

Für diefes Profil ift[139]) $\mathcal{J}_x = 12622$ und $\mathcal{J}_y = 652$; für den einfeitig belafteten Träger ift das lothrechte Moment $\frac{15{,}4 \cdot 550^2}{8} = 582312$ cmkg und die entfprechende Spannung bei 32 cm Trägerhöhe

$$\frac{582312 \cdot 32}{2 \cdot 12622} = 739 \text{ kg}.$$

Das wagrechte Biegungsmoment unter dem einfeitigen Schube von 3,6 kg ift $\frac{3{,}6 \cdot 550^2}{8} = 136125$ cmkg, die zugehörige Spannung bei 13,1 cm Trägerbreite $\frac{136125 \cdot 13{,}1}{2 \cdot 652} = 1368$; es ergäbe fich fomit für die Kanten der Flanfche $1368 + 739 = 2107$ kg Spannung.

Will man die genügende Tragfähigkeit durch Verftärkung des Trägerprofiles erreichen, fo kommt man nach dem vorgeführten Unterfuchungsgange zum Profil Nr. 40. Die Verftärkung der Träger kann aber billiger durch Einlegen von Ankerreihen erreicht werden (fiehe Fig. 207, 208, 209 u. 210), welche die Träger gegen einander abfteifen, alfo Stützen in wagrechtem Sinne bilden. Solche Anker müffen in jedem Träger nach beiden Seiten unverfchieblich befeftigt fein, beftehen daher am beften aus Rundeifen, welche nur von Träger zu Träger reichen, und in den benachbarten Fachen etwas verfetzt werden, oder nach Fig. 207 u. 208 aus Bandeifen über und unter den Trägern, welche die Flanfche beiderfeits mit Klammern umgreifen.

Fig. 207.

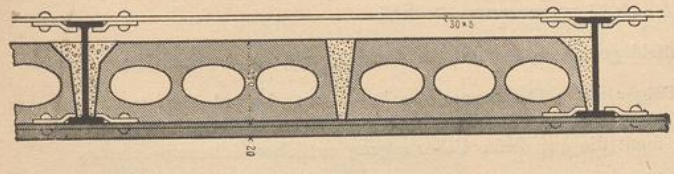
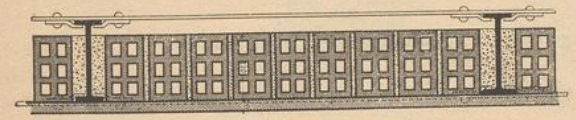


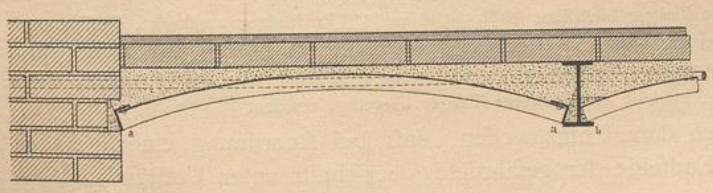
Fig. 208.



Legt man eine folche Ankerreihe in die Mitte der Weite, fo entfteht in wagrechtem Sinne ein continuirlicher Träger auf 3 Stützen von der Oeffnungsweite $\frac{550}{2} = 275$ cm; es ift das gröfste Moment in der Mitte (am Anker [140]) $0{,}125 \cdot 3{,}6 \cdot 275^2 = 30430$ cmkg. Die zugehörige Beanfpruchung ift

$$\frac{30430 \cdot 13{,}1}{2 \cdot 652} = 306 \text{ kg};$$

Fig. 209.



[139]) Siehe Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 198) diefes »Handbuches«.

[140]) Nach: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 337; 2. Aufl.: S. 146).

die gröfste Beanfpruchung wird $739 + 306 = 1044\,\text{kg}$; alfo genügt nach Einlegen der einen Ankerreihe Profil Nr. 32 auch der wagrechten Beanfpruchung.

Der letzte Träger an der zu unmittelbarer Aufnahme von wagrechten Schüben zu fchwachen Wand hat nach den früheren Erörterungen [141]) drei Aufgaben. Er hat bei voller Belaftung der beiden Endfache zu tragen:

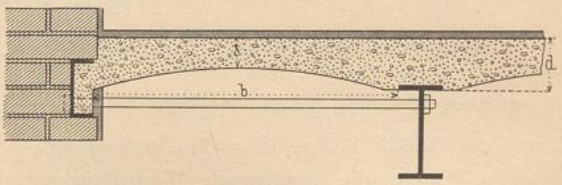
α) die halbe Laft des Endfaches mit $\frac{900 + 1{,}7 \cdot 750}{2 \cdot 100} = 10{,}9\,\text{kg}$ für $1\,\text{cm}$;

β) den Schub des voll belafteten Endfaches mit $\frac{3000}{100} = 30\,\text{kg}$ für $1\,\text{cm}$, welcher durch in das letzte Fach in gröfserer Zahl eingezogene Anker aufgehoben, durch den Endträger aber innerhalb der Ankertheilung auf die Anker übertragen werden mufs;

γ) die Spannung, welche er als äufsere Gurtung des vom letzten Fache mit beiden Trägern und Füllung gebildeten wagrechten Trägers für den vollen Schub der belafteten zweiten Kappe erhält.

Die Spannung im Träger aus α ift $s_1 = \frac{10{,}9 \cdot 550^2 \cdot 32}{8 \cdot 2 \cdot 12622} = 523\,\text{kg}$; fie fällt weg, wenn der Endträger in der Wand durchlaufend aufgelagert ift, wie in Fig. 210.

Fig. 210.



Die Spannung aus γ ergiebt fich in folgender Weife. Das Angriffsmoment eines vollen Kappenfchubes ift $\frac{30 \cdot 550^2}{8}$; das Widerftandsmoment des wagrechten Trägers, deffen Gurtungsquerfchnitt gleich dem des Profiles Nr. 32, alfo 78 qcm ift, beträgt bei $1{,}7\,\text{m}$ Trägerhöhe $170 \cdot 78\,s_3$; demnach ift

$$s_3 = \frac{30 \cdot 550^2}{8 \cdot 170 \cdot 78} = 86\,\text{kg}.$$

Werden 3 Anker in das Endfeld gelegt, fo entfteht für die Uebertragung des Schubes im Endfache auf die Anker ein continuirlicher Träger mit 4 Oeffnungen von je $\frac{550}{4}\,\text{cm}$. Das Moment am Mittelanker ift alsdann [142]) $0{,}0714 \cdot 30\,\frac{550^2}{16}$, fomit die aus diefer Uebertragung entftehende Beanfpruchung

$$s_2 = \frac{0{,}0714 \cdot 30 \cdot 550^2 \cdot 13{,}1}{16 \cdot 2 \cdot 652} = 407\,\text{kg}.$$

Die ganze Beanfpruchung der unteren äufseren Flanfchkante im Endträger am Mittelanker ift fomit $s = s_1 + s_2 + s_3 = 523 + 86 + 407 = 1016\,\text{kg}$, fo dafs alfo bei dreifacher Verankerung des Endfeldes auch hier das Profil Nr. 32 genügt.

Die gröfste Spannkraft in den den Trägerenden zunächft liegenden Ankern ift [143])

$$1{,}1428 \cdot 30\,\frac{550}{4} = 4714\,\text{kg}.$$

Der vorletzte Träger hat bei voller Belaftung beider Endfache zunächft die gröfste lothrechte Laft eines Zwifchenträgers mit $\frac{900 + 1{,}7 \cdot 750}{100} = 21{,}8\,\text{kg}$ für $1\,\text{cm}$, dann die Spannung zu erleiden, welche in ihm als der inneren Gurtung des wagrechten Abfchlufsträgers nach γ des Endträgers entfteht. Die genaue Spannung aus der lothrechten Laft ift $\frac{550^2 \cdot 21{,}8 \cdot 32}{8 \cdot 2 \cdot 12622} = 1045\,\text{kg}$; die aus γ des letzten Trägers war 86 kg, fo dafs der vorletzte Träger höchftens $1045 + 86 = 1131\,\text{kg}$ für $1\,\text{qcm}$ erleidet. Sollte diefe Spannung fchon zu hoch erfcheinen — und fie wird häufig noch mehr das zuläffige Mafs überfchreiten, wenn der gewählte Träger gegenüber der lothrechten Laft weniger überfchüffige Stärke befitzt, als in diefem Falle — fo mufs an diefer Stelle ein ftärkerer Träger eingefügt werden.

Insbefondere ift noch darauf hinzuweifen, dafs bei Anordnung einer geraden Anzahl von Ankern im Endfelde der gefährdete Querfchnitt unter Umftänden nicht

141) Vergl. Art. 61, S. 66.

142) Nach Theil I, Band 1, zweite Hälfte, S. 337 (2. Aufl.: S. 146).

143) Nach ebendaf.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

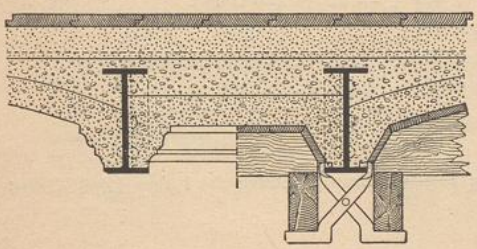
in der Trägermitte, fondern an dem der Mitte zunächſt liegenden Anker zu ſuchen iſt, weil meiſt die aus den wagrechten Momenten entſtehenden Spannungen überwiegen.

Da bei weit geſpannten Decken unter Umſtänden mehr als 3 Anker nöthig werden, die Momenten-Tabelle in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 337 [144]) dieſes »Handbuches« aber nur bis zu 4 Oeffnungen geht, ſo möge dieſe Tabelle hier noch, unter Beibehaltung der dort gewählten Bezeichnungen, um einige Stufen erweitert werden.

	Anzahl der Oeffnungen													
	5	6	7			5	6	7			5	6	7	
M_0	0	0	0	pl^2	D_0	0,3947	0,3942	0,3944	pl	$\mathfrak{M}_1$	0,0779	0,0777	0,0778	pl^2
M_1	0,1053	0,1058	0,1056		D_1	1,1316	1,1346	1,1338		$\mathfrak{M}_2$	0,0330	0,0341	0,0339	
M_2	0,0790	0,0770	0,0774		D_2	0,9737	0,9616	0,9648		$\mathfrak{M}_3$	0,0460	0,0433	0,0440	
M_3	0,0790	0,0866	0,0844		D_3	0,9737	1,0192	1,0070		$\mathfrak{M}_4$	0,0330	0,0433	0,0406	
M_4	0,1053	0,0770	0,0844		D_4	1,1316	0,9616	1,0070		$\mathfrak{M}_5$	0,0779	0,0341	0,0440	
M_5	0	0,1058	0,0774		D_5	0,3947	1,1346	0,9648		$\mathfrak{M}_6$	—	0,0777	0,0339	
M_6	—	0	0,1056		D_6	—	0,3942	1,1338		$\mathfrak{M}_7$	—	—	0,0778	
M_7	—	—	0		D_7	—	—	0,3944						

Alle dieſe Werthe gelten für ganz volle Belaſtung aller Oeffnungen. Es würden ſich noch höhere Werthe ergeben können, wenn auf die ungünſtigſte Laſtvertheilung über die von den Ankern gebildeten Theile deſſelben Balkenfaches Rückſicht genommen würde. Die einer ſolchen Vertheilung entſprechende Laſtannahme geht jedoch zu weit, und die durch ihr höchſt ſeltenes Eintreten etwa entſtehenden Mehrſpannungen ſind eben wegen des ſeltenen Vorkommens ungefährlich.

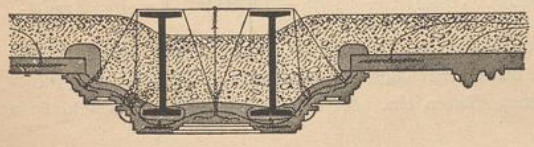
Fig. 211.



Will man die Lochung der Trägerſtege für Rundeiſenanker vermeiden, ſo bilde man die Anker nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) aus Flacheiſen.

Ein Mittel, die Anker in den Mittelfachen, abgeſehen von den Endfachen, zu vermeiden, bietet noch die wechſelweiſe eng und weit angeordnete Trägertheilung nach Fig. 211 u. 212, wenn man jedesmal die enge Theilung mit einer ebenen Betonplatte füllt und dieſe nebſt den ſie einfaſſenden Trägern als einen wagrechten Träger anſieht, welcher die Schübe der benachbarten, mit Kappen geſchloſſenen, weiten Trägerfache aufnimmt.

Fig. 212.



Bezeichnet bei einer derartigen Anordnung Q die geſammte Laſt, welche die Längeneinheit einer gewölbten Kappe auf den Träger bringt, b die weite Trägertheilung der gewölbten Fache, b_1 die enge Trägertheilung der geraden Fache, l die Stützlänge der Träger, g die Eigenlaſt des geraden Faches für die Flächeneinheit,

[144] 2. Aufl.: S. 146.

p die Nutzlaft für die Flächeneinheit, W das Widerftandsmoment des Trägerquerfchnittes für die wagrechte Schwerpunktsaxe, F den Trägerquerfchnitt, s_e die zuläffige Beanfpruchung für die Flächeneinheit des Trägerquerfchnittes, H' den Schub der belafteten Kappe (nach den Gleichungen 4, 8, 27 oder 31) und H'' den gröfsten Gegenfchub der unbelafteten Kappe (nach den Gleichungen 5, 9, 29 u. 36); fo folgt die erforderliche Breite der geraden Fachfüllungen aus der Beziehung

$$b_1 = \frac{1}{p+g}\left[\frac{8 s_e W}{l^2} - Q + \sqrt{\left(\frac{8 s_e W}{l^2} - Q\right)^2 - \frac{2(H'-H'')(p+g)W}{F}}\right] \quad 41.$$

Diefe Gleichung ift in der Weife zu benutzen, dafs zunächft derjenige Trägerquerfchnitt aufgefucht wird, für welchen der Ausdruck unter dem Wurzelzeichen zuerft gröfser als Null wird. Die Werthe diefes Querfchnittes führe man ein und berechne das zugehörige b_1.

Beifpiel. Es foll für die im Beifpiele in Art. 90 (S. 96) behandelte Betonkappe mit $b = 1{,}6$ m, $p = 750$ kg, $\delta = 0{,}1$ m, $d = 0{,}29$ m, $H' = 1500$ kg und $H'' = 1110$ kg ein Widerlagsträger durch eine ebene Betonplatte der Dicke von 12 cm mit $29 - 12 = 17$ cm Ueberfüllung mit der Breite b_1 gefchaffen werden; der Fufsboden befteht aus Eichenholz. Zunächft ift nach Gleichung 20 (S. 99), da das Gewicht der Kappe $\gamma_1 = 2200$ kg gleich dem der Ueberfüllung γ und die Ueberfüllungshöhe im Scheitel gleich Null, alfo h in Gleichung 20 (S. 99) gleich δ zu fetzen ift,

$$\frac{G}{2} = \frac{1{,}6}{2}\left[\frac{2200}{3}(0{,}3 + 2 \cdot 0{,}1)\right] = 293 \text{ kg}$$

Fufsboden $\frac{1}{2} \cdot 1{,}6 \cdot 1 \cdot 0{,}035 \cdot 800 = 22$ »

Nutzlaft $\frac{1}{2} \cdot 1{,}6 \cdot 1 \cdot 750 \ldots = 600$ »

alfo $Q = 915$ kg (für 1 qm).

Weiter ift das Gewicht von 1 qm der geraden Platte $0{,}12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2200 = 264$ kg
» » » » » Sandüberfüllung $0{,}17 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1600 = 272$ »
» » » » des Fufsbodens $0{,}035 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 800 = 28$ »

alfo $g = 564$ kg.

Ferner ift $H' = 1500$ kg und $H'' = 1110$ kg.

Die Stützweite l der Träger betrage 5 m und die zuläffige Beanfpruchung des Eifens 12000000 kg für 1 qm.

Die Gleichung 41 lautet dann:

$$b_1 = \frac{1}{750+564}\left[\frac{8 \cdot 12000000\, W}{5^2} - 915 + \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 12000000\, W}{5^2} - 915\right)^2 - \frac{2(1500-1110)(564+750)W}{F}}\right].$$

Das I-Profil Nr. 22 liefert unter dem Wurzelzeichen noch einen Werth kleiner als Null, dasjenige Nr. 23 zuerft einen folchen gröfser als Null; für diefen ift $W = 0{,}000317$ und $F = 0{,}00429$ qm, alfo $\frac{W}{F} = 0{,}074$ und fomit

$$b_1 = \frac{1}{1314}\left[3840000 \cdot 0{,}000317 - 915 + \sqrt{(3840000 \cdot 0{,}000317 - 915)^2 - 1024920 \cdot 0{,}074}\right] = 0{,}325 \text{ m}.$$

Es find fomit als Gurtungen des wagrechten Trägers zwei I-Eifen Nr. 23 zu wählen und in 32,5 cm Abftand von einander zu verlegen. In der ganzen Decke tritt dann ein regelmäfsiger Wechfel von 160 cm weiten gewölbten Kappen und 32,5 cm breiten ebenen Platten ein. An den Enden mufs der Abfchlufs in der oben erläuterten Weife erfolgen.

Um zwei Träger mit der eingefchloffenen Kappe oder Platte als einen wagrechten Träger anfehen zu können, empfiehlt es fich, an die Trägerwände einige Winkeleifen zu nieten (fiehe Fig. 211, S. 117), damit durch deren Eingriff in die Kappe oder Platte Längsverfchiebungen der Träger gegen die Kappe oder Platte verhindert werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

c) Abmeſſungen von Balkenlagen mit Unterzügen.

102. Continuirliche Gelenkträger.

Es wurde bereits in Art. 10 bis 13 (S. 24 bis 26) erläutert, weſshalb die Verwendung von continuirlichen Trägern für den Hochbau auf Bedenken ſtöſst, zugleich aber, daſs die Anordnung continuirlicher Gelenkträger[145]) wegen der durch ſie bedingten Materialerſparniſs[146]) durchweg zu empfehlen iſt. Es ſollen daher im Nachſtehenden noch die zur Anordnung dieſer Art von Trägern über beliebig vielen Oeffnungen nöthigen Angaben folgen.

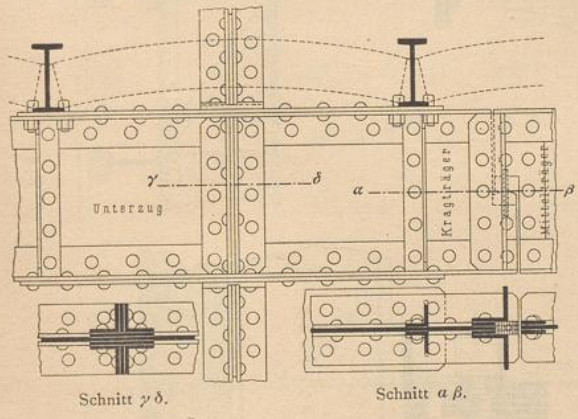
Für dieſe Träger iſt zu unterſcheiden, ob die Stützen alle gleich weit ſtehen, oder ob es geſtattet iſt, den Stützen verſchiedene Abſtände zu geben. Die Belaſtung ſei g (in Kilogr.) für 1 cm Länge des Trägers als Eigenlaſt, p (in Kilogr.) für 1 cm als Nutzlaſt und q (in Kilogr.) für 1 cm als Laſtenſumme.

1) Gleiche Oeffnungsweiten.

103. Lage der Gelenke.

In dieſem Falle iſt es zweckmäſsig, die Momente über den Stützen durch die Wahl der Lage der Gelenke (Fig. 213 bis 216) gleich den gröſsten Momenten in den ununterbrochenen Oeffnungen zu machen, damit die durchzuführenden Trägerſtücke dieſer Oeffnungen möglichſt gleichmäſsig ausgenutzt werden. Es entſteht ſo die in Fig. 217 bis 219 angedeutete Gruppirung der Maximalmomente, von denen M_3, M_4, M_5 nach den Regeln des Trägers auf 2 Stützen zu ermitteln ſind.

Fig. 213.



Schnitt $\gamma\,\delta$. Schnitt $\alpha\,\beta$.

Die Lage der Gelenke, welche Vorbedingung dieſer Momentengruppirung iſt, ſo wie die Gröſse der Momente folgen aus den nachſtehenden Gleichungen, welche durch Fig. 217 u. 219 erläutert ſind.

$$k = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{g}{g+q}}\right) \quad \ldots \quad 42.$$

$$k_1 = \frac{q}{4(g+q)} \quad \ldots \quad 43.$$

$$k_3 = \frac{1}{2}\left[1 - k_1 + m - \sqrt{(1-k_1+m)^2 - 4m}\right], \text{ worin } m = \left[\frac{q}{g}\left(1 - \sqrt{1+\frac{g}{q}}\right)\right]^2 \quad 44.$$

$$k_2 = \frac{k_1}{1-k_3} \quad \ldots \quad 45.$$

$$M_1 = \frac{q\,k_1\,l^2}{2} = \frac{q\,k\,l^2}{2}(1-k) = \frac{q^2 l^2}{8(g+q)} \quad \ldots \quad 46.$$

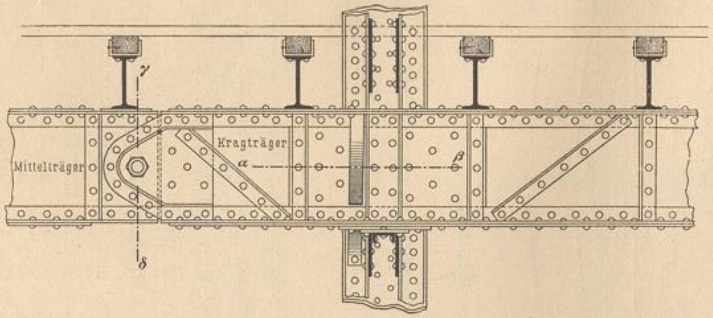
$$M_2 = \frac{q\,k_3\,l^2}{2}(1-k_2) \quad \ldots \quad 47.$$

145) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 329; 2. Aufl.: S. 138) dieſes »Handbuches«.
146) Siehe ebendaſ., Art. 369, S. 333 (2. Aufl.: Art. 161, S. 142).

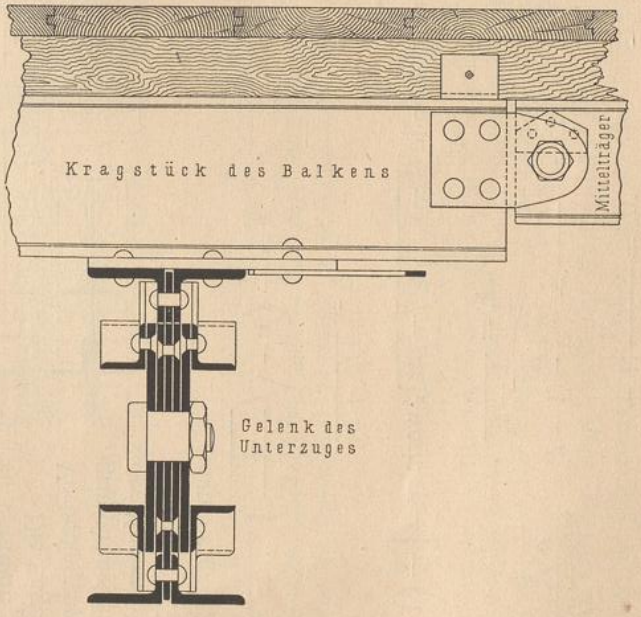
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Schnitt $\varepsilon\zeta$.

Fig. 214.



Schnitt $\gamma\delta$.



Schnitt
$\alpha\beta$.

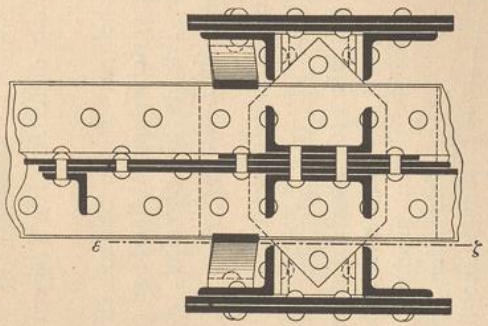


Fig. 215.

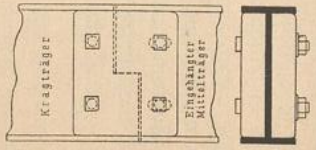


Fig. 216.

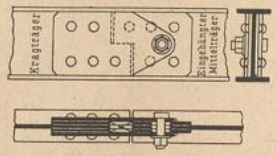


Fig. 217.

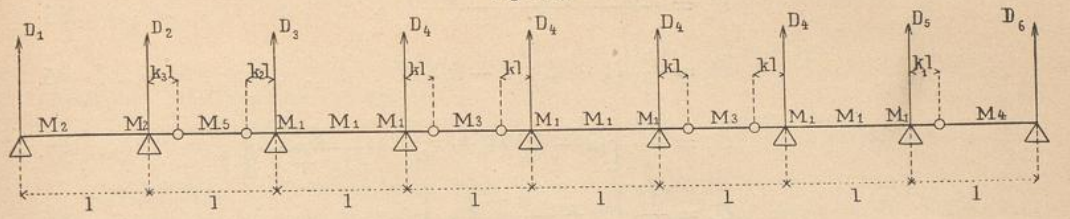


Fig. 218.

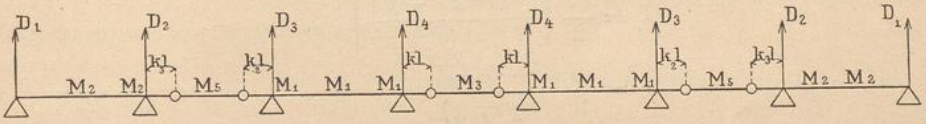
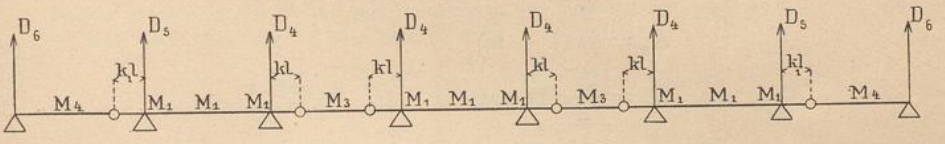


Fig. 219.



$$M_3 = \frac{q\,l^2}{8}(1-2k)^2 \quad \ldots \quad 48.$$

$$M_4 = \frac{q\,l^2}{8}(1-k_1)^2 \quad \ldots \quad 49.$$

$$M_5 = q\,\frac{l^2}{8}(1-k_2-k_3)^2 \quad \ldots \quad 50.$$

Fig. 220.

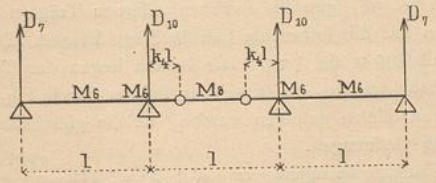
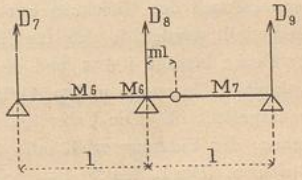


Fig. 221.



Diese Gleichungen decken alle Fälle für beliebig viele Stützen nach Maßgabe von Fig. 217 bis 219 bis auf die beiden in Fig. 220 u. 221 dargestellten Anordnungen für 3 und 4 Stützen. Für diese treten noch die folgenden Gleichungen hinzu:

$$k_4 = 0{,}5 - \sqrt{0{,}25 - m} \quad \ldots \quad 51.$$

$$M_6 = \frac{m\,q\,l^2}{2} \quad \ldots \quad 52.$$

$$M_7 = \frac{q\,l^2}{8}(1-m)^2 \quad \ldots \quad 53.$$

$$M_8 = \frac{q\,l^2}{8}(1-2k_4)^2 \quad \ldots \quad 54.$$

104. Stützenbelastungen.

Für die Berechnung der Belastung von Unterzügen durch die Balken und der Stützenbelastungen durch die Unterzüge ist die Kenntnis der größten Werthe der Auflagerdrücke von Wichtigkeit, welche sich nach folgenden Ausdrücken mit Berücksichtigung der Bezeichnungen in Fig. 217 bis 221 berechnen lassen:

$$D_1 = \frac{l[q - g k_3 (1 - k_2)]}{2} \quad \ldots \quad 55.$$

$$D_2 = \frac{ql}{2}(1 + k_3)(2 - k_2) \quad \ldots \quad 56.$$

$$D_3 = \frac{ql}{2}\left[(2 - k_3)(1 + k_2) - \frac{g}{4(g+q)}\right] \quad \ldots \quad 57.$$

$$D_4 = \frac{ql}{2}\left[2 + \frac{q - g}{4(q+g)}\right] \quad \ldots \quad 58.$$

$$D_5 = \frac{ql}{2}\left[2 + \frac{2q - g}{4(q+g)}\right] \quad \ldots \quad 59.$$

$$D_6 = \frac{ql}{2}\,\frac{3q + 4g}{4(q+g)} \quad \ldots \quad 60.$$

$$D_7 = \frac{l}{2}(q - mg) \quad \ldots \quad 61.$$

$$D_8 = ql(1 + m) \quad \ldots \quad 62.$$

$$D_9 = \frac{ql}{2}(1 - m) \quad \ldots \quad 63.$$

$$D_{10} = \frac{ql}{2}(2 + m) \quad \ldots \quad 64.$$

Nach den Gleichungen 55 bis 64 erhält man auch die geringſten Werthe der Stützen-, bezw. Auflagerdrücke, wenn man überall g mit q und q mit g vertauſcht. Dieſe kleinſten Werthe ſind von beſonderer Wichtigkeit, wenn ſie bei geringem Werthe von g negativ werden, da ſie dann eine Verankerung der Träger nach unten bedingen; ihre Berechnung zu verabſäumen, kann daher verhängnifsvoll werden.

Beiſpiel. In einem Gebäude von 30 m Länge und 15 m Tiefe ſoll eine Decke mit Kappen ſtets gleichen Schubes nach den Gleichungen 11 bis 16 (S. 98) gewölbt zwiſchen eiſernen Trägern von 1,0 m Theilung hergeſtellt werden, ſo daſs für die Balken nur die lothrechte Laſt in Frage kommt. Das Eigengewicht der Decke beträgt 400 kg und die Nutzlaſt 500 kg für 1 qm. Die Balken liegen der Tiefe nach und ſollen durch 2 Unterzüge in 5 m Abſtand geſtützt werden, ſo daſs jeder Balken durch Fig. 221 für $l = 500$ cm dargeſtellt iſt. Die Unterzüge ſollen von Säulen getragen werden, welche gleichfalls 5 m von einander ſtehen; der Unterzug erhält alſo 6 gleiche Oeffnungen.

α) Balken. Die Laſten für 1 cm bei 1,0 m Theilung betragen $g = 4{,}0$ kg, $p = 5{,}0$ kg und $q = 9{,}0$ kg; folglich iſt nach Gleichung 44

$$m = \left[\frac{9}{4}\left(1 - \sqrt{1 + \frac{4}{9}}\right)\right]^2 = 0{,}2062$$

und nach Gleichung 51

$$k_4 = 0{,}5 - \sqrt{0{,}25 - 0{,}2062} = 0{,}2907\,, \quad k_4 l = 0{,}2907 \cdot 500 = 145{,}35 \text{ cm}.$$

Hier iſt das Gelenk nach Fig. 213 bis 215 oder 216 anzuordnen. Nach Gleichung 52 iſt

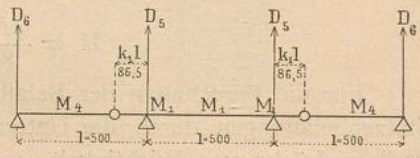
$$M_6 = \frac{0{,}2062 \cdot 9 \cdot 500^2}{2} = 232000 \text{ cmkg}.$$

Bei 1000 kg zuläſſiger Beanſpruchung iſt ſomit das Normalprofil Nr. 21 von I-Eiſen [147]) für die Endſtücke der Balken zu verwenden.

Für das Mittelſtück iſt $l = 500 - 2 \cdot 145{,}35 = 209{,}3$ cm; $b = 1{,}0$ m; $s : q = 1000 : 900 = 1{,}1$; alſo iſt nach der Tafel bei S. 113 Normalprofil Nr. 12 zu verwenden.

Werden die Balken mit Gelenken in den Endöffnungen

Fig. 222.



147) Siehe die betr. Tabelle in Theil I, Band 1, erſte Hälfte (S. 198) dieſes »Handbuches«.

nach Fig. 222 angeordnet, in welche die Bezeichnungen aus Fig. 219 übernommen wurden, so wird nach Gleichung 43

$$k_1 = \frac{9}{4\,(9+4)} = 0{,}173\,, \quad \text{also} \quad k_1 l = 0{,}173 \,.\, 500 = 86{,}5\,\text{cm}\,;$$

ferner nach den Gleichungen 46 und 49

$$M_1 = \frac{9^2 \,.\, 500^2}{8\,(9+4)} = 194\,711\,\text{cmkg} \quad \text{und} \quad M_4 = \frac{9 \,.\, 500^2\,(1-0{,}173)^2}{8} = 192\,355\,\text{cmkg}.$$

Bei 1000 kg Beanspruchung reicht somit nunmehr das Profil Nr. 20 für alle Theile des Balkens aus; es geht aber bei dieser Anordnung die unmittelbare Verbindung der Säulen mit den Wänden verloren, weil zwischen Wand und Säule nun ein Gelenk liegt.

β) Unterzüge. Um die Belastung der Unterzüge zu erhalten, muss D_{10} nach Gleichung 64 für volle Belastung und für Eigenlast ermittelt werden. Es ist

$$max\ D_{10} = \frac{9 \,.\, 500}{2}\,(2 + 0{,}2062) = 4964\,\text{kg},$$

$$min\ D_{10} = \frac{4 \,.\, 500}{2}\,(2 + 0{,}2062) = 2200\,\text{kg}.$$

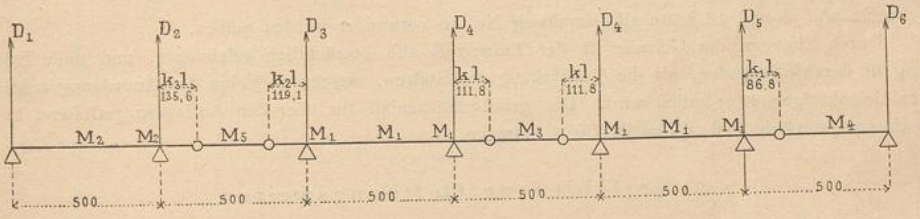
Bei der Anordnung der Balken mit Gelenken in den Endöffnungen wird die Belastung der Unterzüge (Fig. 222) nach Gleichung 59 berechnet. Sie ist

$$max\ D_5 = \frac{9 \,.\, 500}{2}\left[2 + \frac{2 \,.\, 9 - 4}{4\,(9+4)}\right] = 5106\,\text{kg},$$

$$min\ D_5 = \frac{4 \,.\, 500}{2}\left[2 + \frac{2 \,.\, 4 - 9}{4\,(4+9)}\right] = 1981\,\text{kg}.$$

Da somit bei der Anordnung nach Fig. 222 neben der schlechteren Säulenverankerung mit den Wänden auch noch eine ungünstigere Belastung der Unterzüge eintritt, so wird man in der Regel diejenige in Fig. 221 vorziehen. Diese Lasten treten als Einzellasten in 1,0 m Abstand auf; die Berechnung liefert

Fig. 223.



aber genügend genaue Ergebnisse, wenn die Last wieder gleichförmig vertheilt gedacht wird. Es ist somit für den Unterzug (Fig. 223), wenn die Balken nach Fig. 221 gebildet werden, für 1 cm Trägerlänge $g = 22$ kg und $q = 49{,}64$ kg, daher nach Gleichung 42

$$k = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{22}{22+50}}\right) = 0{,}2236 \quad \text{und} \quad k l = 0{,}2236 \,.\, 500 = 111{,}8\,\text{cm}\,,$$

nach Gleichung 43

$$k_1 = \frac{50}{4\,(22+50)} = 0{,}1736 \quad \text{und} \quad k_1 l = 0{,}1736 \,.\, 500 = 86{,}8\,\text{cm}\,,$$

nach Gleichung 44

$$m = \left[\frac{50}{22}\left(1 - \sqrt{1 + \frac{22}{50}}\right)\right]^2 = 0{,}2066\,,$$

$$k_3 = \frac{1}{2}\left[1 - 0{,}1736 + 0{,}2066 - \sqrt{(1 - 0{,}1736 + 0{,}2066)^2 - 4 \,.\, 0{,}2066}\right] = 0{,}2712\,,$$

$$k_3 l = 0{,}2712 \,.\, 500 = 135{,}6\,\text{cm},$$

nach Gleichung 45

$$k_2 = \frac{0{,}1736}{1 - 0{,}2712} = 0{,}2382 \quad \text{und} \quad k_2 l = 0{,}2382 \,.\, 500 = 119{,}1\,\text{cm}\,,$$

nach Gleichung 46

$$M_1 = \frac{50^2 \,.\, 500^2}{8\,(22+50)} = 1\,085\,070\,\text{cmkg}.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei 1000 kg Beanſpruchung müſſen alſo die beiden beiderſeits überkragenden Trägerſtücke aus Normalprofil Nr. 36 gebildet ſein.

Nach Gleichung 47 iſt $M_2 = \frac{50 \cdot 0{,}2712 \cdot 500^2}{2} (1 - 0{,}2382) = 1\,291\,250$ cmkg; für das überkragende Endſtück links genügt alſo Profil Nr. 38 knapp.

Nach Gleichung 48 iſt $M_3 = \frac{50 \cdot 500^2 (1 - 2 \cdot 0{,}2236)^2}{8} = 477\,481$ cmkg; für den mittleren eingehängten Träger iſt daher Profil Nr. 28 zu verwenden.

Nach Gleichung 49 iſt $M_4 = \frac{50 \cdot 500^2 \cdot (1 - 0{,}1736)^2}{8} = 1\,068\,125$ cmkg; das linke Endſtück muſs ſonach aus Profil Nr. 36 beſtehen.

Nach Gleichung 50 iſt $M_5 = \frac{50 \cdot 500^2 (1 - 0{,}2382 - 0{,}2712)^2}{8} = 376\,075$ cmkg; für den linken eingehängten Träger iſt alſo Profil Nr. 26 zu verwenden.

Die Belaſtungen der Wände an den Enden der Unterzüge und die der ſtützenden Säulen ergeben ſich aus den Gleichungen 55 bis 60 ohne Weiteres; z. B. iſt nach Gleichung 58

$$D_4 = \frac{50 \cdot 500}{2} \left[2 + \frac{50 - 22}{4\,(50 + 22)}\right] = 26\,216 \text{ kg},$$

oder nach Gleichung 57

$$D_3 = \frac{50 \cdot 500}{2} \left[(2 - 0{,}2712)\,(1 + 0{,}2382) - \frac{22}{4\,(22 + 50)}\right] = 25\,802 \text{ kg}.$$

Wären die Balken nicht überkragend angeordnet, ſondern über den Unterzügen geſtoſsen, ſo hätte ſich für dieſelben das gröſste Biegungsmoment zu $\frac{9 \cdot 500^2}{8} = 281\,250$ cm ergeben, und ſtatt der Querſchnitte Nr. 21 und 12 hätte Nr. 22 durchweg verwendet werden müſſen.

Wären zugleich die Unterzüge über den Säulen geſtoſsen, ſo hätte die Laſt $(500 + 400)\,\frac{5}{100} = 45$ kg für 1 cm, alſo das gröſste Biegungsmoment in allen Oeffnungen $\frac{45 \cdot 500^2}{8} = 1\,406\,250$ cmkg betragen; ſtatt der Profile 38, 36 und 28 hätte alſo durchweg Nr. 40 verwendet werden müſſen.

Durch Einfügen der Gelenke iſt der Trägerroſt alſo beträchtlich erleichtert, und dieſe Erleichterung iſt durchſchlagender, als die Verſtärkung der Stützen, welche in Folge der Anordnung continuirlicher Gelenkträger erforderlich wird. Die gröſste Stützenlaſt für über den Auflagern geſtoſsene Balken und Unterzüge würde $500 \cdot 45 = 22\,500$ kg betragen.

2) Verſchiedene Oeffnungsweiten.

105. Grundgedanke.

Da, wo verſchiedene Oeffnungsweiten, alſo ungleiche Stützenentfernungen zuläſſig ſind, kann man dieſen Umſtand benutzen, um die Stütz- und Kraglängen den Werthen g und q ſo anzupaſſen, daſs das gröſste Moment auch der eingehängten Trägerſtücke gleich den beiden gröſsten Momenten der Kragſtücke und ſomit alle gefährlichen Momente eines Trägers einander gleich werden. Man erreicht ſo, neben der Möglichkeit, einen einheitlichen Querſchnitt für den ganzen Träger durchführen zu können, zugleich thunlichſt geringes Gewicht der Träger.

Da die Stützentheilung bei Erfüllung dieſer Bedingung aber von g und q abhängig iſt, andererſeits bei mehrgeſchoſſigen Gebäuden die Stützen verſchiedener Geſchoſſe lothrecht über einander ſtehen ſollen, ſo iſt die günſtigſte Stützentheilung in dieſem Falle nicht gleichzeitig in allen Geſchoſſen zu erreichen, wenn die verſchiedenen Geſchoſſe auf verſchiedene Werthe von g und q einzurichten ſind. In einem ſolchen Falle richte man die Stützentheilung für diejenigen Werthe von g und q ein, welche in den meiſten Geſchoſſen wiederkehren; in den übrigen Geſchoſſen iſt völlige Ausgleichung der Momente dann nicht zu erreichen, und man muſs ſich damit begnügen, wie bei gleicher Stützentheilung, die Momente nur an den gefährlichen Stellen der Kragtheile gleich zu machen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

106. Erfter Fall.

Es ift hier alfo zuerft der Fall zu behandeln, dafs die Stützentheilungen für völlige Ausgleichung aller gröfsten Momente eingerichtet werden follen.

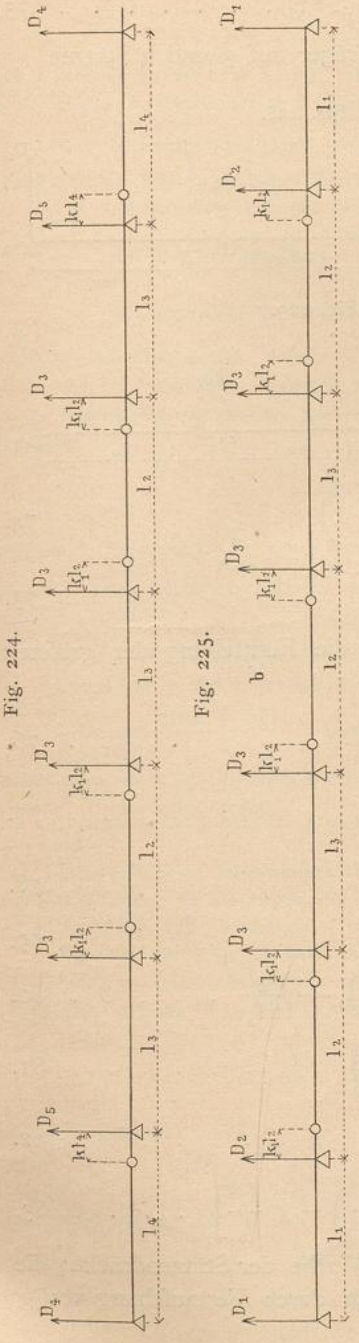


Fig. 224.

Fig. 225.

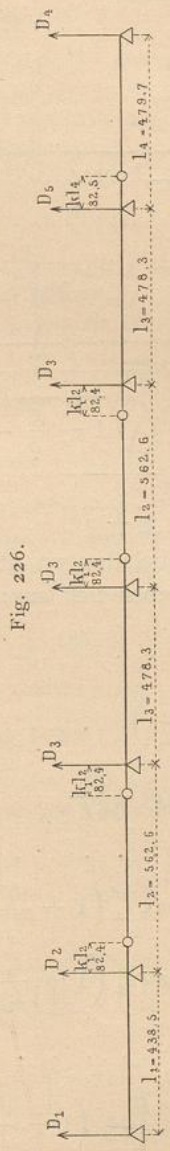


Fig. 226.

Die Anordnung diefer Bedingung genügender Träger ift allgemein in Fig. 224 u. 225 für eine ungerade, in Fig. 226 für eine gerade Anzahl von Oeffnungen dargeftellt; die Anzahl der Oeffnungen für Fig. 224 u. 225 fei $2n+1$; jene für Fig. 226 betrage $2n$.

Zunächft ergeben fich die die Gelenke feft legenden Zahlenwerthe k und k_1 aus

$$k = 3 - 2\sqrt{2} = 0{,}1716\,, \qquad 65.$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}} = 0{,}14644 \qquad 66.$$

Neben den Bezeichnungen, deren Bedeutung aus Fig. 224 bis 226 hervorgeht, führen wir noch die ftets bekannte Gefammtlänge des Trägers L ein. Wird wieder die Eigenlaft für die Längeneinheit g, die Gefammtlaft q und die Nutzlaft p genannt, fo kann die Abmeffung der einzelnen Theile nach den folgenden Ausdrücken erfolgen:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0{,}3536\, g}{q\left(\sqrt{1+\frac{g}{q}}-1\right)} \qquad 67.$$

$$\frac{l_3}{l_2} = 0{,}7072\,\sqrt{\frac{g+q}{q}} \qquad 68.$$

$$\frac{l_4}{l_2} = \frac{1}{\sqrt{8k}} = 0{,}8525 \qquad 69.$$

Damit find alle Weiten auf l_2 bezogen, und die Berechnung von l_2 aus L gefchieht nun für die verfchiedenen Fälle nach den folgenden Gleichungen.

Zahl der Oeffnungen (ungerade) $= 2n+1$ (Fig. 224: Endöffnung mit Gelenk):

$$L = 2l_4 + n\,l_3 + (n-1)\,l_2\,. \qquad 70.$$

Zahl der Oeffnungen (ungerade) $= 2n+1$ (Fig. 225: Endöffnung ohne Gelenk):

$$L = 2l_1 + n\,l_2 + (n-1)\,l_3\,. \qquad 71.$$

Zahl der Oeffnungen (gerade) $= 2n$ (Fig. 226):

$$L = l_1 + l_4 + (n-1)\,l_2 + (n-1)\,l_3\,. \qquad 72.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die bei diefer Anordnung in allen gefährlichen Querfchnitten gleichen Momente find zu berechnen nach

$$M = \frac{q l_2^2}{16} = 0{,}0858\, q\, l_4^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 73.$$

In Fig. 227 bis 229 find die Verhältniffe der Träger auf 3 und 4 Stützen

Fig. 227.

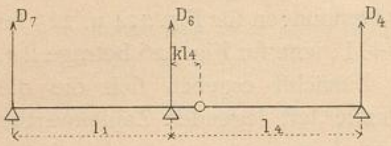
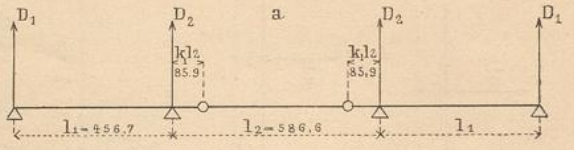
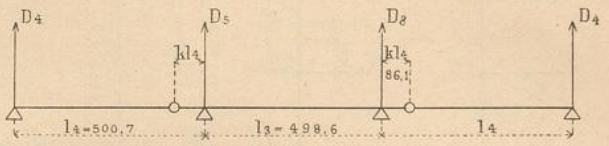


Fig. 228.



dargeftellt, fo weit für diefelben die aus den Gleichungen 67 bis 69 zu entnehmenden Verhältniffe nicht verwendbar find. Danach ift

Fig. 229.



$$\frac{l_4}{l_1} = 2{,}411\, \frac{q}{g}\left(\sqrt{1+\frac{g}{q}} - 1\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 74.$$

$$\frac{l_4}{l_3} = 1{,}207\, \sqrt{\frac{q}{g+q}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 75.$$

Für die Ermittelung der Stützenbelaftungen ift die Feftftellung der gröfsten Auflagerdrücke erforderlich. Diefe ergeben fich aus:

$$D_1 = \frac{q l_1}{2} - \frac{g l_2^2}{16 l_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 76.$$

$$D_2 = \frac{q}{2}\left(l_1 + l_2 + \frac{l_2^2}{8 l_1}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 77.$$

$$D_3 = q\, \frac{l_2 + l_3}{2} + (q-g)\, \frac{l_2^2}{16 l_3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 78.$$

$$D_4 = 0{,}4142\, q l_4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 79.$$

$$D_5 = q\, \frac{l_3 + l_4}{2} + 0{,}0858\, q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3}\right) - \frac{g l_2^2}{16 l_3} \quad \ldots\ldots \quad 80.$$

$$D_6 = q\, \frac{l_1 + l_4}{2} + 0{,}0858\, q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_1}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 81.$$

$$D_7 = \frac{q l_1}{2} - 0{,}0858\, g\, \frac{l_4^2}{l_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 82.$$

$$D_8 = q\, \frac{l_3 + l_4}{2} + 0{,}0858 \left[q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3}\right) - g\, \frac{l_4^2}{l_3}\right] \quad \ldots\ldots \quad 83.$$

Die Gleichungen 76 bis 83 geben die gröfsten Werthe der Stützendrücke; die kleinften — möglicher Weife negativen — ergeben fich durch Vertaufchung von g mit q und q mit g aus denfelben Gleichungen.

Beifpiel. Des Vergleiches wegen mag hier die in Art. 104 (S. 122) fchon für gleiche Stützentheilungen zu Grunde gelegte Decke nach den nunmehr vorliegenden Gefichtspunkten nochmals durchgerechnet werden. Es ift alfo für die Balken $L = 15\,\text{m}$ und für die Unterzüge $L = 30\,\text{m}$; die Eigenlaft beträgt 400 und die Nutzlaft 500 kg für 1 qm.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für die Balken ist $p = 4$, $q = 9\,\text{kg}$ für $1\,\text{cm}$ und bei Anordnung nach Fig. 228 mit Gelenken in der Mittelöffnung nach Gleichung 67

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0{,}3536 \cdot 4}{9\left(\sqrt{1 + \frac{4}{9}} - 1\right)} = 0{,}7784\,;$$

nach Gleichung 71 wird für $n = 1$ und $L = 15$ hiernach $15 = 2 \cdot 0{,}7784\, l_2 + 1 \cdot l_2$; somit $l_2 = 5{,}866$ und $l_1 = 4{,}567\,\text{m}$, und weiter nach Gleichung 66: $k_1 l_2 = 0{,}14644 \cdot 5{,}866 = 0{,}859\,\text{m}$.

Nach Gleichung 73 ist das überall gleiche gröfste Moment $M = \frac{9 \cdot 586{,}6^2}{16} = 193556\,\text{cmkg}$; es genügt also bei $1000\,\text{kg}$ zuläfsiger Beanspruchung das Profil Nr. 20.

Die Belastung der Unterzüge folgt nach Gleichung 77

mit dem gröfsten Werthe $D_2 = \frac{9}{2}\left(456{,}7 + 586{,}6 + \frac{586{,}6^2}{8 \cdot 456{,}7}\right) = 5118\,\text{kg}$,

mit dem kleinsten Werthe $D_2 = \frac{4}{2}\left(456{,}7 + 586{,}6 + \frac{586{,}6^2}{8 \cdot 456{,}7}\right) = 2274\,\text{kg}$.

Werden diese Lasten, welche in $1{,}0\,\text{m}$ Theilung wiederkehren, gleichförmig vertheilt gedacht, so werden für die Unterzüge $q = 51{,}2\,\text{kg}$ und $g = 22{,}8\,\text{kg}$.

Werden für die Balken nach Fig. 229 die Gelenke in die Endöffnungen gelegt, so ist nach Gleichung 75

$$\frac{l_4}{l_3} = 1{,}207\sqrt{\frac{9}{4 + 9}} = 1{,}0043\,,$$

somit nach Gleichung 70 für $n = 1$ nunmehr $15 = 2\, l_4 + \frac{1}{1{,}0043}\, l_4$, also $l_4 = 5{,}007\,\text{m}$ und $l_3 = 4{,}986\,\text{m}$. Nach Gleichung 63 ist $k l_4 = 0{,}1716 \cdot 5{,}007 = 0{,}861\,\text{m}$. Nach Gleichung 73 wird

$$M = 0{,}0858 \cdot 9 \cdot 500{,}7^2 = 194041\,\text{cmkg}\,,$$

also eben so grofs, wie nach der Anordnung mit Gelenken in der Mittelöffnung.

Die Belastung der Unterzüge wird nach Gleichung 83 am gröfsten, demnach

$$D_8 = 9\,\frac{498{,}6 + 500{,}7}{2} + 0{,}0858\,[9 \cdot 500{,}7\,(1 + 1{,}0043) - 4 \cdot 1{,}0043 \cdot 500{,}7] = 5100\,\text{kg}\,;$$

am kleinsten, wenn in Gleichung 83 die Gröfsen g und q vertauscht werden, somit

$$D_8 = 4\,\frac{498{,}6 + 500{,}7}{2} + 0{,}0858\,[4 \cdot 500{,}7\,(1 + 1{,}0043) - 9 \cdot 1{,}0043 \cdot 500{,}7] = 1955\,\text{kg}.$$

Hier sind beide Anordnungen also etwa gleichwerthig; wegen der besseren Verbindung der Säulen mit den Wänden, so wie wegen der geringeren Schwankung in der Belastung der Unterzüge wird die erstere nach Fig. 228 beibehalten.

Für den Unterzug ist somit rund $q = 51{,}2\,\text{kg}$ und $g = 22{,}8\,\text{kg}$ für $1\,\text{cm}$. Um bei $L = 30\,\text{m}$ annähernd $5\,\text{m}$ Säulenentfernung zu erhalten, werden 6 Oeffnungen angeordnet, so dafs Fig. 226 mafsgebend ist. Alsdann ist nach Gleichung 67

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0{,}3536 \cdot 22{,}8}{51{,}2\left(\sqrt{1 + \frac{22{,}8}{51{,}2}} - 1\right)} = 0{,}7793\,;$$

nach Gleichung 68

$$\frac{l_3}{l_2} = 0{,}7072\sqrt{\frac{22{,}8 + 51{,}2}{51{,}2}} = 0{,}8502\,;$$

nach Gleichung 69

$$\frac{l_4}{l_2} = 0{,}8525.$$

Wird weiter in Gleichung 72 für n der Werth 3 eingesetzt, so folgt

$$30 = l_2\,(0{,}7793 + 0{,}8525 + 2 + 2 \cdot 0{,}8502) \quad \text{oder} \quad l_2 = 5{,}626\,\text{m}\,;$$

Danach ist

$$l_1 = 0{,}7793 \cdot 5{,}626 = 4{,}385\,\text{m},$$
$$l_3 = 0{,}8502 \cdot 5{,}626 = 4{,}783\,\text{m},$$
$$l_4 = 0{,}8525 \cdot 5{,}626 = 4{,}797\,\text{m}.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das an allen gefährlichen Stellen gleiche gröfste Moment ift nach Gleichung 73

$$M = \frac{51{,}2 \cdot 562{,}6^2}{16} = 1012860 \text{ cmkg}.$$

Bei 1000 kg Beanfpruchung ift fonach durchweg das I-Profil Nr. 36 zu verwenden, und es ift fomit trotz der etwas gröfseren Laft die Trägeranordnung hier vortheilhafter, als bei gleichen Stützentheilungen.

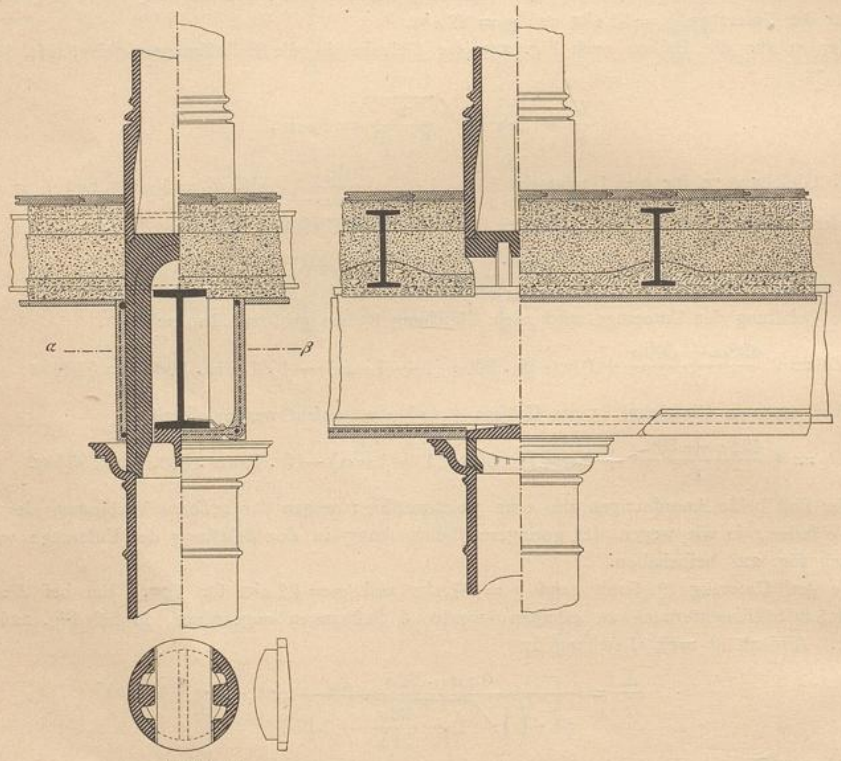
Die Länge $k_1 l_2$ wird nach Gleichung 66: $0{,}14644 \cdot 562{,}6 = 82{,}4$ cm und $k l_4$ nach Gleichung 65: $0{,}172 \cdot 479{,}7 = 82{,}5$ cm.

Die Stützendrücke, welche aus den Gleichungen 76 bis 83 folgen, werden hier um ein Geringes gröfser, als bei gleicher Theilung der Stützen. So wird z. B. nach Gleichung 78

$$D_3 = 51{,}2 \frac{562{,}6 + 478{,}3}{2} + (51{,}2 - 22{,}8) \frac{562{,}6^2}{16 \cdot 478{,}3} = 27820 \text{ kg}.$$

Der Druck D_3 für gleiche Stützentheilung betrug nur 25802 kg; doch hat diefer Unterfchied keinen erheblichen Einfluss auf die Koften der Säulen; viel wichtiger ift die durch die überall gleiche Trägerhöhe erzielte gröfsere Gleichmäfsigkeit in der Ausbildung der Stützen, wie der ganzen Decke.

Fig. 230.



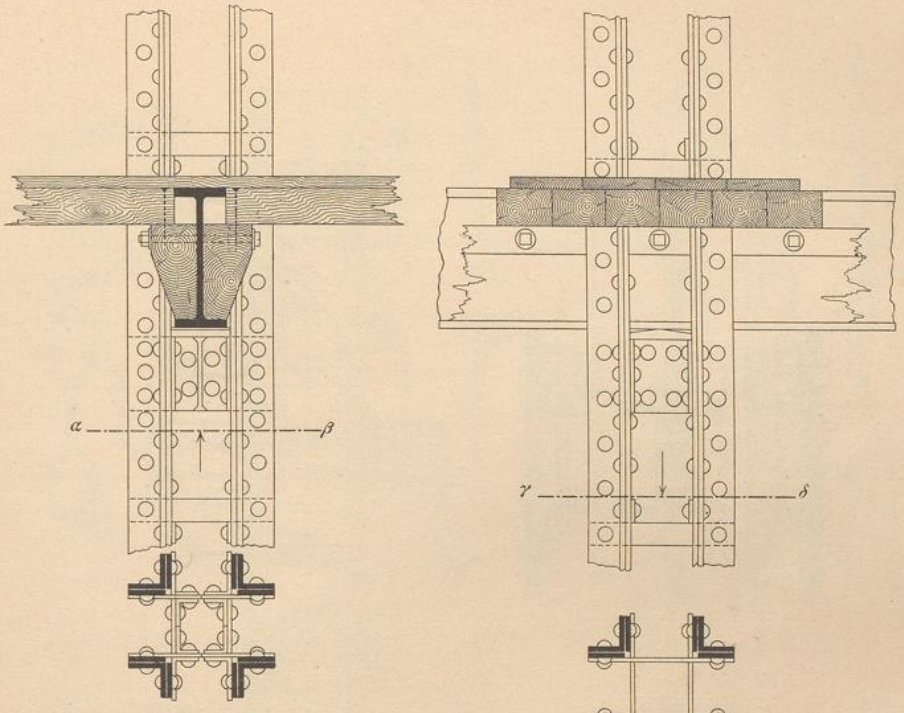
Schnitt $\alpha\beta$.

Es mag noch befonders hervorgehoben werden, dafs in den Rechnungsbeifpielen das Eigengewicht der Träger vernachläffigt wurde; bei Berechnungen für die Ausführung genügt es, für die Balken ein Gewicht von 0,5 kg für 1 cm, für die Unterzüge ein folches von 0,9 kg für 1 cm von vornherein einzuführen. In der Regel werden die Träger diefe Gewichte nicht ganz erreichen.

Bei einfacher Anordnung der Unterzüge könnten die Stützen nach den Beifpielen in Fig. 230 bis 234 ausgebildet werden; die Anordnung in Fig. 235 ift für fo fchwere Traganordnungen, wegen der Schwächung der Säule, weniger zu empfehlen. Bei gufseifernen Stützen find nur die Anordnungen in Fig. 236 u. 230 ganz

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 231.

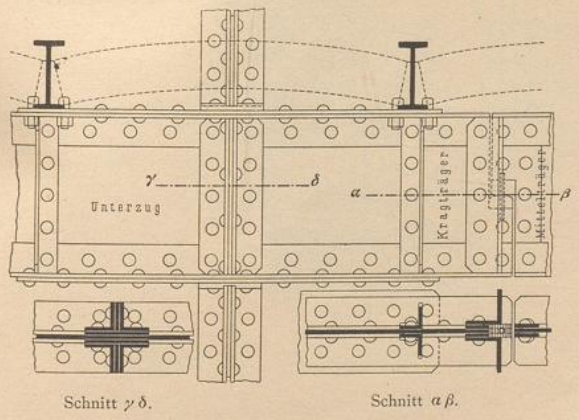


Schnitt $\alpha\beta$. Schnitt $\gamma\delta$.

vollkommen, ſo wie für nicht zu groſse Belaſtung auch die Anordnung nach Fig. 17 (S. 14); Fig. 236 bedingt aber eine Balkenlagerung nach Fig. 237 oder 238. Man erkennt hieraus, daſs ſich continuirliche Gelenkunterzüge bei ſchmiedeeiſernen Stützen weſentlich bequemer anordnen laſſen, als bei den geſchloſſenen guſseiſernen, wenn nicht die Decke ſo leicht iſt, daſs man die Anordnung nach Fig. 17 (S. 14), Fig. 230 oder 235 unbedenklich wählen kann.

Bei den ungleichen Stützentheilungen iſt das Nachrechnen der kleinſten Stützendrücke nach den Gleichungen 76 bis 83, unter Vertauſchen von g und q, noch wichtiger, als bei gleichen Oeffnungen, da hier noch leichter als dort die Verankerung der Auflagerſtellen nach unten für negative Stützendrücke erforderlich wird. Zur Aufhebung dieſer ſtets geringen negativen Auflagerdrücke wird in der Regel ſchon das Gewicht der Stützen genügen. Die Endauflager, bei denen am leichteſten negative Auflagerkräfte vorkommen, können meiſt Verankerungen in den Wänden erhalten;

Fig. 232.



Schnitt $\gamma\delta$. Schnitt $\alpha\beta$.

Fig. 233.

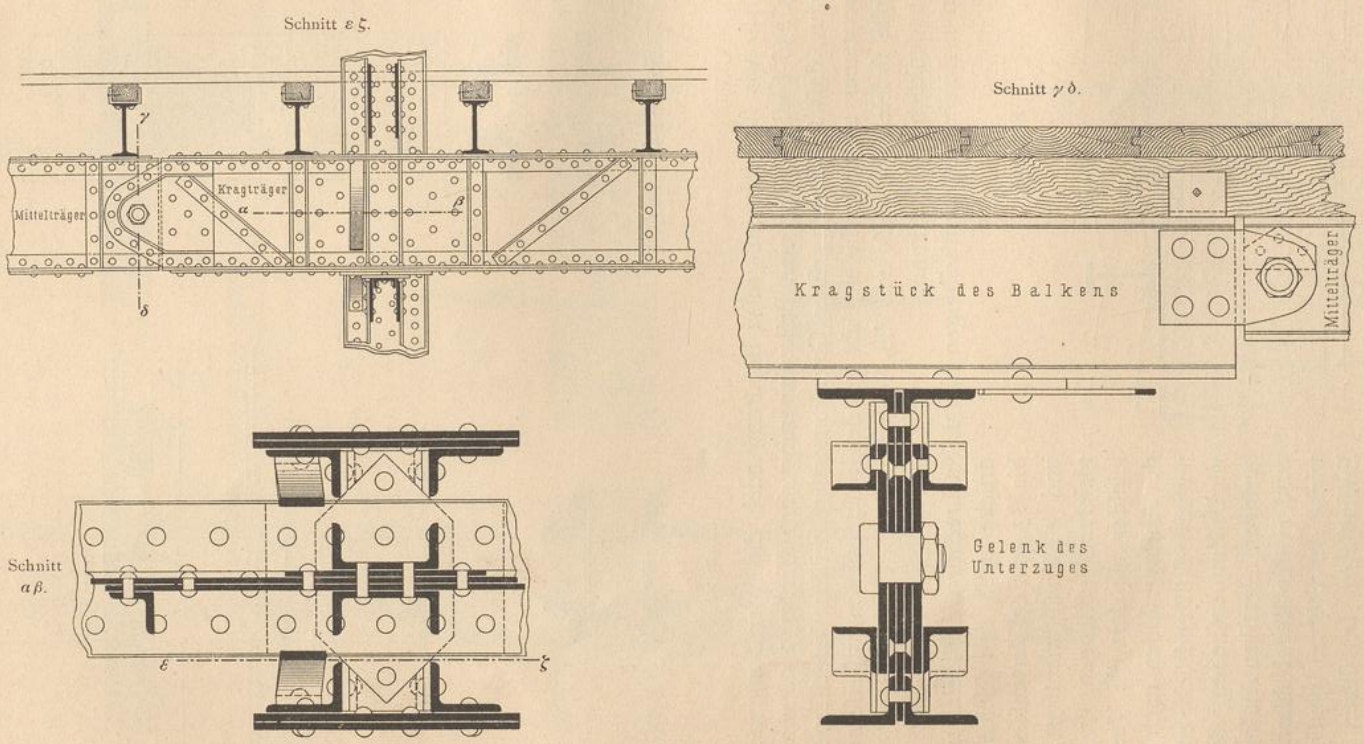

Schnitt ε ζ.
γ
Kragträger
Mittelträger
α
β
δ
Schnitt γ δ.
Kragstück des Balkens
Mittelträger
Gelenk des Unterzuges
Schnitt αβ.
ε
ζ

Fig. 234.

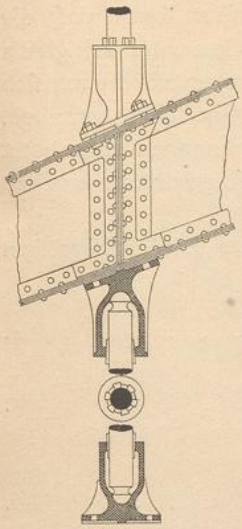


Fig. 235.

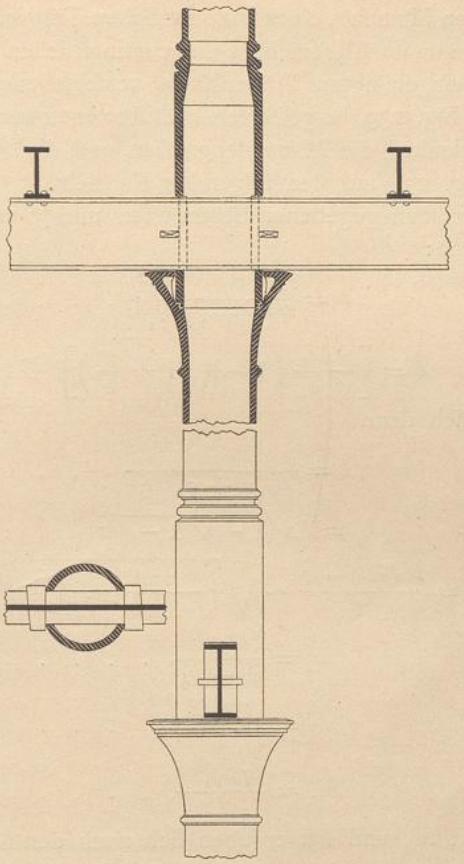


Fig. 236.

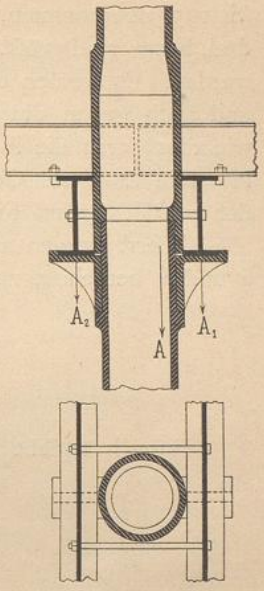


Fig. 237.

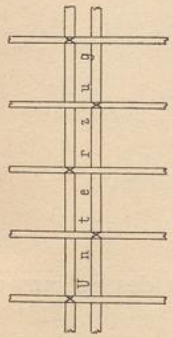
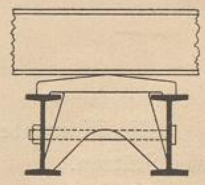


Fig. 238.



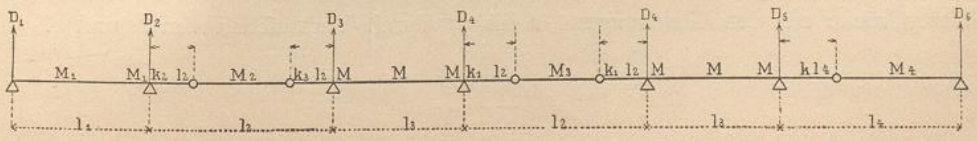
doch ist dann bei Bemessung der Wandstärken die Wirkung dieser meist ausserhalb des Schwerpunktes nach oben wirkenden Kräfte genau zu berücksichtigen.

107. Zweiter Fall.

Der zweite Fall ist der, dass die Stützweiten zwar verschieden, aber unabhängig vom Verhältnisse $g : q$ fest vorgeschrieben sind, so dass die Ausgleichung aller grössten Momente nicht mehr möglich ist.

Abgesehen von ganz unregelmässigen Anordnungen, in denen blos Sonderrechnungen von Fall zu Fall zum Ziele führen können, ist hier nur der oben angedeutete Fall allgemein zu behandeln, dass die Stützenstellung in Fig. 224 bis 228 für ein Geschoss auf vollständige Ausgleichung der Momente eingerichtet wurde, und nun in einem anderen Geschosse durchgeführt werden muss, wo sie dem dort auftretenden Verhältnisse $g : q$ nicht mehr entspricht.

Fig. 239.



In Fig. 239 ſind daher die Bezeichnungen der Stützweiten aus Fig. 224 bis 226 (S. 125) übernommen, und es kommt nun darauf an, die Gelenke ſo zu legen, daſs die drei, bezw. zwei gröſsten Momente eines continuirlichen Trägerſtückes unter ſich gleich werden. Es werden dann im Allgemeinen die continuirlichen Trägerſtücke unter ſich und auch gegen die eingehängten Trägerſtücke verſchiedenen Querſchnitt erhalten, wie dies durch die in Fig. 239 beigeſchriebenen Momentenbezeichnungen angedeutet iſt. Die Lage der Gelenke, die Momentengröſsen und die Auflagerdrücke ergeben ſich mit Bezug auf Fig. 239 aus den folgenden Formeln.

Zuerſt werden aus den gegebenen Stützweiten und g und q zwei Hilfsgröſsen a und b berechnet nach:

$$a = \frac{q}{4\,(g+q)}\,\frac{l_3^{\,2}}{l_4^{\,2}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 84.$$

$$b = \left[\frac{q}{g}\,\frac{l_1}{l_2}\left(1-\sqrt{1+\frac{g}{q}}\right)\right]^2 \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 85.$$

Danach ergiebt ſich dann

$$k = \frac{q}{4\,(g+q)}\,\frac{l_3^{\,2}}{l_4^{\,2}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 86.$$

$$k_1 = 0{,}5\,(1-\sqrt{1-4\,a}) \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 87.$$

$$k_2 = \frac{b+1-a}{2} - \sqrt{\left(\frac{b+1-a}{2}\right)^2 - b} \qquad \ldots\ldots \quad 88.$$

$$k_3 = \frac{a}{1-k_2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 89.$$

$$M = \frac{q\,a\,l_2^{\,2}}{2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 90.$$

$$M_1 = \frac{q\,b\,l_2^{\,2}}{2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 91.$$

Die Momente M_3, M_4 und M_5 ergeben ſich nach den Regeln des Balkens auf zwei Stützen.

Die gröſsten Werthe der Stützendrücke ſind:

$$D_1 = \frac{q\,l_1}{2} - \frac{g\,b\,l_2^{\,2}}{2\,l_1} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 92.$$

$$D_2 = \frac{q}{2}\left[l_1 + l_2\left(k_2 + 1 + k_2\,\frac{l_2}{l_1}\right)(1-k_3)\right] \qquad \ldots\ldots \quad 93.$$

$$D_3 = \frac{q}{2}\left[l_2\,(1-k_2)+l_3\right]\left(1+k_3\,\frac{l_2}{l_3}\right) - \frac{g\,a\,l_2^{\,2}}{2\,l_3} \qquad \ldots \quad 94.$$

$$D_4 = \frac{q}{2}\left(l_2 + l_3 + a\,\frac{l_2^{\,2}}{l_3}\right) - \frac{g\,a\,l_2^{\,2}}{2\,l_3} \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 95.$$

$$D_5 = \frac{q}{2}\left[l_3 + l_4 + k\,l_4\left(1+\frac{l_4}{l_3}\right)\right] \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 96.$$

$$D_6 = \frac{q}{2}\,l_4\,(1-k) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 97.$$

Auch hier ergeben ſich die geringſten, möglicher Weiſe negativen Werthe der Stützendrücke aus den Gleichungen 92 bis 97 durch Vertauſchen von g und q.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

7. Kapitel.

Schutz der Balkendecken gegen Feuchtigkeit und Schalldurchläffigkeit.

Die Schutzmittel gegen Feuchtigkeit[148]) follen bezüglich der Theile gleichfalls einzeln befprochen werden, nämlich a) für die Ausfüllungen der Balkenfache, b) für die Träger und Balken und c) für die Freiftützen. Vom Schutze der Fufsböden gegen auffteigende Feuchtigkeit war bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap. 12, unter a, 1, γ) diefes »Handbuches« die Rede; von den ferneren bei Fufsböden nothwendigen Schutzmitteln wird noch in Theil III, Band 3, Heft 3 diefes »Handbuches« gefprochen werden.

a) Feuchtigkeitsfchutz für die Ausfüllungen der Balkenfache.

108. Wahl des Materials.

Die Fachfüllungen follen aus völlig trockenen und die Feuchtigkeit nicht aufsaugenden Stoffen hergeftellt werden, da fie fonft die Veranlaffung zur Zerftörung der Decke werden und fchon vorher den Herd für die Entwickelung fchädlicher Gafe und Pilze bilden. Bei der Ausfüllung hölzerner Balkenfache follen vor Allem organifche Beimengungen vermieden werden; man hat daher auf völlige Reinheit des fonft gut zu diefem Zwecke zu verwendenden Baufchuttes von Holzfpähnen, Zeugreften, Papierftücken, Stroh u. dergl., fo wie auf vollftändige Fernhaltung von Humus aus Sandfüllungen zu achten. Füllungen aus Sägefpähnen, Torfgrufs, Moos u. dergl. find, abgefehen von ihrer grofsen Feuergefährlichkeit, völlig trocken und nur da zu verwenden, wo fie auch dauernd keiner Feuchtigkeit ausgefetzt find. Dafs Kiefelguhr die trockenfte Füllung abgiebt, wurde fchon in Art. 27 (S. 39) befprochen.

Bei an fich feucht liegenden Decken find namentlich die Füllungen aus Gyps und Gyps-Beton, fo wie aus hohlen Gypsblöcken nach franzöfifchen Muftern unzuläffig, weil der Gyps fich im Waffer leicht löst. Für derartige Fälle empfehlen fich ganz befonders Füllungen aus Hohlziegeln oder hohlen Terracotten (Syftem *Laporte*), deren Canäle man zur Lüftung der Decke benutzen kann, wenn man fie mit nach aufsen gehenden Luftlöchern verfieht.

Eine Reihe der neueren Zwifchendecken-Anordnungen find in erfter Linie mit Rückficht auf völlige Trockenheit durchgebildet, fo die Korkfteine, Gypsdielen und Spreutafeln, welche in Folge ihrer Zufammenfetzung an fich waffer beftändig find und durch die vielen Hohlräume gute Gelegenheit zum Verdunften etwa eingedrungener Feuchtigkeit geben.

109. Mittel gegen das Eindringen der Feuchtigkeit.

Als Mittel, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Fachausfüllung überhaupt zu verhindern, empfiehlt fich die waffer dichte Herftellung des Fufsbodens durch Beläge oder Kalfatern; die wegen Verhinderung des Auffteigens von Staub durch die Fufsbodenfugen zu empfehlende Abdeckung der Fachausfüllung mit Dachpappe kann die hier geftellte Aufgabe nur unvollkommen löfen, da die einmal durch den Fufsboden gedrungene Feuchtigkeit nur langfam verdunftet und fchliefslich auch den Weg durch die Dachpappe finden wird.

In die Fachausfüllung gebettete Eifentheile werden, wenn nicht jedes Eindringen von Feuchtigkeit mit völliger Sicherheit ausgefchloffen ift, angeftrichen, getheert oder am beften verzinkt, da in feuchten Fachausfüllungen ein ganz aufserordentlich ftarkes

[148]) Siehe auch Theil III, Band 2, Heft 1 (S. 410 u. ff.) diefes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Roſten ſtattfindet, namentlich wenn es durch ſauere Beimengungen der Füllung (Kohlenaſche, unreiner Bauſchutt) befördert wird.

Beſonders wichtig iſt die Sicherung dünner Bleche, alſo der Wellblech-, Tonnenblech- und Buckelplatten-Decken. Dieſe Theile ſollen, nachdem ſie vollkommen fertig für das Verlegen vorbereitet ſind, verzinkt werden, und wenn die Verzinkung durch die Verlegungsarbeiten (z. B. beim Nieten) verletzt wird, ſo ſollen die verletzten Stellen durch Aufträufeln flüſſigen Lothes geſichert werden. Ferner iſt es zweckmäſsig, dieſe Blechkörper über der Verzinkung noch mit einem dünnen Ueberzuge von weichem Aſphalt oder Aſphaltlack, heifs aufgetragen, zu verſehen. Dieſer Ueberzug giebt zugleich das beſte Mittel ab, die Nietungen und Fugen in den Auflagerungen auf die Träger zu decken und ſo mit Gefälle zu verſehen, daſs das Waſſer von hier leicht und ſchnell nach den Entwäſſerungsſtellen laufen kann.

Die Entwäſſerungsſtellen ſind bei hängenden Buckelplatten die Scheitel, in welche Entwäſſerungsröhrchen vor dem Verzinken eingeſchraubt werden, bei nach oben gewölbten Buckelplatten die vier Ecken, welche aber dicht an den Nähten und den Trägern liegen und viermal ſo viele Löcher erfordern; daher iſt dieſe Anordnung überall da mangelhaft, wo erheblichere Mengen Feuchtigkeit zu erwarten ſind, und es iſt dann eine ganz beſonders ſorgfältige Entwäſſerungsanlage nach den Ecklöchern mittels Aſphaltſchichten mit möglichſt ſtarkem Gefälle nöthig.

Tonnenbleche hängen ſtets nach unten, müſſen alſo im Scheitel entwäſſert werden. Um Längsgefälle des Scheitels nach beſtimmten Entwäſſerungspunkten zu erhalten, bilde man die Tonnenbleche aus etwas trapezförmigen Blechen, ſo daſs ſie zwiſchen den parallelen Trägern an einem Ende ſtärkeren Pfeil als am anderen erhalten. In die tiefſten Punkte werden auch hier vor dem Verzinken Entwäſſerungsröhrchen eingeſetzt. Laſchen auf der Innenſeite der Bleche ſind nur in den höchſten Punkten dieſer Entwäſſerung zuläſſig; ſonſt dürfen ſie nur einſeitig aufsen angebracht werden, weil ſie ſonſt kleine Dämme für die Entwäſſerung bilden würden.

Wellbleche können Gefälle nach beſtimmten Punkten erhalten, wenn man entweder die ſie tragenden Balken verſchieden hoch legt oder das Wellblech auf den Balken verſchieden hoch auffüttert. Die Ueberdeckung der Tafeln mufs mit der Gefällrichtung laufen. Beſonders wichtig iſt das völlige Vermeiden der Anbringung von Nieten oder Schrauben in den Wellenthälern, da dieſe den Waſſerabzug in den Thälern hindern und die zugehörigen Löcher gewöhnlich den erſten Angriffspunkt für den Roſt bilden.

b) Feuchtigkeitsſchutz für Träger, Balken und Lagerhölzer.

110. Hölzerne Balken und Lagerhölzer.

Hölzerne Balken und Lagerhölzer ſind diejenigen Theile der Decken, welche des ſorgſamſten Schutzes gegen Feuchtigkeit bedürfen. Von ganz beſonderer Wichtigkeit iſt die Auflagerung.

1) Bei Fachwerkwänden treten die Balkenköpfe frei zu Tage, ſind alſo mit ihrem Hirnholze dem Wetter ausgeſetzt. Als Schutzmittel werden hier verwendet:

α) Ueberhängende Geſtaltung der Balkenköpfe, welche oben mit ſtark geneigtem Waſſerſchlage, darunter Waſſernaſe, beginnt.

β) Benageln mit Blechkappen. Dabei ſoll das Blech nicht unmittelbar auf dem Hirnholze liegen, damit ſich das Waſſer nicht zwiſchen Blech und Holz feſt ſaugt, das Holz nun dauernd anfeuchtend.

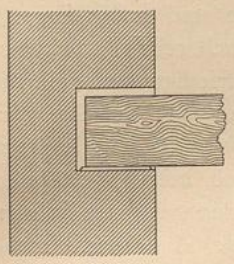
γ) Benageln mit Hirnbrettern. Auch hier ſollen zwiſchen die Balken und die

Hirnbretter Luftklötze gebracht werden, damit die Luft die Poren des Hirnholzes frei umſpülen kann; der ſo entſtandene Zwiſchenraum wird nach oben durch ein Schutzbrett mit Waſſerſchlag geſchloſſen.

δ) Beſtreichen der Hirnenden mit Theer oder ſonſtigen waſſerdichten Decken iſt bedenklich, weil man in ſolcher Weiſe leicht die Feuchtigkeit im Balken einſchlieſst und dieſen zum Stocken bringt.

2) Bei maſſiven Wänden läſſt man die Balkenköpfe nicht bis zur Aufsenfläche durchgreifen, ſondern lagert ſie nur in die Wand, um ſie nach aufsen durch maſſive Vormauerung zu ſchützen. Da letztere aber bei den gewöhnlichen Wanddicken nur ſchwach ſein kann, und dann Feuchtigkeit in groſsen Mengen durchläſſt, ſo iſt auf das ſorgſamſte darauf zu halten, daſs der in der Wand liegende Balkenkopf, abgeſehen vom Unterlager, von allen Seiten von der Luft frei umſpült werden kann (Fig. 240). Vor der Hirnfläche ſoll eine wenigſtens 2 cm weite Luftkammer frei bleiben, und die an die Seiten- und Oberfläche ſtoſsenden Steine ſollen, wie auch etwaiger Wandputz, 1 cm vom Balken entfernt bleiben, erſtere wenigſtens ohne Mörtel gegen den Balken geſetzt ſein. Sehr gefährlich iſt es, die Ummauerung in Mörtel gegen den Balken zu ſetzen, weil man ſo der Luftkammer die Lüftung nimmt.

Fig. 240.



Behufs künſtlicher Lüftung der Balkenkammern wird empfohlen[149]), ein eiſernes Rohr in die Mauer zu legen, ſo daſs es alle Balkenkammern berührt, und in jeder einige Male anzubohren, andererſeits dieſe Rohre in ein ſtark ziehendes Lüftungs- oder Rauchrohr münden zu laſſen und ſo dauernd die Luft aus den Balkenkammern anzuſaugen.

Zweckmäſsig iſt auch die Auflagerung auf eine waſſerdichte Zwiſchenlage (Blech, Cement- oder Aſphaltlage, Dachpappe, Dachfilz u. dergl.) und das Auskleiden der ganzen Balkenkammer mit einem Theer- oder Pechanſtriche oder einer Aſphaltlage. Unzuläſſig iſt auch hier das waſſerdichte Beſtreichen des Balkenkopfes; dagegen iſt in gefährlicher feuchter und dumpfer Lage das Imprägniren der ganzen Balken ſehr zu empfehlen.

Fig. 241.

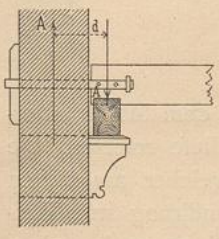
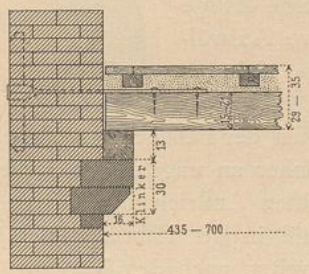


Fig. 242.



Werden die Balken vor der Wand aufgelagert (Fig. 241 u. 242), ſo ergiebt ſich die Lüftung der Köpfe von ſelbſt; hier bedarf höchſtens das Lager auf Stein eines Schutzes gegen aufſteigende Feuchtigkeit.

3) Zwiſchenwände werden von den Balken ganz durchdrungen; hier ſoll auch trockene Ummauerung oder ein Luftraum um den Balken und nöthigenfalls Waſſerſchutz des Lagers verwendet werden.

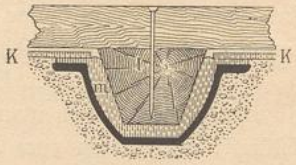
Die aufſteigende Mauerfeuchtigkeit iſt namentlich bei tiefer Lage der Balken zu fürchten, weſshalb beſonderer Schutz der Lagerflächen in Balkenkellern, ſo wie der über nicht ganz trockenen Kellerkappen eingebetteten Lagerhölzer die Regel bilden ſollte.

149) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 551.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine auch unter ungünſtigen Verhältniſſen völlig gegen Feuchtigkeit geſicherte Fuſsbodenlagerung in ſchlechter Bettung nach *Klette* [150]) iſt in Fig. 243 dargeſtellt.

Fig. 243.

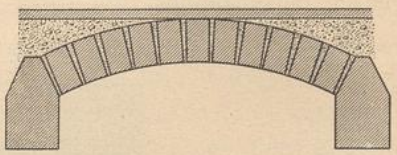


In gut angeſtrichene Belageiſen Nr. 6, welche in die Bettung gelegt ſind, lagert man trapezförmige Holzlager *l* ſo ein, daſs ſie nach oben etwas gegen die Belageiſen vorſtehen, indem man ſie in eine Füllung *m* aus heiſsem, weichem Guſsaſphalt eindrückt; den vorquellenden Aſphalt ſtreicht man über den Flanſchen der Belageiſen aus und drückt in den thunlichſt noch weichen Aſphalt eine die ganze Bettung abdeckende Lage *k* von Aſphaltfilz (z. B. ſolchen von *Büſscher & Hofmann* in Neuſtadt-Eberswalde) ein, deren Ränder gegen die Aſphaltfüllung *m* noch durch einen heiſsen Anſtrich aus Pech und Goudron abgedichtet werden. Die auf die Holzlager genagelten Bretter liegen auf der Lage *k* von Aſphaltfilz nicht völlig auf, ſo daſs noch eine dünne abſondernde Luftſchicht überbleibt. Die Ränder des Fuſsbodens werden gegen die unter den hier gedachten Verhältniſſen wohl auch feuchten Wände mittels Aſphaltfuge abgeſondert, und ſo ruhen alle Holztheile in einem für die Feuchtigkeit vollkommen undurchdringlichen Bette.

Die Balken ſollen auf ihre ganze Länge thunlichſt trocken und luftig liegen; hieraus hauptſächlich erklärt ſich das oben geſtellte Verlangen nach reiner, trockener und poröſer Ausfüllung der Balkenfache. Hat man vollkommen befriedigenden Füllſtoff nicht zur Verfügung, ſo iſt das Anſtreichen der vier Balkenſeiten mit Holztheer zu empfehlen. Bei Balkenlagen des nicht unterkellerten Erdgeſchoſſes muſs aus gleichem Grunde ein $0{,}8^{\,m}$ bis $1{,}0^{\,m}$ hoher, durch die Grundmauern nach aufsen gelüfteter Hohlraum unter der Balkenlage geſchaffen werden; in den Erdboden gelagerte Balken faulen ohne beſondere Vorſichtsmaſsregeln nach ganz kurzer Zeit. Auch bei Balkenkellern muſs wegen des vergleichsweiſe hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Kellerluft für dauernde Lüftung geſorgt werden.

Unſorgfältige Behandlung der Balkenlagerung bildet meiſt den Grund zur Entwickelung des Hausſchwamms [151]), deſſen Beſeitigung nach dem einmal eingetretenen Entſtehen ſicher nur durch völligen Umbau der angegriffenen Theile zu erreichen iſt. Der ſicherſte Schutz iſt das Vorbeugen durch trockene luftige Lagerung; daher iſt auch die maſſive Auswölbung der Balkenfache nach Fig. 244 nicht zu empfehlen.

Fig. 244.



111. Eiſerne Träger.

Eiſerne Träger ſind den Einflüſſen der Feuchtigkeit nicht in dem Maſse unterworfen, wie Holzbalken, und ſollen daher an ungünſtigen Stellen dieſe erſetzen. Sie ſind jedoch vor Roſt durch waſſerdichten Anſtrich zu ſchützen, welcher am beſten aus einer Deckung mit heiſsem Leinöl in der Fabrik, einer Grundirung mit Bleimennige nach der Abnahme, einer zweiten nach dem Verlegen und einem doppelten oder dreifachen Oelfarbenanſtriche nach Fertigſtellung der Eiſen-Conſtruction beſteht. Jedem Anſtriche muſs gründliche Reinigung vorangehen. In völlig geſicherter Lage unterbleibt der Anſtrich. Da, wo die Träger dauernd der Feuchtigkeit ausgeſetzt ſind, z. B. in mit Dämpfen gefüllten Räumen, iſt dieſer Schutz meiſt ungenügend; die Träger ſollen dann verzinkt werden, ein Verfahren, das von vielen Fabriken jetzt bis zu $10^{\,m}$ Stücklänge ausgeführt wird. Die Verzinkung ſoll als letzte vorbereitende Arbeit vorgenommen werden, damit etwaige Nietungen, Lochungen u. dergl.

---

150) D. R.-P. Nr. 31263 u. 36769.

151) Siehe: Theil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 147, S. 176) dieſes »Handbuches« — ferner: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 297 — endlich: Deutſche Bauz. 1888, S. 115.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den Zinküberzug mit erhalten. Es mag hier noch das bei Maſchinentheilen ſchon vielfach verwendete Verfahren von *Bower-Barff*[152]) erwähnt werden, nach welchem durch Zuführen von Waſſerdampf und heiſser Luft zu dem in einem Ofen erhitzten Eiſen eine feſt haftende und weitere Oxydation ausſchlieſsende Schicht von Magnetoxydul (Fe_4O_3) auf der Oberfläche gebildet wird. Die bisherigen Erfahrungen laſſen daſſelbe auch für nicht weiter zu bearbeitende ſchwere eiſerne Bautheile geeignet erſcheinen.

112. Eiſentheile in Cement gelagert.

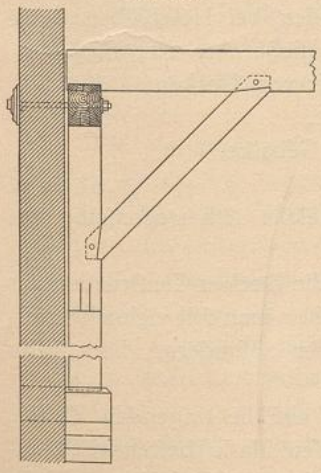
Bezüglich der ganz in Cement-Mörtel oder Cement-Beton eingelagerten Eiſentheile, z. B. der Träger in Decken aus Cement-Beton oder Cement-Mauerwerk, iſt die Beobachtung gemacht worden, daſs ſie ſelbſt in etwas feuchter Lage vor dem Roſten geſchützt ſind, wahrſcheinlich weil ſich das Roſten hindernde Verbindungen des Eiſens mit den Beſtandtheilen des Cementes auf der Eiſenoberfläche bilden. Dieſe Erſcheinung iſt beſonders wichtig für die Drähte in *Rabitz*- oder *Monier*-Platten. Man hat kein Bedenken getragen, eiſerne Träger ſelbſt dann in Beton vollkommen unzugänglich einzubetten, wenn ſie auch nach ihrer Lage dauernd der Feuchtigkeit ausgeſetzt ſind; ja man hat bei bedeutenden Bauwerken in dieſer vollſtändigen Einbettung das beſte Mittel zum Schutze unangeſtrichener und nicht verzinkter Eiſentheile vor dem Roſte erkannt[153]).

c) Feuchtigkeitsſchutz für die Freiſtützen.

113. Hölzerne Freiſtützen.

Freiſtützen bedürfen eines Schutzes gegen Feuchtigkeit vorwiegend, wenn ſie aus Holz beſtehen. Kann ein erhebliches Maſs von Feuchtigkeit den Stützenfuſs erreichen, ſo iſt die Verwendung von Holz ausgeſchloſſen. Da die Stützen meiſt ſteinerne Sockel erhalten, ſo ſind ſie der Einwirkung der im Mauerwerk ſtets enthaltenen Feuchtigkeit immer ausgeſetzt, und zwar mit der unteren Hirnfläche, welche dafür beſonders empfindlich iſt. Man ſoll daher die Stützen nur unter günſtigſten Verhältniſſen unmittelbar auf den Stein ſetzen; im Allgemeinen ſoll eine Zwiſchenlage zwiſchen beide gebracht werden, welche am beſten aus einer Kupfer- oder Bleiplatte, weniger gut aus einem kurzen Stücke Querholz beſteht.

Fig. 245.



Im Freien muſs man für ſchnellen Abfluſs des Tagewaſſers vom Fuſse ſorgen, daher die unterliegenden Steine vom Umfange des Holzes aus ſtark abſchrägen und die Stütze nicht, wie es ſonſt die Regel bildet, in eine Vertiefung des ſteinernen Unterbaues ſtellen oder ſie mit dieſem verdollen, wie dies für geſchützte Lage z. B. in Fig. 245 dargeſtellt iſt.

114. Eiſerne Freiſtützen.

Hohle eiſerne Stützen können vom Waſſer gefährdet werden, wenn ſie, dem Froſte ausgeſetzt, als Abfallrohre benutzt oder ſo angeordnet ſind, daſs unbeabſichtigter Weiſe Waſſer hineingelangen kann. Die Benutzung als Abfallrohr iſt nicht zu empfehlen; läſſt ſie ſich nicht umgehen, ſo ſetze man ein beſonderes, wo möglich guſseiſernes Abfallrohr in die Stütze, laſſe dieſe unten völlig offen, und

---

[152]) Siehe: Theil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 209, S. 205) dieſes »Handbuches« — ferner: Zeitſchr. d. Ver. deutſch. Ing. 1883, S. 141.

[153]) Siehe: *M. am Ende. Agricultural hall, London. Engineer*, Bd. 62, S. 399.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

durchbohre ihre Wandungen mit kleinen Löchern in nicht zu weiten Abſtänden, um bei etwaiger Undichtigkeit dem Waſſer ſchnellen Abfluſs und etwa ſich bildendem Eiſe Gelegenheit zur Ausdehnung zu geben, da letzteres anderenfalls die Säule zerſprengt. Auch wenn keine Waſſerabführung durch die Säule geht, bohre man Entwäſſerungslöcher ſo ein, daſs zufällig, z. B. während des Baues, hineingelangendes Waſſer freien Abfluſs findet[154]).

d) Schutzmittel gegen Schalldurchläſſigkeit.

115. Hellhörigkeit.

In den meiſten Fällen iſt die Verbreitung und Fortpflanzung des Schalles, die ſog. Hellhörigkeit der Decken-Conſtructionen, ſtörend; am läſtigſten dürfte ſie wohl in Wohnhäuſern ſein, weil die verſchiedenen Geſchoſſe in der Regel nicht von einer und derſelben, ſondern von verſchiedenen Familien bewohnt werden.

Es wurde bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 295, S. 372) dieſes »Handbuches« — bei Beſprechung der Schalldurchläſſigkeit von Wänden — geſagt, daſs in der fraglichen Richtung verhältniſsmäſsig wenige Erfahrungen vorliegen; die Phyſik hat ſich mit der Prüfung der Stoffe auf ihre Schalldurchläſſigkeit noch wenig oder gar nicht beſchäftigt.

Aeuſserſt ungünſtig ſind bezüglich der Schalldurchläſſigkeit die am häufigſten angewandten hölzernen Balkendecken mit darüber befindlichem Holzfuſsboden, und unter dieſen ſind es beſonders die Balkenlagen ohne Ausfüllung der Fache, welche in dieſem Sinne am ſtörendſten ſind. Allein auch bei gewiſſen eiſernen Decken-Conſtructionen ſind Verbreitung und Fortpflanzung des Schalles ſehr ſtark und eben ſo bei Fuſsböden, welche aus einfachen, dünnen, nicht durch unelaſtiſche Stoffe am Schwingen verhinderten Mörtelplatten beſtehen.

So weit die vorliegenden Erfahrungen ausreichen, giebt es — abgeſehen von der Herſtellung ſehr ſchwerer und daher durch mäſsige Kräfte nicht in Schwingungen zu verſetzender Decken, wie z. B. der ganze Windelboden bei Holzbalken (ſiehe Art. 30, S. 41) oder Ausrollen mit vollen Backſteinen (ſiehe Art. 61, S. 63) — vier Hauptmittel zur Bekämpfung der Schalldurchläſſigkeit von Decken:

1) Abſonderung des Fuſsbodens von der Balkenlage,

2) Abſonderung der Decke im engeren Sinne vom Gebälke,

3) Anordnung von Hohlräumen und

4) Zuſammenſetzung voller Decken aus Lagen, welche ſich gegenſeitig die Eigenſchaft nachtönender Platten nehmen.

116. Abſonderung des Fuſsbodens von der Balkenlage.

Durch das erſte Mittel ſoll verhindert werden, daſs die Decken-Conſtruction aus einem einzigen dichten, zuſammenhängenden Körper beſtehe; man ſoll vielmehr Fuſsboden und Balkenlage durch geeignete Stoffe von einander abſondern. Dies kann in zweifacher Weiſe geſchehen.

α) Man lege die Fuſsbodenbretter nicht unmittelbar auf die tragenden Theile, ſondern ordne über dieſen zunächſt eine aus einer poröſen Maſſe beſtehende Auffüllung an, verlege in dieſe thunlichſt ſatt beſondere Lagerhölzer und befeſtige die Fuſsbodenbretter erſt auf dieſen. Zu dieſem Ende iſt es nothwendig, daſs man bei Holzbalkenlagen einen beſonderen Bretter-Zwiſchenboden herſtellt, auf dem die Auffüllung lagert. Dies kann entweder nach Art der Einſchubböden (ſiehe Art. 32, S. 42) geſchehen oder in der in Oeſterreich üblichen Conſtructionsweiſe der Decken;

154) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 608.

dort kommt auf die Tragbalken zunächſt ein ſog. Sturzboden (aus ungehobelten Brettern) zu liegen, auf den die Auffüllung aufgebracht wird.

Für die Auffüllung empfiehlt ſich Sand oder Steinkohlenlöſch [155]). Je höher dieſe Schicht iſt, deſto günſtiger iſt die Wirkung; unter 10 cm ſollte man kaum gehen; doch wird man nur ſelten eine noch gröſsere Höhe wählen, weil ſonſt die Conſtructionshöhe, welche die Decke in Anſpruch nimmt, eine zu bedeutende wird.

Muſter von Anordnungen der hier vorgeführten Art für die verſchiedenartigſten Decken-Conſtructionen zeigen Fig. 51 (S. 40), 84 (S. 52), 93 (S. 55), 94 (S. 56), 96 (S. 58), 106 (S. 63), 107 (S. 64) u. 150 (S. 81).

β) Will man die eben beſchriebene, immerhin mit nicht unbedeutenden Koſten verbundene Anordnung umgehen, ſo kann man der Hellhörigkeit der Decken wohl auch dadurch begegnen, daſs man zwiſchen Fuſsbodenbrettern und Gebälkoberkante Pappdeckel, Filz, Iſolir-Haarfilz etc. anbringt. Dieſes Mittel iſt allerdings weniger wirkſam, als das erſtgedachte. Eine Anordnung dieſer Art, unter vollſtändigem Wegfall der Füllung, iſt nach dem Muſter leichter amerikaniſcher Holzhäuſer in Fig. 74 (S. 47) dargeſtellt.

117. Abſonderung der Decke im engeren Sinne vom Gebälke.

Das zweite der angegebenen Hauptmittel beruht darauf, daſs man die Decke im engeren Sinne von der Balkenlage völlig abſondert, mit anderen Worten, daſs man zwiſchen beiden einen Hohlraum anordnet. Dieſe Abſonderung muſs eine vollſtändige ſein, d. h. die einzelnen Theile dieſer zwei Schichten dürfen an keiner Stelle mit einander in Zuſammenhang ſtehen; würde letzteres der Fall ſein, ſo würde der Hohlraum nicht nur nicht vortheilhaft, ſondern ſogar ſchädlich auftreten; er würde als Reſonanzkaſten wirken und den fortgepflanzten Schall verſtärken. Aus gleichem Grunde müſſen in den Decken-Conſtructionen überhaupt alle Hohlräume vermieden werden, welche eine gleiche Wirkung hervorbringen könnten; deſshalb unterſtopfe man auch die Fuſsbodenbretter auf das ſorgfältigſte. Eine vollſtändige Abſonderung von Gebälk und Decke wird man allerdings niemals erzielen können, weil die Wände, auf denen die Decken ruhen, ſtets eine gewiſſe Verbindung dieſer beiden Schichten hervorrufen werden; man muſs deſshalb dahin trachten, daſs dieſelbe möglichſt unſchädlich ſei.

Ein Verfahren, die in Rede ſtehende Abſonderung zu erzielen, wurde bereits in Art. 21 (S. 35) mitgetheilt. Dort wurde aus anderen Gründen das in Fig. 40 (S. 35) dargeſtellte Verfahren als zweckmäſsig bezeichnet, wonach die Deckenſchalung nicht an die Unterflächen der eigentlichen Tragbalken, ſondern an beſondere ſog. Fehl- oder Blindbalken genagelt wird; die Unterfläche der letzteren iſt um einige Centimeter tiefer, als jene der erſteren gelegen [156]).

Ein anderes Verfahren zu gleichem Zwecke, welches auch für eiſerne Decken-Conſtructionen anwendbar iſt, beſteht darin, daſs man in einigem Abſtande unter dem Gebälke eine zweite, leicht ausführbare Decke, die wenig Conſtructionshöhe in Anſpruch nimmt, anbringt. Hierzu ſind *Rabitz*- und *Monier*-Decken (ſiehe Art. 45, S. 52 u. Art. 46, S. 53) beſonders geeignet, und es kann dieſes Mittel auch bei ſchon beſtehenden Decken, welche ſtark ſchalldurchläſſig ſind, in Anwendung kommen.

Die Verwendung der *Rabitz*-Platte als nahezu vollſtändig unabhängigen Conſtructionstheiles unter einer Balkenlage iſt durch Fig. 85 (S. 52) erläutert; auch die

---

155) Von den Keſſelfeuerungen herrührende Schlacken und Steinkohlenaſche, möglichſt rufsfrei. — Vergl. hierüber auch Art. 27 (S. 39).

156) Vergl.: Deutſche Bauz. 1892, S. 119.

in erſter Linie aus der Rückſicht auf Feuerſicherheit hervorgegangene amerikaniſche Anordnung in Fig. 74 (S. 47) kann hier angeführt werden. Letztere kann jedoch ohne eine gewiſſe Verbindung der Decke im engeren Sinne mit den Balken durch die Nägel nicht beſtehen, und auch eine ganz ſelbſtändige dünne *Rabitz-* oder *Monier-*Decke würde des ſtarken Durchhängens wegen auf Schwierigkeiten ſtoſsen, weſshalb auch ſie wenigſtens durch Hängeſchlingen aus Draht mit den Balken in Verbindung zu bringen ſein wird (ſiehe Fig. 85, S. 52). Damit die untergehängte Decke dann nicht als Schallboden wirke, decke man ſie mit einer dünnen Schicht eines ſchlechten Schallleiters (Sand, Aſche, Kieſelguhr, Torfgruſs) ab (ſiehe Fig. 96 u. 97, S. 58 u. 59). Auch Samenflügel ſind für dieſen Zweck empfohlen[156]); ſie werden jedoch als organiſcher Stoff und wegen ihrer Feuergefährlichkeit von anderer Seite bekämpft[157]).

118. Anordnung von Hohlräumen.

Die Anordnung von Hohlräumen in einer ſonſt vollen Decke als drittes Mittel kommt namentlich bei den aus Thon gebrannten Terracotten oder Hohlziegeln für die Fachfüllungen nach den verſchiedenen Muſtern (ſiehe Fig. 80 u. 81 [S. 51], 115 [S. 68], 120 [S. 70], 121 bis 124 [S. 71]) in Frage. Dieſe Hohlräume wirken in der beſprochenen Richtung weniger unmittelbar, als mittelbar dadurch, daſs ſie einerſeits die Fuſsbodenlage von der Deckenlage in mehr oder weniger wirkſamer Weiſe von einander abſondern, andererſeits die Herſtellung einer ſehr dicken und dabei doch nicht allzu ſchweren Decke aus einem vergleichsweiſe ſchlechten Schallleiter ermöglichen. Neben der groſsen Dicke verhindern auch die die Gleichmäſsigkeit des Gefüges ſtörenden Fugen, welche die ganze Decke durchſetzen, eine Schallübertragung durch Schwingungen, wie bei einem Schallboden.

119. Zuſammenſetzung aus mehreren Lagen.

Das vierte Mittel, die Zuſammenſetzung aus mehreren Lagen, kommt namentlich da zur Verwendung, wo die Fachfüllungen aus plattenartigen Körpern beſtehen, alſo namentlich bei den Betondecken. Platten von in ſich gleichartigem Gefüge geben ſelbſt bei ziemlicher Stärke gute Schallböden, namentlich bei groſser Feſtigkeit. Man kann ſchalldämpfend auf ſie einwirken, wenn man ſie mit einer unelaſtiſchen, weicheren Schicht auf die ganze Ausdehnung in innige Berührung bringt, welche das Entſtehen regelmäſsiger Schwingungen verhindert. Als ein für Wohnräume häufig ſchon ziemlich erfolgreiches Mittel iſt hier das Belegen einer dünnen Plattendecke aus Beton mit Korkteppich aufzuführen.

In wirkſamerer Geſtalt tritt dieſes Mittel auf, wenn die feſte tragende und gewöhnlich ſtark ſchallende Platte zunächſt mit einer loſen, den Schall ſchlecht leitenden Schicht bedeckt wird, zu der man z. B. ganz mageren Schlacken-Beton verwenden kann. Anordnungen ſolcher Art für verſchiedene Decken-Conſtructionen zeigen Fig. 118 (S. 70), 150 bis 153 (S. 81), 135 (S. 76) u. 82 (S. 51). Noch wirkſamer wird dieſes Mittel ſein, wenn man die loſe, dumpfe Schicht auch oben wieder mit einer feſteren für die Fuſsbodenausbildung abdeckt, da dann die gegenſeitige Störung der Schwingungen der dünnen Platten in zwei Ebenen ſtattfindet. Eine derartige Ausführung iſt in Fig. 230 (S. 128) angedeutet.

---

157) Siehe: Deutſche Bauz. 1892, S. 139.

B. Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von Carl Körner.

8. Kapitel.

Allgemeines.

120. Erklärung.

Ein Gewölbe ist ein System von einzelnen, besonders gestalteten und nach bestimmten Gesetzen vereinigten Körpern, welche sich in ihren Seitenflächen an einander fügen und in ihrer Gesammtheit sich gegen feste, selbständig auftretende Stützkörper in der Weise setzen, dass sie den Raum zwischen diesen Stützkörpern nicht allein frei schwebend überdecken, sondern je nach Umständen auch fähig sind, noch fremde Lasten mit Sicherheit zu tragen.

Im Allgemeinen ist vorwiegend Steinmaterial, natürliches oder künstliches, für die Gewölbkörper in Betracht zu ziehen, so dass ein Gewölbe als ein sog. massives Bauwerk anzusehen ist.

Hiernach heissen gewölbte Decken auch Steindecken oder massive Decken.

121. Geschichtliches.

Die Kunst der Herrichtung von Gewölben, wie solche schon in grauer Vorzeit bei den verschiedensten Anlagen, wie bei Canälen, Thoren, Brücken oder bei den Deckenbildungen von Grabcapellen, Schatzhäusern, Thermen, Tempeln u. s. w. auftreten, muss als eine sehr alte gelten, wie die neueren Forschungen auf kunstgeschichtlichem Gebiete ergeben haben und worüber bereits in Theil II, Band 1 dieses »Handbuches« das Nähere mitgetheilt worden ist.

Die eigentliche höhere Entwickelung des Gewölbebaues ist jedoch den Römern zuzuschreiben. Sie waren fähig, unter Verwendung des ihnen reichlich zu Gebote stehenden, ausgezeichneten Baumaterials und unter geschickter Verwerthung der ihnen im Bau von Gewölben überkommenen Kenntnisse die engeren Grenzen der Bildung derartiger Constructionen zu überschreiten und Gewölbebauten zu schaffen, welche noch heute selbst in ihren Resten Bewunderung erregen und den Anspruch erheben, zu den Gross-Constructionen gezählt zu werden. Weisen dieselben auch eine grosse Anhäufung von Massen auf, die unter einander verkittet sind, so ist die Kühnheit, mit welcher die Ausführung derselben vorgenommen wurde, doch zugleich auch wieder ein lebendiger Anstoss zu neuerem Schaffen geworden.

Die byzantinische Baukunst hat sich die Kunst der Römer zu Nutzen gemacht und ihren Gewölbebauten namentlich durch geringere Massenbildung einen schwungvollen Ausdruck zu geben gewusst und somit einen weiteren Fortschritt im Gewölbebau veranlasst, welcher sich denn auch später in der romanischen Baukunst wiederum mit zur Geltung gebracht hat. Blieb in der romanischen Baukunst der Gewölbebau in Folge der Grundrisanordnung ihrer Basilika mit vorwiegend quadratischer Theilung in verhältnismässig einfacher Ausbildung, so konnte beim Verlassen dieser Grundrissform ein weiterer Fortschritt in der Anlage und Ausführung der gewölbten Decke nicht unterbleiben. Das Zusammenfügen von quadratischen mit rechteckigen Grundristheilungen der christlichen Kirchen beseitigte die beschränktere Anordnung des Grundrisses der romanischen Basilika und forderte den denkenden Baumeister des Mittelalters auf, ein besonderes Gewölbesystem zu ersinnen, welches in zweckmässiger, sicherer, leichter und schöner Weise sein reich gegliedertes Bauwerk im Inneren überdeckte. Den Baumeistern der gothischen Baukunst ist es gelungen, ein derartiges Wölbsystem zu schaffen. Erhabene Meisterwerke sind in den Domen dieser Bauzeit als strahlende Vorbilder der Wölbkunst geboten; stets und ständig werden sie Bewunderung und Nachahmung finden!

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Von diesem Zeitabschnitt an haben neue Wölbsysteme für Grofs-Constructionen sich nicht mehr gezeigt. Für Decken als Grofs-Constructionen, namentlich für Profanbauten, ist das Steinmaterial durch das Eisen zurückgedrängt, und bei den mit gewaltigen Abmessungen behafteten Raumüberdeckungen hat dieses Material die Führung übernehmen müssen.

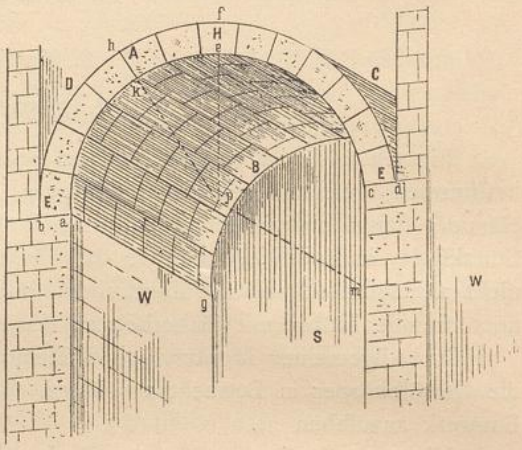
Allein für Kirchen- und Profanbauten von kleinerem oder gröfserem Umfange werden gewölbte Decken nach wie vor in geeigneter Weise in Anwendung gebracht.

122. Bestandtheile und Bezeichnungen.

Die Bestandtheile der »gewölbten Decke« oder kurz des »Gewölbes« haben Benennungen erhalten, welche im Folgenden nach Fig. 246 zusammengestellt sind.

1) Der Gewölbkörper oder das eigentliche Gewölbe *abcd* ist die Gesammtheit der die Decke des Raumes bildenden einzelnen Steine.

Fig. 246.



2) Widerlagsmauern oder Widerlager *W* sind die das Gewölbe stützenden Mauerkörper; sie haben dem durch den Gewölbkörper entstehenden Gewölbschube sicheren Widerstand zu leisten.

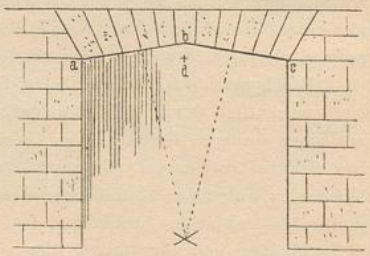
3) Stirnmauern oder Schildmauern *S* sind seitliche Begrenzungsmauern eines mit einem Gewölbe überdeckten Raumes, welche nicht als Widerlager auftreten. Sind solche Schildmauern nicht vorhanden, so nennt man das Gewölbe selbst ein offenes Gewölbe.

4) Laibung *B* ist die innere oder untere Gewölbfläche.

5) Rücken *C* ist die äufsere oder obere Gewölbfläche.

6) Gewölblinie, Bogenlinie oder Gewölbbogen ist eine gesetzmäfsig gebildete krumme Linie *aec*, bezw. *bfd*, welche die Gewölbflächen *B*, bezw. *C* erzeugt. Ist diese Gewölblinie eine gerade Linie, so entsteht ein scheitrechtes oder gerades Gewölbe (scheitrechter Bogen, Sturz); ist dieselbe eine gerade gebrochene Linie *abc* (Fig. 247), so erhält man das scheitrechte Gewölbe mit Stich; die Höhe des Stiches ist *db*.

Fig. 247.



7) Leitlinie *pm* ist eine gerade Linie oder eine gesetzmäfsig gebildete krumme Linie, an welcher die Ebene der Gewölblinie der beabsichtigten Erzeugung der Gewölbfläche gemäfs fortbewegt, bezw. um welche jene Ebene gedreht werden kann. Die Leitlinie wird zur Gewölbaxe, wenn bei jeder neuen Stellung der Ebene der Gewölblinie die einander entsprechenden Punkte der Bogenlinie auch stets den ihnen zugewiesenen entsprechenden Abstand von dieser Leitlinie bekommen. Die Länge der Gewölbaxe bestimmt die Länge des Gewölbes. In einzelnen Fällen kann auch eine gerade Linie die Erzeugende und eine gesetzmäfsig gebildete krumme Linie die Leitlinie der Gewölbflächen werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

8) Scheitelpunkt (*e* in Fig. 246, *b* in Fig. 247) ist derjenige Punkt der inneren Gewölblinie, für welchen eine höchste Tangente parallel zur geraden Verbindungslinie der Kämpferpunkte fest gelegt werden kann.

9) Scheitellinie ist diejenige Linie, deren Elemente die sämmtlichen Scheitelpunkte der inneren Gewölbfläche sind.

10) Gewölbanfang oder Gewölbfuss *ab*, bezw. *cd* (Fig. 246) ist der untere, unmittelbar auf dem Widerlager beginnende Gewölbtheil.

11) Widerlagsfläche oder Gewölbesohle ist diejenige Fläche, deren Elemente durch die Gesammtheit des Gewölbfusses gebildet sind.

12) Kämpferlinien *ag* sind die Schnittlinien der inneren Gewölbfläche mit der Widerlagsfläche. Die Elemente der Kämpferlinie sind die Kämpferpunkte.

13) Spannweite oder Sprengweite *ac* ist die Entfernung der Kämpferpunkte in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie.

14) Pfeilhöhe oder Stichhöhe *pe* ist die grösste, lothrecht genommene Ordinate der erzeugenden Bogenlinie, von der Verbindungslinie der in ihrer Ebene gelegenen Kämpferpunkte aus gemessen.

15) Pfeil- oder Stichverhältniss ist die Zahl, entstanden aus der Masszahl der Pfeilhöhe, getheilt durch die Masszahl der Spannweite.

16) Haupt des Gewölbes oder Gewölbestirn *abfedc* ist die Fläche zwischen der inneren und äusseren Bogenlinie in der Ebene der Erzeugenden (Vor- und Hinterhaupt).

17) Gewölbsteine *A* sind die besonders, meistens keilförmig gestalteten und an einander gefügten Steinkörper. Besonders hervorzuhebende Gewölbsteine sind die Anfänger oder Kämpfersteine *E*, welche unmittelbar auf dem Widerlager ruhen, und die Schlusssteine *H*, welche die Scheitellinie enthalten.

18) Gewölbfugen *hk* sind die Trennungen zwischen den einzelnen Wölbsteinen in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie; sie liefern die Theilung eines Gewölbes.

Flächen, welche das Gewölbe schneiden, indem dieselben alle Fugen von der Beschaffenheit *hk* enthalten, heissen Lagerfugenflächen, ihre Schnittlinien mit der Laibung, bezw. mit dem Rücken des Gewölbes heissen Lagerfugenkanten oder kurzweg Lagerfugen. Dagegen nennt man Stossfugenflächen diejenigen Schnittflächen, welche durch die Ebenen der erzeugenden Bogenlinie beim Durchschnitt mit dem Gewölbkörper entstehen. Die Schnittlinien dieser Flächen mit der inneren, bezw. äusseren Gewölbfläche heissen Stossfugenkanten oder kurzweg Stossfugen. In einem Gewölbe darf niemals eine sog. Schlussfuge, d. h. eine Fuge, welche die Scheitelpunkte enthalten würde, vorhanden sein.

Die Lagerfugenflächen begrenzen die Wölbschichten oder Wölbscharen. Die Stossfugenflächen theilen die einzelnen Wölbschichten in Gewölbsteine ab. Die Kämpferschicht enthält sämmtliche Kämpfersteine; die Schlusssteinschicht wird aus sämmtlichen Schlusssteinen gebildet.

19) Gewölbstärke oder Gewölbdicke wird ausgedrückt durch das Längenmass der Gewölbfugen, im Scheitel durch das Höhenmass in der Mitte des Schlusssteines.

20) Gewölbeschenkel heissen die rechts und links von einer durch die Scheitellinie gelegten lothrechten Ebene befindlichen Gewölbstücke.

21) Gewölbzwickel *D* nennt man den Zwischenraum vom Gewölbrücken bis zu der über der Kämpferlinie aufgeführten Widerlagsmauer.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Alle Bezeichnungen, welche hier für ein Gewölbe gegeben ſind, werden auch für die ſog. Mauerbogen, Thür- oder Fenſterbogen (ſiehe hierüber Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abſchn. 1, B: Wand-Oeffnungen) dieſes »Handbuches« unter b), ſo wie für die ſog. Strebebogen beibehalten, d. h. für Gewölbe von geringer Längenabmeſſung, von denen erſtere zum oberen Abſchluſs von Maueröffnungen, letztere zur beſonderen Abſteifung von Gewölbwiderlagern dienen.

123. Eintheilung der gewölbten Decken.

Im Hochbauweſen werden Gewölbe vorzugsweiſe zum oberen Abſchluſs von ſeitlich durch Mauerwerk begrenzten Räumen, alſo zur Herſtellung von raumabſchlieſsenden Decken in Anwendung gebracht. Geſtaltung des Grundriſſes, Raumanordnung und Raumtheilung ſetzen ſich mit der Deckenbildung der Räume jederzeit in ein Abhängigkeitsverhältniſs.

Bei der Mannigfaltigkeit in der Durchbildung des Grundriſſes; bei der Verſchiedenheit zwiſchen den Mauermaſſen, welche als feſte, dem Gewölbſchube widerſtehende Stützkörper bei der Raumanordnung in Frage kommen, und den Mauerkörpern, welche nur als ſeitliche Begrenzungen des Raumes auftreten; bei der eingehenden Berückſichtigung der beſonderen Eigenſchaften des zu Gebote ſtehenden Mauer- und Wölbmaterials; bei der Abwägung der Belaſtung der zu ſchaffenden Baukörper — haben ſich für die Formgebung und Conſtruction der den Räumen zuzuweiſenden »gewölbten Decken« zahlreiche Geſichtspunkte und Forderungen ergeben, deren vollſtändige, richtige und zweckmäſsige Beachtung und Erfüllung die hervorragendſte Aufgabe im Bau der gewölbten Decken iſt.

Die gewölbten Decken im Hochbauweſen zeigen im Vergleich mit den meiſtens offenen Gewölben des Ingenieurbauweſens einen weit gröſseren Reichthum an Form und an Gliederung der Anlage, ſo daſs die eigentliche Gewölbetechnik vorzugsweiſe dem Gebiete des Hochbauweſens angehört.

Um bei der geſchilderten Vielſeitigkeit der Anordnung gewölbter Decken die Conſtruction derſelben in überſichtlicher Weiſe behandeln zu können, theilt man die für ſolche Decken maſsgebend werdenden Gewölbe in beſondere Gruppen ein. So vielfach nun die Zahl dieſer Gruppen gebildet werden könnte, wenn auch die Eigenſchaften von Gewölbformen mit berückſichtigt werden ſollten, welche mehr in zweiter Linie Beachtung verdienen, ſo iſt es doch möglich, die Gruppenzahl der in den Vordergrund tretenden Gewölbe weſentlich einzuſchränken.

Im Groſsen genommen ſind zwei Hauptgruppen der Gewölbe zu unterſcheiden: cylindriſche und ſphäriſche Gewölbe.

Bei den cylindriſchen Gewölben, für welche die Bezeichnung »cylindriſch« im weiteren Sinne des Wortes zu nehmen iſt, gehören die Laibungsflächen der Gewölbe im Allgemeinen Cylinderflächen an, welche entſtanden ſind durch Fortbewegen einer ebenen, geſetzmäſsig gebildeten krummen Linie als Erzeugende an einer geraden oder einer ebenen, bezw. räumlichen krummen Linie als Leitlinie, oder umgekehrt durch Fortbewegen einer

Fig. 248.

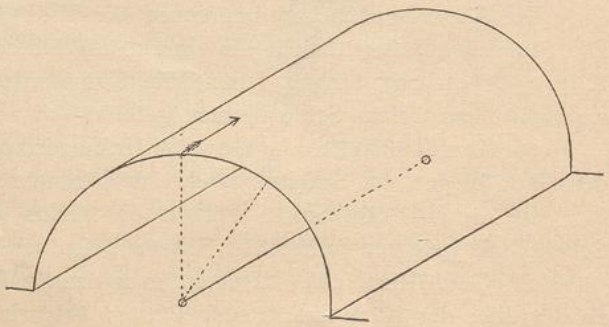
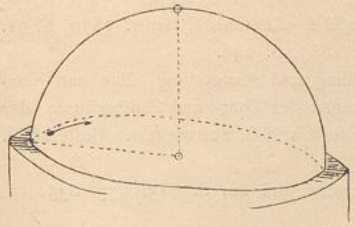


Fig. 249.



geraden oder einer krummen Linie als Erzeugende an einer ebenen krummen Linie als Leitlinie.

Bei den ſphäriſchen Gewölben entſteht die Laibungsfläche durch Drehen einer ebenen, geſetzmäſsig gebildeten krummen Linie um eine feſte gerade Linie.

In der That ſind aus dem einfachſten cylindriſchen Gewölbe, durch einen Halbkreis in der Laibungsfläche erzeugt (Fig. 248), und aus dem einfachſten ſphäriſchen Gewölbe, deſſen Laibungsfläche einer Halbkugel (Fig. 249) angehört, die vielfachen ſpäter entwickelten Gewölbformen entſtanden.

Von den Hauptgruppen umfaſſt, benennt man die Glieder derſelben folgendermaſsen:

a) Cylindriſche Gewölbe:
   1) das Tonnen- oder Kufengewölbe;
   2) das Kappengewölbe oder die preuſsiſche Kappe;
   3) das Kloſtergewölbe;
   4) das Muldengewölbe;
   5) das Spiegelgewölbe;
   6) das Kreuzgewölbe.

Den Uebergang vom cylindriſchen Kreuzgewölbe zur Gruppe der ſphäriſchen Gewölbe bildet

   7) das gothiſche Kreuzgewölbe, und
   8) das Fächergewölbe oder das Trichtergewölbe.

b) Sphäriſche Gewölbe:
   9) das Kugel-, bezw. das Kuppelgewölbe, und
   10) das böhmiſche Kappengewölbe.

Beſondere Bildungen, deren Form wohl den Gewölbeformen entſpricht, deren Conſtruction aber weſentlich von der charakteriſtiſchen Durchbildung und Ausführung des in der Erklärung der Gewölbe gegebenen Weſens derſelben abweicht, ſind:

   11) die Guſsgewölbe, aus einem Guſsmaterial (Guſsmörtel, Beton) gebildet, und
   12) die hängenden Gewölbe, wobei die ſtützenden Widerlagstheile, von oben durch beſondere Trag-Conſtructionen aufgehängt, frei ſchwebend gehalten werden.

Nach dieſen Erörterungen ſollen die einzelnen Gewölbe in Rückſicht auf ihre Geſtaltung und Ausführung für die Anlage der gewölbten Decken näher beſprochen werden.

Literatur

über »Gewölbe im Allgemeinen«.

Leybold, L. Syſtematiſche Zuſammenſtellung der Gewölbeformen und Conſtruction. Kaiſerslautern 1856.

Leybold, L. Syſtematiſche Zuſammenſtellung der Gewölbeformen und deren Conſtruktion. Romberg's Zeitſchr. f. pract. Bauk. 1858, S. 3.

Vaulting and groining. Building news, Bd. 10, S. 951; Bd. 11, S. 22, 76, 112, 132.

Dejardin. *Routine de l'établiſſement des voûtes, ou recueil de formules pratiques et de tables déterminant à priori et d'une manière élémentaire, le tracé, les dimenſions et le métrage des voûtes d'une eſpèce quelconque.* Neue Ausg. Paris 1865.

Bosc, E. *Étude pratique fur la conſtruction des voûtes. Gaz. des arch. et du bât.* 1877, S. 46, 71, 99, 111, 122.

Gottgetreu, R. Beitrag zur geſchichtlichen Entwickelung der Gewölbe. Zeitſchr. f. Bauw. 1879, S. 91.

Ueber Bruchſteingewölbe in magerem Cementmörtel. Baugwks.-Ztg. 1883, S. 246.

Menzel, C. A. Der Gewölbebau dargeſtellt in Bezug auf Entſtehung und Anwendung, Bau und Konſtruktion, Tragfähigkeit etc. mit Berückſichtigung der Wölbungen der Thür- und Fenſterſturze, der Rauchmäntel und der gewölbten Treppen. Herausg., verm. u. verb. von C. Schwatlo. Halle 1866. — 2. Aufl. von A. C. Menzel & G. Franke. 1875.

Eagles, T. H. *On vaulting. Builder*, Bd. 32, S. 496. *Building news*, Bd. 26, S. 625, 633, 635. *Vaulting. Builder*, Bd. 32, S. 1035.

Conſtruction der Gewölbe. Haarmann's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1876, S. 7, 21.

9. Kapitel.

Tonnen- oder Kufengewölbe.

a) Geſtaltung der Tonnengewölbe.

124. Gerades Tonnengewölbe; Halbkreisgewölbe.

Das einfache Tonnen- oder Kufengewölbe beſitzt als Laibungsfläche die halbe Oberfläche eines geraden Kreiscylinders. Die Gewölbaxe ſteht alſo rechtwinkelig zur Ebene des erzeugenden Halbkreiſes, weſshalb ein ſolches Gewölbe auch ein »gerades Tonnengewölbe« genannt wird. Jeder Schnitt, parallel zu dieſer Ebene geführt, liefert wiederum denſelben Halbkreis und dieſem entſprechende Stoſsfugenkanten. Jede Ebene, welche durch die Gewölbaxe geführt wird, ſchneidet die Laibungsfläche in geraden, der Gewölbaxe parallelen Linien oder geraden Lagerfugenkanten. Die Pfeilhöhe dieſes Gewölbes iſt gleich der halben Spannweite desſelben, mithin wird das Pfeilverhältnis $\frac{1}{2}$.

Fig. 250.



In Fig. 250 iſt ein gerades, einfaches Tonnengewölbe dargeſtellt.

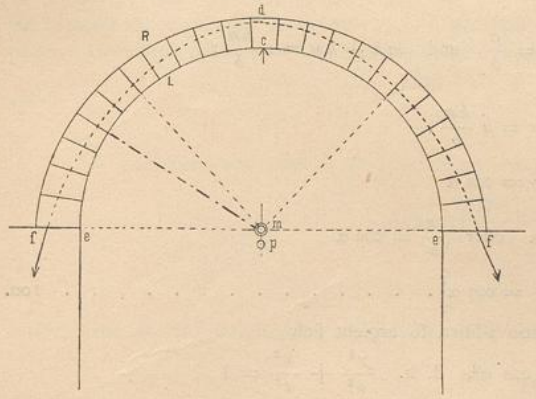
Die Rückenlinie deſſelben iſt ein zur inneren Wölblinie concentriſch geführter Halbkreis, ſo daſs für das Gewölbe überall die gleiche Gewölbſtärke vorhanden iſt. Die Widerlagskörper *A* ſtützen das Gewölbe. Die eine Widerlagsmauer iſt mit Oeffnungen verſehen, welche unterhalb der Kämpferſchicht *B* mit ſtarken Steinquadern *F*, »geraden Sturzen«, überdeckt ſind. Die Schildmauer *D* iſt durchbrochen und in ihrer Oeffnung oben mit einem halbkreisförmigen »Mauerbogen« abgeſchloſſen.

Die Stirn *BEB* des Gewölbes iſt durch die radial gerichteten Gewölbfugen ſo getheilt, daſs eine ungerade Anzahl gleich groſser Theilungen der Wölbſchichten *B*, *C*, *E* entſtanden, alſo eine Schluſsfuge vermieden und die Anordnung einer Schluſsſteinſchicht *E* ermöglicht iſt, welche zu beiden Seiten von ſymmetriſch liegenden Gewölbeſchenkeln begleitet wird.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Lagerfugenkanten treten als gerade Linien auf, welche vom Vorhaupt bis zum Hinterhaupt durchlaufen, während die Stofsfugenkanten, welche Theile des erzeugenden Halbkreifes find, bei den einzelnen Wölbfchichten in Verband gefetzt, gegen die Lagerfugenkanten geführt find. Die einzelnen Wölbfteine haben eine keilförmige Geftalt. Die Gewölbefohle ift eine wagrechte Ebene; die Lagerfugenflächen ftehen fenkrecht zur Laibungsfläche und rechtwinkelig zur Stirn des Gewölbes, während die Stofsfugenflächen rechtwinkelig zu den Lagerfugenflächen und in Ebenen auftreten, welche parallel mit der Gewölbeftirn find.

Fig. 251.

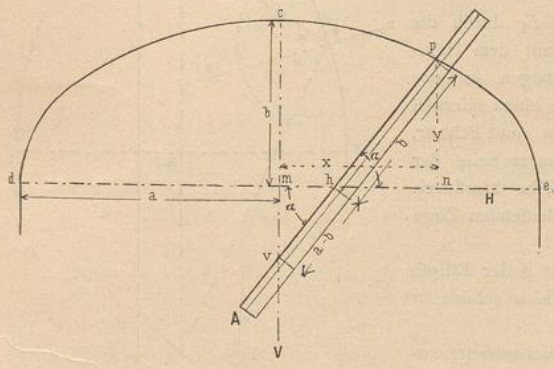


Aus ftatifchen Gründen ift häufig die Rückenlinie R (Fig. 251) auch bei den einfachen geraden halbkreisförmigen Tonnengewölben kein zur inneren Wölblinie concentrifcher Kreis, fondern ein Kreisbogen fdf mit dem Mittelpunkte p, welcher tiefer liegt, als der Mittelpunkt m der inneren Wölblinie L. Hierdurch tritt eine vom Scheitel cd aus bis zum Gewölbfufs ef ftetig wachfende Gewölbftärke auf; der Fugenfchnitt für das Gewölbe felbft erleidet aber hierdurch im Allgemeinen keine Aenderung.

125. Elliptifches Tonnengewölbe.

Ift die Laibungsfläche eines geraden Tonnengewölbes die halbe Oberfläche eines elliptifchen Cylinders, fo entfteht das elliptifche Tonnengewölbe. Ift in Fig. 252 die Pfeilhöhe mc die halbe kleine Axe der Ellipfe, während die grofse Axe de die Spannweite giebt, fo heifst ein folches elliptifches Gewölbe ein gedrücktes Tonnengewölbe, und andererfeits wird ein elliptifches Gewölbe ein überhöhtes Tonnengewölbe (Fig. 253) genannt, wenn die halbe grofse Axe mc der Ellipfe zur Pfeilhöhe und die kleine Axe de derfelben zur Spannweite genommen wird. Auch bei diefen elliptifchen Gewölben find die Lagerfugenflächen winkelrecht zur Laibungsfläche und fenkrecht zur Stirnebene des Gewölbes anzuordnen.

Fig. 252.



In Fig. 252 u. 253 find die Conftructionen für Ellipfen gegeben, welche zweckmäfsig für das Zureifsen derfelben auf dem Reifsboden (Gypseftrich, Bretterboden) in der Praxis Anwendung finden.

In Fig. 252 fei die Länge der halben grofsen Axe der Ellipfe $md = a$, diejenige der halben kleinen Axe $mc = b$. A fei eine Holzleifte mit gerader Kante vp. Auf derfelben ift $vp = a$ und $ph = b$ genau abgetragen und bezeichnet, fo dafs auch $vh = a - b$ ift.

Bewegt man diefe Leifte in der Weife, dafs der Punkt v fich dabei auf der lothrechten Linie V der kleinen Axe b und der Punkt h fich auf der wagrechten Linie H der grofsen Axe fortbewegt, fo wird durch den Punkt p ftets ein Ellipfenpunkt beftimmt. Sind folche Punkte p in gröfserer Zahl feft gelegt, fo kann das Zeichnen der Ellipfe leicht vorgenommen werden. Auf dem Zeichentifche benutzt man ftatt der Holzleifte einen Papierftreifen mit gerader Seitenkante.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dafs p mit den Coordinaten x, y ein Punkt der Ellipfe ift, folgt unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 252 durch nachftehende Ueberlegung. Es ift $\frac{y}{b} = \sin \alpha$, alfo

$$\frac{y^2}{b^2} = \sin \alpha^2 \quad \ldots \quad 98.$$

Ferner ift

$$x = mh + hn \quad \ldots \quad 99.$$

Aus der Aehnlichkeit der beiden rechtwinkeligen Dreiecke mhv und hnp ergiebt fich

$$\frac{mh}{hn} = \frac{a-b}{b};$$

folglich ift auch

$$\frac{mh+hn}{hn} = \frac{a-b+b}{b} = \frac{a}{b} \quad \text{und} \quad mh + hn = a\frac{hn}{b};$$

d. i. unter Benutzung von Gleichung 99

$$x = a\frac{hn}{b},$$

und, da

$$\frac{hn}{b} = \cos \alpha$$

ift, auch

$$x = a \cdot \cos \alpha \quad \text{oder} \quad \frac{x}{a} = \cos \alpha$$

und

$$\frac{x^2}{a^2} = \cos \alpha^2 \quad \ldots \quad 100.$$

Werden die beiden Gleichungen 98 und 100 addirt, fo ergiebt fich

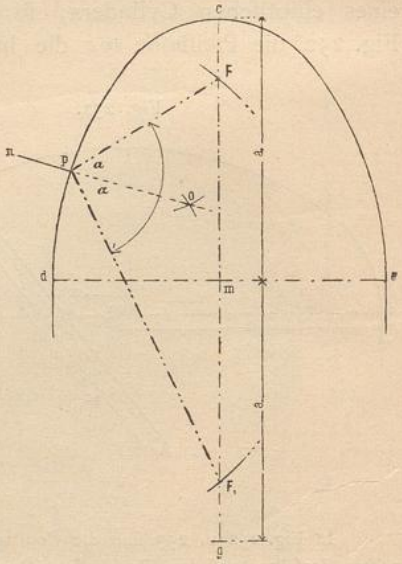
$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = \sin \alpha^2 + \cos \alpha^2, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1,$$

woraus

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2}(a^2 - x^2) \quad \ldots \quad 101.$$

als bekannte Mittelpunktsgleichung der Ellipfe folgt.

Fig. 253.



In Fig. 253 ift die Ellipfen-Conftruction mit Hilfe der Brennpunkte F, F_1 unter Benutzung der Eigenfchaft der Ellipfe, dafs die Summe der von irgend einem Ellipfenpunkte p nach den Brennpunkten gezogenen Leitftrahlen $pF + pF_1$ gleich der Länge $2a$ der grofsen Axe ift, angegeben.

Man beftimme die Brennpunkte F und F_1 durch die Schnittpunkte der aus dem Punkte d oder e mit dem Halbmeffer $dF = dF_1 = a$ befchriebenen Kreisbogen auf der grofsen Axe cg. Befeftigt man in F und F_1 je einen eifernen Nagel (Drahtftift), knüpft man hieran die Enden einer Schnur, deren Länge $cg = 2a$ ift, legt man an die innere Seite der Schnur einen Bleiftift und fpannt man diefelbe hierdurch leicht an, fo kann die Ellipfe in einem fortlaufenden Zuge »aufgeriffen« werden.

Die Normale pn für irgend einen Punkt p der Ellipfe ift der Halbirungsftrahl no des von den Leitftrahlen gebildeten Winkels FpF_1.

Ein ferneres, jedoch mehr auf dem Zeichenbrette angewendetes Verfahren zum Zeichnen einer Ellipfe, welches wohl die Methode der »Vergatterung« genannt wird, ift in Fig. 254 gegeben.

Man theilt die halbe kleine Axe $mc = me = b$ proportional mit der Theilung der halben grofsen Axe $dm = a$ und giebt den Ordinaten, welche den einzelnen Theilpunkten entfprechen, die ihnen zukommenden Längen der Ordinaten eines um m mit dem Halbmeffer b gefchlagenen Viertelkreifes.

Die proportionale Theilung von b und a erfolgt fehr einfach durch Benutzung der Strahlen dc und ce. Zieht man durch den beliebigen Punkt g die Linie gi parallel zu mc, fo fchneidet diefelbe den Strahl ce im Punkte h. Die Parallele zu de durch h geführt, fchneidet den Strahl dc in h_1, und die durch h_1 zu mc gezogene Parallele $i_1 h_1 g_1$ theilt in ihrem Fufspunkte g_1 die Länge $dm = a$ in demfelben Verhältniffe, wie der Punkt g die Länge $me = b$ getheilt hat.

Denn mit Bezugnahme auf Fig. 254 ist $\frac{x}{u} = \frac{a}{b}$, also

$$x = \frac{u}{b} a . \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 102.$$

Ist nun allgemein $u = \frac{1}{n} b$, so wird auch

$$x = \frac{\frac{1}{n} b a}{b} = \frac{1}{n} a .$$

Die Ordinate des Kreisbogens ce ist für den Punkt $g = gi = y$. Zieht man durch i wiederum die Parallele zu de, so wird die Gerade $g_1 h_1 i_1$ im Punkte i_1 geschnitten, und dieser Punkt ist ein Ellipsenpunkt. Denn man erhält aus dem rechtwinkeligen Dreiecke mgi

$$y^2 = b^2 - (b - u)^2 ,$$

auch

$$y^2 = 2bu - u^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 103.$$

Aus Gleichung 102 folgt $u = \frac{b}{a} x$. Setzt man diesen Werth in Gleichung 103, so wird

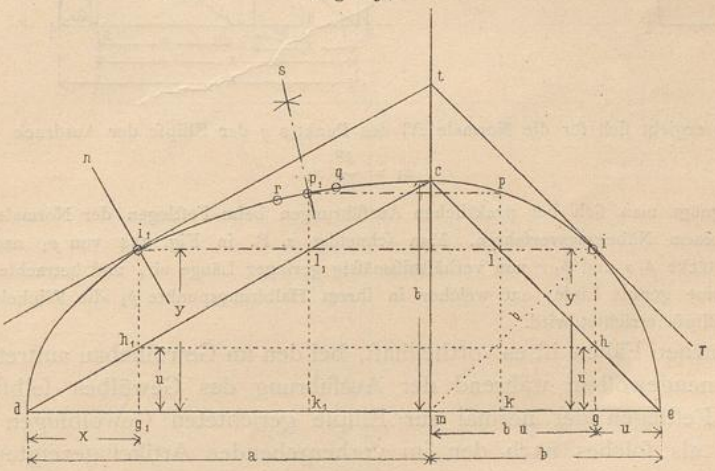
$$y^2 = \frac{2b^2 x}{a} - \frac{b^2}{a^2} x^2 ,$$

d. i.

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (2ax - x^2) , \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 104.$$

entsprechend der Scheitelgleichung der Ellipse mit den Halbaxen a und b.

Fig. 254.



Eben so ist der Ellipsenpunkt p_1 zu ermitteln. Um die Normale in dem beliebigen Ellipsenpunkte i_1 zu bestimmen, legt man in dem entsprechenden Punkte i des Kreisbogens ce die Kreistangente T fest. Dieselbe trifft die erweiterte Gerade mc im Punkt t, und, wie bekannt, ist die von t nach i_1 geführte Gerade die Tangente der Ellipse in i_1. Das Loth $i_1 n$ im Punkte i_1 auf ti_1 errichtet, giebt die Normale für diesen Punkt.

Das Festlegen der normalen Fugenrichtung bei einer Ellipse[158]) kann nach Fig. 255 auch in der folgenden Weise geschehen. Aus den Halbaxen a und b der Ellipse dce ist das Rechteck $mcke$ gezeichnet und in demselben sind die Diagonalen mk und ec gezogen. Für den beliebigen Punkt p der Ellipse, dessen Abscisse x ist, soll die Normale bestimmt werden.

Man fälle von p das Loth pg auf me, welches verlängert die Diagonale mk in f trifft. Von f fällt man das neue Loth fl auf die Diagonale ce, welches entsprechend erweitert die Seite me des Rechteckes in h schneidet. Die Verbindungslinie von h und p liefert die gesuchte Normale N. Auf Grund der Construction ist mit Anwendung der Bezeichnungen in Fig. 255 aus der Aehnlichkeit der Dreiecke

158) Siehe: *Annales des ponts et chaussées* 1886, II. Sem., S. 404.

hgf und cme zunächſt $\frac{z}{v} = \frac{b}{a}$, demnach

$$z = v\,\frac{b}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 105.$$

Da auch $\triangle fgm \backsim \triangle kem$ iſt, ſo erhält man $\frac{v}{x} = \frac{b}{a}$,

woraus

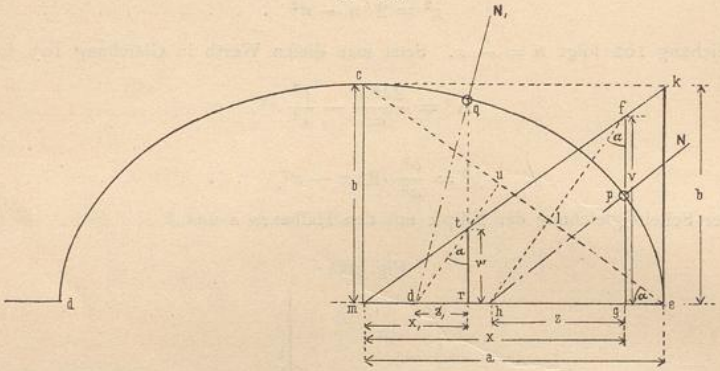
$$v = \frac{b}{a}\,x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 106.$$

Setzt man dieſen Werth für v in Gleichung 105, ſo wird

$$z = \frac{b^2}{a^2}\,x, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 107.$$

entſprechend dem Ausdruck für die Subnormale des Ellipſenpunktes p.

Fig. 255.



Eben ſo ergiebt ſich für die Normale N_1 des Punktes q der Ellipſe der Ausdruck

$$z_1 = \frac{b^2}{a^2}\,x_1.$$

Oft begnügt man ſich bei praktiſchen Ausführungen beim Feſtlegen der Normalen in Ellipſenpunkten mit einem Näherungsverfahren. Man ſchneidet z. B. in Fig. 254 von p_1 nach rechts und links gleiche Stücke $p_1 q$ und $p_1 r$ von verhältniſsmäſsig geringer Länge ab, und betrachtet das Ellipſenſtück qr als eine gerade Linie, auf welcher in ihrem Halbirungspunkte p_1 die Winkelrechte $p_1 s$ als Normale der Ellipſe errichtet wird.

126. Korbbogengewölbe.

In manchen Fällen iſt es vortheilhaft, bei den im Gewölbebau auftretenden elliptiſchen Tonnengewölben während der Ausführung des Gewölbes ſelbſt ein noch einfacheres Feſtlegen der normal zur Ellipſe gerichteten Gewölbfugen veranlaſſen zu können, als ſolches nach den im vorhergehenden Artikel gezeigten Verfahren möglich iſt. Zu dieſem Zwecke erſetzt man die Ellipſe durch einzelne Kreisbogenſtücke, welche mit Krümmungshalbmeſſern derart beſchrieben und zuſammengeſetzt werden, daſs eine Curve entſteht, welche der beabſichtigten Ellipſe thunlichſt nahe kommt. In Fig. 256 iſt eine derartige Conſtruction der Bogenlinie dce ausgeführt.

Um den Mittelpunkt m der Ellipſe ſind 3 concentriſche Kreiſe beſchrieben, deren Halbmeſſer mg gleich der halben kleinen Axe, me gleich der halben groſsen Axe und mh gleich der halben groſsen Axe plus der halben kleinen Axe zu nehmen ſind.

Zur Beſtimmung eines Ellipſenpunktes und der dazu gehörigen Normalen iſt der beliebige Strahl mkl gezogen, welcher den Kreis g in i, den Kreis e in k und den Kreis h in l ſchneidet. Zieht man ip parallel zu mh und kp parallel zu mc, ſo ſchneiden ſich dieſe beiden Linien im Punkte p, welcher bekanntlich ein Punkt der Ellipſe mit den Halbaxen me und mc iſt. Verbindet man l mit p, ſo iſt lp die Normale für die Ellipſe im Punkte p.

Auf der linken Seite von Fig. 256 ſind für vier Haupttheile und in der Nähe der groſsen Axe für einen Zwiſchentheil der halben Ellipſe die Normalen co, qr, st .... gezeichnet. Die Schnittpunkte $5, 4, 3$ .... der Normalen co mit qr, ſodann qr mit st.... liefern die Krümmungsmittelpunkte der

zugehörigen Kreisbogen, und zwar 5 für den Kreisbogen cq, 4 für den Kreisbogen qs .... Der für die Ellipfe mit den Halbaxen a und b mafsgebende Krümmungshalbmeffer ρ ift in den Endpunkten der grofsen Axe als

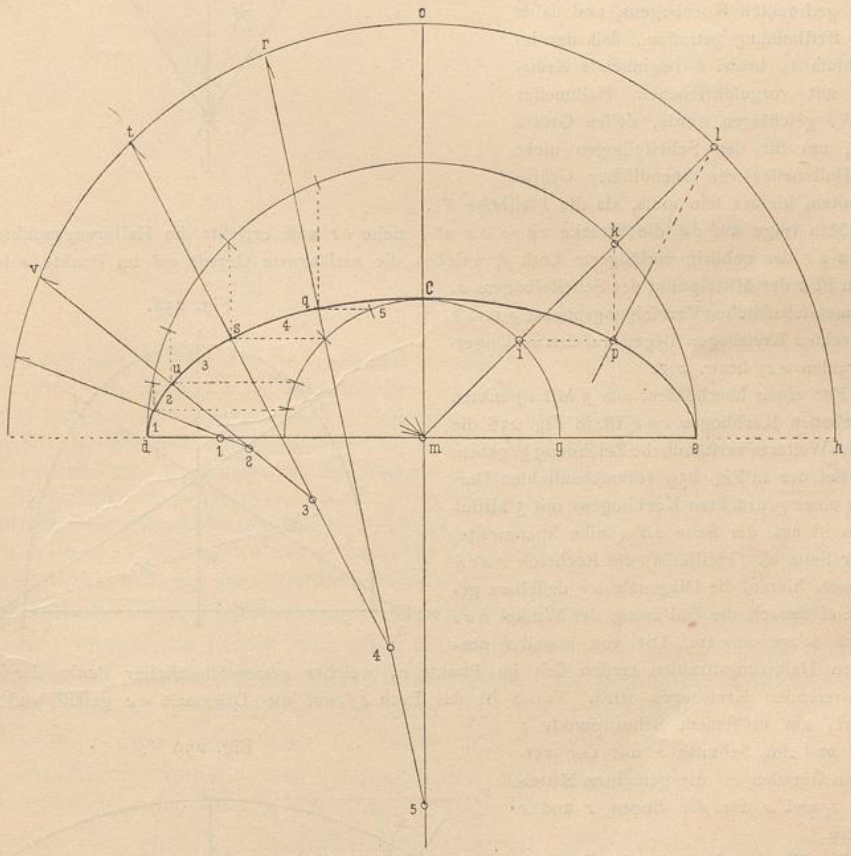
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

und in den Endpunkten der kleinen Axe als

$$\rho = \frac{a^2}{b}$$

bekanntlich beftimmt, fo dafs nach Berechnung diefer Werthe die gröfsten und kleinften Krümmungshalbmeffer von vornherein feft gefetzt werden können.

Fig. 256.



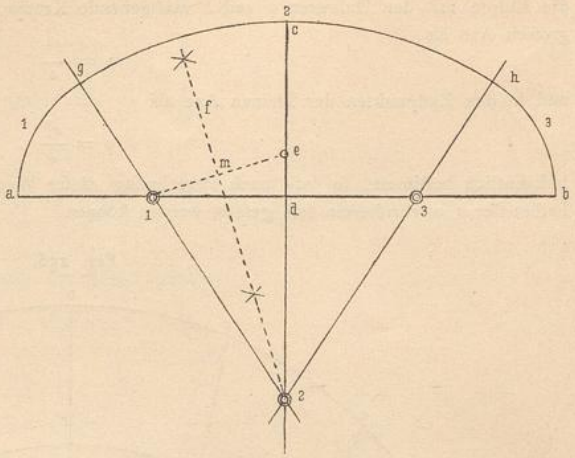
Die aus den verfchiedenen Kreisbogenftücken zufammengefügte Bogenlinie dce, wobei in den Vereinigungspunkten c, q, s .... für je 2 Kreisbogen eine gemeinfchaftliche Tangente vorhanden ift, wird Korbbogenlinie oder kurz Korbbogen genannt. Sie wird befchrieben aus einer beftimmten, bei Korbbogen mit wagrechter Axe und wagrechter Scheiteltangente ungeraden Anzahl von Mittelpunkten, beifpielsweife deren 9 in Fig. 256.

Wenngleich die Anzahl diefer Mittelpunkte nach dem foeben erklärten Verfahren beliebig grofs genommen werden könnte, fo ift doch für die praktifche Ausführung folcher Korbbogen meiftens nur eine geringe Zahl von Mittelpunkten erforderlich. In vielen Fällen, namentlich wenn bei gedrückten Bogen das Pfeilverhältnifs nicht unter $^1/_3$ finkt, werden nur 3 Krümmungsmittelpunkte benutzt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Von den zahlreichen Angaben für die Conſtruction von Korbbogen ſollen hier nur einige, welche in der Praxis noch hier und dort Anwendung finden, berückſichtigt werden.

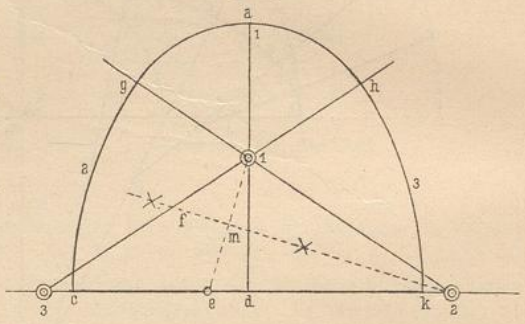
Fig. 257.



1) Korbbogen aus 3 Mittelpunkten. Es ſei in Fig. 257 ab die gegebene Spannweite, cd die gewählte oder gegebene Pfeilhöhe eines zu zeichnenden gedrückten Korbbogens, und dabei ſei die Beſtimmung getroffen, daſs der im Gewölbfuſs a, bezw. b beginnende Kreisbogen mit vorgeſchriebenem Halbmeſſer $a1 = b3$ geſchlagen werde, deſſen Gröſse jedoch, um für den Scheitelbogen nicht einen Halbmeſſer von unendlicher Gröſse zu erhalten, kleiner ſein muſs, als die Pfeilhöhe dc.

Man trage auf cd die Strecke $ce = a1$ ab, ziehe $e1$ und errichte im Halbirungspunkte m der Geraden $e1$ das gehörig verlängerte Loth f, welches die verlängerte Gerade cd im Punkte 2 ſchneidet. Alsdann iſt 2 der Mittelpunkt des Scheitelbogens 2. Die gemeinſchaftlichen Vereinigungspunkte g und h der einzelnen Kreisbogen liegen auf den verlängerten Strahlen 21, bezw. 23.

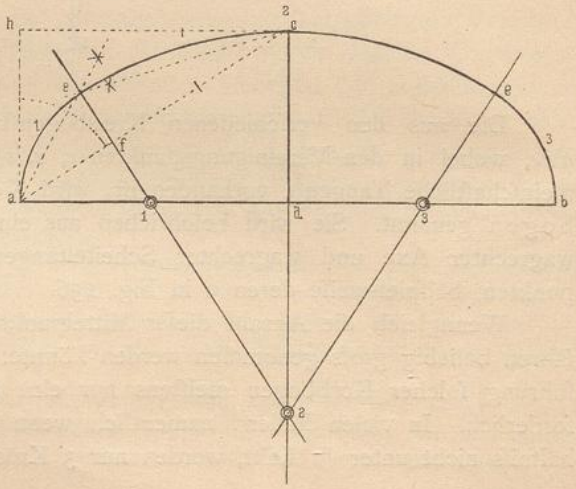
Fig. 258.



Für einen überhöhten, aus 3 Mittelpunkten beſchriebenen Korbbogen cak iſt in Fig. 258 die nun ohne Weiteres verſtändliche Zeichnung gegeben.

Bei der in Fig. 259 veranſchaulichten Darſtellung eines gedrückten Korbbogens mit 3 Mittelpunkten iſt aus der Seite ad (halbe Spannweite) und der Seite dc (Pfeilhöhe) das Rechteck $adch$ gezeichnet, hierauf die Diagonale ac deſſelben gezogen und danach die Halbirung der Winkel hac und hca vorgenommen. Die von a und c ausgehenden Halbirungsſtrahlen treffen ſich im Punkte e, welcher gemeinſchaftlicher Punkt der hier zuſammentretenden Kreisbogen wird. Von e iſt das Loth ef auf die Diagonale ac gefällt und gehörig erweitert, um in ſeinem Schnittpunkte 1 mit ad und im Schnitte 2 mit der verlängerten Geraden cd die geſuchten Mittelpunkte 1 und 2 für die Bogen 1 und 2 zu liefern.

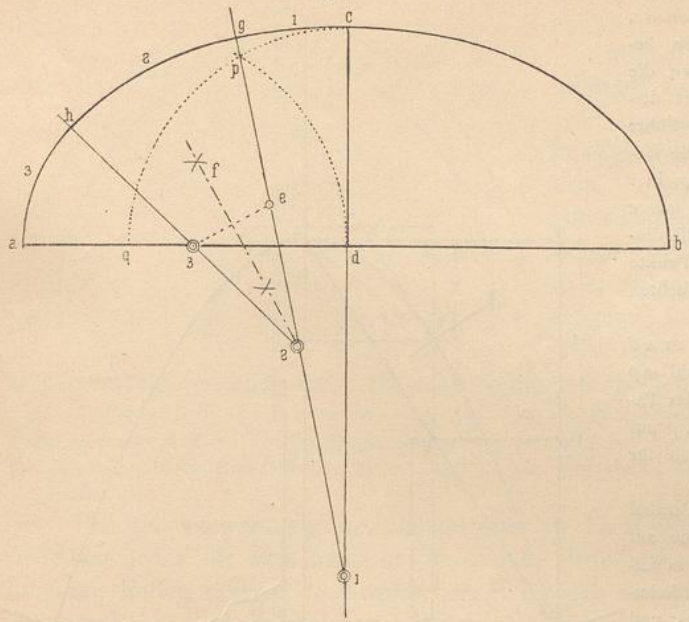
Fig. 259.



Der Mittelpunkt 3 für den Bogen 3 liegt ſymmetriſch mit Punkt 1. Dieſelbe Conſtruction gilt auch für den überhöhten Korbbogen.

2) Korbbogen aus 5 Mittelpunkten. Beim gedrückten Korbbogen in Fig. 260 iſt ab die Spannweite und dc die Pfeilhöhe. Obgleich die Halbmeſſer für den Scheitelbogen und für den Anſatzbogen am Kämpfer von im Allgemeinen beliebiger, nur innerhalb gewiſſer Grenzen liegender Länge genommen werden können, ſo empfiehlt es ſich doch aus ſtatiſchen Gründen, wie aus Rückſichtnahme

Fig. 260.



auf die praktiſche Ausführung der Korbbogengewölbe den Halbmeſſer des Scheitelbogens nicht zu groſs, den Halbmeſſer des Kämpferbogens dagegen nicht zu klein zu nehmen. In Fig. 260 iſt der erſtere ($= c\,1$) etwas kleiner als die Spannweite und der letztere ($= a\,3$) etwas gröſser als $^1/_4$ der Spannweite $a\,b$ gewählt.

Um die Länge des Scheitelbogens, welche gleichfalls ziemlich willkürlich angenommen werden könnte, nicht zu übertreiben, iſt es empfehlenswerth, den mit dem Halbmeſſer $d\,c$ um d beſchriebenen Viertelkreis $q\,c$ in 3 Theile zu zerlegen und durch den höchſten Theilpunkt p den Strahl $1\,p$ als Begrenzungshalbmeſſer für den Scheitelbogen anzunehmen. Dieſer um 1 mit $1\,c$ beſchriebene Bogen erhält dann im Punkte g der erweiterten Geraden $1\,p$ ſeinen Endpunkt.

Nachdem $a\,3$ als Halbmeſſer des Kämpferbogens feſt gelegt iſt, wird, ähnlich der Conſtruction in Fig. 257, die Länge $a\,3$ von g nach e auf $g\,1$ abgetragen und im Halbirungspunkte der Linie $3\,e$ das Loth f errichtet, welches entſprechend verlängert die Linie $g\,1$ in 2 ſchneidet. Der Punkt 2 iſt alsdann Mittelpunkt für den Bogen 2, welcher mit dem Halbmeſſer $2\,g$ beſchrieben wird. Der Begrenzungshalbmeſſer für dieſen Bogen iſt der erweiterte Strahl $2\,3$, auf welchem h der Vereinigungspunkt für den um 3 mit $3\,a$ beſchriebenen Kämpferbogen und für den Bogen $g\,h$ wird.

3) Korbbogen aus mehr als 5 Mittelpunkten werden immerhin am zweckmäſsigſten auf Grund des in Fig. 256 gegebenen Verfahrens beſchrieben.

127. Parabelgewölbe.

Durch theoretiſche Unterſuchungen ergiebt ſich, daſs, unter ſonſt gleichen Verhältniſſen genommen, die Parabel von allen einfachen Curven diejenige iſt, für welche, wenn dieſelbe als Mittellinie der Gewölbſtirn, bezw. als Bogenlinie gewählt wird, das ſtabilſte Gewölbe hergeſtellt werden kann, und ſchon aus dieſem Grunde ſollten Tonnengewölbe, wenn nicht ganz beſondere äſthetiſche Forderungen für die Geſtaltung derſelben geſtellt werden, als Gewölbe mit einer Parabel als Bogenlinie, bezw. als Stirn-Mittellinie, alſo als Parabelgewölbe häufiger als bis jetzt im Hochbauweſen der Fall iſt, zur Ausführung kommen. Für Parabel-Tonnengewölbe würde die Pfeilhöhe mindeſtens gleich der halben Spannweite auftreten, da bei geringer Pfeilhöhe eine flachbogige Parabel als Erzeugende für ein Flachbogengewölbe entſteht. Eine die halbe Spannweite überſchreitende Bogenhöhe liefert eine Bogenöffnung, welche für die Benutzung des dazu gehörigen Raumes oft erwünſcht und vortheilhaft iſt, ohne daſs dadurch beſondere Schwierigkeiten für die Gewölbeausführung erwachſen, daſs vielmehr dadurch noch Nutzen für die Widerlagskörper entſteht.

Von den zahlreichen Conſtructionen der Parabel iſt ein für unſere Zwecke ſehr brauchbares Verfahren zum Zeichnen einer mit beliebiger Weite und Höhe verſehenen Parabel in Fig. 261 gegeben.

Es ſei $w = a\,d = d\,b$ gleich der halben Spannweite und $p = c\,d$ gleich der Pfeilhöhe der zu zeichnenden Parabel; die Abmeſſungen ſind für beide Stücke beliebig gewählt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Man ziehe cq parallel zu ad, aq parallel zu cp und die Gerade ac. Zieht man nunmehr durch den beliebigen Punkt e der Geraden ad die Parallele eg zu dc, fo fchneidet diefelbe die Linie ac im Punkte h. Führt man durch h parallel zu ad die Gerade hi, welche die Gerade aq in i fchneidet und verbindet man i mit c durch eine gerade Linie, fo trifft diefelbe die Gerade eg in einem Punkte p, welcher ein Punkt der gefuchten Parabel ift.

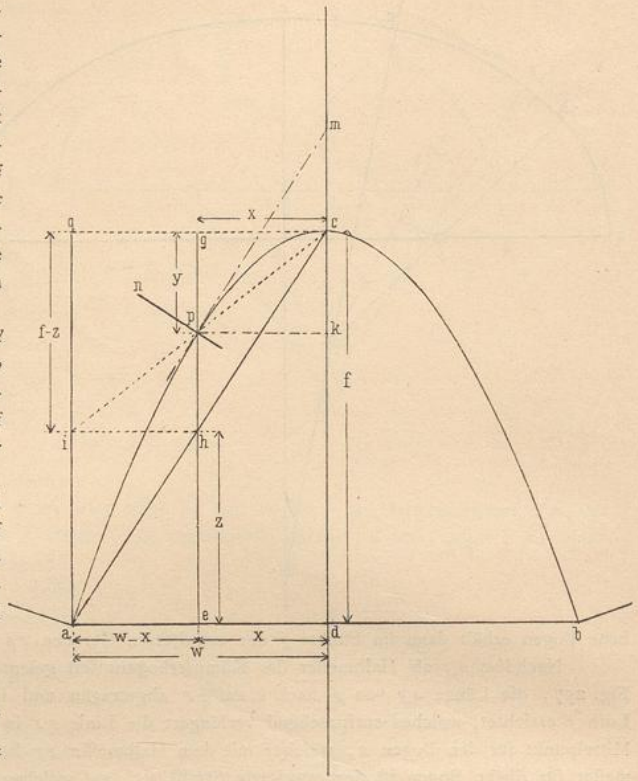
Nimmt man pk parallel zu ad und $kc = cm$, fo ift der Strahl mp nach bekannten Eigenfchaften der Parabel Tangente in p, und das in p auf pm errichtete Loth ift die Normale für diefen Punkt.

Dafs p ein Punkt der Parabel ift, ergiebt fich unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 261 in folgender Weife. Auf Grund der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke gpc und qic ift $\frac{y}{x} = \frac{(f-z)}{w}$, demnach

$$y = (f-z)\,\frac{x}{w} \quad . \quad . \quad 108.$$

Da ferner $\triangle\ ehc \sim \triangle\ dca$ ift, fo folgt $\frac{z}{w-x} = \frac{f}{w}$, mithin

Fig. 261.



$$z = \frac{f}{w}\,(w-x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 109.$$

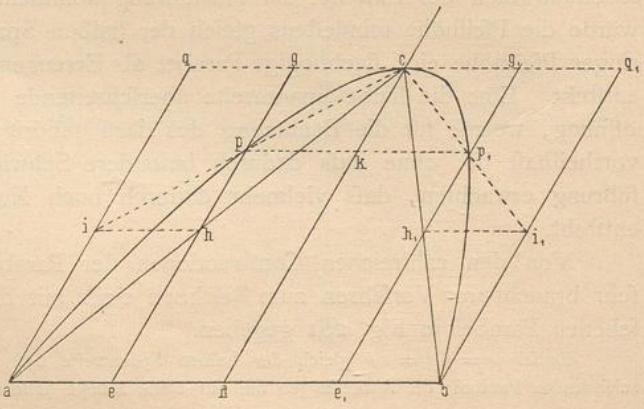
Führt man diefen Werth von z in Gleichung 108 ein, fo erhält man den Ausdruck

$$y = \frac{f}{w^2}\,x^2, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 110.$$

welcher der Gleichung der Parabel entfpricht, deren Axe mit der Coordinatenaxe cd zufammenfällt.

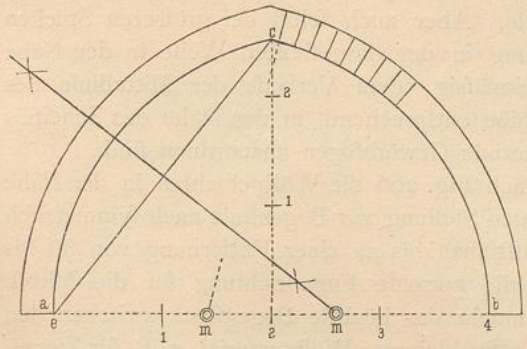
Steht wie in Fig. 262 dc fchiefwinkelig auf ab im Halbirungspunkte d, fo find ab und cd conjugirte Durchmeffer der Parabel und aus der hier als bekannt vorausgefetzten Uebereinftimmung der Form der Gleichung der Parabel, bezogen auf ein Syftem conjugirter Axen mit der Scheitelgleichung 110 derfelben, folgt, dafs alle Eigenfchaften der Parabel, welche vom Coordinatenwinkel unabhängig find, auch bei dem neuen Syftem mit conjugirten Axen Giltigkeit behalten.

Fig. 262.



Von Bogenlinien in der Form von Fig. 261 u. 262

Fig. 263.



werden wir ſpäter noch Gebrauch machen.

128. Spitzbogiges Gewölbe.

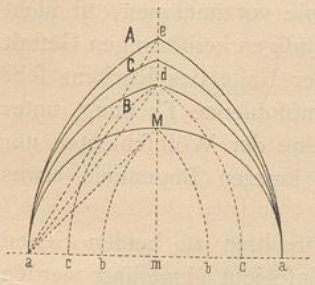
Iſt die Bogenlinie nicht ſtetig gekrümmt, ſondern wie in Fig. 263 aus zwei in einem Punkte c, dem Scheitelpunkte, ſich ſchneidenden Bogenſchenkeln, ac und bc, die an dem Schnittpunkte einen mehr oder weniger groſsen Bogenwinkel bilden, zuſammengeſetzt, ſo entſteht der Spitzbogen als erzeugende Linie für das ſpitzbogige Gewölbe. Je nach der Gröſse des Bogenwinkels entſtehen die mehr oder weniger ſchlanken Spitzbogen.

In Fig. 263 iſt der Bogenwinkel acb, bei dem ein Pfeilverhältniſs $2^1/_2 : 4$ oder $5 : 8$, welches ſchon in früher Zeit bei den Spitzbogen Anwendung gefunden hat, zu Grunde gelegt iſt, einem weniger ſchlanken Spitzbogen entſprechend, bietet aber für ein ſpitzbogiges Tonnengewölbe eine zweckmäſsige Bogenlinie.

Bei der Verwendung des Spitzbogens zu Tonnengewölben ſind die Schenkel deſſelben jeder für ſich meiſtens aus einem Mittelpunkte zu ſchlagen; nur in beſonderen Fällen können die Bogenſchenkel für ſich aus mehreren Mittelpunkten nach Art der Korbbogen beſchrieben werden. Die Form der Spitzbogen iſt eine äuſserſt mannigfache und, wenn auch ſpäter bei Betrachtung der gothiſchen Kreuzgewölbe noch näher auf die Bildung von Spitzbogen eingegangen werden ſoll, ſo ſind hier, ſo weit das ſpitzbogige Tonnengewölbe in Betracht kommt, vorweg folgende Bemerkungen zu machen.

In Fig. 264 ſind einige Spitzbogen für die Spannweite aa in Zuſammenſtellung mit einem um m beſchriebenen Halbkreiſe gezeichnet, wobei die Mittelpunkte b und c der Bogenſchenkel B und C, wie ohne Weiteres erſichtlich, mit Hilfe der Sehnenlängen aM und ad beſtimmt wurden. Der höchſte Spitzbogen A hat für ſeinen Schenkel einen Halbmeſſer gleich der Spannweite, ſo daſs der Scheitelpunkt e dieſes Bogens die Spitze eines über der Spannweite errichteten gleichſeitigen Dreiecks aea bildet. So lange der Mittelpunkt für die Spitzbogenſchenkel innerhalb der Strecke ma bleibt, erſcheint der danach gebildete Bogen weniger ſchlank, aber vielfach in äſthetiſcher und in gewiſſen Fällen in ſtatiſcher und conſtructiver Beziehung günſtiger. Eine Grenzlage bildet gleichſam der um a beſchriebene Spitzbogen A. Rückt der Mittelpunkt noch über die Kämpferpunkte a hinaus, ſo entſteht leicht eine übertrieben ſpitze, lanzettartige Form für die Bogenlinie. Wegen der Vielſeitigkeit, welche der Spitzbogen bietet, iſt in jedem beſonderen Falle die Wahl ſeiner Form reiflichen Erwägungen zu unterwerfen. Der Umſtand, daſs der Spitzbogen an ſeinem Scheitelpunkte einen Bogenwinkel bildet, beeinflufst die Stellung der Gewölbfugen, welche für jeden Bogenſchenkel nach dem ihm zugehörigen Mittelpunkte gerichtet ſein ſollen, in beachtenswerther Weiſe. Bei kleinerem Wölbmaterial wird namentlich, wie Fig. 265 zeigt, über dem Scheitelpunkte des Bogens ein häſsliches und der Stabilität deſſelben ungünſtiges Syſtem von kleinen, ſtark keilförmigen

Fig. 264.



Stücken angehäuft, welches in keiner Weiſe einer guten Conſtruction entſpricht und deſshalb als fehlerhaft bezeichnet wurde. Aber auch ſelbſt bei gröſseren Stücken von Wölbmaterial iſt die Fugenanordnung in der dargeſtellten Weiſe in der Nähe des Scheitels zu vermeiden, da zweckmäſsig, dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes (Drucklinie) im Spitzbogengewölbe entſprechend, in der Nähe des Scheitels ſich mehr der lothrechten Richtung nähernde Gewölbfugen anzuordnen ſind.

Aus dieſem Grunde richtet man nach Fig. 266 die Wölbſchichten in der Nähe des Scheitels unter Aufgeben der normalen Stellung zur Bogenlinie nach ſymmetriſch liegenden verſetzten Mittelpunkten. Läſſt man bis zu einer Entfernung von 30 bis 40 cm auf beiden Seiten des Scheitels die normale Fugenrichtung für die Mittelpunkte *o*, bezw. *II* eintreten, ſo iſt nunmehr das höchſte Bogenſtück zwiſchen den normalen Grenzfugen *o...o* und *II...II* für kleineres Wölbmaterial, z. B. für Ziegel, in der Weiſe in Schichten zu theilen, daſs, der Dicke der Ziegel und der Stärke der Fugen zwiſchen dem Ziegelmauerwerk entſprechend, die Theilung auf der Rückenlinie des Gewölbbogens mit Vermeidung der ſog. Schluſsfuge vor-

Fig. 265.

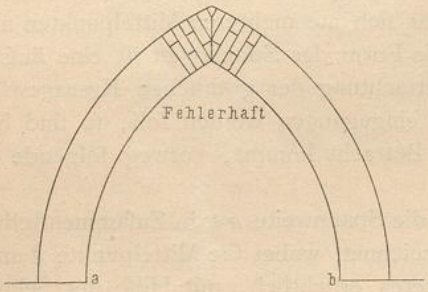
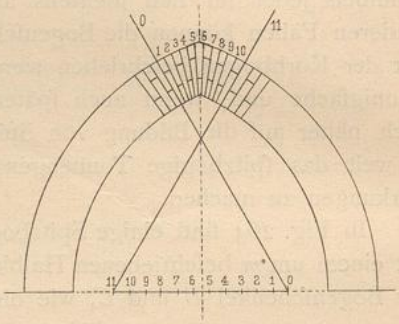


Fig. 266.



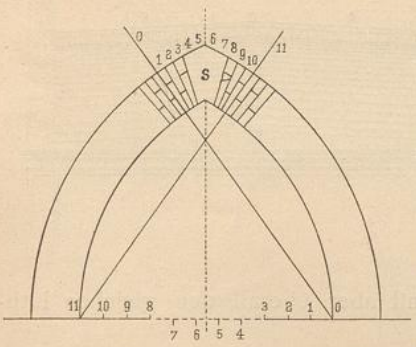
genommen wird. Die Theilung auf der inneren Bogenlinie vorzunehmen, iſt nicht räthlich, weil alsdann in Folge der immerhin noch nothwendigen keilförmigen Geſtalt der Wölbſteine bei der ſonſt üblichen Gewölbſtärke in der Nähe des Rückens ſehr ſtarke Mörtelfugen erforderlich werden, während bei der empfohlenen Theilung, unter Beobachtung regelrechter Fugenſtärken, die einzelnen Steine der Wölbſchichten nur ein mäſsiges Verhauen erleiden oder in der Nähe der inneren Bogenlinie etwas ſchwächere Fugen als oben am Rücken erhalten.

Da die Theilung von der gedachten Scheitel-Lothrechten zu beiden Seiten ſymmetriſch liegt, alſo für den Schluſsſtein eine volle Steinſchicht eingeführt werden muſs, ſo hat man immer für die zu theilende Strecke zwiſchen den Grenzfugen eine ungerade Zahl von Wölbſchichten anzuordnen. Dieſe Zahl iſt nun maſsgebend für das Feſtlegen der Richtungslinien der einzelnen Fugen, indem die Verbindungslinie der Hauptmittelpunkte *o...II* in dieſelbe Anzahl gleicher Theile zerlegt wird. In der Zeichnung ſind 11 Theilpunkte angewandt, und nunmehr richtet ſich Fuge *1* nach der Geraden *1...1*, *2* nach der Linie *2...2* u. ſ. f.

Eine gleiche Anordnung des Fugenſchnittes im Scheitel iſt auch für Spitzbogen, welche aus Bruchſtein- oder Quadermaterial hergerichtet werden ſollen, zu empfehlen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 267.

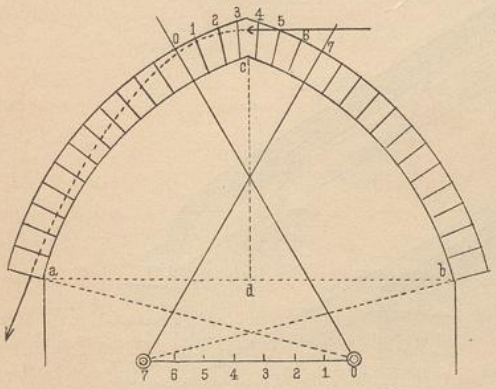


Zuweilen fügt man auch ſelbſt dann, wenn Ziegelmaterial verwendet wird, unter theilweiſer Beibehaltung der eben beſchriebenen Fugenanordnung, nach Fig. 267 eine beſonders aus gröſseren Thonſteinen gebrannte oder aus Werkſtücken (Quadern) bearbeitete Schluſsſteinſchicht *S* ein, was namentlich bei ſteileren Spitzbogen räthlich iſt, da alsdann ein Verhauen der einzelnen, wenn auch wenigen Schichten in der unmittelbaren Nähe des Scheitels vermieden wird.

Bei ſteilen Spitzbogen kann die Grenzlage, bis zu welcher die normale Fugenrichtung beibehalten wird, ſchon mit einem Neigungswinkel von etwa 45 Grad zur Wagrechten *o ... 11* angenommen werden, während bei weniger ſteilen, ſog. ſtumpfen Spitzbogen die ſchon oben angegebene höhere Grenzlage ohne Nachtheil für die Ausführung eingeführt werden kann.

Werden die Mittelpunkte *o* und *7* (Fig. 268) unter die wagrechte Verbindungslinie *ab* der Kämpferpunkte gelegt, ſo entſteht der gedrückte Spitzbogen. Wird dabei die Pfeilhöhe *cd* kleiner, als die halbe Spannweite *ad*, ſo erhält man den flachen Spitzbogen.

Fig. 268.



Die Anwendung des gedrückten Spitzbogens, deſſen Fugenſchnitt aus der Zeichnung erſichtlich iſt, eignet ſich aus ſtatiſchen Gründen, weil im Allgemeinen ein günſtiger Verlauf der Mittellinie des Druckes ſich nachweiſen läſſt, meiſtens vortheilhaft zur Ausführung ſpitzbogiger Tonnengewölbe.

Eben ſo wie aus zwei Kreisbogenſchenkeln ein Spitzbogen gebildet werden kann, würde man auch aus zwei ſymmetriſchen elliptiſchen Bogen oder aus zwei ſymmetriſchen Korbbogen einen Spitzbogen conſtruiren und danach ein entſprechendes Tonnengewölbe herſtellen können. In der Anwendung ſind alsdann alle diejenigen Punkte wieder zu berückſichtigen, welche bereits bei den elliptiſchen und Korbbogen-Gewölben Erwähnung gefunden haben. Auf die elliptiſchen Spitzbogen-Gewölbe wird noch bei den »Tonnengewölben mit ſog. Stichkappen« und bei den »Netzgewölben« hinzuweiſen ſein.

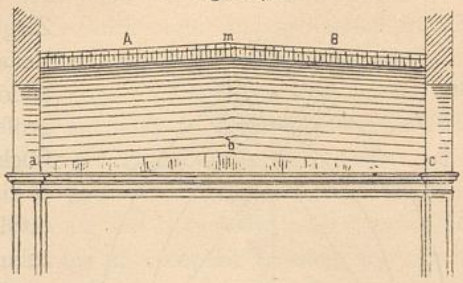
129. Tonnengewölbe mit Stich.

Werden gerade Tonnengewölbe in gröſserer Länge zur Ueberdeckung eines Raumes in Anwendung gebracht, ſo erſcheint die wagrechte Scheitellinie des Gewölbes dem Auge des Beſchauers nicht mehr als eine wirkliche Wagrechte, ſondern als eine nach unten ſchwach durchgebogene Linie. Dieſe optiſche Täuſchung zieht natürlich das Anſehen des Gewölbes in unangenehme Mitleidenſchaft. Um dieſen Eindruck zu verwiſchen, läſſt man bei derartigen längeren Tonnengewölben (Fig. 269) die Axen von den Stirnmauern bis zur Mitte des Raumes ſchwach geneigt an-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſteigen, oder wie geſagt wird, man läſſt das Gewölbe »mit Stich« verſehen. Die Scheitellinie und die Kämpferlinien erhalten dann als Parallele zur Gewölbaxe denſelben Stich.

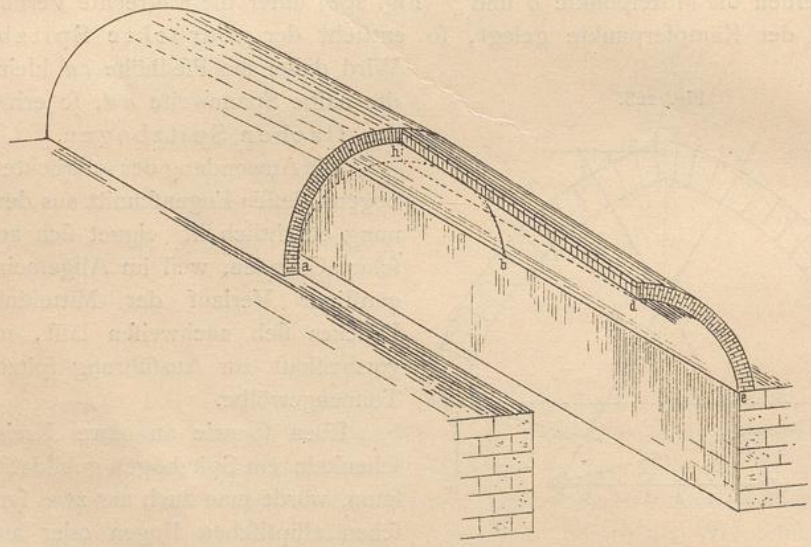
Fig. 269.



In ſolchem Falle bilden die beiden cylindriſchen Gewölbkörper A und B, da ihre Axen nicht mehr rechtwinkelig zu ihren Stirnebenen ſtehen, ſchiefe cylindriſche Körper, welche in einer ſog. »Naht« oder in einem »Grat« mb zuſammentreffen, ſonſt aber überall den gleichen lothrechten Querſchnitt beſitzen.

Das ſchräge Anſteigen ab, bezw. cb der Kämpferlinien kann beim Vorhandenſein wagrecht geführter Kämpfergeſimſe jedoch von nachtheiliger Wirkung werden; um dieſes zu vermeiden, ordnet man das Gewölbe nach Fig. 270 bei wag-

Fig. 270.

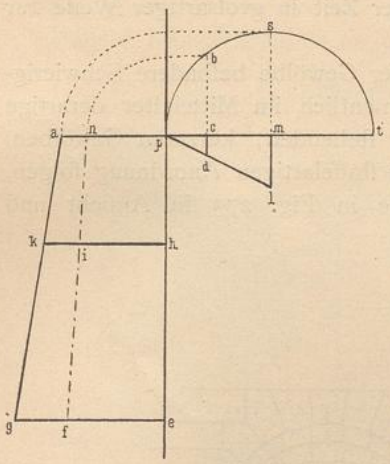


rechten Kämpferlinien ſo an, daſs die Scheitellinie bis zur mittleren Bogenlinie, welche eine andere Form ahb als die Bogenlinie der Stirn erhält, in entſprechender Weiſe anſteigt. Die Folge hiervon iſt, daſs die ſämmtlichen lothrechten Schnitte, parallel zur Stirnebene gelegt, verſchiedene Bogenlinien aufweiſen müſſen. In der praktiſchen Ausführung ſolcher Gewölbe wird aber auf dem den Körper des Gewölbes tragenden Gerüſte, wovon ſpäter erſt die Rede ſein kann, ohne von vornherein die Wölblinien zu ändern, vermöge des nur geringen Stiches, an den nothwendigen Gerüſtſtellen eine ſchwache Auffütterung von Holzſtücken vorgenommen, welche in ihrer Höhe der Stichhöhe in den zugehörigen Punkten entſprechen.

Um die Höhen der Auffütterungen an verſchiedenen Stellen zu beſtimmen, kann man nach Anleitung von Fig. 271 verfahren.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 271.



Es ſei pe die wagrechte Länge der Gewölbhälfte, der um m mit dem Halbmeſſer mp beſchriebene Halbkreis pst der Stirnbogen und ml die Höhe des Stiches der Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat des Gewölbes. Lothrechte Ebenen bc, welche rechtwinkelig zur Stirnebene geführt werden, ſollen die Laibungsfläche des Gewölbes in geraden anſteigenden Linien ſchneiden, deren Stichhöhe cd am Grat ſich zur Stichhöhe ml der Scheitellinie verhält, wie ſich der Abſtand pc der gewählten lothrechten Ebene zum Halbmeſſer pm des Stirnbogens verhält.

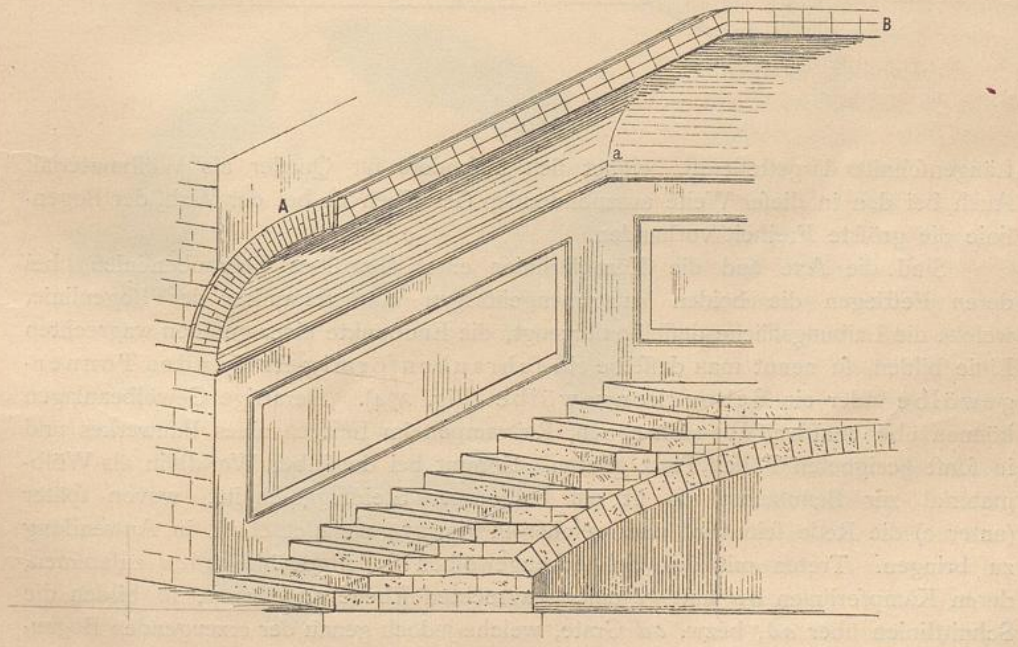
Nimmt man daher $pn = cb$ und $ef = db$, ſo iſt nf die geſuchte anſteigende Linie für den lothrechten Schnitt bc und $ef - bc = cd$ die Auffütterung für den Punkt f. Für den beliebig in h parallel zur Stirnebene genommenen lothrechten Schnitt hk iſt im Punkte i die Auffütterung gleich dem Unterſchiede zwiſchen hi und cb, während für den Punkt k die Höhe dieſer Auffütterung offenbar gleich dem Unterſchiede zwiſchen hk und ms iſt, weil ag der anſteigenden Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat entſpricht, für welche $eg = ls$ und $pa = ms$ maſsgebend war.

Was hier für den Halbkreis als Stirnbogen geſagt iſt, gilt auch für irgend eine andere Form des zu Grunde gelegten Stirnbogens.

130. Steigendes Tonnengewölbe.

Liegen die gerade Gewölbaxe und die ihr parallelen Kämpferlinien eines Tonnengewölbes in einer ſchiefen Ebene, wobei jedoch zwei einander zugehörige Kämpferpunkte einer wagrechten Geraden angehören, ſo wird daſſelbe ein gerades ſteigendes Tonnengewölbe genannt. Fig. 272 veranſchaulicht daſſelbe an dem

Fig. 272.

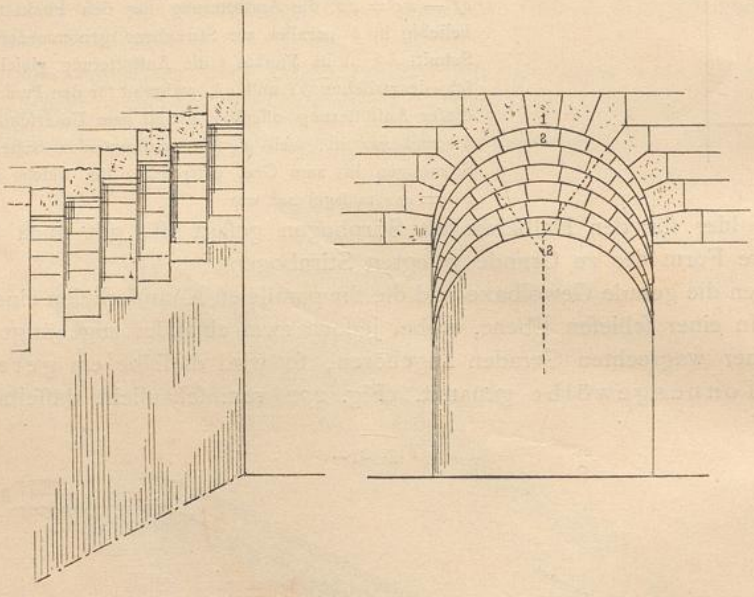


im Durchſchnitte genommenen Gewölbkörper A. Tritt daſſelbe mit einem wagrechten geraden Tonnengewölbe B zuſammen, ſo entſteht in der Schnittlinie wiederum

ein Grat *a*. Derartige Tonnengewölbe finden in der Regel nur bei Treppenanlagen Verwendung und ſind auch hierfür ſchon in früher Zeit in groſsartiger Weiſe zur Ausführung gelangt.

Wenngleich der praktiſchen Herrichtung dieſer Gewölbe beſondere Schwierigkeiten nicht entgegenſtehen, ſo wurden doch namentlich im Mittelalter derartige ſteigende Gewölbe aus einzelnen, neben einander ſtehenden, kürzeren Gewölben, ſog. »Gurten« oder »Zonen«, deren Kämpfer einer ſtaffelartigen Anordnung folgen, zuſammengefügt. Dieſe Conſtructionsweiſe, welche in Fig. 273 in Anſicht und

Fig. 273.



Längenſchnitt dargeſtellt iſt, eignet ſich beſonders für Quader als Wölbmaterial. Auch bei den in dieſer Weiſe auszubildenden Gewölben iſt bei der Wahl der Bogenlinie die gröſste Freiheit vorhanden.

131. Schraubenförmig ſteigendes Tonnengewölbe; Schneckengewölbe.

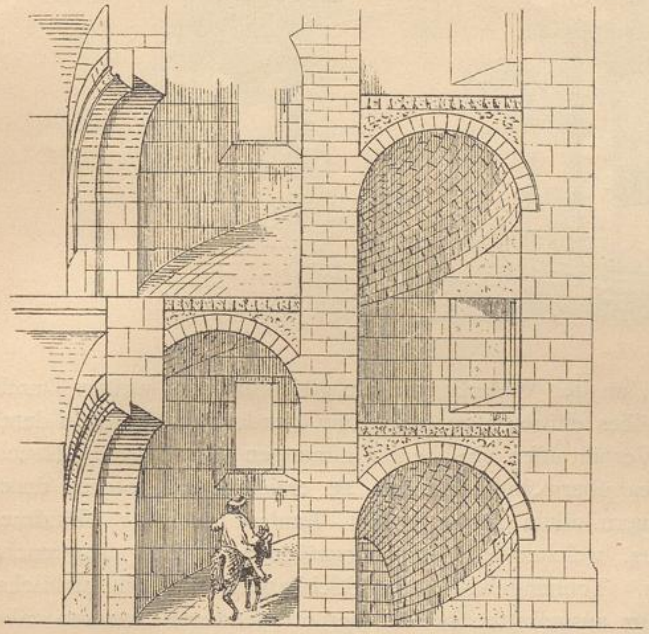
Sind die Axe und die Kämpferlinien eines Gewölbes Schraubenlinien, bei deren Feſtlegen die beiden zuſammengehörigen Kämpferpunkte der Bogenlinie, welche die Laibungsfläche deſſelben erzeugt, die Endpunkte einer geraden wagrechten Linie bilden, ſo nennt man daſſelbe ein ſchraubenförmig ſteigendes Tonnengewölbe oder ein Schneckengewölbe (Fig. 274). Derartige Gewölbeanlagen können über maſſiven Wendeltreppen, Reitrampen im Inneren eines Bauwerkes und in ſonſt geeigneten Fällen Platz greifen. Kommt bei denſelben Werkſtein als Wölbmaterial zur Benutzung, ſo iſt ein beſonderer Steinfugenſchnitt, wovon ſpäter (unter c) die Rede ſein wird und welcher in Fig. 274 angedeutet iſt, in Anwendung zu bringen. Treten mit den Schneckengewölben Podeſtgewölbe *abcd* zuſammen, deren Kämpferlinien *ad* und *bc* einer wagrechten Ebene angehören, ſo bilden die Schnittlinien über *ab*, bezw. *cd* Grate, welche jedoch genau der erzeugenden Bogenlinie entſprechen.

132. Ringgewölbe.

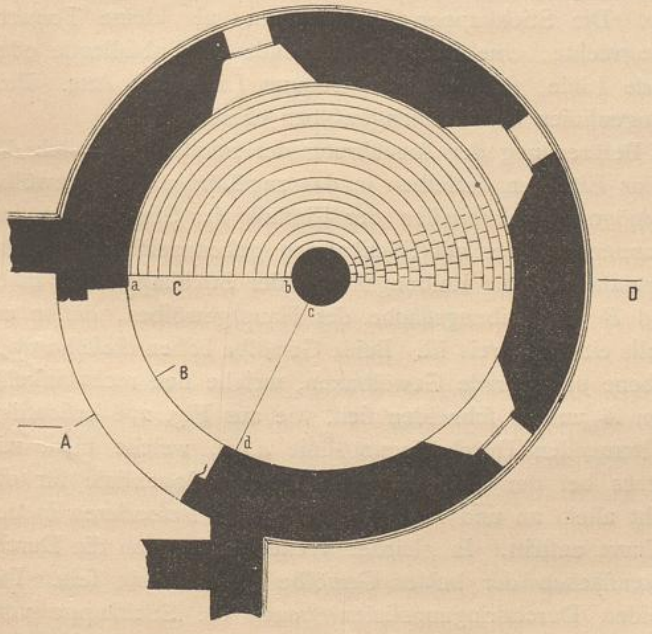
Iſt die Axe eines Gewölbes eine in einer wagrechten Ebene liegende, geſetzmäſsig gebildete Curve und ſind die in derſelben Ebene liegenden Kämpferlinien

der Axe derartig entſprechend genommene Curven, daſs in der winkelrecht zur Axe geſtellten lothrechten Ebene der erzeugenden Bogenlinie zwei zuſammengehörige Kämpferpunkte in jeder Stellung dieſer Ebene immer denſelben urſprünglichen Abſtand von der Axe behalten, ſo entſteht die Laibung eines Ringgewölbes oder des ringförmigen Tonnengewölbes (Fig. 275). Am häufigſten wird die Gewölbaxe kreisförmig oder elliptiſch (nur als Halbkreis, bezw. als halbe Ellipſe oder vollſtändig geſchloſſen) zur Anwendung gebracht. Bei Bruchſtein- und Backſteinmaterial entſtehen bei der Herſtellung ſolcher Ringgewölbe verhältniſsmäſsig keine gröſseren Schwierigkeiten; bei Anwendung von Hauſteinmaterial ſind die einzelnen Wölbſteine nach einem leicht zu ermittelnden Fugenſchnitte zu bearbeiten. Tritt an die Stelle der krummlinigen Gewölbaxe eine gebrochene gerade Linie, d. h. ein Polygonalzug, ſo entſteht eine Nebenart des Ringgewölbes, welche mit dem Namen polygonales Tonnengewölbe bezeichnet wird. Hierbei treten die Tonnengewölbe der einzelnen Seiten des Polygons über den Ecken der Axe in einem gemeinſchaftlichen Grat zuſammen.

Fig. 274.



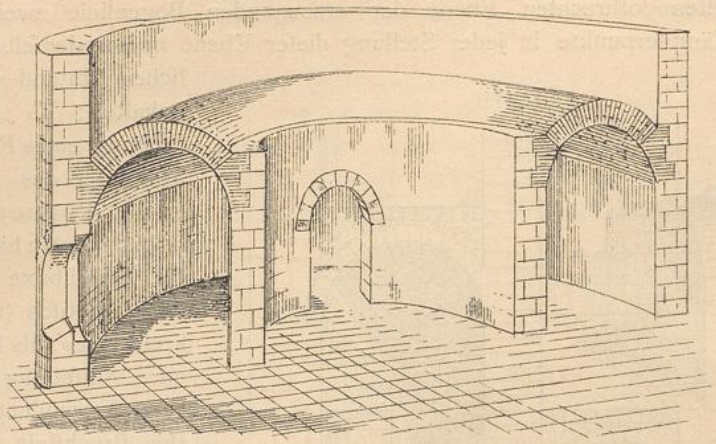
Schnitt AD.



133. Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Schneiden die Gewölbflächen kleinerer Tonnengewölbe das eigentliche Hauptgewölbe, ſo nennt man die erſteren Stichkappen oder Lunetten und das ganze Syſtem ein Tonnengewölbe mit Stichkappen. Der Umſtand, daſs bei niedrig gehaltenen Widerlagern der Tonnengewölbe die Höhe des nutzbaren Raumes unter den Kämpferlinien die Anlage von nur mäſsig hohen Licht- oder Durchgangsöffnungen

Fig. 275.



geſtattet, hat darauf geführt, an den Widerlagsmauern gleichſam noch weitere Durchbrechungen des Tonnengewölbes eintreten zu laſſen, um hierdurch nicht allein durch ſchlankere und mit guten Verhältniſſen verſehene Oeffnungen eine beſſere Beleuchtung und Zugänglichkeit des überwölbten Raumes zu erzielen, als ſolches durch Oeffnungen in den Stirnmauern allein möglich wird, ſondern auch den Eindruck der Schwere und des Ernſtes, welchen ein Tonnengewölbe an und für ſich macht, mehr und mehr zu mildern. Tonnengewölbe mit Stichkappen ſind, in wirklicher Pracht und groſsem Reichthum ausgeſtattet, bei den hervorragenden Bauwerken italieniſcher Renaiſſance zur Ausführung gekommen und können ſich nach wie vor einer groſsen Beliebtheit erfreuen. Die Stichkappen ſelbſt haben, als kleine Tonnengewölbe genommen, eine wagrechte, eine ſchräg aufſteigende oder abfallende oder auch eine gebrochene gerade Linie, ſeltener eine krumme Linie zur Axe. Ihre Bogenlinie entſpricht den Bogenlinien des Tonnengewölbes überhaupt.

Unter c wird bei der Beſprechung der Ausführung der Stichkappen noch die genaue Ausmittelung und das Einfügen derſelben in das zugehörige Hauptgewölbe beſchrieben werden. Hier möge nur einſtweilen der Einfluſs der Stichkappen auf die Geſammtbildung des Tonnengewölbes mit Stichkappen gekennzeichnet werden.

In Fig. 276 iſt im Grundriſs *A* die Laibungsfläche der Stichkappe mit halbkreisförmiger Bogenlinie und *B* die Laibungsfläche des Hauptgewölbes, deſſen erzeugende Bogenlinie gleichfalls ein Halbkreis iſt. Beide Gewölbe haben dieſelbe wagrechte Ebene als Kämpferebene und gerade Gewölbaxen, welche ſich rechtwinkelig treffen. Die Laibungsflächen *A* und *B* ſchneiden ſich, wie aus Fig. 276 erſichtlich iſt, in einer leicht zu beſtimmenden Durchdringungslinie *a b c*, welche hier, wie auch im Allgemeinen meiſtens bei der Wahl einer beſtimmten Bogenlinie für die Stichkappe der Fall iſt, nicht allein an und für ſich, ſondern im Beſonderen in der wagrechten Projection als Curve auftritt. In gleicher Weiſe würde auch die Durchdringungslinie für die Rückenflächen der beiden Gewölbe zu ermitteln ſein. Die Fläche zwiſchen dieſen beiden Durchdringungslinien trennt die Stichkappe vom Hauptgewölbe, und dieſelbe kann als Laibungsfläche eines beſonderen, mit beſtimmter Stärke behafteten Gewölbes auftreten, welches ſich, mit regelrechtem Fugenſchnitte verſehen, an das Hauptgewölbe ſchmiegend und in daſſelbe legend, als Stütze für

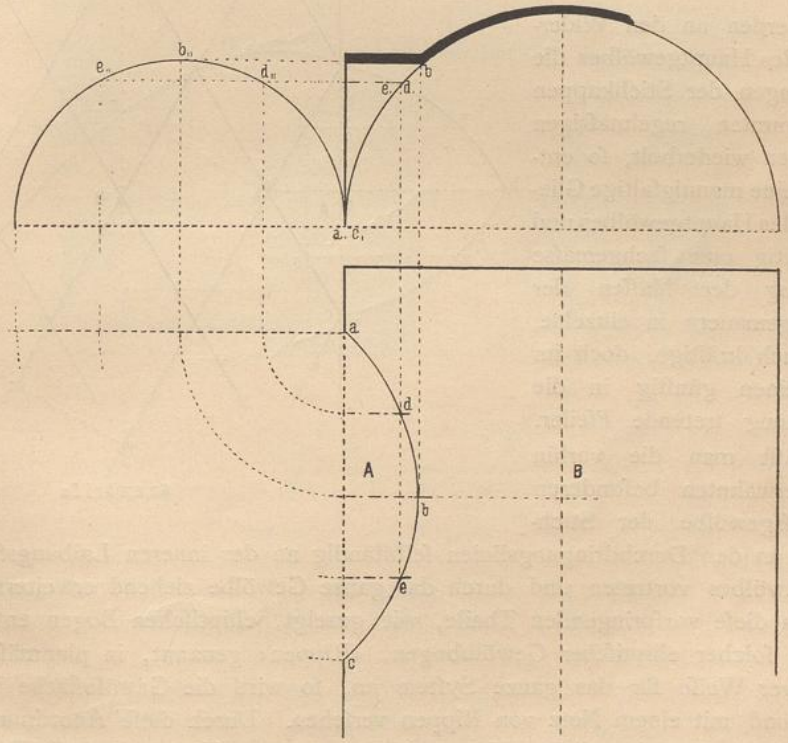
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die antretenden Wölbſteine deſſelben dienen, gleichzeitig aber für das in das Hauptgewölbe geſteckte kleinere Stichkappen-Gewölbe den Anſchluſs und die weitere Stütze gewähren muſs.

Hierin iſt der Grundſatz für die Conſtruction der Stichkappen ausgeſprochen.

So gut nun die wagrechte Projection der Durchdringungslinien, ſei die innere oder äuſsere Wölbfläche dabei in Betracht genommen, neben der Bogenlinie des Hauptgewölbes von der Bogenlinie der Stichkappe abhängig gemacht wird, eben ſo gut kann auch umgekehrt dieſe Bogenlinie bei gegebenem Hauptgewölbe von einer beſtimmten, vorweg vorgeſchriebenen wagrechten Projection der Durchdringungslinie abhängig gemacht und unter Berückſichtigung der ſonſt als unveränderlich feſt

Fig. 276.



liegenden Beſtimmungsſtücke des übrigen Gewölbkörpers ermittelt werden. Und gerade unter Benutzung dieſer Freiheit iſt eine fernere Grundlage für die weitere Entwickelung des Tonnengewölbes erworben, welche ſich bei der Anordnung der ſog. Netzgewölbe, die ſpäter einer beſonderen Betrachtung unterzogen werden müſſen, in gewiſſem Grade Geltung verſchafft.

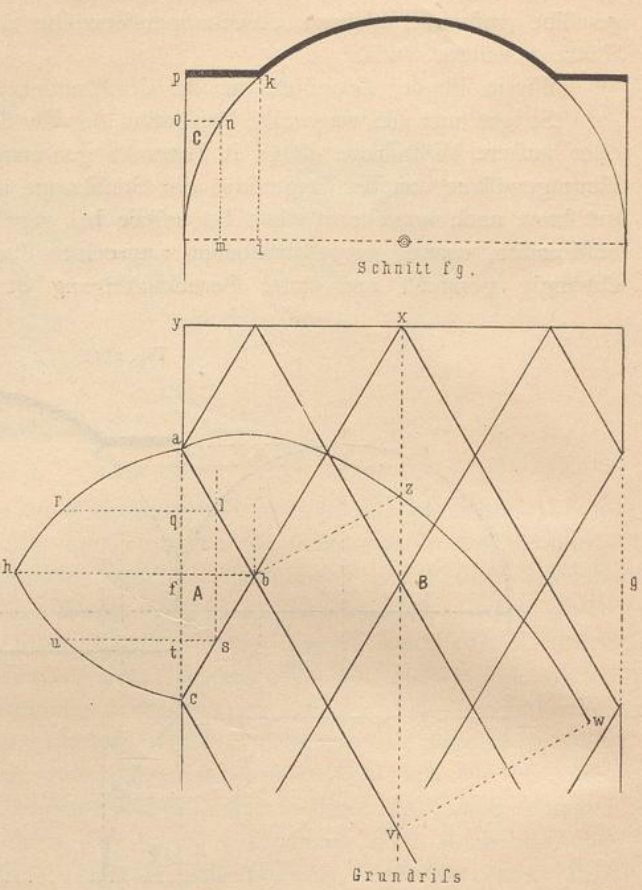
In Fig. 277 iſt *A* die wagrechte Projection der Laibungsfläche der Stichkappe und *B* diejenige der halbkreisförmigen Laibungsfläche des Hauptgewölbes. Beide Gewölbe beſitzen dieſelbe wagrechte Kämpferebene. Die Weite der Stichkappe ſei *a c*.

Die wagrechte Projection der Durchdringungslinie ſoll die gebrochene gerade Linie *a b c* ſein, deren Stücke Seiten eines gleichſchenkeligen Dreieckes mit der Grundlinie *a c* bilden. Die hiernach zu findende Bogenlinie *a h c* der Stichkappe iſt aus Bogenſchenkeln zuſammengeſetzt, welche im vorliegenden Falle Ellipſen angehören und, wie aus Fig. 277 hervorgeht, in leicht erſichtlicher Weiſe gefunden werden

können. So ist z. B. $fh = ik$ und $qr = ut = mn$. Man erhält also für das in das Hauptgewölbe gesteckte Gewölbe einen »elliptischen Spitzbogen« als erzeugende Bogenlinie.

In der lothrechten Ebene ab erscheint die Durchdringungslinie als Theil az einer Ellipse, welche im Viertel als azw dargestellt und deren halbe grosse Axe av, deren halbe kleine Axe vw gleich dem Halbmesser xy der Bogenlinie des Hauptgewölbes ist. Im Schnitt fg ist C die lothrechte Projection der Stichkappenfläche.

Fig. 277.



Werden an den Widerlagern des Hauptgewölbes die Einfügungen der Stichkappen in bestimmten, regelmäfsigen Abständen wiederholt, so entspringt eine mannigfaltige Gliederung des Hauptgewölbes und gleichzeitig eine sachgemäfse Auflösung der Massen der Widerlagsmauern in einzelne, wenn auch kräftige, doch im Allgemeinen günstig in die Erscheinung tretende Pfeiler.

Läfst man die vorhin schon erwähnten besonderen Anschlufsgewölbe der Stichkappen an den Durchdringungslinien selbständig an der inneren Laibungsfläche des Hauptgewölbes vortreten und durch das ganze Gewölbe ziehend erweitern; ordnet man, da diese vorspringenden Theile, wie gezeigt, elliptischen Bogen entsprechen, mehrere solcher elliptischer Gewölbbogen, »Rippen« genannt, in planmäfsiger und decorativer Weise für das ganze System an, so wird die Gewölbfläche in Muster zerlegt und mit einem Netz von Rippen versehen. Durch diese Anordnung ist der Vorläufer für das eigentliche »Netzgewölbe« erzeugt. Treten hier die Rippen nur als ein Schmuck der Tonnengewölbe auf, so werden dieselben bei den Netzgewölben des Mittelalters als eigentliche Träger der Füllgewölbe der einzelnen Felder oder Maschen des Netzes in Anspruch genommen und bieten damit ein Mittel für eine reiche und reizvolle Durchbildung gewölbter Decken nicht allein bei regelmäfsig, sondern auch, da die Netzbildung weit gehende Freiheiten gestattet, bei unregelmäfsig im Grundrifs auftretenden Räumen.

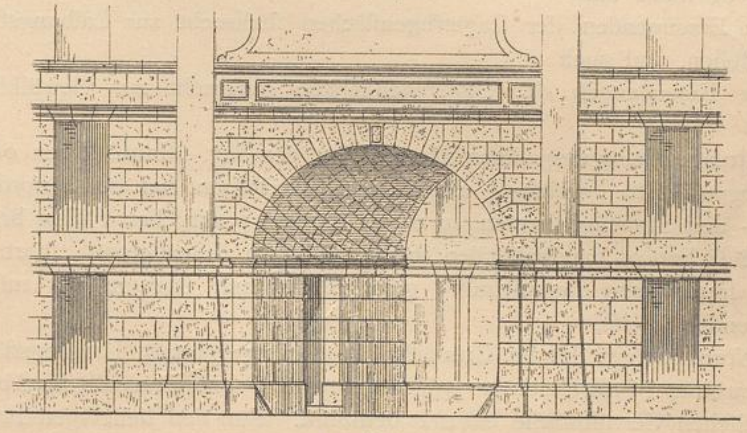
134. Schiefes Tonnengewölbe

Ist die Gewölbaxe gh eines Tonnengewölbes (Fig. 278) nicht rechtwinkelig zur Stirnebene ab, bezw. cd eines Gewölbes gerichtet, so entsteht ein schiefes Gewölbe. Als Mafs der Schiefe gilt die Gröfse des Winkels δ, um welchen die Richtung der Gewölbaxe von dem Lothe ik zur Stirnebene abweicht. Wenngleich die schiefen Gewölbe im Hochbauwesen thunlichst vermieden werden, so können

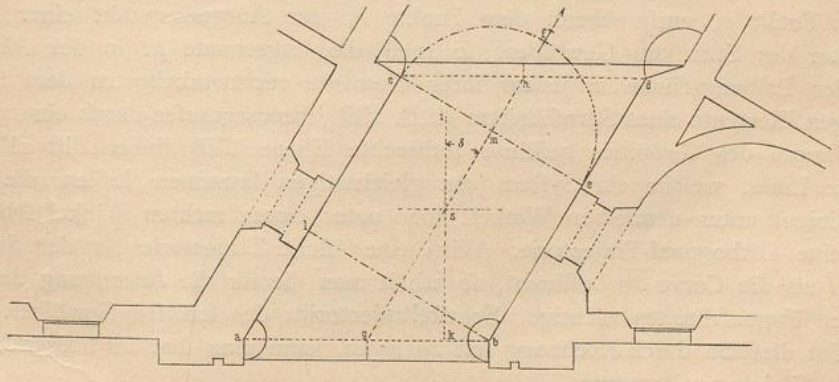
doch Fälle eintreten, wie z. B. bei Durchfahrten u. ſ. w., welche die Ausführung ſchiefer Gewölbe unter Umſtänden erforderlich machen.

Von gröſster Bedeutung für die Durchbildung der ſchiefen Gewölbe iſt die zweckmäſsige Anordnung der Lager- und Stoſsfugenflächen derſelben. Würden die Lagerfugenflächen als Ebenen behandelt, deren Kanten gerade Linien, parallel zu den Widerlagslinien *ac*, bezw. *bd* geführt, ſein ſollten, ſo würden, wenn dieſe Ebenen — möchten dieſelben auch ſenkrecht auf der cylindriſchen Laibungsfläche ſtehen, deren Erzeugende der Normalſchnitt *cfe* des ſchiefen Gewölbes iſt — bis an die Stirnen des Gewölbes durchtreten, die aus den einzelnen Wölbſteinen gebildeten

Fig. 278.



Ansicht



Grundriſs

Gewölbſtücke über den dreieckigen Grundflächen *abl* und *dec* bei *b* und *c*, wo dieſelben in einer Linie endigen, kein Widerlager beſitzen, alſo, wenn nicht beſondere gekünſtelte Anordnungen und Verankerungen dieſer Gewölbſtücke eingeführt würden, nicht ſtandfähig ſein. Würden bei einer derartigen Wahl der Lagerfugenflächen die Stoſsfugenflächen in Ebenen liegend genommen, welche rechtwinkelig zu den Lagerflächen ſtehen, ſo würden auch an den Stirnen die Wölbſteine eine mangelhafte Stützfläche erhalten, während, wenn die Stoſsflächen in Ebenen genommen werden, welche parallel zur Stirnebene ſtehen, der letzte Uebelſtand wohl gehoben, aber der Mangel des Widerlagers in den Punkten *b* und *c* nicht beſeitigt würde.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zur Vermeidung dieſer Mifsſtände iſt von der gewöhnlichen Anordnung des beim geraden Tonnengewölbe auszuübenden Fugenſchnittes, wonach ſowohl die Lagerflächen als auch die Stofsflächen in Ebenen liegen, welche je für ſich rechtwinkelig zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen, bei den ſchiefen Tonnengewölben abzuweichen, und hierfür der ſog. ſchiefe Fugenſchnitt in Anwendung zu bringen. Als Regel für dieſen ſchiefen Fugenſchnitt gilt meiſt die Beſtimmung, daſs:

1) die Lagerfugenkanten auf der Laibungsfläche des Gewölbes ſowohl rechtwinkelig zur Stirn, als auch rechtwinkelig zu jedem ferneren parallel zur Stirnebene genommenen Stirnſchnitte ſtehen;

2) die Stofsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten gerichtet, alſo parallel zur Stirnlinie ſind;

3) die Erzeugenden der Lagerfugenflächen ſenkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen, und auch

4) die Erzeugenden der Stofsfugenflächen ſenkrecht zur Gewölbfläche gerichtet ſind.

Die ſtrenge Befolgung dieſer Regel liefert den ſog. »franzöſiſchen oder orthogonalen Fugenſchnitt«, während ein Näherungsverfahren bei der Anordnung der Lagerfugen- und Stofsfugenkanten zu dem in vielen praktiſchen Fällen brauchbaren und weit einfacher zu handhabenden ſog. »engliſchen Fugenſchnitt« führt.

Der »franzöſiſche Fugenſchnitt« geſtaltet ſich mit Bezugnahme auf Fig. 279 in der folgenden Weiſe.

Der Normalſchnitt der im Grundriſs als $abcd$ gegebenen Laibungsfläche eines ſchiefen Gewölbes iſt als Halbkreis afe angenommen und hiernach die Abwickelung der cylindriſchen Gewölbfläche ab_1d_1c beſtimmt. Für den beliebigen Punkt p der abgewickelten Stirnlinie ab_1 iſt $as = x$ gleich der Bogenlänge ag und $sp = y = ih$. Iſt der Punkt p, entſprechend dem Punkte h, der Ausgangspunkt einer Lagerkante an der Stirn des Gewölbes, ſo muſs die Lagerkante pt in der Abwickelung der Laibungsfläche in jedem ihrer Elemente rechtwinkelig zu dem ihr zugehörigen Elemente eines Stirnſchnittes (z. B. CD_1, hervorgerufen durch eine parallel zum Haupte des Gewölbes geführte lothrechte Ebene CD) ſtehen, iſt alſo eine krumme Linie, welche ein Syſtem von gleichartigen krummen Linien (die Stirnſchnittlinien) unter demſelben Winkel, hier unter einem rechten Winkel ſchneidet, d. h. eine Orthogonal-Trajectorie. Wird eine ſolche Trajectorie für den Scheitelpunkt l als die Curve lv beſtimmt, ſo erhält man die für die Anordnung des franzöſiſchen Fugenſchnittes wichtige »Scheiteltrajectorie« des ſchiefen Gewölbes.

Um dieſelbe durch Rechnung feſt zu legen, kann man ihre im Folgenden entwickelte Gleichung benutzen.

Bezeichnet r den Halbmeſſer des für den Normalſchnitt ae gewählten Kreisbogens (hier ein Halbkreis), β das Bogenmafs für den Halbmeſſer 1 und α den Winkel der Schiefe, ſo iſt, bei Annahme des rechtwinkeligen Coordinaten-Syſtemes XY mit dem Anfangspunkte a, für einen beliebigen Punkt p (x, y) der »abgewickelten Stirnlinie« ab_1, die Abſciſſe as gleich der Bogenlänge ag, d. h.

$$x = r\beta, \quad \ldots \quad \text{III.}$$

oder, wenn der zugehörige Centriwinkel amg des Bogens ag eine Gröfse von β Graden beſitzt, ſofort

$$x = r\,\frac{\pi}{180^0}\,\beta^0 \quad \ldots \quad \text{112.}$$

Die Ordinate $y = sp$ des betrachteten Punktes p wird, da $sp = ih$ und

$$ih = ia \,.\, \operatorname{tg}\alpha = (r - mi)\operatorname{tg}\alpha = (r - r\cos\beta)\operatorname{tg}\alpha$$

ift, durch

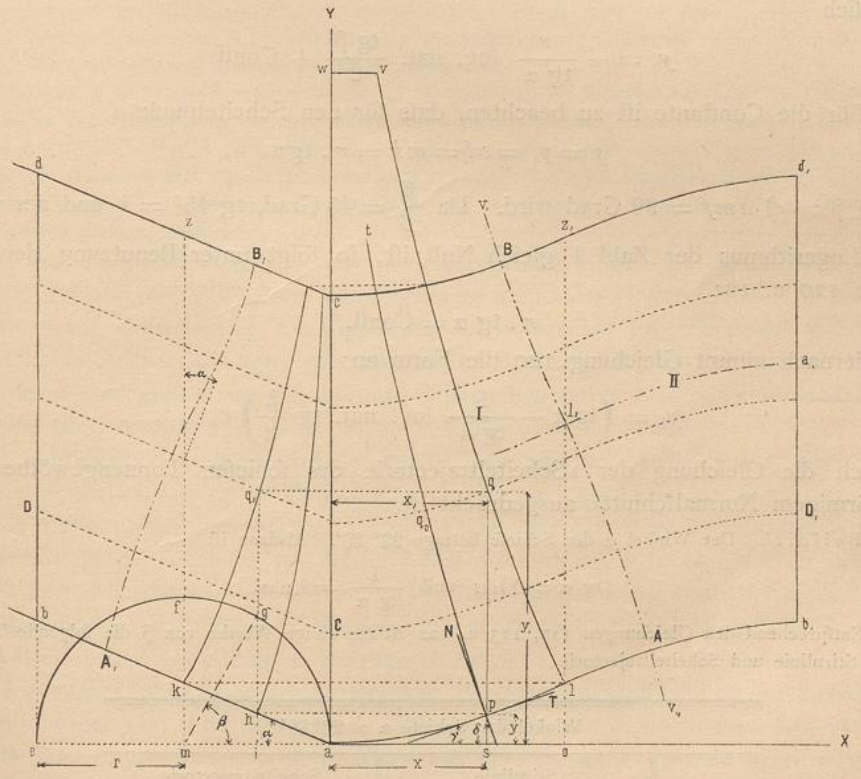
$$y = \operatorname{tg}\alpha\,(1 - \cos\beta)\,r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 113.$$

beftimmt.

Für die im Punkte p beginnende Trajectorie pt ift, wenn für diefen Curvenpunkt nur zur Unterfcheidung von der abgewickelten Stirnlinie die Coordinaten x_1, y_1 ftatt x, y eingeführt werden, in Bezug auf die Tangente pN im Elemente p der Trajectorie

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{dy_1}{-dx_1} = -\frac{dy_1}{dx_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 114.$$

Fig. 279.



Nun ift aber, da pN rechtwinkelig auf der im Elemente p der Stirnlinie ab_1 vorhandenen Tangente pT ftehen foll, $\operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}(90 - \delta) = \operatorname{cotg}\delta = \dfrac{1}{\operatorname{tg}\delta}$ oder

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\operatorname{tg}\gamma}\,; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 115.$$

mithin unter Benutzung von Gleichung 114

$$dy_1 = -\frac{dx_1}{\operatorname{tg}\gamma},$$

oder, da für den Punkt p auch $x_1 = x$, alfo $dx_1 = dx$ ift, auch

$$dy_1 = -\frac{dx}{\operatorname{tg}\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 116.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Nun ist auch $\operatorname{tg}\gamma = \frac{dy}{dx}$ und aus Gleichung 111 folgt

$$dx = r \,.\, d\beta; \quad \ldots \quad 117.$$

ferner erhält man aus Gleichung 113: $dy = r \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \,.\, d\beta$; mithin wird

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{r \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \, d\beta}{r \,.\, d\beta} = \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \quad \ldots \quad 118.$$

Unter Einführung der Werthe aus den Gleichungen 117 u. 118 in Gleichung 116 erhält man

$$dy_1 = -\frac{r \,.\, d\beta}{\operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta} \quad \ldots \quad 119.$$

als Differentialgleichung der Trajectorie. Durch Integration dieser Gleichung ergiebt sich

$$y_1 = -\frac{r}{\operatorname{tg}\alpha} \text{ log. nat. } \frac{\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}{} + \text{Const.} \quad \ldots \quad 120.$$

Für die Constante ist zu beachten, dass für den Scheitelpunkt l

$$y = y_1 = ol = mk = r \,.\, \operatorname{tg}\alpha \quad \ldots \quad 121.$$

und $\sphericalangle \beta = \sphericalangle amf = 90$ Grad wird. Da $\frac{\beta}{2} = 45$ Grad, $\operatorname{tg} 45^0 = 1$ und der natürliche Logarithmus der Zahl 1 gleich Null ist, so folgt unter Benutzung der Ausdrücke 120 u. 121

$$r \,.\, \operatorname{tg}\alpha = \text{Const.},$$

und hiernach nimmt Gleichung 120 die Form an:

$$y_1 = \left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \text{ log. nat. } \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}\right) r, \quad \ldots \quad 122.$$

wodurch die Gleichung der »Scheiteltrajectorie des schiefen Tonnengewölbes mit kreisförmigem Normalschnitt« ausgedrückt ist.

Beispiel. Der Winkel α der Schiefe betrage $22^0\,30'$. Alsdann ist

$$\operatorname{tg}\alpha = 0{,}4142 \quad \text{und} \quad \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} = 2{,}4143.$$

Entsprechend den Gleichungen 112, 113 u. 122 ist für einige Werthe von β die folgende Tabelle für die Stirnlinie und Scheiteltrajectorie

Winkel der Schiefe $\alpha = 22^0\,30'$				
β	Stirnlinie		Scheiteltrajectorie	
	x	y	$x_1 = x$	y_1
0	0	0	0	∞
30	0,5236	0,0555	0,5236	3,5938
60	1,0472	0,2071	1,0472	1,7402
75	1,3090	0,3070	1,3090	1,0544
90	1,5708	0,4142	1,5708	0,4142
Grad	r	r	r	r

berechnet. In Fig. 279 ist $\alpha = 22^0\,30'$ und $r = 3$ m genommen. Für $\beta = 60^0$ ergiebt sich für den Punkt q der Scheiteltrajectorie lv demnach die Abscisse $x_1 = as =$ Bogen $ag = 1{,}0472 \,.\, 3 = 3{,}1416$ m; die Ordinate $y_1 = sq = 1{,}7402 \,.\, 3 = 5{,}2206$ m.

Ift in einem gegebenen einzelnen Falle die Scheiteltrajectorie lv in Verbindung mit der halben abgewickelten Stirnlinie al und der Widerlagslinie aY durch Zeichnung feft gelegt, fo kann das Flächenftück $alvw$ ohne Weiteres als Lehre (Schablone) zur Beftimmung der fämmtlichen Lager- und Stofsfugenkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche ab_1d_1c benutzt werden. Hierbei ift nur das Folgende zu berückfichtigen.

Die Scheitellinie lz_1 fcheidet die abgewickelte Fläche ab_1c_1d in die beiden Theile I und II. Für die Lager- und Stofskanten des Theiles I gleitet die Lehre mit ihrer Seite aw ftets an der Widerlagslinie ac fort, während für jene Kanten des Theiles II die Lehre an der mit ac parallelen Linie b_1d_1 fortzubewegen ift.

Ift z. B. p ein Theilpunkt der Gewölbftirn (Fugenpunkt) des Theiles I, fo führt man die Lehre mit ihrer Seite aw fo lange an ac entlang, bis die Curve lv mit einem Elemente durch den Punkt p läuft, und zeichnet alsdann das auf die Fläche I von lv fallende Curvenftück pt als Lagerkante vor. Die Stofsfugenkanten find am Stirnbogenftücke al vorzuzeichnen. Würde etwa der Punkt q der Ausgangspunkt einer folchen Kante fein, fo verfchiebt man die Lehre an ac fo lange, bis ein Element der Stirnlinie al durch q läuft, und zeichnet qq_0 als Stofskante ein.

Ift dagegen A ein Fugenpunkt des Theiles II, fo läfft man bei umgekehrter Lage der Lehre die Seite aw fo an d_1b_1 gleiten, bis die Scheiteltrajectorie durch A zieht. Trifft eine folche Kante die Scheitellinie lz_1 in einem Punkte l_1, fo bildet diefer die Grenze der Lagerkante des Theiles II, und von hier aus ift die weiterziehende zugehörige Lagerkante l_1B des Theiles I wiederum diefem Theile entfprechend zu zeichnen. Die Stofskanten des Theiles II find mit Hilfe der Stirnlinie al, aber jetzt der Lage a_1l_1 gemäfs geführt, einzutragen.

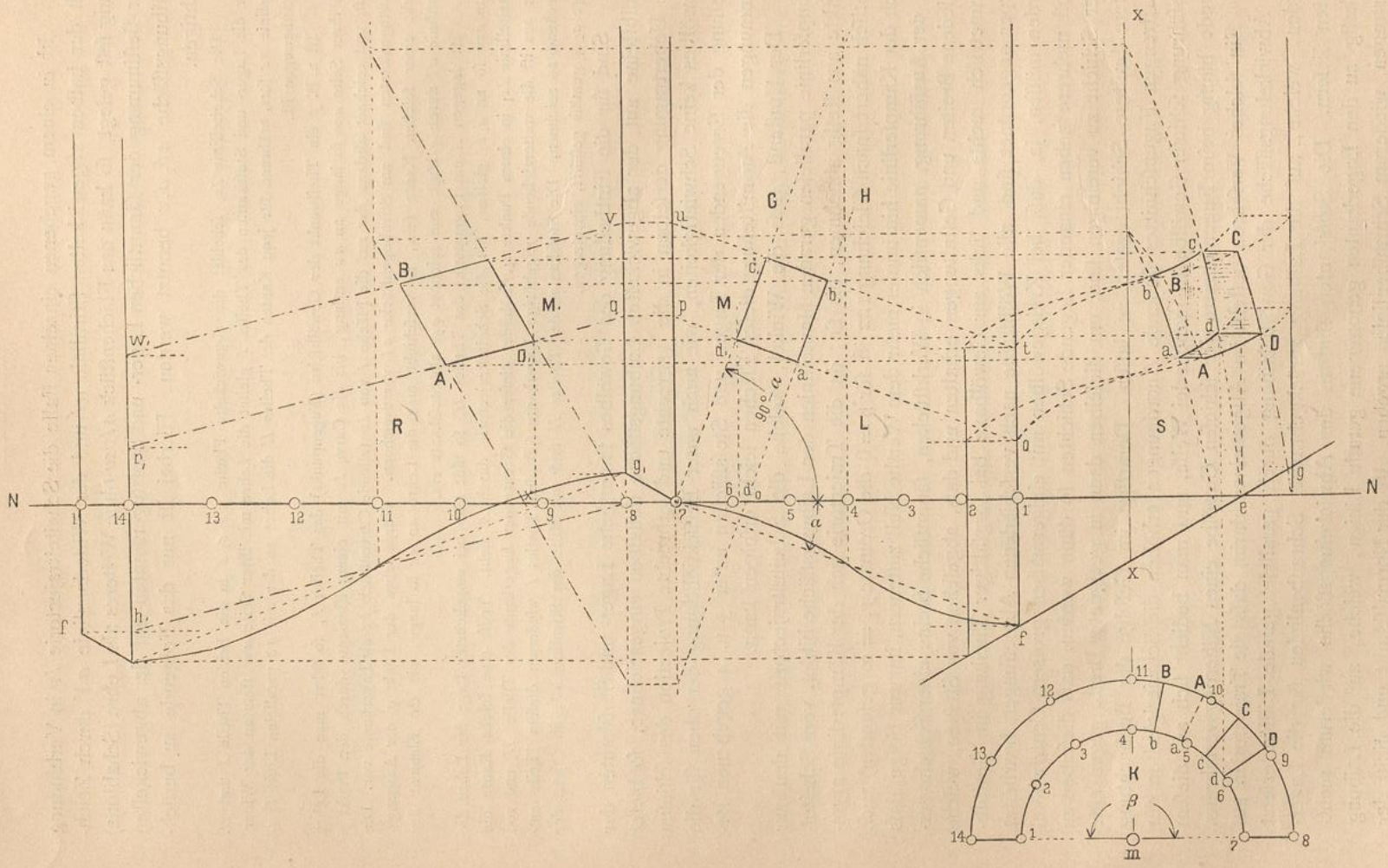
Sind für die Eintheilung des Gewölbes fämmtliche Lager- und Stofskanten der Wölbfteine auf der abgewickelten Laibungsfläche deffelben eingezeichnet, fo bietet die Uebertragung derfelben in die wagrechte und lothrechte Projection des fchiefen Gewölbes keine Schwierigkeiten, wie auch unter Berückfichtigung der oben für die Stellung der Erzeugenden der Lager- und Stofsflächen unter 3 u. 4 gegebenen Beftimmungen die Ausmittelung diefer Flächen leicht erfolgen kann.

Der Umftand, dafs die Winkel, welche die Scheiteltrajectorie mit den zur Kämpferlinie parallelen geraden Mantellinien der Laibungsfläche bildet, vom Scheitelpunkte aus ftetig abnehmen, bis fie, da die Trajectorie fich der Kämpferlinie afymptotifch nähert (nach Gleichung 122 ift für $\beta = 0$ die Ordinate $y_1 = \infty$ gefunden) auch nach der Kämpferlinie hin immer mehr dem Werthe Null zufteuern, hat zur Folge, dafs bei der Ausführung, namentlich in Werkftücken, fämmtliche Steine einer Schicht verfchiedene Breiten und Geftaltungen erhalten und dafs, abgefehen von Steinen, welche fymmetrifch rechts und links zur Gewölbaxe bei forgfältiger Theilung im Gewölbkörper angeordnet find, alle Wölbfteine nach verfchiedenen Abmeffungen bearbeitet werden müffen, ja, dafs bei Kreisgewölben mit einigermafsen grofsem Centriwinkel felbft mehrere neben einander liegende Schichten fo dünn werden, dafs diefelben zu einer Schicht zu vereinigen find, um diefelben dann in geeigneter Breite gegen eine andere breitere Schicht treten zu laffen. Derartige im Gefolge der Beobachtung des ftrengen Fugenfchnittes ftehende Anordnungen erhöhen die Schwierigkeiten der Ausführung fchiefer Gewölbe in mancherlei Weife, und man bedient fich aus diefem Grunde häufig beim Fugenfchnitte der fchiefen Gewölbe eines Näherungsverfahrens.

Ein folches Verfahren befteht im Allgemeinen darin, dafs die Trajectorien auf der Abwickelungsfläche der Gewölbelaibung durch parallele gerade Linien erfetzt werden, welche, auf die Laibung zurückgebracht, Schraubenlinien für die Lagerkanten liefern. Die Stofskanten find in der Abwickelungsfläche wiederum rechtwinkelig zu den Lagerkanten genommene gerade Linien, welche, auf die Laibung übertragen, wiederum Schraubenlinien ergeben. Ift der Normalfchnitt und nicht der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 280.


X
G
H
V
U
B,
M,
q
p
M
W,
A,
D,
R
L
S
N
1
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
90° α
a
r,
g,
h,
f
X
f
B
A
C
D
K
β
m

Stirnbogen des ſchiefen Gewölbes bei dieſer Fugenanordnung ein Halbkreis oder ein Kreisſegment, ſo iſt man bei ſorgfältiger Theilung der Wölbſchichten im Stande, den ſämmtlichen Wölbſteinen, mit Ausnahme der Stirn- und Kämpferſteine, congruente Laibungsflächen zu geben.

Die Lager- und Stoſsflächen beſitzen gerade Linien als Erzeugende, welche ſenkrecht zur Laibung ſtehen. Da die Lagerkanten in der Abwickelung parallele gerade Linien ſind, ſo ſchneidet jede derſelben die zur Kämpferlinie des Gewölbes parallelen Mantellinien ſtets unter demſelben Winkel, dem »conſtanten Fugenwinkel«.

Auf dieſen Grundſätzen beruht der ſog. »engliſche Fugenſchnitt«, welcher in der Ausführung weit weniger Umſtände verurſacht, als der vorhin beſprochene franzöſiſche Fugenſchnitt.

Zur näheren Erklärung des »engliſchen Fugenſchnittes« möge Fig. 280 dienen.

In derſelben iſt S ein Theil des Grundriſſes des ſchiefen Gewölbes mit der Axe XX, L die Abwickelung der inneren, R die der oberen Gewölbfläche und K der in der Ebene NN ſtehende Normalſchnitt des Gewölbes, welcher als Halbkreis gewählt iſt.

In der abgewickelten Gewölbfläche L iſt die maisgebende Lagerkante durch den an der Stirn befindlichen Kämpferpunkt 7, welcher dem Punkte e in S auf NN entſpricht, als gerade Linie $7G$ rechtwinkelig zur geraden Verbindungslinie $f7$ der Endpunkte der abgewickelten Stirnlinie gelegt, ſo daſs $7G$ die Richtung aller Lagerkanten, G, H u. ſ. w., $f7$ die Richtung aller Stoſskanten op, tu u. ſ. w., wobei letztere ſonſt für die einzelnen Wölbſchichten im Verbande ſtehen, bezeichnet. Die Lagerkanten ſchneiden die zu der Kämpferlinie ft parallelen Mantellinien unter dem conſtanten Fugenwinkel α; die Stoſskanten treffen dieſe Mantellinien unter einem Winkel $90^0 - \alpha$.

Durch dieſe Anordnung ergiebt ſich die abgewickelte Laibungsfläche eines Wölbſteines z. B. als das Rechteck $a_1 b_1 c_1 d_1$.

Zur Beſtimmung der Lager- und Stoſskanten auf der abgewickelten Rückenfläche R ſind dieſelben, da die Fugenflächen, welche jene Kanten enthalten, auf der inneren Gewölbfläche ſenkrecht ſtehen ſollen, von den Lager- und Stoſskanten der inneren Gewölbfläche abhängig zu machen. Der Punkt d_1, welcher der Lagerkante $7G$ angehört, liegt auf der zur Kämpferlinie $7u$ parallelen Mantellinie Md_0 der Laibungsfläche, um eine Bogenlänge $7d_0$ von der Kämpferlinie entfernt. Nimmt man demnach im Normalſchnitte K die zurückgeführte Bogenlänge $7d_0 = 7d$, ſo iſt, wenn in d die Normale dD bis zum Gewölbrücken gezogen wird, durch die Bogenlänge $8D$ die Mantellinie auf der oberen Gewölbfläche, welche den Punkt D_1 auf der oberen Abwickelung R enthalten muſs, in ihrer lothrechten Projection beſtimmt.

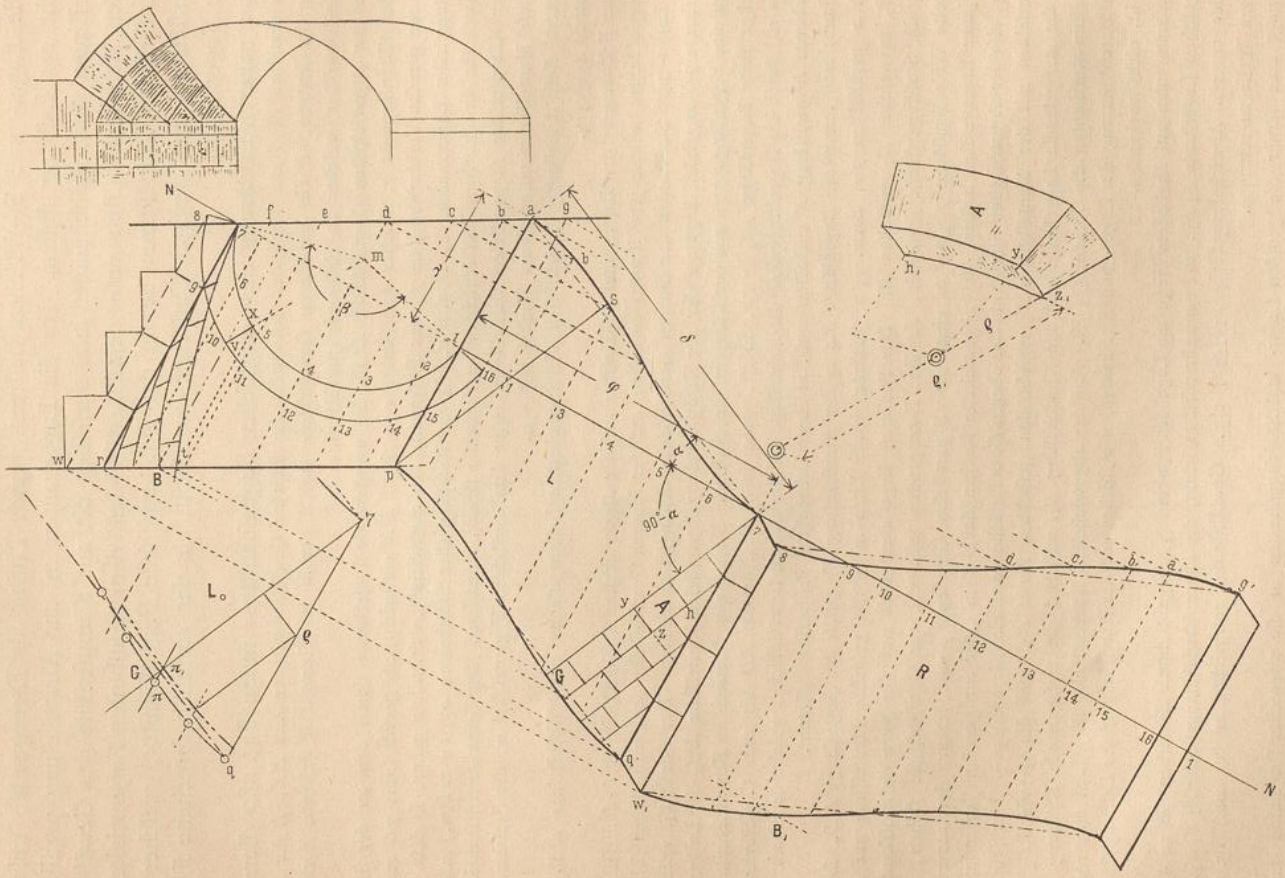
Nimmt man ferner die Bogenlänge $8x$ in der Abwickelung R gleich der Bogenlänge $8D$, ſo iſt die durch x parallel zu $7u$, bezw. $g_1 v$ geführte gerade Linie xM_1 die geſuchte Mantellinie auf der Fläche R, in welcher D_1 enthalten iſt. Der Punkt d_1 liegt aber auch auf der geraden Stoſskantenlinie op; die Stoſsfugenfläche ſchneidet, da ihre Erzeugenden ſenkrecht zur Gewölbfläche ſtehen, die abgewickelte Widerlagsfläche $7g_1 vu$ in einer zu 78 parallelen Geraden pq und ferner, der normalen Stellung jener Erzeugenden halber, die abgewickelte Rückenfläche R in einer zur geraden Verbindungslinie $8h_1$, alſo der abgewickelten Stoſskante der oberen Gewölbfläche parallelen Geraden qr_1. Der Schnittpunkt derſelben mit der Mantellinie xM_1 ergiebt den geſuchten Punkt D_1, und die Gerade $8D_1$ bezeichnet die maſsgebende Lagerkante auf der Abwickelung R_1, während die maſsgebende Richtung der abgewickelten Stoſskanten die Gerade $8h_1$ iſt. Auf der abgewickelten Rückenfläche iſt jedoch eine rechtwinkelige Durchkreuzung der Lager- und Stoſskanten, wie ſolches auf der Abwickelung der Laibungsfläche der Fall iſt, nicht vorhanden.

Beſtimmt man auf ähnlichem Wege die Lage des Punktes A_1, ſo geht durch denſelben die zu $8D_1$ parallel geführte Lagerkante $A_1 B_1$, und nunmehr wird es leicht, die obere Abwickelungsfläche $A_1 B_1 C_1 D_1$, welche der unteren Abwickelungsfläche $a_1 b_1 c_1 d_1$ eines Gewölbſteines entſpricht, in der aus Fig. 280 erſichtlichen Weiſe zu zeichnen.

Bringt man ferner die geraden Lager- und Stoſsfugenkanten in die wagrechte Projection durch bekannte Operationen zurück, ſo erhält man die Schraubenlinien, welche in ab und dc die Lagerkanten, in ad und bc die Stoſskanten des gewählten Wölbſteines auf der inneren Laibungsfläche, dagegen in AB und DC die Lagerkanten und in AD und BC die Stoſskanten deſſelben auf der Rückenfläche des ſchiefen Gewölbes enthalten, während die geraden Linien aA, bB, cC und dD die Grenzerzeugenden der als Schraubenflächen auftretenden Lager- und Stoſsfugenflächen ſind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 281.



Unter Beobachtung der für den englischen Fugenschnitt geltenden Grundsätze ist in Fig. 281 ein schiefes Gewölbe, dessen Normalschnitt ein Kreisbogen mit dem Centriwinkel β ist, in Rücksicht auf die weitere Fugentheilung dargestellt. Die massgebende Lagerkante $7G$ soll im Endpunkte 7 der Kämpferlinie $7q$ beginnen und auf der für die Stofskanten massgebenden Richtung $7a$ rechtwinkelig stehen; gleichzeitig soll auch im günstigsten Falle der auf der Stirnlinie pq liegende Endpunkt G dieser Lagerkante ein Theilpunkt für die Gewölbstirn werden. Die Anzahl der Wölbsteine an der Stirnfläche muss aber, damit, wie bekannt, zu beiden Seiten des Schlussteines eine gleiche Zahl von Wölbsteinen vorhanden ist, eine ungerade sein. Theilt man nun die abgewickelte Stirnlinie unter Beobachtung sonst günstiger Breitenabmessungen der Wölbsteine in eine solche ungerade Anzahl gleich grosser Strecken ein, so wird im Allgemeinen ein solcher Gewölbtheilpunkt nicht sofort oder auch selbst nicht nach mehreren Theilversuchen mit dem Punkte G zusammenfallen. Tritt dieser Umstand ein, so verfährt man am besten, wenn man die Länge $7q$ der Kämpferlinie des Gewölbes, wie bei L_0 in Fig. 281 zu ersehen ist, um ein an und für sich meistens geringes Stück $\pi\pi_1$ so abändert, dass die abgewickelte Stirnlinie durch den Punkt π_1 geht, welcher alsdann auch Endpunkt der massgebenden Lagerkante wird. Auf diese verlegte Stirnlinie werden die Theilpunkte des Gewölbehauptes ohne Weiteres übertragen und durch dieselben die zu $7\pi_1$ parallelen Lagerkanten gezogen. Die auf Verband zu ordnenden Stofskanten richten sich zunächst nach den Punkten ρ, in welchen die Lagerkanten die Kämpferlinien treffen, und nunmehr ist die Theilung der einzelnen Wölbschichten durch Stofskanten so vorzunehmen, dass, abgesehen von den Stirnsteinen, in allen Schichten lauter gleich lange Wölbsteine vorkommen.

Die Kämpfersteine bilden in ihrer Gesammtheit einen sägeförmigen Ansatz für die Wölbschichten und erhalten unter der eigentlichen nur angearbeiteten Kämpferlinie ihrer Haltbarkeit halber stets eine entsprechende Verstärkung (Ueberhöhung).

Die Stirnsteine bieten bei der Bearbeitung wohl einige Schwierigkeiten. Nur die rechts und links an den Häuptern symmetrisch liegenden Steine werden gleich gross und symmetrisch geformt. Die Stirnfugen selbst sind Schnittlinien der Schraubenflächen der Lagerflächen mit der Ebene der Stirn, also im Allgemeinen krumme Linien. Immerhin sind alle diese Umstände weit zurückstehend gegen die, welche sich bei der Herstellung der schiefen Gewölbe nach dem französischen Fugenschnitte geltend machen.

Für die keilförmige Verjüngung der eigentlichen Wölbsteine erhält man als Mass Kreisbogen mit Radien ρ und ρ_1, welche in Fig. 281 für einen Wölbstein A eingeschrieben sind. Durch die Anwendung dieser Kreisbogen kann die Formgestaltung der Steine erleichtert werden.

Zur Bestimmung des Krümmungshalbmessers ρ der Schraubenlinie für die Stofsfugenkante z_1y_1 am Steine A ist die von der Geraden $7a$ abhängige Schraubenlinie massgebend. Mit Bezugnahme auf Fig. 281 ist, wenn r den Radius $m7$ des Normalschnittes des Cylinders, auf welchem die Schraubenlinie liegt und α den Steigungswinkel $17a$ derselben auf der Abwickelung L bezeichnet, allgemein

$$\rho = \frac{r}{\cos \alpha^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 123.$$

Es ist aber $\cos \alpha = \frac{\varphi}{\delta}$, also

$$\cos \alpha^2 = \frac{\varphi^2}{\delta^2} = \frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 124.$$

Aus den Gleichungen 123 u. 124 folgt

$$\rho = \frac{r}{\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2}} = \frac{r}{\varphi^2} (\varphi^2 + \gamma^2)$$

oder

$$\rho = r \left[1 + \left(\frac{\gamma}{\varphi}\right)^2\right] \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 125.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für den Centriwinkel β des als Kreisbogen genommenen Normalfchnittes des fchiefen Gewölbes wird

$$\varphi = \frac{\pi r}{180^0}\,\beta^0, \quad \ldots \quad 126.$$

wodurch Gleichung 125 übergeht in

$$\rho = r + \left(\frac{180^0 \cdot \gamma}{\pi \beta^0}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \quad 127.$$

Der Krümmungshalbmeffer ρ_1 der Schraubenlinie für die Lagerkante $z_1 k_1$ des Steines A ergiebt fich mit Hilfe der für diefe Schraubenlinie in der Abwickelung mafsgebenden Geraden $7G$, für welche der Steigungswinkel $17G = 90 - \alpha$ in Betracht kommt, durch den Ausdruck

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos(90 - \alpha)^2} = \frac{r}{\sin \alpha^2}. \quad \ldots \quad 128.$$

Nun ift $\sin \alpha = \frac{\gamma}{\delta}$, alfo

$$\sin \alpha^2 = \frac{\gamma^2}{\delta^2} = \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2}. \quad \ldots \quad 129.$$

Aus der Verbindung von Gleichung 128 mit 129 folgt

$$\rho_1 = \frac{r}{\frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2}} = r\left[1 + \left(\frac{\varphi}{\gamma}\right)^2\right],$$

oder, wenn für φ der Werth aus Gleichung 126 eingefetzt wird,

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r \beta}{180^0 \gamma}\right)^2 r. \quad \ldots \quad 130.$$

Ift der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes ein Halbkreis, wofür $\beta = 180$ Grad wird, fo erhält man für diefen befonderen Fall, entfprechend Gleichung 127,

$$\rho = r + \left(\frac{\gamma}{\pi}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \quad 131.$$

und gemäfs Gleichung 130

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r}{\gamma}\right)^2 r \quad \ldots \quad 132.$$

Noch möge hier die Bemerkung Platz finden, dafs die Anwendung des conftanten Fugenwinkels bei fchiefen Gewölben eine gewiffe Grenze hat, welche nicht überfchritten werden darf, wenn kein Ausbauchen der Gewölbftirnen eintreten foll. Diefer Punkt kann jedoch erft bei Befprechung der Ausführung der Tonnengewölbe (unter c) näher berührt werden, wobei dann ferner unter Berückfichtigung des zur Verwendung gelangenden Wölbmaterials auch noch die Verfahren gekennzeichnet werden follen, wonach in vereinfachter Weife die Herftellung von fchiefen Gewölben für etwa vorzunehmende Deckenbildungen erfolgen kann.

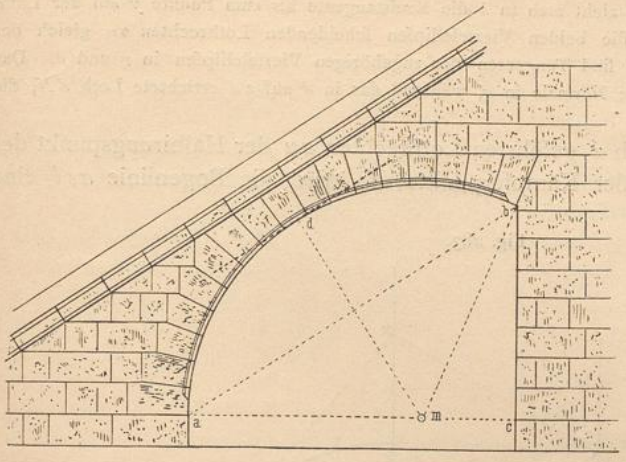
135. Einhüftiges Tonnengewölbe.

Liegen die wagrechten Kämpferlinien eines Tonnengewölbes (Fig. 282) in zwei verfchiedenen wagrechten Ebenen, fo heifst daffelbe kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Der Abftand bc jener wagrechten Ebenen entfpricht der »Hüfthöhe«, während die wagrechte Entfernung ac der durch a und b gehenden lothrechten Ebenen die Spannweite des Gewölbes ergiebt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 282.



Als Erzeugende der einhüftigen Gewölbe kann irgend eine gefetzmäfsig gebildete ebene Curve benutzt werden. Bei gegebenen Kämpferpunkten a und b kann in vielen Fällen ein Kreisbogen Verwendung finden, welcher im tiefftgelegenen Kämpferpunkte a eine lothrechte Tangente befitzt und fonft die gerade Verbindungslinie ab als Sehne erhält. Ein derartiger um m zu befchreibender, leicht zu beftimmender Kreisbogen hat in feinem Halbirungspunkte d eine parallel zu ab gerichtete Tangente, welche als allgemeine Richtungslinie für den vom Gewölbe getragenen Ueberbau gelten kann.

Nicht immer kann jedoch der Punkt d Halbirungspunkt der beabfichtigten erzeugenden Bogenlinie oder die allgemeine Richtungslinie nicht parallel der Verbindungslinie ab bleiben, fo dafs ein Kreisbogen nicht mehr ohne Weiteres als günftig für die Erzeugende des Gewölbes erfcheint. Da aufserdem in mancher Beziehung der Anfatz der Erzeugenden in den Kämpferpunkten mit lothrechter Tangente erwünfcht ift, fo fetzt man an die Stelle des Kreisbogens als Erzeugende fehr oft elliptifche Bogen oder Korbbogen.

In Fig. 283 ift die Erzeugende acb aus zwei Viertelellipfen ac und bc zufammengefetzt, welche in a und b lothrechte Tangenten, in dem fonft zwifchen a und b beliebig gewählten Punkte c eine gemeinfchaftliche Tangente cx, welche parallel zu ab zieht, befitzen. Die Punkte der einzelnen elliptifchen Bogen find durch die fog. Vergatterung ermittelt, wobei der um b befchriebene Viertelkreis wx, deffen Halbmeffer gleich der Strecke $c\gamma$ auf der durch den gegebenen Punkt c geführten Lothrechten zu ift, für die lothrechten Ordinaten der Ellipfenftücke mafsgebend wird.

Theilt man die Strecken γa, γb und den Halbmeffer bw des Viertelkreifes wx proportional, fo gehören den entfprechenden proportionalen Theilpunkten die aus dem Viertelkreife zu entnehmenden lothrechten Ordinaten den gefuchten Ellipfenpunkten an.

Die proportionale Theilung erfolgt einfach mit Hilfe des Dreieckes aub, deffen Spitze u beliebig auf der durch c geführten Lothrechten zu angenommen ift, und mittels des Dreieckes bwv, deffen Seite bv auf der Lothrechten yb gleich der Strecke γu gemacht wurde.

Zieht man durch den beliebig genommenen Punkt β_1 der Strecke γb die Lothrechte gf, wobei f auf ub liegt, alsdann durch f die Gerade he parallel zu ab, durch e die Lothrechte ed, fo ift $\beta_{,,}$ ein dem Theilpunkte β_1 der Strecke γb entfprechender proportionaler Theilpunkt der Strecke γa.

Führt man durch h den Strahl hi parallel bw und durch i die Lothrechte ik, fo ift β wiederum ein Punkt, welcher bw in demfelben Verhältniffe theilt, wie der Punkt β_1 die Strecke γb und der Punkt $\beta_{,,}$ die Strecke γa zerlegt. Die Ordinate βk des Viertelkreifes wx liefert die Länge der lothrechten Ordinaten $\beta_1 g$ und $\beta_{,,} d$ für die gefuchten Punkte d und g der zugehörigen Viertelellipfen. Auf gleiche Weife find noch die Punkte s und t beftimmt.

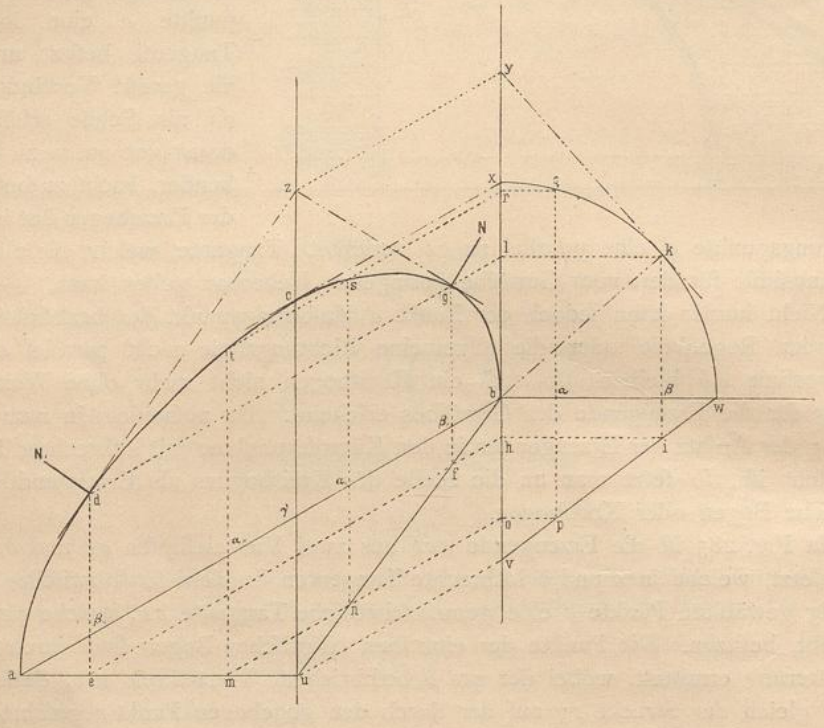
Um die Normalen in einzelnen Ellipfenpunkten feft zu legen, verfährt man am einfachften wie folgt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Soll dies z. B. für die einander zugeordneten Punkte g und d geſchehen, welche dem Punkte k des Viertelkreiſes wx entſprechen, ſo zieht man in k die Kreistangente bis zum Punkte y auf der Lothrechten by und nimmt γz auf der die beiden Viertelellipſen ſcheidenden Lothrechten zu gleich der Strecke by. Die Strahlen zg und zd ſind Tangenten der zugehörigen Viertelellipſen in g und d. Das in g zu zg errichtete Loth gN iſt die Normale in g, während das in d auf zd errichtete Loth dN_1 die Normale im Ellipſenpunkte d wird.

Iſt der Punkt γ der durch c geführten Lothrechten zu der Halbirungspunkt der geraden Verbindungslinie ab der Kämpferpunkte, ſo wird die Bogenlinie acb eine

Fig. 283.



halbe Ellipſe mit den halben conjugirten Durchmeſſern $\gamma a = \gamma b$ und γc und mit γ als Mittelpunkt.

In ſolchem Falle iſt die Ermittelung der Ellipſenpunkte eben ſo zu bewirken, wie in Fig. 283 gezeigt wurde. Häufig iſt es jedoch rathſam, die Ellipſe mit Benutzung ihrer reellen Axen zu zeichnen, deren Beſtimmung in folgender Weiſe geſchehen kann [159]).

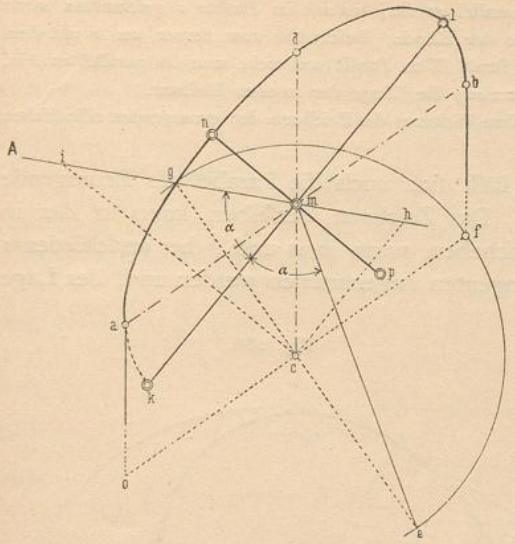
Es mögen in Fig. 284 ab als Verbindungslinie der Kämpferpunkte, $ma = mb$ und $mc = md$ als halbe conjugirte Durchmeſſer der Ellipſe gegeben ſein; geſucht werden die reellen Axen kl und np derſelben.

Man ziehe durch c die Gerade of parallel zu ab und nehme $cf = co$ gleich dem halben conjugirten Durchmeſſer ma; alsdann beſchreibe man um c mit dem Halbmeſſer cf einen Kreis, welcher das in c auf of errichtete Loth in g und e trifft; verbinde den bekannten Mittelpunkt m der Ellipſe mit dem Punkte g durch den Strahl A und mit e durch die Gerade me und halbire den Winkel gme; alsdann giebt die Halbirungslinie mk dieſes Winkels die Lage der einen reellen Axe und das in m auf mk errichtete Loth nmp die Lage der zweiten reellen Axe der Ellipſe.

159) Siehe: Jacob Steiner's Vorleſungen über ſynthetiſche Geometrie. Die Theorie der Kegelſchnitte, geſtützt auf projectiviſche Eigenſchaften. Bearbeitet von H. Schröder. Leipzig 1867.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 284.

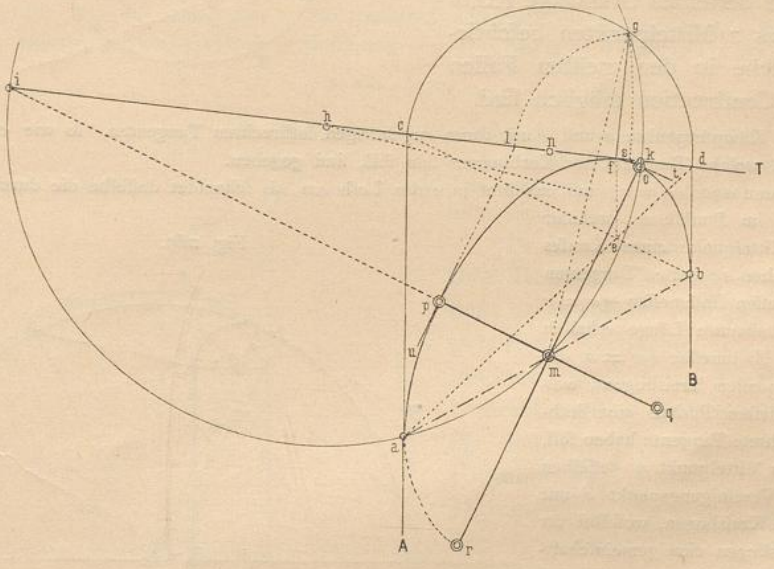


Um die Gröfse derfelben zu finden, ziehe man ch parallel zu mk und ci parallel zu pn; alsdann wird $mh = mp = nm$ gleich der halben Axe np und $mi = mk = ml$ gleich der halben Axe kl. Mit Hilfe diefer beiden reellen Axen ift die Ellipfe nach bekanntem Verfahren zu conftruiren.

Recht oft find die beiden lothrechten Tangenten der feften Kämpferpunkte a und b (Fig. 285), fo wie eine in beftimmter Richtung vorgefchriebene dritte Tangente für die elliptifche Erzeugende des einhüftigen Gewölbes gegeben, und hiernach ift die zugehörige Curve zu ermitteln. Mit Anwendung der Sätze der fynthetifchen Geometrie kann man fich in folchem Falle der in Fig. 285 gegebenen Löfung bedienen.

Die beiden durch die gegebenen Kämpferpunkte a und b gehenden Lothrechten A und B follen zwei parallele Tangenten der gefuchten Ellipfe fein; die dritte veränderliche, hier gegebene, Tangente fei T. Zur Beftimmung des Berührungspunktes f diefer Tangente mit der Ellipfe verbinde man die Schnittpunkte c und d des Strahles T mit den Tangenten A und B durch die geraden Linien ad und bc und ziehe durch den Schnittpunkt e derfelben den Strahl ef parallel zu A, bezw. B; alsdann ift f der

Fig. 285.



gefuchte Berührungspunkt. Errichtet man in f das Loth auf T und befchreibt man über cd einen Halbkreis um n, fo wird auf jenem Lothe ein Stück fg abgefchnitten, welches für die weitere Unterfuchung von Wichtigkeit ift (Potenz der Involution).

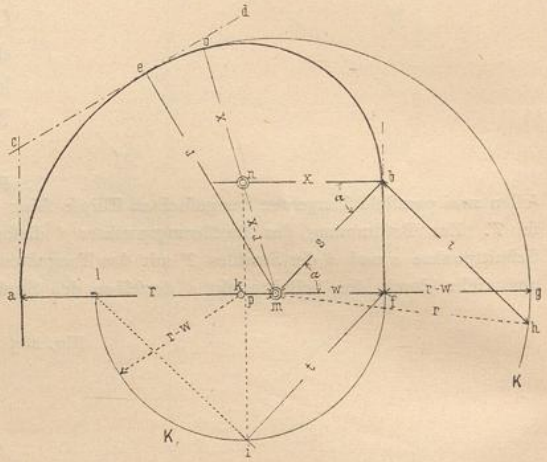
Legt man durch den Punkt m, welcher Mittelpunkt der Ellipfe ift, und durch den Punkt g einen Kreis, deffen Mittelpunkt h auf dem Strahle T liegt und welcher diefen Strahl in den Punkten i und k fchneidet, fo beftimmen die von i durch m und von k ebenfalls durch m geführten geraden Linien iq und kr die Lage der reellen Axen der gefuchten Ellipfe.

Um die Gröfse der Axen zu erhalten, befchreibe man um i mit dem Halbmeffer ig den Kreisbogen gs bis zum Punkte s auf T und ziehe st parallel zu im, bis mk im Punkte o gefchnitten wird; alsdann ift $mo = mr$ die Länge einer halben Axe der Ellipfe. Befchreibt man ferner um k mit dem Halbmeffer kg einen Kreisbogen, bis derfelbe den Strahl T in l trifft und zieht man lu parallel zu km, bis die Gerade im in p getroffen wird, fo ift $mp = mq$ die Länge der zweiten Halbaxe.

Nach Feftlegen diefer reellen Axen erfolgt ohne Weiteres das Zeichnen der erzeugenden elliptifchen Bogenlinie $apfob$ des einhüftigen Gewölbes.

Statt einer elliptifchen Bogenlinie läfft fich auch die Parabel als Erzeugende eines einhüftigen Gewölbes verwenden. Das Zeichnen derfelben kann in der in Fig. 262 (S. 154) angedeuteten Weife gefchehen, wenn in a und b bei verfchiedener Höhenlage derfelben auch lothrechte Tangenten angenommen werden und, der Lage der Punkte a, b und c entfprechend, die für die Ermittelung der Parabel mafsgebenden Dreiecke adc und bdc benutzt werden.

Fig. 286.



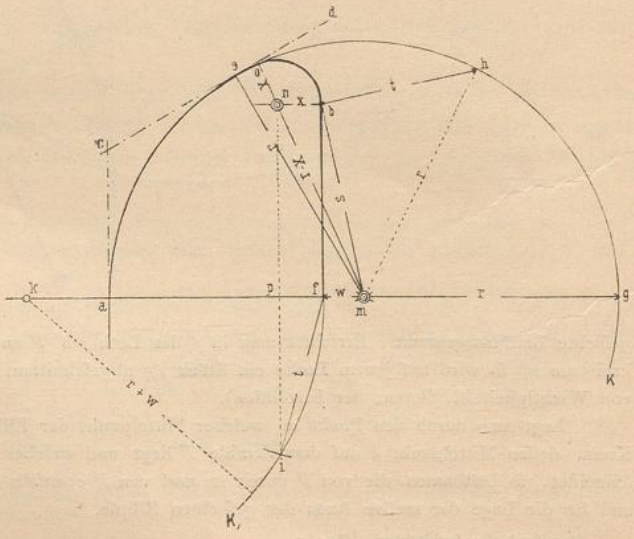
Statt der erwähnten Kegelfchnittlinien wählt man, wie früher fchon erwähnt, um in leichter Weife eine normale Fugenftellung zu erhalten, auch für einhüftige Gewölbe eine Korbbogenlinie als Erzeugende, die dann aus zwei oder mehreren Kreisbogen zufammengefetzt ift.

In Fig. 286 u. 287 find nach einer und derfelben Grundlage Korbbogen aus 2 Mittelpunkten befchrieben, welche in den meiften Fällen in ihrer Conftruction möglich find.

Die Kämpferpunkte a und b mit ihren zugehörigen lothrechten Tangenten, fo wie eine beliebige Gerade cd, welche Tangente des Korbbogens fein foll, find gegeben.

Nimmt man $ac = ce$ und errichtet in e das Loth em, fo fchneidet daffelbe die durch a geführte Wagrechte im Punkte m, welcher offenbar Mittelpunkt eines Kreifes ift, für welchen ac und cd Tangenten find und deffen Halbmeffer $ma = r$ eine nun bekannte Länge erhalten hat. Der Halbmeffer $bn = x$ des in b beginnenden Kreisbogens, welcher in diefem Punkte eine lothrecht gerichtete Tangente haben foll, fo wie der Mittelpunkt n deffelben und fein Vereinigungspunkt o mit dem erften Kreisbogen, wofelbft für beide Kreisbogen eine gemeinfchaftliche Tangente auftreten mufs, find unbekannt. Um zunächft die Gröfse des Halbmeffers x zu finden, befchreibe man um m mit dem Halbmeffer ma einen Kreisbogen K, welcher die verlängerte Gerade am im Punkte g fchneidet, ziehe die Linie mb und hierzu in b das

Fig. 287.



Loth bh, deſſen Endpunkt h dem Kreiſe K angehört. Nimmt man alsdann $fk = fg$ als Halbmeſſer eines um k beſchriebenen Kreiſes K_1, trägt $fi = bh$ von f als Sehne deſſelben ein und fällt man von i das Loth ip auf af, ſo iſt fp gleich dem geſuchten Halbmeſſer x.

Wird nunmehr in b rechtwinkelig zur lothrechten Tangente bf die Strecke $bn = x$ angetragen, ſo iſt n der Mittelpunkt des vom Kämpferpunkte b ausgehenden Kreisbogens. Zieht man endlich den gehörig verlängerten Strahl mn, ſo trifft derſelbe den erſten vom Kämpferpunkte a ausgehenden Kreis K im Punkte o, welcher Vereinigungspunkt für die beiden aus m und n beſchriebenen, den geſuchten Korbbogen bildenden Kreisbogen ao und ob wird.

Die gegebene Conſtruction iſt durch folgende, den Bezeichnungen in Fig. 286 u. 287 entſprechende Beziehungen begründet. In Fig. 286 liegt der Mittelpunkt m innerhalb der Spannweite af des Gewölbes. Im ſchiefwinkeligen Dreiecke mbn iſt

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2sx \cdot \cos \alpha,$$

oder, da $\cos \alpha = \frac{w}{s}$, auch

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2wx,$$

d. h.

$$2(r - w)x = r^2 - s^2.$$

Da ferner $r^2 - s^2 = t^2$, ſo ergiebt ſich

$$2(r - w)x = t^2$$

oder

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r - w)}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 133.$$

wonach t als mittlere Proportionale zwiſchen x und $2(r - w)$ auftritt.

Die beiden rechtwinkeligen Dreiecke fpi und fil ſind einander ähnlich, und es iſt

$$\frac{fp}{fi} = \frac{fi}{fl},$$

d. h. entſprechend der Gleichung 133

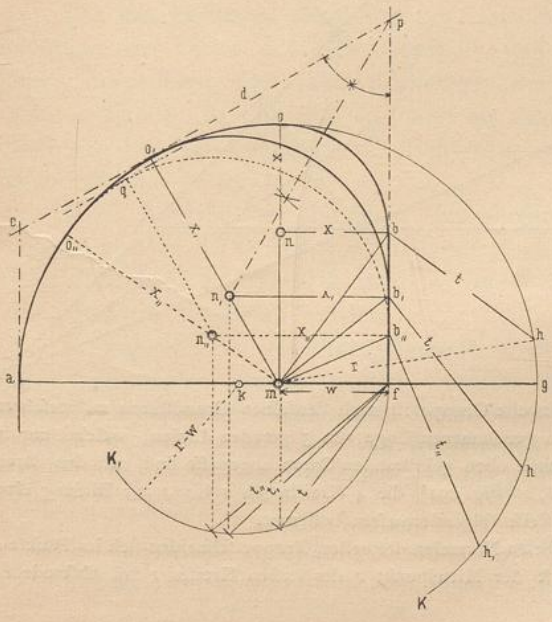
$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r - w)}.$$

In Fig. 287 liegt der Mittelpunkt m des Kreiſes K auſserhalb der Spannweite af; mithin wird die Strecke w negativ, und man erhält unter Einführung von $-w$ ſtatt w in Gleichung 133 für dieſen Fall

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r + w)}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 134.$$

wonach der um k zu beſchreibende Kreis K_1 einen Halbmeſſer $fk = r + w$ zu erhalten hat, während die übrigen Anordnungen ſich nicht ändern.

Fig. 288.



In Fig. 288 ſind für verſchiedene Hüfthöhen fb, fb_1 u. ſ. f. nach dem angegebenen Verfahren die zugehörigen Korbbogen aus 2 Mittelpunkten gezeichnet. Hierbei mag bemerkt werden, daſs eine Grenzlage für den Kämpferpunkt b in einer Hüfthöhe fb_1 entſteht, ſobald der Mittelpunkt n_1 des von b_1 ausgehenden Kreisbogens der Schnittpunkt der Halbirungslinie des Winkels cpf, welchen die beiden Tangenten cd und fb bilden, mit der Senkrechten mo_1 auf cd wird. Iſt die Hüfthöhe kleiner als fb_1, z. B. gleich $fb_{,,}$, ſo tritt eine parallele Verſchiebung der urſprünglichen Tangente cd nach q

ein, und der Vereinigungspunkt $o_{,,}$ der beiden Korbbogenkreife liegt unterhalb von q.

Bei Korbbogen für einhüftige Gewölbe, mit mehr als 2 Mittelpunkten, z. B. aus 4 derfelben, befchrieben, läfft fich recht oft die in Fig. 289, 290 u. 291 angegebene Conftruction verwerthen.

Fig. 289.

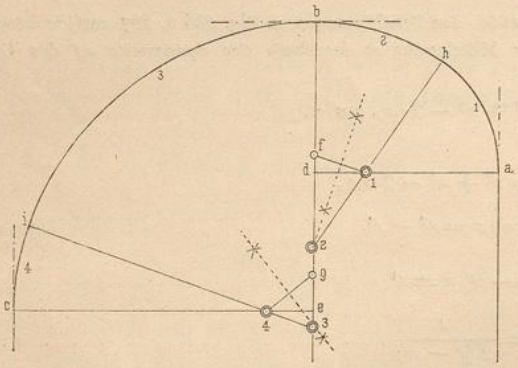
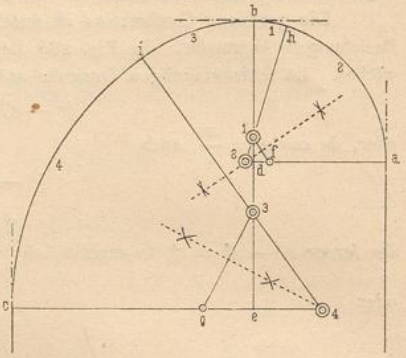


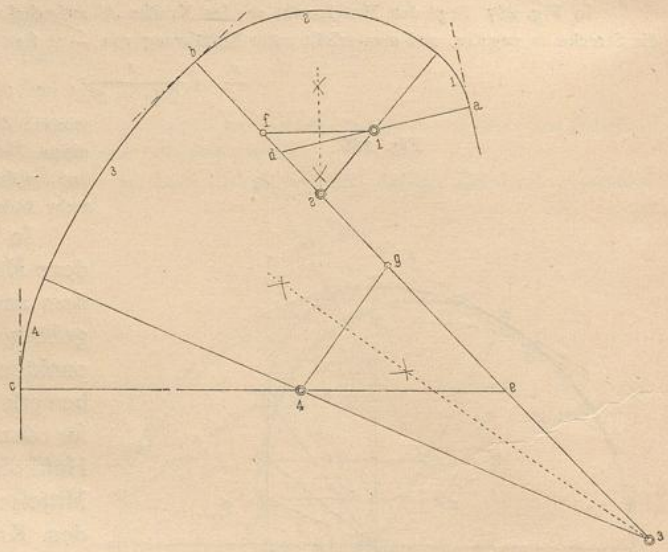
Fig. 290.



Gegeben find 3 als Tangenten geltende gerade Linien mit den Berührungspunkten a, b und c. Man ziehe in diefen Punkten fenkrechte Strahlen zu den Tangenten, bis diefelben, gehörig erweitert und der Reihe nach zu Paaren genommen, in d und e fich fchneiden.

Hierdurch entftehen zwei Gruppen von Strecken, nämlich Gruppe $a\,a$ und $b\,d$, fo wie Gruppe $b\,e$ und $c\,e$. Bei der erften Gruppe wähle man auf der gröfseren Strecke derfelben einen feften Mittelpunkt 1 für den erften Kreisbogen, deffen Anfangspunkt der diefer Strecke zugehörige Berührungspunkt ift.

Fig. 291.



Die Wahl diefes Mittelpunktes ift nur in der Weife befchränkt, dafs der Halbmeffer des erften Kreifes ftets kleiner genommen werden foll, als die kürzere Strecke der in Betracht gezogenen Gruppe. Die Länge des fo feft geftellten erften Halbmeffers wird vom Berührungspunkte auf der kürzeren Strecke bis f abgetragen, auf der Mitte der Verbindungslinie $1f$ das Loth errichtet, welches die erweiterte kürzere Strecke im Punkte 2 fchneidet, welcher als Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens auftritt. Eine durch die Mittelpunkte 1 und 2 gelegte gerade Linie bildet den Scheideftrahl der zu vereinigenden beiden Kreisbogen der erften Gruppe. Für die zweite Gruppe ift nach denfelben Grundfätzen zu verfahren.

So find auch bei der fehr willkürlich genommenen Lage von 3 geraden Linien, welche nur im Allgemeinen als Tangenten dem Laufe einer nach oben gekrümmten Curve angepafft find, mit den darauf beliebig feft gelegten Berührungspunkten a, b, c (Fig. 291) die 4 Kreisbogen 1 bis 4 zur Bildung eines einhüftigen Korbbogens in der angegebenen Weife folgendermafsen beftimmt.

Die zu den Tangenten in a und b geführten Normalen der erften Gruppe fchneiden fich im Punkte a. Die Strecke $a\,d$ ift gröfser als $b\,d$; mithin ift der Mittelpunkt 1 des erften Kreifes 1 im Abftande $a\,1$ kleiner als $b\,d$ gewählt, auf $a\,d$ angenommen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hierauf ist $bf = a1$ abgetragen, in der Mitte der Geraden $f1$ das Loth errichtet, welches erweitert den verlängerten Strahl bd in 2 schneidet. 2 ist Mittelpunkt des Kreises 2. Die durch 2 und 1 geführte Gerade scheidet beide Kreise.

Die in b und c geführten Normalen der zweiten Gruppe treffen sich im Punkte e. Da ce gröfser ist als be, so ist der Mittelpunkt 4 auf der gröfseren Strecke ce angenommen und dabei $c4$ kleiner als be gewählt. Nunmehr ist $bg = c4$ auf be abgetragen, wiederum in der Mitte der Verbindungslinie $g4$ das Loth errichtet, welches verlängert die entsprechend fortgeführte Normale be im Punkte 3, d. i. im Mittelpunkte des Kreises 3 trifft. Der Scheidestrahl der Kreise 3 und 4 ist die durch die Punkte 3 und 4 geführte Gerade.

b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager.

136. Stärke unbelasteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

Beim Anfertigen des Entwurfes eines Tonnengewölbes, welches als Decke für einen gegebenen Raum ausgeführt werden soll, tritt die Frage in den Vordergrund, welche Stärke dem Gewölbe und seinen Widerlagern gegeben werden mufs, damit diese Baukörper eine sichere und dauernde Standfähigkeit besitzen. Bei der Bestimmung dieser Stärken ist nicht aufser Acht zu lassen, dass der Materialaufwand für die Gewölb- und Widerlagsmassen ohne Schädigung der Stabilität der ganzen Wölbanlage ein möglichst kleiner wird. Aus diesem Grunde wird zunächst die geringste Weite des zu überdeckenden Raumes als Spannweite für das Gewölbe angenommen, während die längeren Begrenzungen desselben den Widerlagern zugewiesen werden. Sodann ist die gröfste Belastung fest zu setzen, welche aufser dem Eigengewicht der Construction im ungünstigsten Falle auf das Gewölbe kommen soll, und endlich ist die Beschaffenheit des Materials in Hinsicht auf sein Gewicht und namentlich auf seine Festigkeit gegen Zerdrücken sorgfältig in Betracht zu ziehen.

Wenngleich eine grofse Zahl von empirischen Regeln für die Bestimmung der Stärken der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager aufgestellt worden ist, so haben alle diese Regeln doch nur innerhalb gewisser Grenzen eine Berechtigung für ihre Anwendung; aufserhalb dieser Grenzen können sie sogar zu einem Irrthum Veranlassung geben.

Für das Festlegen der Form der Gewölblinie, für die Bestimmung des Fugenschnittes, der Dicke des Gewölbkörpers und der Stärke des Widerlagers sind in jedem besonderen Falle die Wirkungen der im Gewölb- und Widerlagskörper thätigen Kräfte, so weit und so scharf als solches möglich, zu ergründen, um hierdurch die Ueberzeugung von der Festigkeit und Sicherheit des Baukörpers in allen seinen Theilen zu gewinnen.

Diese Aufgabe der statischen Untersuchung der Gewölbe fällt der »Gewölbetheorie« anheim. Die Bekanntschaft mit derselben mufs hier vorausgesetzt und in dieser Beziehung auf Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Abth. II, Abschn. 4[160]) dieses »Handbuches« verwiesen werden.

Wenngleich in den Abhandlungen über »Gewölbtheorie« wesentlich die im Ingenieurbauwesen vorkommenden Gewölbe in Betracht gezogen werden, so ist dennoch zu beachten, dass diese Theorie auch für die Gewölbe im Hochbau von grofsem Werthe ist und in ihren Ergebnissen immer mehr und mehr Verwendung finden sollte. Auf einige wichtige dieser Ergebnisse möge im Folgenden hingewiesen werden[161]).

---

[160]) 2. Aufl.: Abth. II, Abschn. 5.

[161]) Siehe auch: Scheffler, H. Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken. Braunschweig 1857.
Ritter, A. Lehrbuch der Ingenieurmechanik. Hannover 1876.

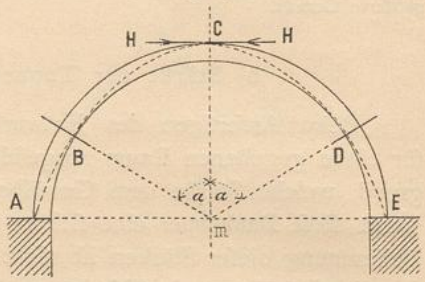
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ein unbelaſtetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit concentriſcher Rückenlinie iſt, wenn von der Adhäſion des Mörtels in den Wölbſteinfugen abgeſehen wird, eben noch im Zuſtande des Gleichgewichtes, ſobald die Gewölbſtärke $d = \frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite s beträgt, oder, da s gleich dem Zweifachen des Halbmeſſers r der Erzeugenden dieſes Gewölbes iſt, wenn

$$d = \frac{2r}{17{,}544} \quad \text{oder rund} \quad d = \frac{r}{9}$$

wird.

Fig. 292.

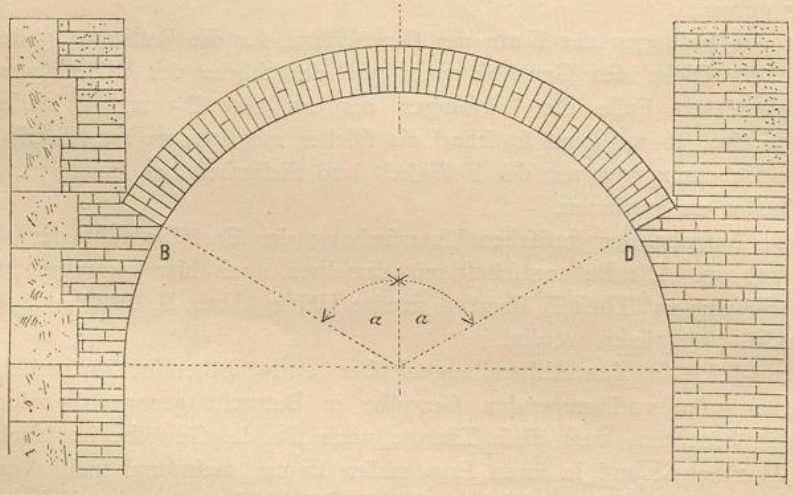


Bei dieſer Abmeſſung verläuft die dem möglichſt kleinſten Horizontalſchube H entſprechende Mittellinie des Druckes (Stützlinie) nach Fig. 292 als Curve $ABCDE$, welche in den Punkten B und D die innere Wölblinie berührt und an dieſen Stellen die ſog. Bruchfuge kennzeichnet. Der Bruchwinkel α beträgt 54 Grad 10 Minuten oder nahezu 60 Grad mit dem Scheitellothe Cm; die Curve ſelbſt nähert ſich ſtark einer Parabel.

Auch bei einem belaſteten halbkreisförmigen Tonnengewölbe, bei welchem die Gewölbzwickel ausgemauert oder bei welchem noch aufserdem eine Uebermauerung, bezw. eine gleichförmig vertheilte Ueberlaſt angebracht iſt, ergiebt ſich die Lage der erwähnten Bruchfuge durch einen Bruchwinkel von nahezu 60 Grad.

Hieraus folgt für die praktiſche Ausführung der Halbkreis-Tonnengewölbe ſchon die beachtenswerthe Anordnung, daſs zweckmäſsig die unteren Wölbſtücke BA und DE gar nicht als Gewölbe in Mitleidenſchaft gezogen, vielmehr mit dem Wider-

Fig. 293.



lagskörper vereinigt und in wagrechten (Fig. 293) oder noch beſſer in winkelrecht zur Curve AB, bezw. DE gerichteten Schichten (Fig. 294 u. 295) gemauert werden. Durch dieſe Conſtruction wird die Spannweite des Gewölbes vermindert; die Gewölbdicke wird ſich dadurch geringer geſtalten und die Widerlagsſtärke ſich ebenfalls

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 294.

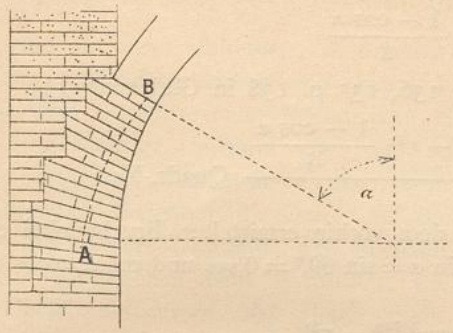
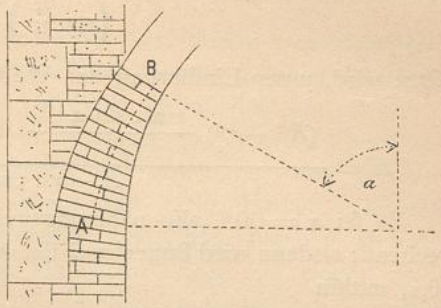


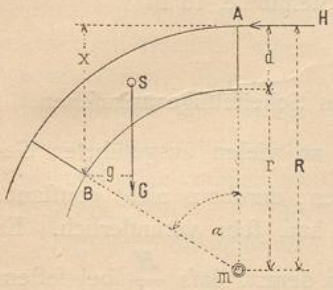
Fig. 295.



verkleinern. Da die Form der Mittellinie des Druckes von der Form der Gewölblinie wesentlich mit abhängt, die erstere aber sich bei Halbkreisgewölben von der Parabel nicht weit entfernt, so folgt, dass bei einer Parabel als Gewölblinie von vornherein auch eine günstige Mittellinie des Druckes in einem Parabel-Tonnengewölbe entspringen wird (vergl. Art. 127, S. 153).

Von Wichtigkeit für die Bestimmung der Gewölbstärke und später der Dicke des Widerlagers ist die Ermittelung der Grösse des Gewölbschubes H. Für eine beliebige, unter einem Winkel α zur Wagrechten geneigte Fuge B (Fig. 296) eines unbelasteten Halbkreisgewölbes hat der in der Scheitelfuge wirkende wagrecht gerichtete Gewölbschub H mindestens einen Werth, welcher sich nach den Bezeichnungen in Fig. 296 berechnen lässt aus der Gleichung 367 in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 451 [162]) dieses »Handbuches«

Fig. 296.



$$H = \frac{G\,g}{x} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 135.$$

Ist nun, wie in üblicher Weise angenommen wird, die Tiefe des Gewölbes rechtwinkelig zur Zeichenfläche gleich der Längeneinheit des Zeichenmafsstabes und ferner das Gewicht der Raumeinheit des Wölbmaterials gleich der Krafteinheit, so lässt sich das Gewicht G des Ringstückes $A\,B$ gleich dem Flächeninhalte dieses Stückes setzen, d. h.

$$G = \frac{R^2 - r^2}{2}\,\alpha \text{ Quadr.-Met.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 136.$$

Da nun die wagrechte Entfernung g des Schwerpunktes S des Ringstückes vom Punkte B sich als

$$g = r\,.\,\sin\,\alpha - \frac{2}{3}\,.\,\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}\,.\,\frac{\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2}{\frac{\alpha}{2}} \text{ Met.} \quad \ldots\ldots \quad 137.$$

bestimmt und da ferner der lothrechte Abstand x des Angriffspunktes A des Gewölbschubes H vom Fugenpunkte B als

$$x = (R - r\,.\,\cos\,\alpha) \text{ Met.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 138.$$

[162]) 2. Aufl.: Art. 274 (S. 258).

erfcheint, fo erhält man, wenn in Gleichung 137

$$\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1-\cos\alpha}{2}$$

gefetzt wird, unter Einführung der Werthe 136, 137 u. 138 in Gleichung 135,

$$H = \frac{(R^2 - r^2)\,\frac{r\,\alpha\,.\,\sin\alpha}{2} - (R^3 - r^3)\,\frac{1-\cos\alpha}{3}}{R - r\,.\,\cos\alpha} \text{ Quadr.-Met. } . \quad 139.$$

Es fei $\alpha = 60^0$, alfo näherungsweife dem vorhin ermittelten Bruchwinkel entfprechend; alsdann wird Bogen $\alpha = 1{,}0472$, $\sin\alpha = \sin 60^0 = 0{,}866$ und $\cos\alpha = \cos 60^0 = 0{,}5$, mithin

$$H = \frac{0{,}4534\,(R^2 - r^2)\,r - 0{,}166\,(R^3 - r^3)}{R - 0{,}5\,r} \text{ Quadr.-Met. } . \; . \; . \quad 140.$$

Wäre nun die Scheitelftärke d des Gewölbes bekannt, fo würde fich die Gröfse von H zahlenmäfsig feft ftellen laffen, da bei gegebenem r der Werth $R = r + d$ wird. Anderfeits würde dann auch bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, z. B. $= 1^{\,m}$, die Fläche der gedachten Scheitelfuge gleich d Quadr.-Met. fein, und endlich würde, wenn die Gröfse H noch mit 1 multiplicirt wird, diefelbe auch fofort als H Cub.-Met. ausgedrückt werden können. Denkt man fich diefe H Cub.-Met. als eine Steinfäule des Wölbmaterials auf der Fläche d Quadr.-Met. angebracht und ermittelt man bei dem als bekannt geltenden Eigengewicht γ Kilogr. einer Raumeinheit des Wölbmaterials das Gewicht der erwähnten Steinfäule, fo ift

$$\frac{H}{d}\,\gamma \text{ Kilogr.}$$

als mittlerer Druck für die Flächeneinheit der gedachten Scheitelfuge anzufehen.

Der Werth $\frac{H}{d}$ ift, wie zahlreiche Berechnungen an vielen ausgeführten Gewölben, namentlich bei Brückengewölben, ergeben haben, durchaus nicht conftant; im Gegentheil ift derfelbe, wie *Scheffler* nachgewiefen hat, fehr veränderlich. Er nimmt mit dem Wachfen des Gewölbfchubes zu, aber derart, dafs $\frac{H}{d}$ bei feftem Wölbmaterial bei kleinen Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa $3^{\,m}$ Höhe, bei den gröfsten Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa $60^{\,m}$ Höhe entfpricht.

Ift z. B. für ein fehr grofses Gewölbe $H = 90$ gefunden, fo müffte, um die Höhe $60^{\,m}$ der entfprechenden Steinfäule nicht zu überfchreiten,

$$\frac{H}{d} = 60 \quad \text{oder} \quad d = 1{,}5^{\,m}$$

werden. Alsdann ift, wenn $1^{\,cbm}$ diefer Steinfäule $2200^{\,kg}$ wiegt, die mittlere Preffung $\frac{90 \cdot 2200}{1{,}5 \cdot 1} = 132000^{\,kg}$ für $1^{\,qm}$ oder $13{,}2^{\,kg}$ für $1^{\,qcm}$, während bei einem kleineren Gewölbe, für welches $H = 2$ und $d = 0{,}3$ fich ergeben hat, die mittlere Preffung $= \frac{2 \cdot 2200}{0{,}3 \cdot 1} = 11333^{\,kg}$ für $1^{\,qm}$ oder nur $1{,}1333^{\,kg}$ für $1^{\,qcm}$ wird.

Im letzteren Falle wäre die Höhe x der Steinfäule zu finden aus $0{,}3 \cdot 1 \cdot x = 2 \cdot 1$, d. h. $x = 6{,}66^{\,m}$.

Bei dem zur Widerlagsfuge von der Stärke d_1 fenkrecht gerichteten Gewölbdrucke N treten in Rückficht auf den Werth $\frac{N}{d_1}$ ähnliche Zuftände auf. Aber *Scheffler* hat ermittelt, dafs der mittlere Druck $\frac{N}{d_1}$ für die Flächeneinheit der

Widerlagsfuge meiſtens weit gröſser iſt als der Werth $\frac{H}{d}$, und zwar oft um das Drei- und Vierfache deſſelben, d. h. daſs dieſer Druck bei kleinen Gewölben dem Gewichte eines Steinprismas von etwa 9 bis 12 m Höhe, bei den gröſsten Gewölben jedoch dem Gewichte eines ſolchen von 180 m bis ſogar 240 m Höhe entſpricht.

Der wichtige Umſtand nun, daſs auf Grund der an ausgeführten Gewölben vorgenommenen Berechnungen und Beobachtungen die Annahme eines gleichen Feſtigkeits-Coefficienten für Druck auf die Flächeneinheit nicht ſtatthaft erſcheint, ſo wie der fernere Umſtand, daſs auch eine gleichförmige Vertheilung des Druckes in den Fugenflächen nicht ſtattfindet, wie die klaffenden Fugen bei einem etwas mangelhaft conſtruirten und gleich nach der Ausführung ausgerüſteten Gewölbe zeigen, ohne daſs ein Einſturz dieſes Gewölbes erfolgt, verſchaffen der Annahme Raum, daſs ſelbſt bei den gröſsten Gewölben in der gedachten Scheitelfuge keine gröſsere mittlere Preſſung entſtehen ſoll, als ſolche dem Gewichte einer Steinſäule von 60 m Höhe entſpricht und daſs ferner die Widerlagsfuge bei ſolchen groſsen Gewölben bei Weitem nicht durch einen Normaldruck beanſprucht werden ſoll, welchen eine Steinſäule von $3 . 60 = 180$ m liefern würde, daſs vielmehr nur ein mittlerer Normaldruck zuläſſig ſein ſoll, welcher durch das Gewicht eines Steinprismas von höchſtens 86 m Höhe hervorgerufen wird.

Im weiteren Verfolge dieſer Annahmen ſind von *Scheffler* Tabellen zur Beſtimmung der Gewölbſtärken berechnet, und wenngleich dieſelben, wie ſchon oben bemerkt, vorzugsweiſe für Brückengewölbe ermittelt ſind, ſo laſſen ſich doch bei den übereinſtimmenden Eigenſchaften, welche Gewölbe, gleichgiltig, welchen Zwecken ſie dienen ſollen, immer aufweiſen, die ſorgfältig erzielten Ergebniſſe auch füglich für die Gewölbe des Hochbauweſens verwerthen.

Ohne hier eine Umrechnung der von *Scheffler* gegebenen Tafel zur Beſtimmung der Gewölbſtärke vorzunehmen, iſt in Rückſicht auf die Gewölbe des Hochbauweſens das folgende Verfahren eingeſchlagen.

Trägt man die abſoluten Werthe von H als Abſciſſen und die jedem einzelnen H entſprechenden Gewölbſtärken d als Ordinaten auf und verbindet man die Endpunkte dieſer Ordinaten, ſo erhält man eine krumme Linie. Sucht man die Gleichung einer Curve, welche ſich mit gröſster Wahrſcheinlichkeit jener krummen Linie nähert, ſo findet man, daſs die geſuchte Curve der Scheitelgleichung einer Ellipſe entſpricht, deren halbe groſse Axe der Zahl 90, deren halbe kleine Achſe der Zahl 1,5 entſpricht, d. h. jenen oben erwähnten Grenzwerthen $\frac{H}{d} = \frac{90}{1{,}5} = 60$ m.

Da die Scheitelgleichung einer Ellipſe mit den Halbaxen a und b bekanntlich

$$y = \frac{b}{a}\sqrt{(2a - x)\,x}$$

iſt, ſo wird, wenn $y = d$, $a = 90$, $b = 1{,}5$ und $x = H$ geſetzt wird,

$$d = \frac{1{,}5}{90}\sqrt{(180 - H)\,H} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 141.$$

oder

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - H)\,H} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 142.$$

Nach dem vorhin bezeichneten Grenzwerthe der Höhe des Steinprismas zu

60 m ift in Gleichung 142 für H höchftens 90 in Rechnung zu bringen. Für $H > 90$ müfste

$$d = \frac{H}{60} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 143.$$

werden, alfo im geraden Verhältniffe mit H wachfen. Für Gewölbe im Hochbauwefen ift auf diefen Fall füglich nicht zu rechnen.

Die im Vorhergehenden bezeichnete Zahl 60 m gilt für fehr feftes Steinmaterial. Im Hochbauwefen kommt jedoch in den meiften Fällen für den Gewölbebau Backfteinmaterial zur Verwendung, welches im Allgemeinen nicht die Feftigkeit gegen Druck befitzt, wie das oben angenommene Steinmaterial. Aus diefem Grunde ift es rathfam, für Backfteingewölbe den Werth

$$\frac{H}{d} = 50$$

zu fetzen, d. h. die Höhe des Backfteinprismas nur zu höchftens 50 m anzunehmen.

Da H die Gröfse 90 beibehält, fo ergiebt fich nunmehr

$$d = \frac{90}{50} = 1{,}8 \text{ m}.$$

Beträgt das Gewicht von 1 cbm Backfteinmaterial 1600 kg, fo wird die mittlere Preffung $\frac{90 \cdot 1600}{1{,}8 \cdot 1} = 80000$ kg für 1 qm oder 8 kg für 1 qcm.

Unter Anwendung der Werthe für $d = 1{,}8$ und dem zugehörigen $H = 90$ erhält man entfprechend der Gleichung 141 nun für Backfteinmaterial

$$d = \frac{1{,}8}{90}\sqrt{(180 - H)\,H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 144.$$

oder

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - H)\,H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 145.$$

Würde im befonderen Falle H gröfser als 90, fo müfste

$$d = \frac{H}{50} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 146.$$

genommen werden.

Ein gleicher Zufammenhang, wie zwifchen H und d, befteht auch zwifchen dem Normaldruck N und der hierfür auftretenden Gewölbftärke d_1, wenn nur zuvor in Rückficht gezogen wird, dafs, wie vorhin erwähnt, $\frac{N}{d_1}$ höchftens $= 3 \cdot 60 \text{ m} = 180 \text{ m}$ werden foll.

Man erhält ähnlich wie in Gleichung 141, fobald in der Ellipfen-Gleichung $3a$ ftatt a gefetzt wird,

$$d_1 = \frac{1{,}5}{3 \cdot 90}\sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 90 - N)\,N} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 147.$$

d. h.

$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - N)\,N} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 148.$$

als allgemeinen Ausdruck für die von N abhängige Gewölbftärke. Da aber bei gröfseren Gewölben höchftens

$$\frac{N}{d_1} = 86 \text{ m}$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

werden ſoll und dieſer Werth nach Ausweis derartiger ausgeführter Gewölbe für N nahezu gleich 114 eintritt, ſo ergiebt ſich

$$d_1 = \frac{114}{86} = 1{,}34 \text{ m}$$

und gleichzeitig für N ein Grenzwerth bei der Anwendung von Gleichung 148.

Für $N \gtrless 114$ iſt $d_1 = \frac{1{,}34}{114} N$, d. h.

$$d_1 = \frac{1}{8{,}6} N \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 149.$$

zu nehmen, während für kleinere Werthe von N die Stärke d_1 nach Gleichung 148 ermittelt werden kann.

Bei Backſteingewölben iſt es aus denſelben Gründen, wie ſolche vorhin bei dieſen Baukörpern angegeben ſind, zweckmäſsig, den Factor $\frac{1}{180}$ in Gleichung 148 herabzumindern, wie ſolches in Gleichung 145 für d geſchehen iſt, und denſelben auf $\frac{1}{3 \,.\, 50} = \frac{1}{150}$ zu bringen. Danach wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - N)\, N} \quad , \quad \ldots \ldots \ldots \quad 150.$$

worin N höchſtens bis 114 eintreten ſoll.

Für $N \gtrless$ als 114 wird ſachgemäſs $\frac{N}{d_1}$ nicht mehr gleich 86, ſondern geringer genommen, ſo daſs $\frac{N}{d_1} = 72 \text{ m}$ geſetzt wird.

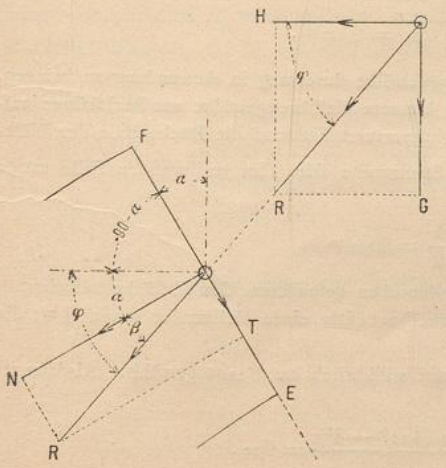
Hiernach wird bei dem Grenzwerthe $N = 114$

$$d_1 = \frac{114}{72} = 1{,}58 \text{ m}$$

und nunmehr für $N \gtrless 114$ die Stärke $d_1 = \frac{1{,}58}{114} N$, d. h. genau genug

$$d_1 = \frac{1}{72} N \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 151.$$

Fig. 297.



Wenn im Hochbauweſen bei Tonnengewölben die Gleichung 151 wohl nicht in Anwendung kommt, ſo iſt doch bei gröſseren Kuppelgewölben ihre Benutzung nach Ermittelung des Normaldruckes, welchen die Kuppel auf ihrer Baſis hervorruft, unter Umſtänden für die Beſtimmung der Gewölbſtärke der Kuppel an ihrem Fuſse erforderlich.

Für die Anwendung der für d, bezw. d_1 gegebenen Gleichungen iſt noch das Folgende zu beachten.

Liefert der Normaldruck N kleinere oder gleiche Werthe als der Gewölbſchub H, ſo iſt der für H gefundene Werth d durchweg für das ganze Gewölbe beizubehalten. Entſteht

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dagegen für N eine gröfsere Stärke d_1, als die für den Gewölbfchub H gefundene Dicke d ift, fo tritt vom Gewölbfcheitel bis zur Widerlagsfuge eine ftetig von d bis d_1 wachfende Verftärkung des Gewölbes ein.

Die Gröfse des Normaldruckes N ergiebt fich nach Fig. 297 als

$$N = R \cdot \cos \beta = R \cdot \cos (\varphi - \alpha),$$

d. h.

$$N = R (\cos \varphi \cdot \cos \alpha + \sin \varphi \cdot \sin \alpha).$$

Da $\cos \varphi = \frac{H}{R}$ und $\sin \varphi = \frac{G}{R}$, fo wird

$$N = H \cos \alpha + G \sin \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 152.$$

Für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad ift

$$N = 0{,}5\ H + 0{,}866\ G \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 153.$$

Beifpiele: 1) Ein unbelaftetes, aus Backfteinen auszuführendes Halbkreisgewölbe von 2 m Halbmeffer fei bis zur Bruchfuge (Bruchwinkel α gleich 60 Grad angenommen) in wagrechten Schichten aufgeführt. Für das verbleibende Gewölbftück ift die Stärke zu berechnen.

Die unbekannte Gewölbdicke im Scheitel möge zunächft gleich $\frac{1}{2}$ Backfteinlänge, alfo gleich 0,12 m gefetzt werden. Da $r = 2$ m und $d = 0{,}12$ m ift, fo ift $R = 2{,}12$ m, und es wird nach Gleichung 140

$$H = \frac{0{,}4534\ (2{,}12^2 - 2^2)\ 2 - 0{,}166\ (2{,}12^3 - 2^3)}{2{,}12 - 0{,}5 \cdot 2} = 0{,}173.$$

Hiernach erhält man unter Benutzung von Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0{,}173)\ 0{,}173} = 0{,}1115 \text{ m}.$$

Die urfprünglich für d gewählte Abmeffung 0,12 m weicht von der berechneten Gröfse nur ganz wenig ab. Da aufserdem aus praktifchen Gründen die Stärke von einer halben Backfteinlänge nicht ohne Verhauen der Steine herzuftellen ift, fo kann die geführte Rechnung für d abgefchloffen und danach die Gewölbftärke zu 0,12 m beibehalten werden.

Die Gröfse des Normaldruckes N wird nach Gleichung 153

$$N = 0{,}5 \cdot 0{,}173 + 0{,}866\ G$$

oder, da fich nach Gleichung 136, worin für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad und $\alpha = 1{,}0472$ zu fetzen ift,

$$G = \frac{2{,}12^2 - 2^2}{2}\ 1{,}0472 = 0{,}259$$

ergiebt,

$$N = 0{,}31$$

gefunden. Unter Einführung diefes Werthes in Gleichung 150 wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}31)\ 0{,}31} = 0{,}083 \text{ m}.$$

Da d_1 kleiner ift als d, fo ift die Stärke d für das Gewölbe durchweg in Anwendung zu bringen.

Nach einer empirifchen Regel, welche *Rondelet* für kleinere Halbkreisgewölbe aus Backfteinen aufgeftellt hat, foll, wenn die Gewölbe bis zur halben Höhe hintermauert find und die Rückenlinie der Wölblinie concentrifch ift, die Gewölbftärke gleich $\frac{1}{36}$ der Spannweite fein. Im vorliegenden Falle würde hiernach

$$d = \frac{2r}{36} = \frac{2 \cdot 2}{36} = \frac{1}{9} = 0{,}111 \text{ m}$$

werden, mithin fich in recht guter Uebereinftimmung mit der oben gefundenen Gewölbftärke befinden.

2) Das in gleicher Weife auszuführende Halbkreisgewölbe befitze einen Halbmeffer r von 4 m; die Gewölbftärke foll ermittelt werden.

Die noch unbekannte Gewölbftärke fei vorläufig und willkürlich zu 0,12 m gewählt. Alsdann ift $R = r + 0{,}12 = 4{,}12$ und ferner nach Gleichung 140

$$H = \frac{0{,}4534\ (4{,}12^2 - 4^2)\ 4 - 0{,}166\ (4{,}12^3 - 4^3)}{4{,}12 - 0{,}5 \cdot 4} = 0{,}37.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bringt man diefen Werth in Gleichung 145, fo ift

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 0{,}37)\,0{,}37} = 0{,}16\text{ m},$$

womit ein erfter Näherungswerth für d berechnet ift. Unter Benutzung deffelben wird weiter nach Gleichung 140

$$H = \frac{0{,}4534\,(4{,}16^2 - 4^2)\,4 - 0{,}166\,(4{,}16^3 - 4^3)}{4{,}16 - 0{,}5 \cdot 4} = 0{,}48.$$

Für diefen Gewölbfchub liefert Gleichung 145 die Gewölbftärke $d = 0{,}18$ m.

Da die Unterfuchung zeigt, dafs die Gewölbftärke d einen gröfseren Werth als $d = 0{,}12$ m beanfprucht, fo möge jetzt $d = 0{,}20$ m genommen werden. Hierdurch erhält man nach Gleichung 140 den Gewölbfchub $H = 0{,}59$ und dann nach Gleichung 145 die Gewölbftärke $d = 0{,}206$ m, welche nur noch wenig von $d = 0{,}20$ m abweicht, fo dafs hiermit die Rechnung ihren Abfchlufs findet.

Hätte man d ftatt $0{,}20$ m zu $0{,}25$ m eingeführt, fo hätte man durch das Ausrechnen für d nur nahezu $0{,}23$ m und damit die Anzeige erhalten, dafs die Gewölbftärke kleiner als $0{,}25$ m zu nehmen wäre.

Für den Normaldruck N ergiebt fich nach Gleichung 153, da $H = 0{,}59$ ift,

$$N = 0{,}5 \cdot 0{,}59 + 0{,}866\,G,$$

worin nunmehr

$$G = \frac{4{,}2^2 - 4^2}{2}\,1{,}0472 = 0{,}859$$

wird, fo dafs man

$$N = 1{,}04$$

erhält. Mit Benutzung von Gleichung 150 ergiebt fich weiter

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 1{,}04)\,1{,}04} = 0{,}15\text{ m}.$$

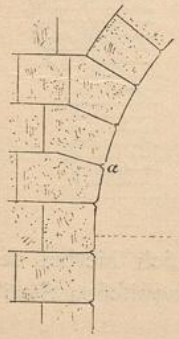
Da nun auch in diefem Beifpiele d_1 kleiner als d wird, fo ift wiederum das Gewölbe in gleicher Stärke auszuführen. Da man aber ftatt $d = 0{,}20$ m in der Praxis d entfprechend der Backfteinlänge zu $0{,}25$ nimmt, fo ergiebt fich hierdurch von felbft noch eine etwas erhöhte Gewölbftärke.

Nach der von *Rondelet* herrührenden empirifchen Regel würde fich $d = \frac{2 \cdot 4}{36} = 0{,}22$ m ergeben haben.

137. Gewölbeanfänger.

Ein ohne Hintermauerung und nicht mit wagrecht vorgemauerten Anfängern verfehenes, frei im Widerlager aufftehendes, unbelaftetes Halbkreisgewölbe mit einem Halbmeffer $r = 4$ m, müfste, fo lange noch nicht auf eine kräftige Verkittung der Wölbfteine durch den Fugenmörtel gerechnet werden darf, nach den früher gemachten Angaben mindeftens $\frac{2\,r}{17{,}544} = \frac{2 \cdot 4}{17{,}544} = 0{,}456$ m ftark werden, um bei diefer Stärke fich im Grenzzuftande des Gleichgewichtes gegen Drehung und Gleiten zu befinden. Statt der Dicke d von $0{,}456$ m würde man felbftverftändlich die Stärke von zwei Backfteinlängen, d. h. einfchliefslich der Fuge $0{,}51$ m zur Ausführung bringen.

Fig. 298.



Aus dem Vergleiche diefer Gewölbftärke mit der im zweiten Beifpiele geführten Rechnung ift wiederum deutlich der Vortheil zu erkennen, welcher fich für den Gewölbkörper mit den bis zur Bruchfuge in wagrechten Schichten ausgeführten Gewölbanfängern herausftellt.

Eine folche in wagrechten Schichten aufgemauerte Conftruction des Gewölbanfängers ift auch bei Tonnengewölben aus Quadern nach Fig. 298 in jeder Beziehung anzurathen. Hierbei treten zur Vermeidung von fpitzen Winkeln kurze, fenkrecht zur Wölblinie ftehende Fugen a auf, welche an ihren vorderen Kanten eine geringe Abfchrägung, den fog. Druckfchlag erhalten. Diefer Druckfchlag verhindert in vielen Fällen das Abfprengen der Steinkanten

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

durch diejenigen Preſſungen, welche unter Umſtänden beſtrebt ſind, ſich im Gewölbkörper der Wölblinie zu nähern.

Fig. 299.

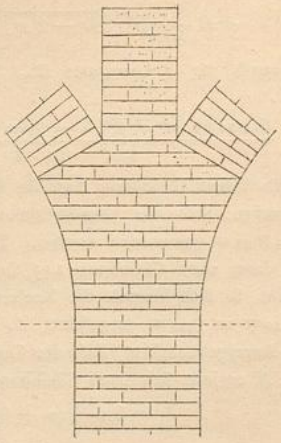
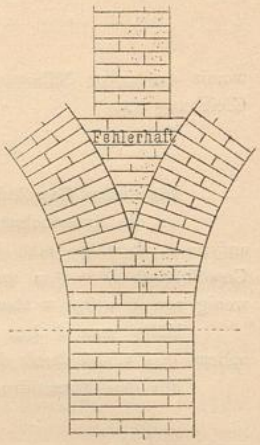


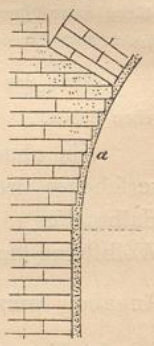
Fig. 300.



Treten zwei Tonnengewölbe gegen eine gemeinſchaftliche Widerlagsmauer, ſo iſt der Gewölbanfänger, gleichgiltig, welches Material zum Gewölbe benutzt wird, nach Fig. 299 für beide Baukörper gemeinſam in wagrechten Schichten bis zu den Bruchfugen auszuführen. Eine Anordnung nach Fig. 300 iſt in hohem Grade zu tadeln, da der im Gewölbzwickel auftretende Mauerkörper als ein durch die obere Belaſtung ſtark eingefügter Keil auftritt, welcher nachtheilig auf das Bauſyſtem einzuwirken vermag.

Bei Backſteinmaterial iſt das Verhauen der Steine im Anfänger an der Laibungsfläche (Fig. 301) unnöthig, da, falls ein Verputzen des Gewölbes im Inneren vorgenommen werden ſoll, dieſelbe, wie bei *a*, ſich in die ſog. Ueberkragungen der Steine legt. Für derartige Gewölbe, deren Laibungsflächen keinen Putz erhalten ſollen, iſt die Anwendung von Formſteinen nach Fig. 302 empfehlenswerth.

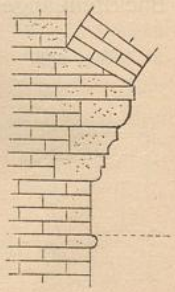
Fig. 301.



138. Stärke belaſteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

Tonnengewölbe, wie Gewölbe überhaupt, welche nur als ſog. unbelaſtete Gewölbe ihr Eigengewicht zu tragen haben, kommen allerdings bei Deckenbildungen im Hochbauweſen vor. Recht oft jedoch erfahren derartige Gewölbe noch weitere Belaſtungen durch Hintermauerung, d. i. Ausfüllung der Gewölbzwickel, durch vollſtändige Uebermauerung, durch darüber liegende Fuſsboden-Conſtructionen, durch Aufſchüttungen und durch ab und zu auftretende veränderliche Belaſtungen, welche häufig ein bedeutendes Gewicht ergeben.

Fig. 302.

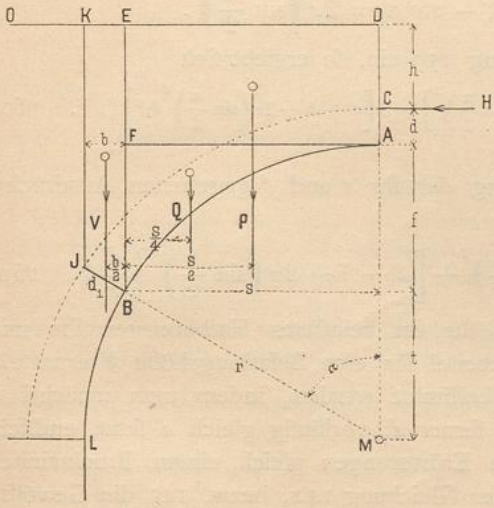


Denkt man ſich die geſammte in Frage kommende fernere Belaſtung des Gewölbes erſetzt durch einen Steinkörper von gleichem Material, woraus das Gewölbe beſteht, ſo erſcheint der Querſchnitt des Gewölbes mit ſeiner Belaſtung unten und oben begrenzt durch die innere Wölblinie und die obere Belaſtungslinie, welche zwiſchen ſich die Belaſtungsfläche enthalten. Da nach dieſer Zurückführung der auf das Gewölbe kommenden Belaſtung auf eine Maſſe, welche daſſelbe Eigengewicht beſitzt, wie das Gewölbmaterial, Gleichartigkeit vorhanden iſt, ſo kann man nach Feſtlegen der Belaſtungsfläche, bei der Annahme der Gewölbetiefe gleich der Längeneinheit, ohne fernere Umrechnungen des Gewichtes der Belaſtung ſofort der Stabilitätsunterſuchung des Gewölbes näher treten und ſich hierbei der Rechnung oder vielfach kürzer der einſchlägigen Verfahren der graphiſchen Statik bedienen.

Für den hier vorliegenden Zweck, Anhaltspunkte für die Ermittelung der Gewölbstärke zu gewinnen, soll zunächst der Weg der Rechnung betreten werden.

Es sei nach Fig. 303 AL die innere halbkreisförmige Wölblinie eines Tonnengewölbes mit dem Halbmesser r, DO die vorhin gekennzeichnete, hier wagrecht gelegte Belastungslinie und $B\mathcal{F}$ eine beliebige, unter einem Winkel α von der Scheitel-Lothrechten MA abweichende Gewölbfuge; alsdann kann man bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit die Gröfse der Belastungsfläche $ADK\mathcal{F}B$, welche bis zur Fuge $B\mathcal{F}$ in Betracht kommt, sofort auch an die Stelle des Gewichtes setzen, welches vom Gewölbe sammt seiner Belastung herrührt und auf der Fugenfläche von $B\mathcal{F}$ ruht. Die Länge dieser Fuge möge gleich d_1 sein.

Fig. 303.



Zerlegt man die ganze Belastungsfläche in die Einzelflächen $ADEF$, AFB und $BEK\mathcal{F}$, betrachtet man ferner, was für die weitere Untersuchung mit hinreichender Genauigkeit zulässig erscheint, den Kreisbogen AB als einen Parabelbogen, dessen Scheitel A ist, so erhält man nach den Bezeichnungen in Fig. 303

$$P = (d + h)\, s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 154.$$

$$Q = \frac{1}{3} f s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 155.$$

und genau genug

$$V = (d + h + f)\, b,$$

oder, da $b = \frac{d_1 s}{r}$ ist,

$$V = (d + h + f)\, d_1 \frac{s}{r}; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 156.$$

mithin, wenn G das Gesammtgewicht der in Rechnung gezogenen Belastungsfläche ausdrückt,

$$G = s \left[d + h + \frac{f}{3} + (d + h + f) \frac{d_1}{r} \right]. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 157.$$

In Bezug auf den Fugenpunkt B erhält man unter Berücksichtigung der Schwerpunktsabstände der betrachteten Einzelflächen das statische Moment

$$\mathfrak{M} = P \frac{s}{2} + Q \frac{s}{4} - V \frac{d_1 s}{2 r},$$

oder, unter Benutzung der Gleichungen 154 bis 156, auch

$$\mathfrak{M} = \frac{s^2}{12 r^2} \left\{ r^2 \left[6 (d + h) + f \right] - 6 (d + h + f) d_1^{\,2} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 158.$$

Nimmt man vorläufig wiederum an, der Angriffspunkt des Gewölbschubes H befinde sich im höchsten Punkte C der gedachten Scheitelfuge AC, sieht man also dabei vorderhand davon ab, dafs, wie später noch besprochen werden wird, dieser

Angriffspunkt von H fowohl, als auch der Punkt B von der Gewölbkante aus mehr in das Innere der Gewölbfläche rücken mufs, fo hat man das ftatifche Moment des Gewölbfchubes H als $H(d+f)$ für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung dem Werthe $\mathfrak{M}$ in Gleichung 158 gleich zu fetzen und erhält danach

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)\,r^2}\left\{r^2\,[6\,(d+h)+f] - 6\,(d+h+f)\,d_1^{\,2}\right\} \quad . \quad . \quad 159.$$

Nun ift $s = r \,.\, \sin\alpha$ und $f = r - t = r\,(1-\cos\alpha) = 2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2$.

Führt man diefe Werthe in Gleichung 159 ein, fo ergiebt fich

$$H = \frac{\sin\alpha^2}{6\left[d+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]}\left\{r^2\left[3\,(d+h)+r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]-3\left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 d_1^{\,2}\right]\right\}, \quad . \quad 160.$$

und aufserdem erhält man unter Benutzung der für s und f gegebenen Ausdrücke nach Gleichung 157

$$G = r\,\sin\alpha\left\{d+h+\frac{2}{3}\,r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2+\left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]\frac{d_1}{r}\right\}. \quad 161.$$

Mit Hilfe der Gleichung 160 kann für ein belaftetes Halbkreisgewölbe mit wagrechter Belaftungslinie, welche im Scheitel für eine Belaftungshöhe h ermittelt und feft gelegt ift, der Gewölbfchub H beftimmt werden, indem man zunächft d willkürlich oder fchätzungsweife annimmt, ferner d_1 vorläufig gleich d fetzt, endlich den Winkel α entfprechend den früheren Erörterungen gleich einem Bruchwinkel von 60 Grad einführt und dann mittels der Gleichung 142, bezw. 145 die Gewölbftärke berechnet. Den Normaldruck N findet man, fobald G und H beftimmt find, nach Gleichung 152, bezw. 153 und hiernach die Stärke d_1 unter Benutzung der Gleichung 148, bezw. 150.

Beifpiel. Für ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe aus Backftein fei $r = 3^{\,m}$ und $h = 0{,}3^{\,m}$; diefe Höhe entfpricht, wenn diefelbe über der vollen Ausmauerung der Zwickel des Gewölbes beftändig bleibt, einer gleichförmig vertheilten Ueberlaft von $480^{\,kg}$ für $1^{\,qm}$ Grundrifsfläche. Der Bruchwinkel $\alpha = 60$ Grad; die Gewölbftärke ift zu berechnen.

Setzt man vorweg und ganz willkürlich $d = 0{,}12^{\,m}$ und ebenfalls $d_1 = 0{,}12^{\,m}$, fo erhält man nach Gleichung 160, da $\sin\alpha = \sin 60^0 = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866$ und $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 30^0 = \frac{1}{2}$ ift,

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}12+6\,\frac{1}{4}\right)}\left\{9\left[3\,(0{,}12+0{,}3)+3\,\frac{1}{4}\right]-3\left[0{,}12+0{,}3+6\,\frac{1}{4}\,0{,}12^2\right]\right\} = \sim 1{,}29\,;$$

mithin nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180-1{,}29)\,1{,}29} = 0{,}303^{\,m}\,;$$

fonach war die Gewölbftärke d urfprünglich viel zu gering genommen.

Setzt man jetzt, da das Gewölbe ftärker als eine Backfteinlänge werden mufs, aus praktifchen Gründen fofort die Dicke des Gewölbes zu $1^1/_2$ Backfteinlängen, d. i. zu $0{,}38^{\,m}$ und behält man $d = d_1$ bei, fo wird nun

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}38+6\,\frac{1}{4}\right)}\left\{9\left[3\,(0{,}38+0{,}3)+3\,\frac{1}{4}\right]-3\left[0{,}38+0{,}3+6\,\frac{1}{4}\,0{,}38^2\right]\right\} = 1{,}49\,,$$

wofür fich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180-1{,}49)\,1{,}49} = 0{,}326^{\,m}$$

ergiebt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Diefes Ergebnifs zeigt, dafs die zu 0,38 m angenommene Scheitelftärke des Gewölbes etwas zu grofs fein würde. Da jedoch ohne unnützes Verhauen der Backfteine die Herabminderung der Stärke nicht fachgemäfs eintreten kann, fo wird die Dicke von 0,38 m für die Ausführung des Gewölbes genommen.

Nachdem H genau genug zu 1,49 beftimmt und d zu 0,38 m bekannt geworden ift, läfft fich der Normaldruck N für die Bruchfuge mit dem Winkel $\alpha = 60$ Grad nach Gleichung 153 als

$$N = 0{,}5 \cdot 1{,}49 + 0{,}866\ G$$

finden.

Nach Gleichung 161 wird unter Einführung der bekannten Gröfsen und bei der Annahme $d = d_1$ nunmehr

$$G = 3 \cdot 0{,}866 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{4}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = 3{,}778$$

und fomit

$$N = 0{,}745 + 3{,}272 = \infty\, 4\,;$$

folglich wird nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 4)\, 4} = 0{,}326 \text{ m}.$$

Da diefe Gröfse den Werth von 0,38 m für d nicht erreicht, fo ift eine Vermehrung der Gewölbftärke nach der Bruchfuge zu nicht erforderlich.

Wird das in Frage ftehende Tonnengewölbe in feinen Anfängern bis zur Bruchfuge nicht in wagrechten Schichten aufgemauert, fo ift noch zu prüfen, ob der Normaldruck, welcher die wagrechte Widerlagsfuge trifft, nicht eine gröfsere Gewölbftärke verlangt, als die bis jetzt feft gefetzte ift. Da für diefe Fuge Winkel α gleich 90 Grad wird, fo erhält man nach Gleichung 152 fofort $N = G$ und weiter nach Gleichung 161, da $\sin \alpha = \sin 90 = 1$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 45 \text{ Grad} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, alfo $(\sin 45)^2 = \left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$ ift,

$$G = 3 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{2}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = \infty\, 6{,}44.$$

Bringt man $G = N = 6{,}44$ in Gleichung 150, fo folgt

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 6{,}44)\, 6{,}44} = 0{,}39 \text{ m}.$$

Diefe Stärke weicht nur um 1 cm von der früher erhaltenen Stärke ab, fo dafs d füglich durchweg beibehalten werden könnte. Die Unterfuchung lehrt aber, dafs für Halbkreisgewölbe bei der Beftimmung der Gewölbftärke mit Vorficht verfahren werden mufs, dafs wiederum wagrecht aufgemauerte Anfänger rathfam erfcheinen oder dafs bei gröfseren Tonnengewölben das Verlaffen der als Halbkreis auftretenden Erzeugenden und Erfetzen derfelben durch einen Parabelbogen, deffen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ift, fich als erwünfcht und als räthlich zeigt.

139. Stärke anders geformter Gewölbe.

Ift bei halbkreisförmigen Tonnengewölben in der angegebenen Weife die Gewölbftärke zu berechnen, fo kann daffelbe Verfahren der Unterfuchung auch bei Tonnengewölben, deren Erzeugende elliptifche Bogen, Korbbogen, Parabelbogen oder Spitzbogen find, und ferner auch bei flachbogigen, fo wie bei einhüftigen Gewölben zur Anwendung kommen. Da hierbei die Beftimmung des Gewölbfchubes H Hand in Hand geht mit dem Feftlegen der Form der Wölblinie, der Gewölbftärke und gleichzeitig beeinflufst wird durch die in der Belaftungsfläche ausgedrückte Ueberlaft des Gewölbes, fo wird zur Vermeidung vielfacher oder umftändlicher Rechnungen die erfte Ermittelung von H am einfachften auf graphifchem Wege vorgenommen [163]).

140. *Rondelet*'s Formeln für die Gewölbeftärke.

Allerdings ift auch hierbei vorweg eine Gewölbftärke fchätzungsweife anzunehmen. Um diefe Schätzung zu erleichtern, bedient man fich wohl der empirifchen Formeln, welche aber, wie ausdrücklich hier betont werden mag, ein weiteres genaueres Feftlegen der Gewölbftärke in jedem einzelnen Falle durchaus nicht ausfchliefsen dürfen. Von derartigen empirifchen Regeln fpielen in der Literatur des Bauwefens immer noch die von *Rondelet* aufgeftellten Formeln eine Rolle, wovon die folgenden hier angeführt werden mögen.

163) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 483, S. 453 (2. Aufl.: Art. 264, S. 260).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für Gewölbe mit halbkreisförmiger und auch mit elliptiſcher Wölblinie und Quadern als Wölbmaterial, ſo wie unter der Vorausſetzung, daſs dieſe Gewölbe im Widerlager doppelt ſo ſtark ſind wie im Scheitel, ſoll, wenn d die Schluſsſteinſtärke und s die Spannweite (in Met.) bezeichnen, ſein:

1) für unbelaſtete Gewölbe: $d = 0{,}01\ s + 0{,}08$ Met.,
2) für mittelſtark belaſtete Gewölbe: $d = 0{,}02\ s + 0{,}16$ Met. und
3) für ſtark belaſtete Gewölbe: $d = 0{,}04\ s + 0{,}32$ Met.

So würde z. B. das zuletzt unterſuchte, mittelſtark belaſtete Tonnengewölbe mit dem Halbmeſſer von 3 m, alſo der Spannweite von 6 m, wenn daſſelbe ſtatt aus Backſteinmaterial aus Quadern ausgeführt werden ſollte, nach der Regel 2 eine Scheitelſtärke $d = 0{,}02 \cdot 6 + 0{,}16 = 0{,}28$ m erhalten.

Nach Gleichung 142, welche für Quadergewölbe zu benutzen iſt, würde, da H in dem erwähnten Beiſpiele zu 1,49 gefunden worden iſt, welcher Werth auch hier beibehalten werden kann,

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 1{,}49)\ 1{,}49} = 0{,}272\text{ m}$$

ſich ergeben haben, mithin nur eine äuſserſt geringe Abweichung aufweiſen.

Für die Stärke am Widerlager würde nach der *Rondelet*'ſchen Regel die Abmeſſung d_1 ſich zu $2\,d = 0{,}56$ m feſt ſtellen, welche als reichlich groſs anzuſehen iſt. Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge würde nach Gleichung 152 ſich $N = G$ ergeben. Bei einer gleichmäſsigen Stärke $d = 0{,}28$ m wird nach Gleichung 161, worin $\measuredangle\ \alpha = 90$ Grad zu ſetzen iſt,

$$G = 3\left[0{,}28 + 0{,}3 + \frac{2}{3}\cdot 3\cdot\frac{1}{2} + \left(0{,}28 + 0{,}3 + 6\cdot\frac{1}{2}\right)\frac{0{,}28}{3}\right] = \infty\ 5{,}75 = N.$$

Unter Benutzung von Gleichung 148 erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 5{,}75)\ 5{,}75} = 0{,}308\text{ m}$$

als Näherungswerth, alſo weit kleiner, als die nach der Regel von *Rondelet* gefundene Stärke am Widerlager. Aber ſelbſt, wenn G auf 7 anwachſen würde, ſo würde d_1 erſt gleich 0,34 m werden.

141. Mittellinie des Druckes.

Wie nun aber auch die Gewölbſtärke für ein auszuführendes Gewölbe beſtimmt ſein mag, immer iſt es zur Gewinnung der Ueberzeugung von der Sicherheit und Haltbarkeit deſſelben anzurathen, durch Conſtruction der Mittellinie des Druckes das Gewölbe auf ſeine Standfähigkeit einer Prüfung zu unterziehen, um danach, wenn die Belaſtung des Gewölbes, was meiſtens der Fall iſt, nicht geändert werden darf, entweder die Gewölbſtärke oder die Form der Wölblinie je für ſich allein oder auch unter beſonderen Umſtänden beide gleichzeitig zu ändern, damit man für die Standfähigkeit des Gewölbes günſtige Ergebniſſe erziele. Die dazu nöthigen Verfahren werden hier als bekannt vorausgeſetzt. Nur auf einen Punkt möge noch die Beſprechung geführt werden.

Bei den oben angeſtellten Unterſuchungen iſt zur Berechnung des möglichſt kleinſten Gewölbſchubes H der Angriffspunkt deſſelben im höchſten Punkt der gedachten Scheitelfuge angenommen, und eben ſo iſt auch der in der Wölblinie gelegene vordere Punkt der Bruchfuge, bezw. der Widerlagsfuge als ein Angriffspunkt der Mittelkraft, welche aus dem Gewölbſchube und aus dem von der gedachten Scheitelfuge bis zur Bruchfuge entſtehenden Geſammtgewicht des Gewölbkörpers entſpringt, angeſehen, ſo daſs dieſe beiden Punkte als Punkte auftreten würden, welche einer mit dem Gewölbſchube H gezeichneten Mittellinie des Druckes angehören. Bei dieſer Annahme würde ein Druck von endlicher Gröſse auf eine Linie, alſo auf eine Fläche von unendlich kleiner Gröſse kommen, d. h. der Druck für eine Flächeneinheit würde an den angenommenen Angriffsſtellen einen unendlich groſsen Werth annehmen, welchem kein Material Widerſtand leiſten kann, da daſſelbe nicht abſolut ſtarr, ſondern in gewiſſem Grade preſsbar iſt. Die Folge von der

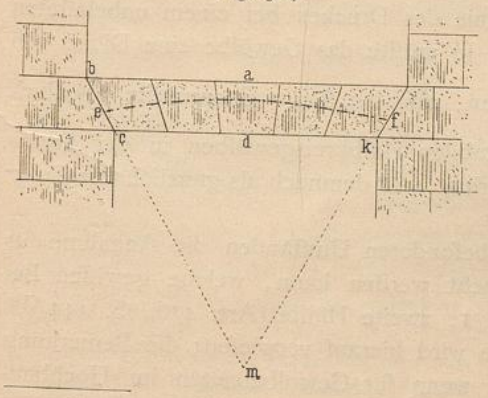
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Preſsbarkeit oder der Elaſticität des Wölbmaterials iſt, daſs die Angriffspunkte der bezeichneten Kräfte ſich von den äuſserſten Kantenpunkten zurückziehen und mehr nach dem Innneren der Gewölbfläche verlegen. Wie weit dieſes Zurückziehen eintritt, iſt mit Beſtimmtheit nicht zu ſagen; daſs daſſelbe aber in mehr oder weniger hohem Grade der Fall iſt, zeigen viele ausgeführte, als vollſtändig ſtabil geltende Gewölbe, namentlich Halbkreisgewölbe und gedrückte Tonnengewölbe nach der Ausrüſtung an den ſog. gefährlichen Stellen in der Nähe des Scheitels, der Bruchfuge und der Widerlagsfuge, indem in der Nähe des Scheitels in den Fugen an der Stirn nach unten zu leichte Haarriſſe wahrzunehmen ſind, während in der Nähe der Kanten oben am Rücken des Gewölbes die Steine ſich ſcharf an einander preſſen. Eben ſolche Erſcheinungen treten an den Bruchfugen ein, wobei die Steine vorn an der Fugenkante in der inneren Wölblinie ſich ſcharf preſſen und in den Fugen jene Haarriſſe in der Nähe der Rückenlinie ſich bilden, während an den Widerlagsfugen, je nachdem der durch die Mittellinie des Druckes, welche für den möglichſt kleinſten Gewölbſchub ermittelt iſt, gefundene Preſſungspunkt der inneren oder der äuſseren Wölblinie am nächſten liegt, die Preſſungen zwiſchen den Steinen in der nächſt gelegenen Wölblinie, die Haarriſſe in den Fugen nach der entgegengeſetzten Richtung ſich kund geben. Hiernach lehrt dieſe Erfahrung, daſs bei den meiſten als Wölbmaterial benutzten Steinen im Ganzen die Mittellinie des Druckes an jenen bezeichneten Stellen ſich doch nur in mäſsiger Gröſse von den Kanten der Wölbſteine zurückzieht.

Scheffler ſagt[164]), daſs es für die Ausführung der Gewölbe hinreichende Sicherheit gewähren möchte, wenn von der Vorausſetzung ausgegangen wird, daſs die Mittellinie des Druckes bis auf den vierten Theil der Gewölbſtärke in den vorhin gekennzeichneten Fugen zurückgedrängt werden könne und wenn ferner die Gewölblinie, ſo wie die Stärke des Gewölbes ſo genommen werden, daſs nach Abzug eines inneren und eines äuſseren Streifens, von denen jeder den vierten Theil der Gewölbſtärke zur Breite hat, der verbleibende innere Gewölbſtreifen, welcher noch eine Breite gleich der halben Gewölbſtärke behält, nach den Geſetzen für die Mittellinie des Druckes mit dem möglichſt kleinſten Gewölbsſchube, welcher für dieſen inneren Streifen nebſt der auf denſelben kommenden Geſammtbelaſtung eintritt, auf ſeine Stabilität unterſucht wird, wobei je nach den bei dieſer Unterſuchung ſich ergebenden Reſultaten noch durch etwaige Aenderung der Form der Wölblinie, der Gewölbſtärke oder gleichzeitige Aenderung beider Stücke zweckmäſsige Vorkehrungen für die Stabilität des Gewölbes getroffen werden können.

Von Vielen wird verlangt, daſs ein Gewölbe eine ſolche Form der Wölblinie und eine ſolche Stärke erhalten ſoll, daſs eine Mittellinie des Druckes in die Gewölbfläche eingezeichnet werden kann, welche an jeder Stelle mindeſtens um ein Drittel der Gewölbſtärke von den betreffenden Kanten der Steine zurückbleibt[165]). Ob aber in Wirklichkeit die nach dieſen Annahmen gezeichnete Mittellinie des Druckes auch nach der Ausführung und Ausrüſtung ſonſt ſtabiler und nicht mit unnöthiger Stärke verſehener Gewölbe eine ſolche Lage beibehält, iſt in hohem Grade ungewiſs und unter Umſtänden unmöglich.

Fig. 304.

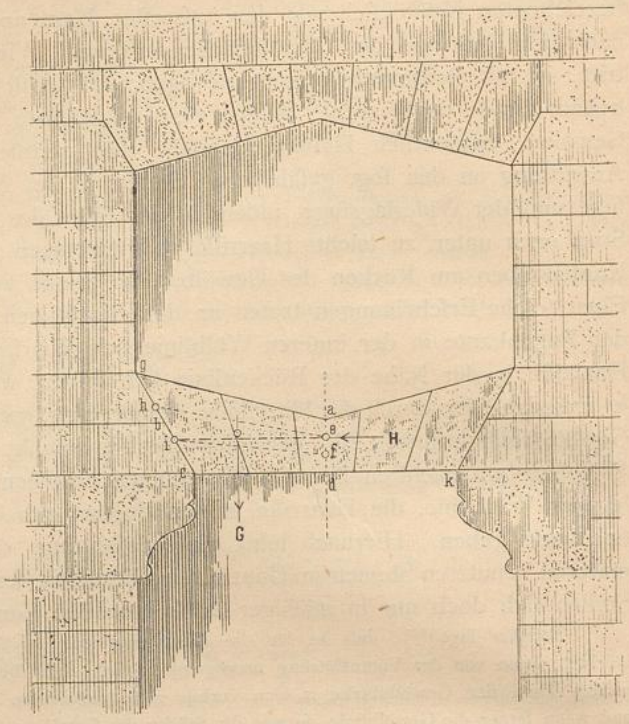


Betrachtet man z. B. ein ſcheitrechtes Gewölbe (Fig. 304), welches als unbelaſteter Sturz für eine Oeffnung von nur 1,5 m Weite aus Quadermaterial in einer Scheitelſtärke von 0,3 m ausgeführt und wobei $cm = ck$ genommen iſt, ſo bekundet die Unter-

164) In ſeiner »Theorie der Gewölbe« etc. Braunſchweig 1857. S. 69.

165) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieſes »Handbuches«, Art. 479, S. 448 (2. Aufl.: Art. 272, S. 257).

Fig. 305.



fuchung dieſes Sturzes ſeine Stabilität. Für denſelben iſt auch eine Mittellinie des Druckes ef im inneren Drittel möglich.

Benutzte man einen ſolchen Sturz nach Fig. 305 als unteren Abſchluſs einer Lichtöffnung in der Weiſe, daſs jetzt, unter Beibehaltung der Scheitelſtärke $ad = 0{,}3$ m, die Stärke ceg am Widerlager gleich dem Doppelten von der früheren Stärke cb würde, und wären in der gedachten Scheitelfuge ad die Strecken $ae = ef = fd = \frac{ad}{3}$ und eben ſo die Strecken $gh = hi = ic = \frac{gc}{3}$, wobei hier abſichtlich bei g die ſonſt nicht günſtige Schneide am Kämpferſteine gelaſſen iſt, ſo würde, wenn die Mittellinie des Druckes im inneren Drittel $efih$ bleiben ſollte, dieſe Linie eine wagrechte gerade Linie ei ſein, welcher ein unendlich groſser Gewölbſchub und demnach eine unendlich groſse Scheitelſtärke zukommen würde, was vollſtändig ungereimt iſt. Die in Wirklichkeit auftretende Mittellinie des Druckes wird ſich den Kanten in a und c nähern und das innere Drittel verlaſſen müſſen, da H einen endlichen Werth und im vorliegenden Falle ſogar einen ſolchen von ziemlich geringer Gröſse annehmen muſs.

Verſuche mit Modellen von unbelaſteten Halbkreisgewölben bekunden gleichfalls eine nahezu an den Kanten der ſog. gefährlichen Stellen des Gewölbes eintretende Lage der Mittellinie des Druckes. Bei der mittels des möglichſt kleinſten Gewölbſchubes gezeichneten derartigen Linie ergiebt ſich, wie ſchon in Art. 136 (S. 182) angeführt, daſs bei einem ſolchen Gewölbe mit gleicher Dicke die Stärke eine Abmeſſung von $\frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite haben muſs, wenn das Gewölbe eben noch im Gleichgewichtszuſtande ſein ſoll. Hiernach angeſtellte Verſuche zeigen daſſelbe Ergebniſs. Sollte nun eine Mittellinie des Druckes bei einem unbelaſteten Halbkreisgewölbe im inneren Drittel liegen, ſo müſſte das Gewölbe eine Dicke von etwa $\frac{1}{5{,}85}$ der Spannweite deſſelben beſitzen, alſo bei $5{,}85$ m Spannweite 1 m ſtark werden, ein Ergebniſs, welches den bei ſtabilen Halbkreisgewölben in der Praxis gewonnenen Erfahrungen vollſtändig widerſpricht und demnach als gänzlich unzuläſſig gelten muſs.

Wie in gegebenen Fällen und unter beſonderen Umſtänden die Annahme für die Lage einer möglichen Mittellinie gemacht werden kann, welche gewiſſen Bedingungen entſpricht, iſt in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 444 [166]) dieſes »Handbuches« näher erörtert, und es wird hierauf verwieſen; die Bemerkung möge jedoch noch gemacht werden, daſs, wenn für Gewölbebauten im Hochbau-

166) 2. Aufl.: Art. 265, S. 250.

weſen nur ſehr preſsbares Material, welches allerdings bei der Ausführung von einigermafsen gröfseren und belafteten Deckengewölben, wenn irgend thunlich, nicht benutzt werden ſollte, zur Anwendung gelangt, die Gewölblinie und die Gewölbſtärke zweckmäfsig ſo beſtimmt werden, dafs eine Mittellinie des Druckes möglich wird, welche mit der Mittellinie der Stirnfläche des Gewölbes, alſo mit der Axe dieſer Fläche ſich ganz oder nahezu deckt. Eine ſolche Mittellinie des Druckes beſitzt jedoch ſehr grofse Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Axe mit der Scheitel-Lothrechten des Gewölbes zuſammenfällt, ſo dafs auch in einem ſolchen Falle die Parabel als Bogenlinie vortheilhaft auftritt.

142. Widerlagsſtärke.

Verhältniſsmäfsig einfach iſt die Beſtimmung der Stärke der Widerlager der Gewölbe. Sobald der auf die Widerlagsfuge (Kämpferfuge) kommende Kämpferdruck auf Grund der für die Gewölbſtärke gegebenen Erörterungen und durch die ſtatiſchen Unterſuchungen des eigentlichen Gewölbkörpers bekannt geworden iſt, ſo iſt dieſer Druck mit dem Gewichte des Widerlagskörpers, deſſen Tiefe wiederum rechtwinkelig zur Bildfläche gemeſſen, wie es beim Gewölbe der Fall war, gleich der Längeneinheit genommen wird, zuſammenzuſetzen, um eine Mittelkraft zu beſtimmen, welche die Aufſtand- oder Fufsfläche der Widerlagsmauer in einem Punkte ſchneidet, welcher von der äufseren Seitenkante noch einen genügend grofsen Abſtand beſitzt. Dieſer Abſtand, von der als Drehkante des Widerlagskörpers auftretenden Begrenzungslinie der Grundfläche aus gemeſſen, liegt in der Kräfteebene und beträgt zweckmäfsig $\frac{1}{3}$ der Widerlagsſtärke d.

Um für den Gewölbeſchub H bei der Ermittelung der Widerlagerſtärke einen Werth zu erhalten, welcher thunlichſt vortheilhaft noch gleichſam mit einem Sicherheits-Coefficienten behaftet iſt, nimmt man an, dafs H nicht im höchſten Punkte, ſondern im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und dafs der Mittelpunkt der Kämpferfuge der Angriffspunkt des Kämpferdruckes iſt, hervorgegangen aus H und dem Gewichte G des Gewölbes mit ſeiner Belaſtung.

Da die Stärke des Widerlagers noch unbekannt, die Höhe deſſelben aber in den meiſten Fällen vorgeſchrieben iſt, ſo hat man zunächſt eine Widerlagsſtärke zu wählen und darauf die Stabilitätsunterſuchung des als Widerlager auftretenden Stützkörpers entweder durch Rechnung oder oft einfacher und durchſichtiger auf graphiſchem Wege vorzunehmen. Bei dem zuletzt genannten Wege wird eine Mittellinie des Druckes auch im Querſchnitte des Widerlagers eingezeichnet und dieſe läfst erkennen, ob dieſelbe bei der gewählten Stärke für jede Fuge im Widerlager bei der rechteckig gedachten Fugenfläche den bezeichneten äufseren Abſtand $\frac{1}{3}$ der Stärke, von der Drehkante aus gemeſſen, überſchreitet oder denſelben entſprechend innehält. Nach dieſen Prüfungen ſind, wenn erforderlich, etwaige Veränderungen in den Stärkeabmeſſungen des Widerlagers vorzunehmen.

143. Beiſpiel.

In welcher Weiſe die Stabilitätsunterſuchung eines Tonnengewölbes und ſeines Widerlagers unter Benutzung der Verfahren der graphiſchen Statik vorgenommen werden kann, möge an einem Beiſpiele gezeigt werden.

Ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe, deſſen Spannweite, gegebenen Gebäudeaxen entſprechend, 6 m betragen mufs, hat von der feſten Baufohle ab nach aufsen frei ſtehende Widerlager, deren Höhe mit der Oberkante des Fufsbodens über dem Gewölbe in wagrechter Ebene abgegrenzt iſt. Ueber dem Gewölbe iſt ein leichter Schuppen vorhanden, welcher nur in den Binderfüfsen das Widerlager belaſtet. Auf dem Gewölbe lagert durchgängig und gleichförmig vertheilt als Brennſtoff zu verwendende Coke

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

in einer Schüttthöhe von 1,50 m. Das Gewölbe ift in den Zwickeln ausgemauert, fonft mit Sandfchüttung und Fufsbodenpflafter verfehen, fo dafs die Oberfläche des letzteren 0,20 m über dem höchften Rückenpunkte des Gewölbes liegt.

Für die Ausführung des Gewölbes und der Widerlager ift Backfteinmaterial beftimmt.

Da das Eigengewicht der Coke gleich 0,42 und jenes des Backfteinmauerwerkes gleich 1,6 ift, fo beträgt das Gewicht der gefchütteten Coke 420 kg für 1 cbm, dasjenige des Backfteinmauerwerkes 1600 kg für 1 cbm.

Um für die Stärke, welche dem Gewölbe gegeben werden mufs, einen Anhalt zu gewinnen, find die Gleichungen 160 u. 145 zu benutzen, nachdem die Gewölbebelaftung durch das gleich grofse Gewicht von Backfteinmauerwerk erfetzt gedacht ift. Da für die Ausmauerung der Gewölbzwickel, für die Bettung des Fufsbodenpflafters und für das letztere felbft das Eigengewicht nahezu gleich demjenigen des Backfteinmauerwerkes angenommen werden kann, fo ergiebt fich für diefe Theile zunächft eine Belaftungshöhe von 0,20 m über dem Gewölbrücken im Scheitelloth und hierdurch eine erfte wagrechte Belaftungslinie.

Die Cokefchüttung ift in 1,5 m Höhe wagrecht abgeglichen, und es kann bei der vorläufigen Rechnung von den Seitenböfchungen diefer Schüttung abgefehen, alfo die Schüttthöhe für den ganzen Querfchnitt des Gewölbes beibehalten werden. Der Abftand x der zugehörigen Belaftungslinie, entfprechend dem Backfteinmaterial, von der feft gelegten erften Belaftungslinie ergiebt fich offenbar durch den Ausdruck

$$1 \cdot 1 \cdot 1{,}5 \cdot 420 = 1 \cdot 1 \cdot x \cdot 1600$$

als

$$x = \frac{1{,}5 \cdot 420}{1600} = 0{,}394 \text{ m},$$

wofür $x = 0{,}4$ m gefetzt werden foll. Somit entfteht eine gefammte Belaftungshöhe

$$h = 0{,}2 + 0{,}4 = 0{,}6 \text{ m}$$

und demnach weiter, wenn die Gewölbftärke $d = d_1$ vorläufig zu 0,38 m gewählt, wenn ferner die wagrechte Aufmauerung des Widerlagers bis zum Bruchwinkel α von 60 Grad ausgeführt wird, beim Halbmeffer $r = 3$ m, fofort nach Gleichung 160

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}38 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right)}\left\{9\left[3\,(0{,}38 + 0{,}6) + 3 \cdot \frac{1}{4}\right] - 3\left(0{,}38 + 0{,}6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0{,}38^2\right)\right\} = 1{,}97$$

und folglich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 1{,}97)\,1{,}97} = \frac{18{,}727}{50} = 0{,}3745 \text{ m}.$$

Hiernach ift d zu 0,38 m feft zu fetzen.

Für die Berechnung der Stärke d_1 der Widerlagsfuge ergiebt fich vorweg nach Gleichung 161

$$G = 3 \cdot 0{,}866\left[0{,}38 + 0{,}6 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right)\frac{0.38}{3}\right] = 4{,}88,$$

fodann nach Gleichung 153

$$N = 1{,}97 \cdot 0\,5 + 4{,}88 \cdot 0{,}866 = 5{,}2$$

und endlich nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 5{,}2)\,5{,}2} = \frac{52{,}7}{150} = 0{,}35 \text{ m},$$

alfo kleiner als d, fo dafs $d_1 = d$ angenommen und das Gewölbe in gleicher Stärke ausgeführt werden kann.

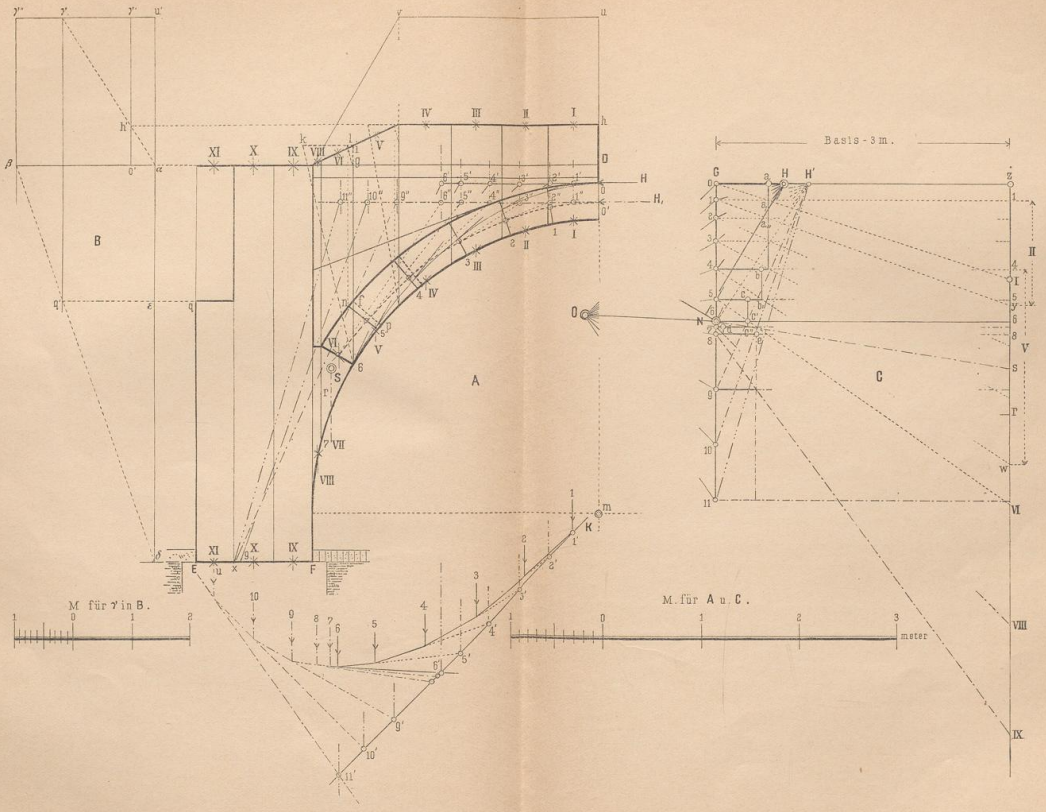
Die Stärke des Gewölbe-Widerlagers foll einftweilen noch unbeftimmt bleiben.

Nach diefen vorläufigen Ermittelungen ift auf der neben ftehenden Tafel im Plane A das Gewölbe fammt feiner Belaftung unter der Annahme aufgetragen, dafs die Gewölbtiefe fenkrecht zur Bildfläche gleich der Längeneinheit fei und dafs auf der Widerlagsmauer für diefe Tiefe keine weitere Laft der Conftruction des über dem Gewölbe befindlichen Schuppens ruhe.

Die Verwandelung der Cokefchüttung in Backfteinmauerung ift unter Berückfichtigung der Böfchung diefer Schüttung im Plane B durch Zeichnung vorgenommen.

Ift allgemein γ das Eigengewicht des Wölbmaterials W, γ_1 das Eigengewicht des Belaftungsmaterials S, fo befitzt ein Körper des Materials S, deffen Grundfläche 1 qm, deffen Höhe h Met. beträgt, ein Gewicht $G_1 = 1 \cdot h\,\gamma_1 \cdot 1000$ kg und ein Körper des Materials W bei einer Grundfläche von 1 qm und einer Höhe x Met. ein Gewicht $G = 1 \cdot x\,\gamma \cdot 1000$ kg.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Stabilitäts-Unterſuchung eines ſymmetriſchen Tonnengewölbes und ſeines Widerlagers.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Soll nun G gleich G_1 werden, ſo folgt

$$x\gamma = h\gamma_1,$$

d. h.

$$\frac{x}{h} = \frac{\gamma_1}{\gamma},$$

wonach x als die ſog. reducirte oder erſetzte Belaſtungshöhe leicht zu conſtruiren iſt.

Nimmt man im Plane B die Länge $u_1\gamma$ nach einem beliebigen Maſsſtabe gleich der Maſszahl γ, hier gleich 1,6, und eben ſo $u_1\gamma_1$ nach demſelben Maſsſtabe gleich der Maſszahl γ_1, hier gleich 0,42, ſo wird, ſobald auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege $u_1\alpha$ gleich der Schütthöhe Du des Planes A abgetragen und die gerade Linie $\alpha\gamma$ gezogen iſt, in der Länge o_1h_1 der durch γ_1 zu $u_1\alpha$ geführten Parallelen $\gamma_1 o_1$ die reducirte Belaſtungshöhe erhalten; denn es iſt

$$\frac{o_1h_1}{\alpha u_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Dieſe reducirte Belaſtungshöhe iſt, da uv wagrecht liegt, bis zu einer durch v im Plane A geführten Lothrechten beizubehalten, während von hier ab bis zur inneren Kante des Widerlagers die Belaſtungslinie zufolge der Böſchung der Cokeſchüttung geneigt in gerader Linie abfällt. Iſt die obere Begrenzungslinie der gegebenen Belaſtung von irgend welcher Geſtalt, welche verſchiedene Höhen bedingt, die nach und nach zu reduciren ſind, ſo bleibt für jede einzelne Höhe das angegebene Verfahren daſſelbe. Die Verbindung der Endpunkte der reducirten Höhen liefert die geſuchte Belaſtungslinie.

Die Fläche des Gewölbquerſchnittes nebſt der reducirten Belaſtungsfläche, wobei die Zwickelausmauerung und der Fuſsbodenbelag mit Bettung einer weiteren Reduction, wie vorhin angegeben, nicht bedurften, iſt vermöge der vom Scheitellothe aus ſymmetriſch auftretenden Form und Belaſtung des Gewölbes nur zur Hälfte dargeſtellt. Durch lothrechte Theillinien iſt dieſelbe in Einzelſtreifen oder Lamellen zerlegt, wobei eine Theillinie mit der durch v ziehenden Lothrechten zuſammenfallend angenommen iſt. Links von derſelben ſind noch 3 Lamellen von verſchiedener Breite eingefügt, von denen die eine mittlere durch Lothrechte begrenzt wird, welche durch die Grenzpunkte der Widerlagsfuge geführt ſind, eine Anordnung, welche in den meiſten Fällen für dieſe Fuge zweckmäſsig iſt. Rechts von der durch v laufenden Theillinie ſind bis zum Scheitellothe hm noch beliebig viele Lamellen, hier vier derſelben, von gleicher Breite genommen.

Die von den Theillinien begrenzten Theilſtreifen können in ihren Flächen, da im Allgemeinen verhältniſsmäſsig ſchmale Stücke in der Zeichnung auftreten, für die praktiſche Unterſuchung mit genügender Genauigkeit als Rechtecksflächen behandelt werden. Vielfach, und namentlich bei flachen Bogen, können auch die Strecken dieſer Theillinien, welche innerhalb der Gewölbfläche liegen und hier von der inneren Wölklinie und der Rückenlinie abgeſchnitten erſcheinen, ſchon als Fugenlinien in ſo fern gelten, als in denſelben die der Mittellinie des Druckes zukommenden Punkte in der Gewölbfläche aufgeſucht werden. Bei den im Hochbauweſen auftretenden Tonnengewölben jedoch oder auch bei den Flachbogengewölben ſelbſt, welche ab und an nur eine geringe oder faſt gar keine Ueberlaſt aufzunehmen haben, iſt dieſe Behandlung der Abſchnitte der Theillinien als Stücke, in welchen die Punkte der zu zeichnenden Mittellinie des Druckes aufgeſucht werden, weniger angezeigt. Eben ſo iſt es in den erwähnten Fällen auch nicht ganz rathſam, die Fugen, in welchen die Punkte der Drucklinie ermittelt werden ſollen, geradezu von den Schnittpunkten der Theillinien mit der Rückenlinie, z. B. als Fuge fp, auslaufen zu laſſen, zumal mit Leichtigkeit in jedem Falle eine Gewölbfuge ermittelt werden kann, welche von der auf ihr ruhenden Belaſtung in möglichſt richtiger Weiſe getroffen und in welcher dann ebenfalls in möglichſt zutreffendem Grade der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes zu beſtimmen iſt.

Sollte z. B. (Fig. 306) eine Fuge kl für eine beliebige Theillinie fe ſo gefunden werden, daſs die Gewölbfläche mit der Belaſtungsfläche von der Gröſse $bafe$ das auf dieſe Fuge kl kommende Gewicht möglichſt genau wiedergiebt, ſo kann die folgende Ueberlegung Platz greifen. Es ſei kl die richtige Fuge. Alsdann ruht auf derſelben ein Gewicht entſprechend der Fläche $apklb$. Dieſe Fläche müſſte der bei der Beſtimmung der Mittellinie des Druckes in Rechnung oder hier im Sinne der graphiſchen Statik in Behandlung genommenen Fläche $bafce$ gleich ſein. Damit dies der Fall iſt, müſſte die Fläche leq gleich Fläche $qfpk$ ſein. Dann würde auch Fläche leq + Fläche $eqkn$ = Fläche $qfpk$ + Fläche $eqkn$ ſein müſſen, oder was daſſelbe iſt, das als rechtwinkelige Dreiecksfläche anzuſehende Stück lnk würde gleich ſein müſſen dem als ſchmalen Paralleltrapez zu behandelnden Streifen $efpn$, welcher auch genügend genau als Rechtecksfläche von der Breite fi gelten darf. Danach iſt

$$\frac{nl \,.\, kl}{2} = ef \,.\, fi;$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mithin ist auch

$$\frac{nl}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2}kl}.$$

Hierin ist kl die normale Dicke des Gewölbes in l, aber ſtreng genommen, wie auch nl noch unbekannt. Zieht man jedoch durch den Schnittpunkt c der Theillinie ef mit der Rückenlinie des Gewölbes eine Hilfsfuge cd, ſo iſt ohne nennenswerthe Abweichung auch $cd = kl$ und $ed = nl$ zu nehmen, ſo daſs nun weiter

$$\frac{ed}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2}cd}$$

wird. Nach dieſem Ausdrucke läſſt ſich fi und dann die Lage der Fuge kl, welche der Theillinie ef zugehört, einfach durch Zeichnung ermitteln. Zieht man durch den gemeinſchaftlichen Punkt f der Theil-

Fig. 306.

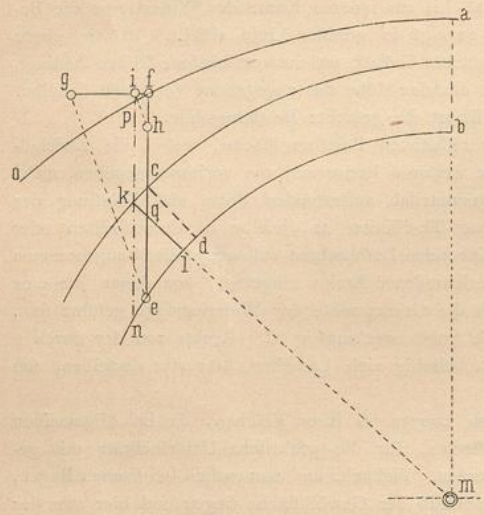
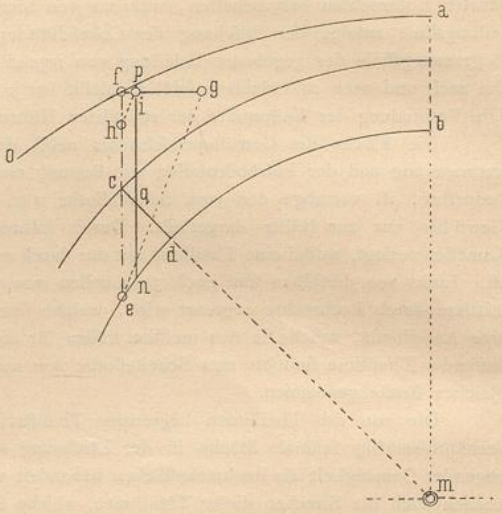


Fig. 307.



linie ef und der Belaſtungslinie die Gerade fg von der Länge gleich ed, trägt man auf der Theillinie ef die Strecke $fh = \frac{1}{2}cd$ ab, zieht man eg und hierzu durch h die Parallele hi, ſo wird fi die geſuchte Breite des vorhin erwähnten Streifens $efpn$. Zieht man zuletzt durch i die Parallele in zu ef, ſo trifft dieſelbe den Gewölbrücken im Punkte k, durch welchen die geſuchte Fuge kl normal zur inneren Wölblinie zu führen iſt.

Iſt umgekehrt eine Fuge cd (Fig. 307) gegeben, ſo wird auf Grund der gegebenen Ausführungen zunächſt durch den Punkt c eine lothrechte Hilfstheillinie ef gelegt, $fg = ed$ und $fh = \frac{1}{2}cd$ abgetragen, nunmehr eg und die hierzu parallele Linie hi gezogen, um zuletzt in der durch i geführten Lothrechten pn die geſuchte Theillinie zu erhalten. Nach dieſen Angaben ſind auf der umſtehenden Tafel im Plane A die Fugen 1 bis 5 des Gewölbes eingetragen.

Zur graphiſchen Ermittelung der Flächenwerthe der einzelnen im Allgemeinen als Paralleltrapeze erſcheinenden Theilſtreifen ſind die mittleren Höhen II, III u. ſ. f. derſelben beſtimmt, und hierauf iſt die Verwandelung der Theilflächen in Rechtecksflächen mit einer beliebigen Baſis oz, hier zu 3^{m} gewählt, im Plane C vorgenommen.

Dieſe Verwandelung oder die ſog. Reduction der Theilſtreifen auf eine beſtimmte Baſis hat den Zweck, die durch Linien darzuſtellenden Flächen-, bezw. Gewichtswerthe der Lamellen in einer für die weitere zeichneriſche Behandlung geeigneten Länge zu erhalten.

So iſt im Plane C auf der lothrechten z-Linie die Strecke $z1$ gleich der mittleren Höhe II des erſten Theilſtreifens, deſſen Gewicht für die Gewölbfuge 1 in Betracht kommt, abgeſetzt; auf der wagrechten Linie oz iſt die Länge oa gleich der Breite dieſes erſten Theilſtreifens abgeſchnitten, durch a

die Parallele zu $z\,I$ gelegt und hierauf die Linie $o\,I$ gezogen, welche auf der Linie a die Strecke $a\,a_1$ als reducirte Höhe des erften Theilftreifens abfchneidet.

Die durch a_1 parallel zu $o\,z$ gezogene Linie liefert auf der Gewichtslinie G die Strecke $o\,1$, welche nach dem für die Zeichnung der Pläne A und C benutzten Mafsftabe zu meffen und mit der Bafiszahl, hier 3 m, zu multipliciren ift, um fofort den Flächeninhalt des erften Theilftreifens in Quadr.-Met., oder auch, da die Gewölbtiefe zu 1 m angenommen war, den körperlichen Inhalt diefes Theilftreifens in Cub.-Met. zu liefern.

Denn mit Bezugnahme auf die Zeichnung ift

$$\frac{a\,a_1}{o\,a} = \frac{z\,I}{o\,z},$$

d. h.

$$a\,a_1 \,.\, o\,z = o\,a \,.\, z\,I$$

oder

$$a\,a_1 \,.\, 3\,\text{qm} = o\,a \,.\, z\,I \text{ Quadr.-Met.}$$

gleich der Fläche des erften Streifens.

Die Zeichnung liefert $a\,a_1 = o\,1$ zu 0,17 m; daher befitzt der erfte Theilftreifen einen Flächeninhalt von $0{,}17 \,.\, 3 = 0{,}51$ qm und bei der Tiefe von 1 m auch 0,51 cbm.

Da 1 cbm Backfteinmauerwerk 1600 kg wiegt und alle Abmeffungen für die in Rechnung zu bringenden Gewölbe- und Belaftungsflächen auf Backfteinmauerwerk zurückgeführt find, fo würde der Körper des erften Theilftreifens ein Gewicht von $0{,}51 \,.\, 1600 = 861$ kg befitzen.

In gleicher Weife ift auch die zweite Lamelle auf die gewählte Bafis reducirt; die mittlere Höhe $II\,II$ ift auf der z-Linie nun von 1 bis $y = II$ abgetragen, der Reductionsftrahl von der G-Linie aus als $1\,y$ geführt, und da die Breite der zweiten Lamelle ebenfalls $= o\,a = 1\,a_1$ ift, die reducirte Höhe $a,a_{,,} = 1\,2$ fofort abgefchnitten. Bei der fünften Lamelle ift eine Aenderung der Breite zu bemerken. Für diefen Streifen ift die mittlere Höhe $V\,V$ von 4 bis w auf der z-Linie abgetragen, die Breite $4\,b$ auf der wagrechten Linie $4\,4$ abgefchnitten und vermittels des Reductionsftrahles $4\,w$ die reducirte Höhe $b\,b_1 = 4\,5$ beftimmt.

Für die eigentliche Gewölbfläche kommen im Ganzen fechs Theilftreifen in Frage. Die Summe aller zugehörigen reducirten Höhen ift gleich der Strecke $o\,6$ im Plane C. Die Strecke $o\,6$ mifft 1,4 m; mithin wird $1{,}4 \,.\, 3 = 4{,}2$ qm als gefammter Flächeninhalt der Gewölbfläche mit Belaftung gefunden.

Bei der vorläufigen Berechnung von G, welche Gröfse an die Stelle des gefammten Flächeninhaltes zu treten hatte, wurde hierfür ohne Rückficht auf die Seitenböfchung der Schüttung 4,88 qm ermittelt.

Nach dem Feftlegen der Gewichte der einzelnen Theilftreifen, welche in den zugehörigen Schwerpunkten derfelben angreifen, ift weiter eine Mittellinie des Druckes für das Gewölbe conftruirt, welche vorweg dem möglichft kleinften Gewölbfchub entfpricht. Hierbei ift das folgende Verfahren beobachtet.

Bei der an und für fich geringen Breite der Lamellen kann die trapezartige Fläche derfelben ohne wefentlichen Fehler als Rechteck angefehen werden, fo dafs der Schwerpunkt diefer Flächen in der Mittellinie derfelben liegt.

Zeichnet man nun für die in $I\,I$, $II\,I$ u. f. f. wirkenden Gewichte, bezw. für die Linienftrecken, welche diefelben als $o\,1$, $1\,2$ u. f. f. im Plane C darftellen, unterhalb des Planes A ein Hilfs-Seilpolygon mit Benutzung des an fich willkürlich aufserhalb der G-Linie gewählten Poles O, fo erhält man auf dem äufserften Seilftrahle K in $2'$ einen Punkt, durch welchen das refultirende Gewicht aus 1 und 2, in $3'$ einen Punkt, durch welchen das refultirende Gewicht aus 1, 2 und 3 u. f. f., im Punkte $6'$ einen Punkt, durch welchen das refultirende Gewicht aller Einzelgewichte von 1 bis 6 in lothrechter Richtung wirken mufs.

Für den möglichft kleinften Gewölbfchub H, welcher im vorliegenden Falle wagrecht gerichtet ift, weil das Gewölbe in Bezug auf das Scheitelloth fymmetrifch geformt und fymmetrifch belaftet ift, und welcher bei näherer Unterfuchung eine mögliche Mittellinie des Druckes liefert, ift der höchfte Punkt o der gedachten Scheitelfuge als Angriffspunkt genommen, während gleichzeitig als Durchgangspunkt der aus dem Schube H und dem Gefammtgewichte G entftehenden refultirenden Preffung der tiefte Punkt der Widerlagsfuge 6 angenommen ift. Um die Gröfse von H unter diefen Annahmen zu ermitteln, ift durch o die wagrechte, durch 6_1 der Linie K die lothrechte Linie geführt, welche fich auf der erfteren im entfprechenden Punkte $6'$ fchneiden. Zieht man im Plane A, von der Vorderkante 6 der Widerlagsfuge aus, den Strahl $6\,6'$, fo ift hiermit die Lage der Mittelkraft aus H und G beftimmt.

Führt man hierauf im Plane C durch den Punkt 6 der Linie G die Parallele zu jenem Strahle $6\,6'$, fo ergiebt fich im Abfchnitte $H\,o$ auf der durch o geführten Wagrechten $o\,z$ der gefuchte Gewölbfchub H. Nach dem Mafsftabe beftimmt, ift die Strecke $H\,o = 0{,}67$ m, folglich $H\,o$ felbft gleich 0,67-mal Bafiszahl, alfo $H\,o = 0{,}67 \,.\, 3 = 2{,}01$ qm, bezw. 2,01 cbm.

Setzt man nunmehr H nach und nach mit den auf die einzelnen Fugen des Gewölbes gelangenden

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Gewichten zufammen, fo erhält man für die Fuge *1* ein Gewicht *1* = Strecke *o 1* im Plane *C*. Der Punkt *1'* auf der Linie *H o* im Plane *A* entfpricht der Richtungslinie des Gewichtes *o 1*. Zieht man im Plane *C* den Strahl *H 1* und hierzu durch den Punkt *1* im Gewölbplane die Parallele, bis die Fuge *1* getroffen wird, fo ift diefer Punkt ein Punkt der Mittellinie des Druckes.

Bis zur Fuge *2* kommen die Gewichtsftrecken *o 1* + *1 2* in Betracht; das aus beiden refultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten *2' 2'*; mithin geht die refultirende Preffung, welche im Plane *C* durch den Strahl *H 2* ausgedrückt wird, durch den Punkt *2'* der Linie *H o* im Plane *A*. Zieht man alfo durch diefen Punkt *2'* die Parallele zu dem bezeichneten Strahle *H 2*, bis diefelbe die Fuge *2* trifft, fo ift ein zweiter Punkt der Mittellinie des Druckes gefunden. Das hiermit angegebene Verfahren wird in gleicher Weife für alle Fugen beobachtet. Die für *H o* erhaltene Mittellinie des Druckes *o 6* verbleibt der Zeichnung zu Folge ganz in der Gewölbfläche, fo dafs Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden ift.

Da die auf die einzelnen Fugen kommenden Preffungen mit den Senkrechten zu den Fugen, je für fich betrachtet, Winkel einfchliefsen, welche weit kleiner bleiben, als der Reibungswinkel des Materials, welcher im Allgemeinen zu 35 Grad, bezw. in befonderen Fällen bei frifchem Mörtel zu 27 Grad angenommen werden kann, fo ift auch Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden. Die letztere Unterfuchung ift in der Zeichnung nicht befonders mitgetheilt, auch für die Ausführung hier weniger von Bedeutung, weil die Gefahr, dafs ein Gewölbe in Folge des Gleitens der Wölbfteine nicht ftandfähig ift, felten vorhanden ift, aufserdem aber auch leicht durch entfprechende Anordnung des Fugenfchnittes, z. B. fenkrecht zur Mittellinie des Druckes, befeitigt werden könnte.

Das unterfuchte Gewölbe wird alfo als ftabil gelten, vorausgefetzt, dafs für den nun auf graphifchem Wege gefundenen Gewölbfchub $H o = 2{,}01$ die früher durch vorläufige Rechnung für den Gewölbfchub $H = 1{,}97$ erhaltene Gewölbftärke von $0{,}38$ m auch zutreffend ift.

Nach Gleichung 145 würde nunmehr

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 2{,}01)\,2{,}01} = 0{,}378 \text{ m}$$

oder abgerundet $d = 0{,}38$ m werden, alfo mit dem angenommenen Werthe in Uebereinftimmung bleiben. Um den Normaldruck N für die Widerlagsfuge *6* zu erhalten, ift im Plane *C* durch den Punkt *6* nur die Parallele *6 N* zu diefer Widerlagsfuge zu ziehen und das Loth *H N* von *H* auf *6 N* zu fällen. Alsdann ift $N = H N$-mal Bafiszahl.

In der Zeichnung ift $H N = 1{,}56$ m; mithin wird $N = 1{,}56 \cdot 3 = 4{,}68$ qm, bezw. $4{,}68$ cbm. Da früher unter Vernachläffigung der Böfchung der Cokefchüttung N zu $5{,}2$ qm, alfo gröfser gefunden wurde und für diefen Werth die Stärke d_1 fchon unter $0{,}38$ m blieb, fo ift auch nach der neuen Unterfuchung d_1 zu $0{,}38$ m, alfo gleich d beizubehalten.

Da für Backfteingewölbe die Gewölbftärke im Scheitel nach Steinlängen beftimmt wird, fo empfiehlt es fich, nach Gleichung 145, bezw. Gleichung 150 für die verfchiedenen derartigen Stärken d die Grenzwerthe von H und N zu berechnen. In der folgenden Tabelle find die zugehörigen Werthe von H und N für d von $^1/_2$ bis $2^1/_2$ Steinftärke zufammengeftellt.

d	$^1/_2$ Stein = $0{,}12$ m	1 Stein = $0{,}25$ m	$1^1/_2$ Stein = $0{,}38$ m	2 Stein = $0{,}51$ m	$2^1/_2$ Stein = $0{,}64$ m	
H	0,2	0,87	2,03	3,69	5,88	Quadr.-Met.
N	0,6	2,61	6,09	11,07	17,64	

Aus diefer Tabelle ergiebt fich für das unterfuchte Gewölbe, welches einem Gewölbfchube von $2{,}01$ qm ausgefetzt ift, dafs im Falle einer gröfseren Belaftung für das Gewölbe, wie folche durch die Cokefchüttung gegeben war, der für $0{,}38$ m Stärke eintretende Grenzwerth $2{,}03$ für H überfchritten würde und dafs dann die Gewölbftärke im Scheitel fchon zu 2 Steinlängen genommen werden müffte.

Da ein Gewölbe unbedingt ftabil ift, wenn für daffelbe eine Mittellinie des Druckes möglich ift oder eintreten kann, welche die Mittelpunkte aller Fugen trifft, fo ift im Plane *A* noch zur weiteren Prüfung des Gewölbes eine Mittellinie des Druckes gezeichnet, wobei der Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge und der Mittelpunkt *VI* der Widerlagsfuge als Endpunkte diefer neuen Mittellinie des Druckes angenommen find.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auf der wagrechten Linie $H_1 o_1$ ſind alsdann die den Punkten $1' 2'$ u. ſ. f. der Linie Ho, bezw. der Linie K entſprechenden Punkte $1''$, $2''$ u. ſ. f. bis $6''$ feſt gelegt. Der Gewölbſchub $H'o$, welcher für die Mittellinie des Druckes $o_1 VI$ maſsgebend wird, iſt beſtimmt, ſobald im Plane A der Strahl $6'' VI$ und hierzu parallel im Plane C der Strahl $6 H_1$ gezogen wird. Derſelbe beträgt $0{,}95 \cdot 3 = 2{,}85$ qm, iſt alſo um das $\frac{2{,}85}{2{,}01}$-fache oder etwa 1,4-fache gröſser, als der Gewölbſchub Ho.

Die Conſtruction der Mittellinie des Druckes erfolgt in gleicher Weiſe, wie früher, nur daſs jetzt die durch $1''$ geführte Preſſungslinie der Fuge 1 parallel mit $H_1 1$, die durch $2''$ geführte Preſſungslinie der Fuge 2 parallel mit $H_1 2$ läuft u. ſ. f.

Die hiernach gezeichnete Mittellinie des Druckes geht nahezu durch die Fugenmitten, ſo daſs nunmehr die Prüfung der Stabilität des Gewölbes abgeſchloſſen werden kann.

Zur Auffindung der Stärke des Widerlagers iſt vorweg angenommen, daſs die Grundfläche deſſelben in der Ebene EF als feſt gilt und daſs der Endpunkt x einer im Widerlager von einem Gewölbſchube $H_1 o$ abhängigen Mittellinie des Druckes die Widerlagerfuge in einem Abſtande $Ex = \frac{1}{3} EF$ von der äuſserſten durch E gehenden Drehkante trifft. Selbſtredend iſt die Tiefe des Widerlagers wie beim Gewölbe gleich der Längeneinheit. Die Höhe deſſelben iſt durch die mit D zuſammenfallende wagrechte Ebene gegeben.

Bei Ausführung des bis zur Bruchfuge wagrecht vorgemauerten Kämpferſtückes iſt dieſes nebſt dem darüber liegenden ſchmalen Streifen mit zum Widerlager zu rechnen. Ueber 67 im Plane A liegt eine als Dreiecksfläche aufzufaſſende Theilfläche, deren Schwerpunkt S leicht zu beſtimmen, deren Grundlinie gleich r und deren Höhe gleich der Breite des Streifens VI iſt, welche im Plane C als $6 c_1$ eingetragen war. Der Flächeninhalt dieſes Dreieckes iſt alſo $\frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$. Da dieſe Fläche auf die gewählte Baſis zu reduciren iſt, d. h. in ein Rechteck verwandelt werden muſs mit der beſtimmten Baſis oz und einer noch unbekannten Höhe η, ſo muſs $\eta \cdot oz = \frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$ oder

$$\frac{\eta}{\frac{1}{2} r} = \frac{6 c_1}{oz}$$

ſein. Trägt man daher die Länge r als Strecke $6 r$ auf der z-Linie ab, halbirt dieſelbe in s, zieht den Reductionsſtrahl $6 s$, ſo wird auf der durch c_1 geführten Lothrechten die Strecke $c, c_{,,}$ abgeſchnitten und $67 = c, c_{,,}$ ergiebt das Gewicht der Dreiecks-Lamelle VII. Endlich iſt auch noch die Strecke $7 S$ als Gewicht der ſchmalen Lamelle VIII in der genügend angegebenen Weiſe beſtimmt. Seitlich von der durch F geführten Lothrechten beginnt der Widerlagskörper. Zunächſt iſt eine Lamelle IX von beliebiger, aber nicht übertriebener Breite angenommen und das Gewicht im Plane C als Strecke $8 9$ ermittelt. Setzt man nun die Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons für die Gewichte 7, 8 und 9 fort, ſo wird auf der Linie K der Punkt $9'$ erhalten. Durch $9'$ zieht die Lothrechte, welche der Lage des reſultirenden Gewichtes aller Einzelgewichte von o bis 9 der Gewichtslinie G entſpricht. Der Schnittpunkt $9''$ auf der Linie $H_1 o_1$ iſt Angriffspunkt der reſultirenden Preſſung. Zieht man im Plane C den Strahl $H_1 9$, ſo erhält man dieſelbe in dieſem Strahle. Führt man im Plane A die Gerade $9'' 9$ parallel zu $H_1 9$, ſo fällt der Punkt 9 der Richtung jener Preſſung über die Grenzlinie der Lamelle hinaus; folglich würde bei der erſten Lamelle noch kein Gleichgewicht gegen Drehen auf der Ebene EF vorhanden ſein. Fügt man deſshalb noch eine zweite Lamelle X, deren Breite hier gleich der Lamellenbreite von IX genommen iſt, dem Widerlager hinzu und verfährt in der angegebenen Weiſe, ſo trifft die durch $10_{,,}$ parallel zu $H' 10$ reſultirende Preſſung die Fuge EF nahezu an der Grenzlinie der Lamelle X, ſo daſs nunmehr beim Gewölbſchub $H_1 o$ eben Gleichgewicht gegen Drehung eintreten würde.

Fügt man endlich noch eine oder mehrere Theilſtreifen hinzu und ſtellt dem gegebenen Verfahren gemäſs die Schnittpunkte x auf der Fuge EF der zugehörigen reſultirenden Preſſungen feſt, ſo gelangt man ſchlieſslich dahin, die Lage des Punktes x ſo zu erhalten, daſs $Ex = \frac{1}{3} EF$ wird.

In der Zeichnung trat dieſer Fall ein, nachdem noch die dritte Lamelle XI hinzugefügt war, ſo daſs EF die geſuchte Widerlagsſtärke iſt. Dieſelbe beträgt 1,2 m, alſo bei der Spannweite des Gewölbes von 6 m genau $\frac{1}{5}$ dieſer Weite.

Sollte die Aufsenſeite des Widerlagers in der Stärke von durchſchnittlich 0,4 m, entſprechend der

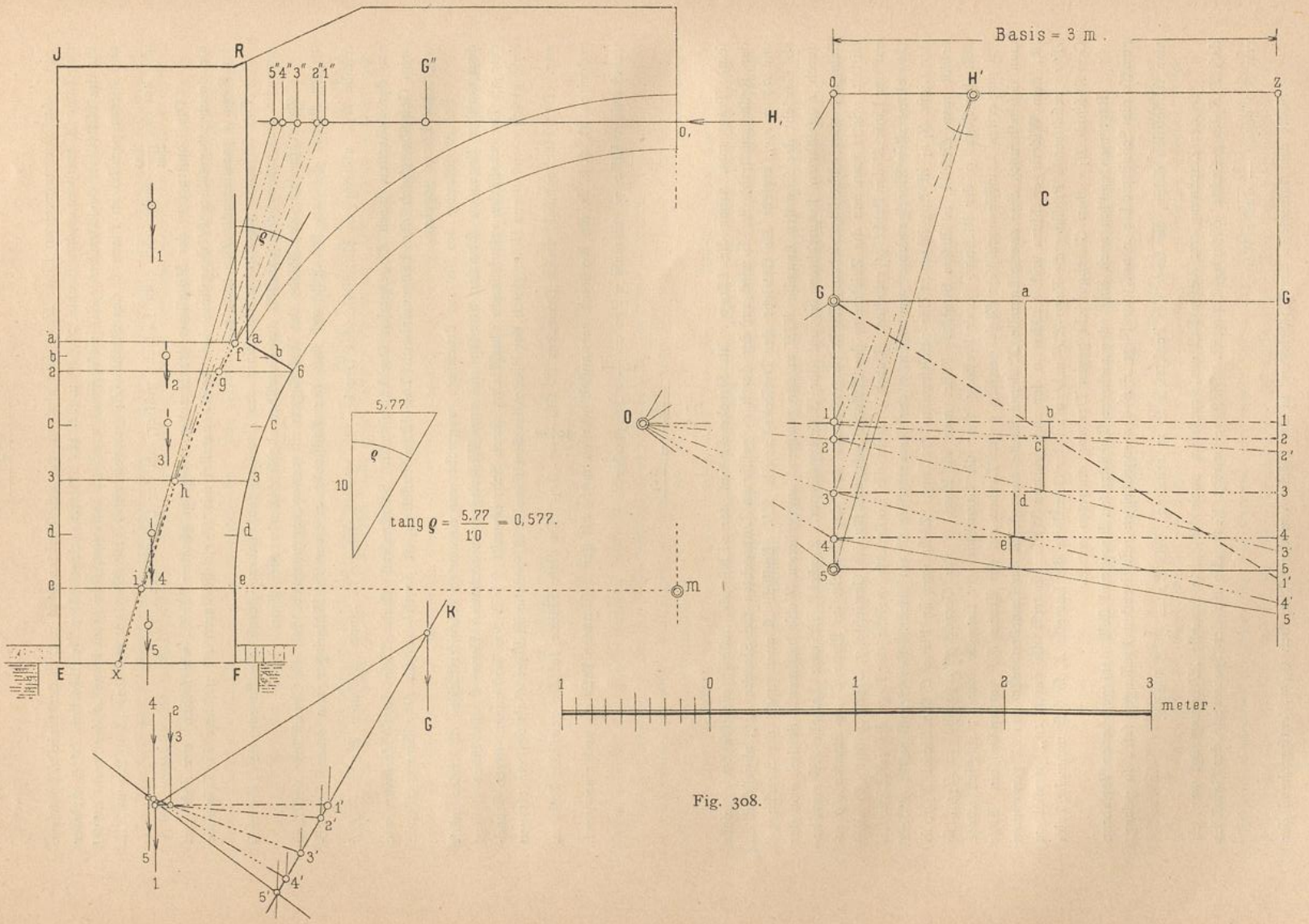


Fig. 308.

Breite des letzten Theilſtreifens, aus Sandſteinquadern vom Eigengewichte $\gamma_{,,} = 2{,}4$ ausgeführt werden, ſo würde, wenn weder die Gröſse des Geſammtgewichtes o bis 11, noch die Lage des Punktes x verändert werden dürfte, die Höhe Eq dieſer Quaderbekleidung mit Hilfe des Planes B ſich einfach beſtimmen laſſen. Hierin iſt $\delta\alpha$ die Höhe des vollſtändig aus Backſteinmauerwerk hergeſtellten Widerlagers. Trägt man auf der wagrechten Linie $\alpha\beta$ die Strecke $\alpha\beta = 2{,}4$ ab, zieht man hierauf $\delta\beta$, ſo ſchneidet dieſer Strahl die lothrechte Linie γ im Punkte q_1; die durch q_1 parallel zu $\alpha\beta$ geführte Linie giebt auf der Lothrechten $\delta u'$ den Schnittpunkt ε, und man erhält alsdann in $\delta\varepsilon$ die geſuchte Höhe Eq der Quaderverkleidung. Das Gewicht dieſes Quaderſtückes iſt gleich dem Gewichte des aus Backſteinmauerwerk beſtehend gedachten Theilſtreifens XI; denn es iſt bei gleicher Grundfläche der beiden Körper

$$\frac{\delta\varepsilon}{\delta\alpha} = \frac{\gamma}{\gamma_{,,}}, \quad \text{alſo} \quad \delta\alpha\,\gamma = \delta\varepsilon\,\gamma_{,,},$$

wie es ſein ſoll. Oberhalb q entſtände ein Sockelabſatz von der Breite der Lamelle XI und danach könnte das Backſteinmauerwerk wieder beginnen.

Das Mauerwerk des Widerlagers wird jedoch in den meiſten Fällen in wagrechten Schichten ausgeführt, und es entſteht dann die Frage, wie ſich bei ſolcher Anordnung die Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper geſtaltet.

In Fig. 308 iſt für das bereits ſeiner Stärke nach ermittelte, aus Backſteinmauerwerk beſtehende Widerlager die Mittellinie des Druckes $fghix$ für wagrechte Schichten eingezeichnet. Auf der wagrechten Fuge aa ruht der Körper $aaR\mathfrak{J}$. Sein Gewicht 1 wirkt in der Schwerlinie 1. Ferner kommt für dieſe Fuge das Gewicht G der Gewölbhälfte mit ſeiner Belaſtung und der Gewölbſchub $H_1 o$ in Betracht, welche ſofort von der Tafel bei S. 198 entnommen ſind, ſo daſs, unter Beibehaltung derſelben Verwandlungsbaſis $oz = 3^{\mathrm{m}}$, nun auch oG der Strecke $o6$, $H_1 o$ der Strecke $H_1 o$ entſprechend wieder benutzt ſind. Die Gewichtsſtrecke $G1$ des bezeichneten Theilſtückes iſt im Plane C in bekannter Weiſe ermittelt. Nach der Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons mit Benutzung des beliebigen Poles O ergiebt ſich auf dem Strahle K der Punkt $1'$, durch welchen die Mittelkraft aus oG und $G1$ zieht. Die Zuſammenſetzung derſelben mit dem durch den Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge gerichteten wagrechten Gewölbſchube $H_1 o$ erfolgt im Punkte $1''$. Der Strahl $1''f$ parallel zu $H_1 1$ des Planes C geführt, giebt in f einen Punkt der Mittellinie des Druckes im Widerlager.

Ueber der Fuge 26 geſellt ſich dem Gewichte von $aaR\mathfrak{J}$ noch das Gewicht des Theilſtreifens $26aa$ mit der mittleren Breite bb hinzu. Der Schwerpunkt deſſelben iſt leicht zu beſtimmen. Im Plane C iſt für die Reduction dieſer Breite gemäſs $1b = bb$ genommen, $12'$ auf der Linie z gleich der Höhe $2a$ des Streifens abgetragen und durch den Reductionsſtrahl $12'$ die Gewichtsſtrecke $bc = 12$ erhalten. Im Seilpolygon iſt die weitere Zuſammenſetzung der Gewichte $oG, G1$ und 12 zu einer durch $2'$ der Linie K gehenden Mittelkraft bewirkt und dieſe in $2''$ mit dem Gewölbſchube $H_1 o$ vereinigt. Die dann ſich ergebende reſultirende Preſſung iſt für die Fuge 26 gleich und parallel $H_1 2$ des Planes C. Zieht man $2''g$ dem entſprechend parallel $H_1 2$, ſo erhält man in g einen Punkt der Mittellinie des Druckes für die Fuge $2b$.

Nach dieſem Verfahren iſt, wie aus der Zeichnung erſichtlich wird, für jede weiter folgende Fuge der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes, welche als Linienzug $fghix$ auftritt, im Widerlager gefunden. Hier ſei noch bemerkt, daſs die Lage des Punktes x auf der Fuge EF der Grundfläche mit derjenigen auf der Tafel bei S. 198 übereinſtimmen, daſs ferner die Strecke $G5$ wieder gleich der Strecke 611 jener Figur gefunden werden muſs, weil an der Geſammtheit des Querſchnittes vom Gewölbe und vom Widerlager keine Aenderung eingetreten iſt.

Die gefundene Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Fläche des Widerlagers. Die reſultirenden Preſſungen für die einzelnen Fugen ſchlieſsen mit den ihnen zugehörigen Senkrechten einen Winkel ein, welcher, wie bei der Fuge aa für die am ſtärkſten geneigte Preſſungslinie $1''f$ gezeigt iſt, kleiner bleibt, als der hier zu 30 Grad angenommene Reibungswinkel ϱ, wofür $\operatorname{tg}\varrho = 0{,}577$ iſt, ſo daſs für das Widerlager ſich Gleichgewicht gegen Drehung und gegen Gleiten ergiebt.

144. Einzellaſten.

In beſonderen Fällen, wenn z. B. die als Gurtbogen auftretenden kürzeren Gewölbe auſser einer ſtetig oder unſtetig vertheilten Belaſtung noch an beſtimmten Stellen gröſsere Einzelgewichte als Belaſtung aufzunehmen haben, iſt ſtets eine ſorgfältige Prüfung der Stabilität dieſer Gewölbe erforderlich und immer die Ermittelung der Mittellinie des Druckes für das Gewölbe nebſt Widerlager angezeigt.

Eine derartige Unterſuchung iſt in Fig. 309 ausgeführt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

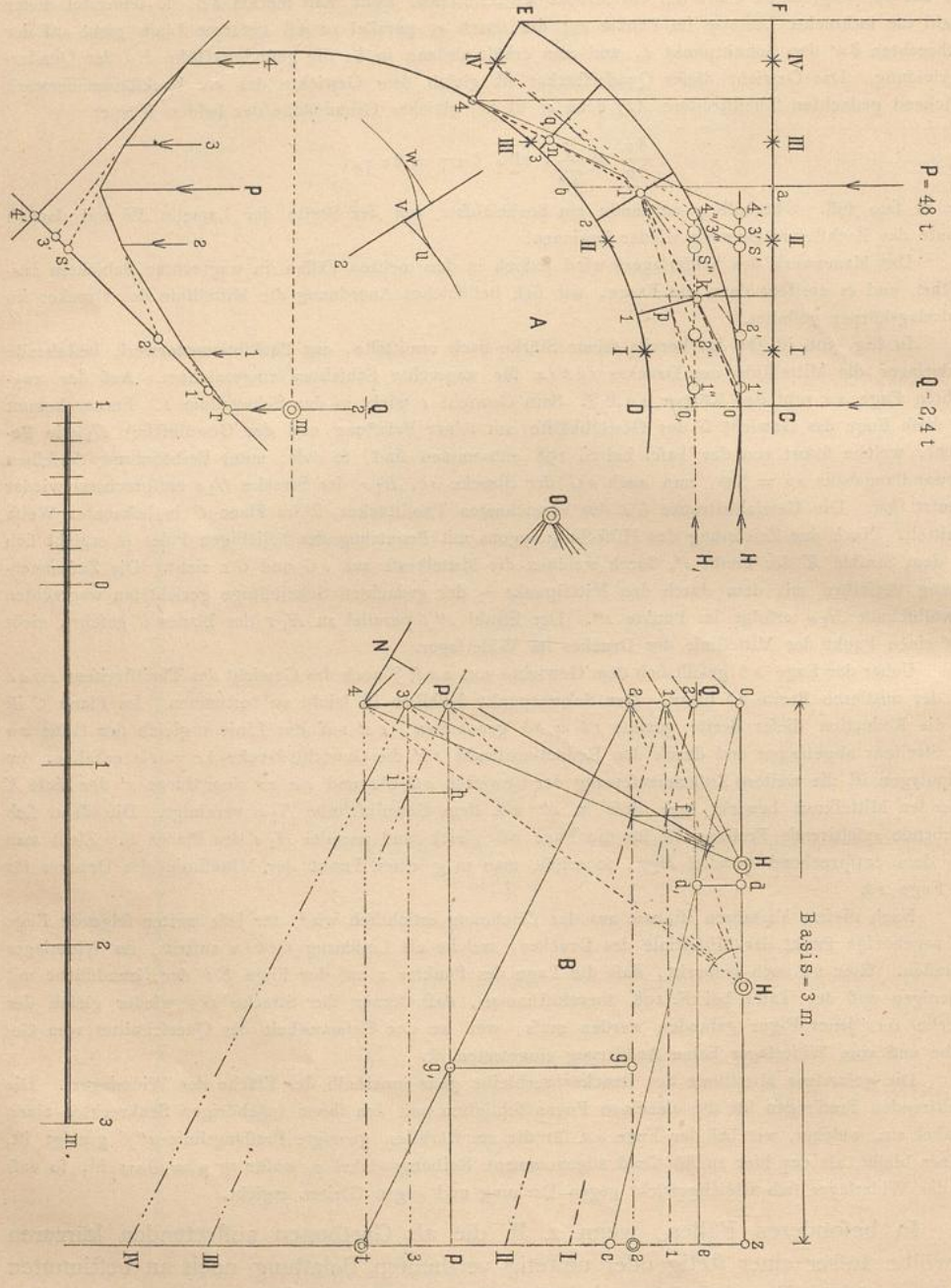


Fig. 309.

Das aus Backftein auszuführende Gewölbe ift 4 m weit gefpannt und trägt aufser der durch CF begrenzten Ueberlaft noch im Scheitel eine Einzellaft von $Q = 2{,}4$ Tonnen, rechts und links von dem Scheitellothe noch je eine Laft $P = 4{,}8$ Tonnen, fo dafs diefes Gewölbe fymmetrifch geformt und fymmetrifch belaftet ift. Die Gewölbftärke fei zu 2 Steinftärken $= 0{,}51$ m angenommen. Die Unterfuchung ift wieder unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit geführt. Da die Einzellaften durch das gleiche Gewicht einer Steinfäule von quadratifcher Grundfläche, deren Seitenlänge beliebig genommen werden könnte, hier aber zu 1 m genommen werden foll und einer Höhe x erfetzt werden müffen, fo erhält man, da 1 cbm Backfteinmauerwerk 1600 kg $= 1{,}6$ t wiegt, für die Laft Q fofort

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 2{,}4, \quad \text{alfo} \quad x = 1{,}5 \text{ m}$$

und für die Laft P danach

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 4{,}8, \quad \text{d. h.} \quad x = 3 \text{ m}.$$

Die Lage von Q und P darf nicht geändert werden, und aus diefem Grunde wird am zweckmäfsigften eine zugehörige Theillinie C, bezw. a durch den Angriffspunkt der Einzellaften gelegt und diefen Theillinien entfprechend auch die zugehörige Gewölbfuge, unter Beibehaltung der Belaftungslinie CF der urfprünglichen, ftetigen oder unftetigen, hier wagrecht abgegrenzten Belaftung, wie früher angegeben, gezogen.

Von der in der gedachten Scheitelfuge Do wirkenden Einzellaft Q kann hier nur die Hälfte, alfo $\frac{1{,}5}{2} = 0{,}75$ m, oder, da die Grundfläche der gedachten Steinfäule 1 m als vordere Seitenlänge befitzen foll, 0,75 qm, bezw. 0,75 cbm in Betracht genommen werden, weil der fymmetrifchen Anordnung halber nur eine Gewölbhälfte zur Unterfuchung zu kommen braucht.

Sind diefe Punkte feft gefetzt, fo erfolgt das weitere Zerlegen der Gewölbe- und Belaftungsfläche $D4EFC$ in beliebig viele, auch beliebig breite Theilftreifen nebft Angabe der ihren Theillinien zukommenden Gewölbfugen, gleichgiltig, ob diefe Fugen mit jenen fpäter bei der Ausführung des Gewölbkörpers zufammenfallen werden oder nicht, und hierauf, ganz wie im Vorhergehenden erörtert, auch die Reduction ihrer Flächen auf eine gewählte Bafis. Hierbei ift nur zu beachten, dafs auch die Gewichte der Einzellaften in richtiger Reihenfolge vor der antretenden Lamelle eingefügt und gleichzeitig auf jene Bafis reducirt werden. So ift das Gewicht $\frac{Q}{2}$ entfprechend 0,75 qm als erfter Beftandtheil in folgender Weife reducirt.

Auf der z-Linie des Planes B ift $zc = 0{,}75$ m, auf der Linie oz dagegen $od = 1$ m abgetragen. Der Reductionsftrahl oc liefert die Gewichtsftrecke dd_1 gleich der Strecke o bis $\frac{Q}{2}$. Hierauf find die Gewichtsftrecken für die Lamellen I und II von $\frac{Q}{2}$ bis 1 und von 1 bis 2 beftimmt, und fodann ift die Reduction der Einzellaft $P = 3$ qm entfprechend bewirkt.

Statt hierbei eine Länge von 3 m und eine Breite von 1 m zu benutzen, ift, um das Auftragen einer grofsen Länge zu vermeiden, welche unter Umftänden nicht mehr auf die Zeichenfläche gebracht werden könnte, eine Länge $2t$ auf der z-Linie gleich $\frac{3}{n}$, hier $= \frac{3}{2} = 1{,}5$ m und auf der Linie 22 eine Breite 2 bis $g = n \cdot 1$ Met., alfo hier, da $n = 2$ gewählt ift, gleich 2 m abgefchnitten. Der Reductionsftrahl $2t$ liefert nun ebenfalls die richtige Gewichtsftrecke $gg_1 = 2P$ für die Einzellaft P. Endlich find noch die Theilftreifen III und IV reducirt, und es ift in o bis 4 im Plane B die gefammte Gewichtsftrecke feft gelegt.

Wie für die Tafel bei S. 198 befchrieben, ift nunmehr die Conftruction einer Mittellinie des Druckes $oklm4$ für den möglichft kleinften, in o angreifend genommenen Gewölbfchub Ho und ferner eine folche o_1pqVI für einen Gewölbfchub H_1o ausgeführt, wobei die Endpunkte diefer Mittellinie des Druckes die Halbirungspunkte der Scheitelfuge Do und der Widerlagsfuge $4E$ bilden. In der Fig. 309 treffen die von $2'$ und S' nach der Fuge 2 laufenden Richtungen der Preffungen, abgefehen davon, dafs auch die von o_1 ausgehende Mittellinie des Druckes durch diefen Punkt zieht, ganz nahe im Punkte l zufammen.

Diefes Zufammentreffen ift jedoch häufig nicht der Fall. Die Mittellinie des Druckes bleibt aber vermöge der Prefsbarkeit des Materials ftetig und würde etwa bei der Fuge 2 den im Plane A unterhalb der Fuge 2 angegebenen Verlauf uvw nehmen. Für die Unterfuchung des Widerlagers diefes Gewölbes möge auf die Tafel bei S. 198 u. Fig. 308 verwiefen werden.

Noch erübrigt die Prüfung der Gewölbftärke. Der Gewölbfchub Ho wird nach der Zeichnung gefunden als $Ho = 0{,}9 \cdot 3 = 2{,}7$ qm, während der Normaldruck für die Widerlagsfuge $4E$

$$HN = 2{,}28 \cdot 3 = 6{,}84 \text{ qm}$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wird. Nach der Tabelle auf S. 202 mufs alfo das Gewölbe durchgängig 2 Stein ftark genommen werden, da bei $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke H nur 2,03 qm, N nur 6,09 qm ift. Da die Mittellinie des Druckes für Ho ganz in der Gewölbfläche verbleibt, auch in den Fugen der Reibungswinkel nicht überfchritten wird, fo ift das entworfene und unterfuchte Gewölbe ftabil.

145. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Damit für die Widerlagsftärke von vornherein ein ungefährer Werth Berückfichtigung finden kann, benutzt man wohl einige empirifche Regeln, und zwar nimmt man bei Tonnengewölben, wobei die Oberkante der Widerlager in einer durch den höchften Punkt des Gewölbrückens gelegten wagrechten Ebene begrenzt ift, die Stärke der Widerlager:

bei einer Halbkreisbogenlinie zu $\frac{1}{5}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien (Ellipfen, Korbbogen) mit bis $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnifs zu $\frac{1}{4}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien mit weniger als $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnifs zu $\frac{2}{7}$ der Spannweite, und

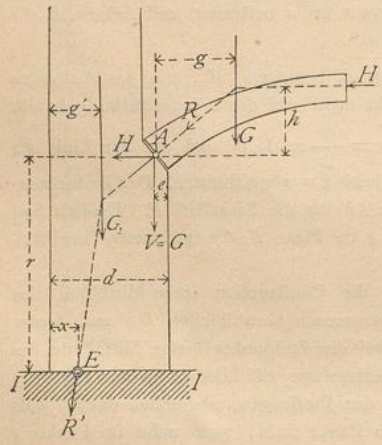
bei überhöhten Bogenlinien zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite.

Ift dabei aber die Höhe der Widerlager von ihrer Aufftandfläche bis zu der erwähnten Ebene gröfser als 2,5 m, fo werden die angegebenen Abmeffungen etwa $1\frac{1}{6}$- bis $1\frac{1}{8}$-mal fo ftark genommen.

Die gegebenen Werthe follen aber nur als Näherungswerthe angefehen werden; fie fchliefsen alfo die bezeichnete Stabilitätsunterfuchung des Widerlagskörpers nicht aus.

Bei der Prüfung der Stabilität des Widerlagers durch Rechnung ift im oben gedachten Halbbande (2. Aufl., Art. 277, S. 262) diefes »Handbuches« das Erforderliche gegeben, und es ift mit Bezug auf die in Fig. 310 eingeführten Bezeichnungen der Abftand x des Angriffspunktes E der Mittelkraft aus dem Gewölbfchube H, dem Gewichte G des Gewölbes nebft feiner Belaftung und dem Gewichte G_1 des Widerlagskörpers von der äufseren Kante am Fufse der Widerlagsmauer berechnet zu

Fig. 310.



$$x = \frac{G_1 g' + G(d - e) - Hr}{G + G_1}.$$

Ift demnach zuvor die Stärke d gewählt, fo läfft fich G_1 als abhängig von d ermitteln und da dann auch bei berechnetem g_1, H und G, fo wie bei den gegebenen Werthen von e und r die Gröfse x zu finden ift, fo kann man prüfen, ob die gewählte Stärke d einen Werth für $x = \frac{1}{3} d$ liefert, oder ob ein neuer Werth von d, welcher nach der erften Rechnung fich jedoch unfchwer angeben läfft, eingeführt werden mufs oder nicht.

146. Einhüftige Gewölbe.

Eine befondere Betrachtung erfordern noch die fog. einhüftigen Gewölbe. Ein einhüftiges Gewölbe ift, in feinem Stirnfchnitte genommen, ein fog. unfymmetrifches Gewölbe, da daffelbe in Bezug auf fein Scheitelpunktsloth zwei von einander verfchiedene, nicht congruente Stücke der ganzen Stirnfläche befitzt. Diefe beiden

Stücke erhalten auch meiſtens von einander verſchieden groſse Belaſtungen, ſo daſs neben den unſymmetriſchen Gewölbebogen noch unſymmetriſche Belaſtung vorhanden iſt. Da vielfach auſser den eigentlichen einhüftigen Gewölben, welche z. B. zur Unterſtützung von Treppenläufen dienen, derartige Gewölbe von geringer Axenlänge als ſog. Strebebogen zur Sicherung des Widerlagers anderer Gewölbe, namentlich der gothiſchen Kreuzgewölbe, benutzt werden, ſo iſt die Stabilitäts-Unterſuchung der einhüftigen Gewölbe, bezw. der Strebebogen von Bedeutung. In einigen Punkten weicht, wie aus dem in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 446[167]) Geſagten zu entnehmen iſt, dieſe Unterſuchung von derjenigen des geraden Tonnengewölbes ab, und es ſoll deſshalb eine graphoſtatiſche Stabilitäts-Unterſuchung eines einhüftigen Gewölbes gegeben werden.

Als Beiſpiel iſt ein einhüftiges, aus Backſteinmaterial herzuſtellendes Gewölbe gewählt, welches zum Tragen eines Treppenarmes dient. Daſſelbe iſt in Fig. 311 dargeſtellt. Die Wölblinie iſt ein um m beſchriebener Kreisbogen $a\,b$; die Gewölbſtärke iſt gleichmäſsig zu $0{,}38^{\,m}$ angenommen. Der Treppenlauf iſt eingetragen, und gleichzeitig iſt unter Berückſichtigung der zufälligen Belaſtung und unter Zurückführen des Stufenmaterials und der erwähnten Belaſtung auf das Eigengewicht des Wölbmaterials die Belaſtungslinie $C\,D$ eingezeichnet.

Streng genommen würde dieſe Linie ſtaffelförmig auftreten, wenn für jede Stufe eine gleichförmig vertheilte Ueberlaſt für die Flächeneinheit gelten ſoll. In Rückſicht auf Stöſse, welche bei der Benutzung der Treppe eintreten können, iſt hier jedoch dieſe Ueberlaſt parallel mit der Steigungslinie der Treppe angenommen und hierdurch noch als etwas ungünſtiger für das Gewölbe in Betracht gezogen.

Die Belaſtungsfläche $a\,b\,C\,D$ iſt in ſieben Theilſtreifen zerlegt, wovon der Streifen I der ſchmalere iſt, während die Streifen II bis VII eine gleich groſse Breite aufweiſen.

Die Tiefe des Gewölbes iſt gleich der Längeneinheit angenommen. Den Theillinien entſprechend ſind die Fugenlinien x, z, y u. ſ. f. in der eigentlichen Gewölbfläche gezogen.

In bekannter Weiſe (vergl. Art. 143, S. 201) iſt zur Ermittelung der Flächen, bezw. der Gewichte der Theile eine Reduction der Flächen derſelben auf eine Baſis gleich $2^{\,m}$ ausgeführt, ſo daſs im Gewichtsplane die Strecken $o\,1$, $1\,2$ u. ſ. f. die Gröſsen der zugehörigen Flächen ergeben, ſobald die ihnen zukommende Maſszahl mit der Maſszahl 2 der Baſis multiplicirt wird. Die Strecke $o\,7$ miſſt $2{,}8^{\,m}$; folglich beſitzt die Belaſtungsfläche $2{,}8 \,.\, 2 = 5{,}6^{\,qm}$, und das in Frage kommende Geſammtgewicht des Gewölbekörpers, einſchl. der Belaſtung beträgt, bei der Gewölbetiefe von $1^{\,m}$ und dem Gewicht von $1600^{\,kg}$, für $1^{\,cbm}$ Backſteinmaterial $5{,}6 \,.\, 1 \,.\, 1600 = 8960^{\,kg}$. Dieſer Werth entſpricht der Mittelkraft R.

Die Einzelgewichte wirken, wie früher ſchon erörtert, in den Mittellinien ihrer Theilſtreifen, welche durch kleine Sterne in der Zeichnung angedeutet ſind.

Für die Gewichte iſt unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon G gezeichnet. Die lothrecht gerichtete Mittelkraft R geht durch den Schnittpunkt d der äuſserſten Seilſtrahlen $c\,d$ und $e\,d$.

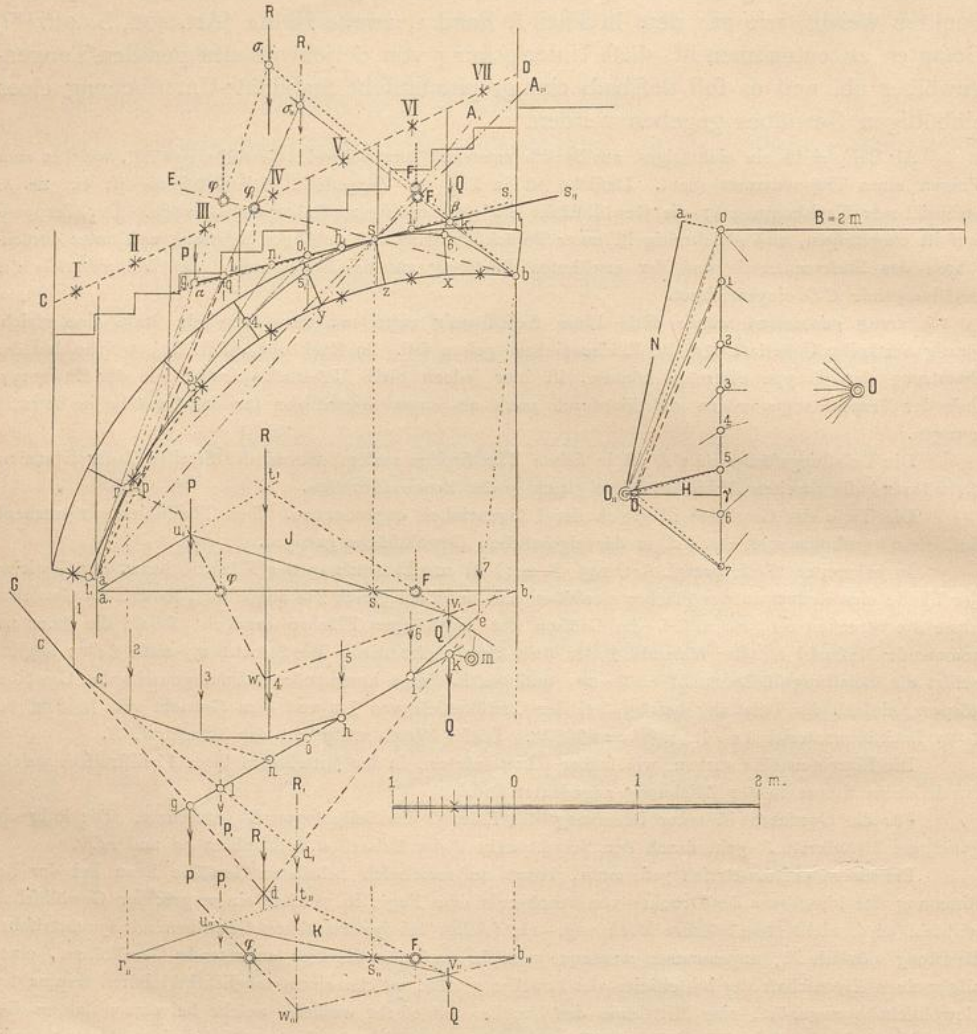
Bei einem unſymmetriſch geformten, bezw. unſymmetriſch belaſteten Gewölbe kann bei der Beſtimmung der Mittellinie des Druckes von vornherein eine Fuge, in welcher ein wagrechter Gewölbſchub wirkſam wird, nicht ohne weitere Rechnung, wie ſolches bei ſymmetriſchen Gewölben mit ſymmetriſcher Belaſtung möglich iſt, angenommen werden; vielmehr muſs für die hier auftretende Gewölbform, einer allgemeinen Eigenſchaft der Mittellinien des Druckes gemäſs, welche einem möglichſt kleinſten wagrechten Gewölbſchube angehört, eine Mittellinie des Druckes aufgeſucht werden, welche bei einem ſtabilen Gewölbe innerhalb der Gewölbfläche verbleibt und zwei Punkte mit der inneren Wölblinie und einen Punkt mit der Rückenlinie gemeinſchaftlich hat. Dieſe drei Punkte ſind vorweg noch unbekannt. Wählt man jedoch einſtweilen beliebig, z. B. die Punkte a und b auf der inneren Wölblinie, den dazwiſchen liegenden Punkt s auf der Rückenlinie, ſo läſst ſich eine Mittellinie des Druckes als Probelinie ermitteln, welche dieſe drei Punkte enthält, im Allgemeinen aber noch nicht innerhalb der Gewölbfläche verbleibt. Aus ihrem Verlaufe erkennt man aber dort, wo dieſelbe ſich am weiteſten von den Gewölblinien entfernt, diejenigen Punkte, durch welche eine neu gezeichnete Mittellinie des Druckes gehen müſste, wenn dieſelbe in der Gewölbfläche liegen ſoll. In den meiſten Fällen ſind nur wenige derartige Unterſuchungen erforderlich, die auſserdem unter Anwendung der Verfahren der graphiſchen Statik ziemlich einfach ſind.

[167]) 2. Aufl.: Art. 267, S. 253.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Um eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, welche durch die gewählten 3 Punkte a, s, b geht, die zugleich den im Gewölbefchnitte für die Theillinien eingezeichneten Fugenlinien angehören, hat man zu beachten, dafs von der Fuge sz, bezw. von der ihr zukommenden Theillinie aus für den Gewölbkörper von s bis a die Gewichtsfumme gleich der Strecke 05, von s bis b die Gewichtsfumme gleich der Strecke 57 des Gewichtsplanes in Frage kommt. Die Lage diefer refultirenden Gewichte ift im Seilpolygon G zu ermitteln, indem für die durch die Fuge sz von einander gefchiedenen Gewichte

Fig. 311.



durch Erweitern des gemeinfchaftlichen Seilftrahles hi die Schnittpunkte g und k mit den äufserften Seilftrahlen c und e beftimmt werden. Durch g zieht die lothrechte Refultirende $P = 05$, während durch k die Lothrechte $Q = 57$ geht.

Da aufserdem die Lage der Mittelkraft R von P und Q bekannt ift, fo läfft fich für die Gewichte P und Q ein Seilpolygon b, β, s, α, a mit den äufserften Strahlen $b\sigma_1$ und $a\sigma_1$ im Gewölbeplane feft legen, welches durch die 3 Punkte a, s, b geht, und worin die in $\beta\alpha$, bezw. $\alpha\beta$ wirkenden Seilfpannungen als in s thätige Gewölbfchübe auftreten. Zur Ermittelung diefes Seilpolygons ift ein bekannter Satz der graphifchen Statik benutzt, welcher fagt:

Wenn fich die drei Ecken α, σ_1, β, welche einem Seilpolygon $a\alpha\beta b$ mit den fortgeführten beiden äufserften Strahlen $\alpha\sigma_1$ und $\beta\sigma_1$ angehören, auf drei gegebenen Strahlen P, R, Q bewegen, wenn ferner

zwei Seiten des Seilpolygons, z. B. $a\sigma_1$ und $\alpha\beta$, ſich um zwei feſte Punkte a, bezw. s drehen, ſo dreht ſich auch die dritte Seite $\beta\sigma_1$ ſtets um einen und denſelben feſten Punkt F, den ſog. Fixpunkt, welcher immer auf der durch die beiden feſten Punkte a und s geführten geraden Linie, der ſog. Polaraxe liegt. Zur Beſtimmung jenes Fixpunktes F und auch des zur weiteren genauen Durchführung der Zeichnung zu benutzenden zweiten Fixpunktes φ einer zweiten Polaraxe E_1, braucht man nur, um die zeichneriſchen Darſtellungen dafür im Gewölbeplane ganz zu vermeiden, bei der lothrechten Richtung von P, R und Q aus leicht erſichtlichen Gründen die Projectionen der Fixpunkte F und φ zu ermitteln und dieſe auf die Polaraxe A_1 (Gerade durch a und s) für F, bezw. auf die Polaraxe E_1 (Gerade durch b und s) für φ unmittelbar zu übertragen. Solches iſt im Hilfsplane $\mathcal{J}$ geſchehen. Auf der beliebig, hier wagrecht gezogenen Geraden $a_1 b_1$ ſind gemäſs der lothrechten Richtung von P, R und Q durch lothrechtes Projiciren die den Punkten a, s, b entſprechenden Punkte a_1, s_1, b_1 feſt gelegt. Die Gerade $a_1 b_1$ iſt die Projection der Polaraxe A_1, und eben ſo iſt $b_1 a_1$ die Projection der Polaraxe E_1.

Zieht man durch a_1 einen ſonſt beliebigen, die Geraden P und R in u_1, bezw. t_1 ſchneidenden Strahl, legt hierauf, durch u_1 und s_1 beſtimmt, eine Gerade feſt, welche die Linie Q in v_1 ſchneidet, und fügt man zuletzt den Strahl $v_1 t_1$ ein, ſo iſt der Schnittpunkt F derſelben mit $a_1 b_1$ die Projection von dem auf der Polaraxe A_1 liegenden Fixpunkte. Um den Fixpunkt φ zu erhalten, iſt von b_1 ausgehend dasſelbe Verfahren zu beobachten; man kann aber unter Benutzung der ſchon im Plane $\mathcal{J}$ vorhandenen Strahlen die Gerade $b_1 v_1$ bis w_1 auf R ziehen, die Gerade $v_1 u_1$ unberührt laſſen und w_1 mit u_1 verbinden, um im Schnittpunkte φ dieſes Strahles mit der Geraden $b_1 a_1$ die Projection des Fixpunktes der Polaraxe E zu ermitteln.

Ueberträgt man im Gewölbeplane den Punkt F nach F auf A_1 und den Punkt φ nach φ auf E_1, ſo ſind $a\varphi$ und bF die Richtungen der äuſserſten Strahlen des durch as und b gehenden Seilpolygons. Sie treffen die Richtungen von P und Q in den Punkten α, bezw. β, und die durch die Punkte α und β ziehende Gerade s_1, welche nothwendig auch durch s gehen muſs, iſt die dritte Seilſeite des nunmehr beſtimmten Seilpolygons für die Punkte a, s und b. Als Probe für die Richtigkeit dient noch der Umſtand, daſs die Strahlen $a\alpha$, bezw. $b\beta$, gehörig erweitert, ſich in einem gemeinſchaftlichen Punkte σ_1 auf der Linie der Mittelkraft R ſchneiden müſſen.

In der Linie s_1 wirkt der Gewölbſchub für den Gewölbetheil za in der Richtung $s\alpha$, für den Gewölbetheil zb in der Richtung $s\beta$. Die Gröſse deſſelben erhält man im Gewichtsplane ſofort, wenn man durch den Punkt o eine Parallele oO_1 zu $a\varphi$ und durch den Punkt 7 eine Parallele $7O_1$ zu bF zieht; beide treffen ſich im Punkte O_1, und die Länge des Strahles $O_1 5$ liefert, da 5 der Endpunkt der Gewichtsſtrecke P und der Anfangspunkt der Gewichtsſtrecke Q iſt, die geſuchte Gröſse des Gewölbſchubes. Zur Prüfung der Zeichnung dient, daſs $O_1 5$ parallel mit der Geraden $\alpha\beta$ ſein muſs.

Um nun für dieſen Gewölbeſchub eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, verfährt man in folgender Weiſe. Das Gewicht 5, welches von s aus bis zur Fuge y in Frage kommt, greift auf der Linie s_1 in h_1 an; zieht man im Gewichtsplane die Linie $O_1 4$ und hierzu eine Parallele durch h_1, bis die Fuge y getroffen wird, ſo ergiebt ſich hier ein Punkt jener Drucklinie. So wirken bis zur Fuge r die Gewichte 2, 3, 4 und 5. Die Lage des reſultirenden Gewichtes P_1 gleich der Strecke $1 5$ ergiebt ſich durch den Schnittpunkt l der Seilſtrahlen c_1 und hi des Seilpolygones G; bringt man den Angriffspunkt von P_1 entſprechend l nach q auf s_1, zieht man $O_1 1$ und hierzu eine Parallele qp, ſo iſt p ein Punkt der geſuchten Probelinie. Führt man die Zeichnung derſelben nach dieſen Angaben für das ganze Gewölbe durch, was in Fig. 311 nicht weiter kenntlich gemacht iſt, ſo findet man, daſs dieſe Probelinie in der Gewölbfläche szb verbleibt, die Gewölbfläche sza jedoch in dem Stücke fpa verläſſt, daſs mithin dieſe Drucklinie noch nicht für die Stabilitäts-Unterſuchung des Gewölbes maſsgebend wird. Der am weiteſten von der Wölblinie entfernte Punkt p dieſer Probelinie giebt ein Erkennungszeichen für die Lage einer gefährlichen Stelle (Bruchfuge) im Gewölbe an. Der dem Punkte p zugehörige Punkt dieſer Bruchfuge iſt in r bekannt geworden. Die Punkte s und b bleiben unverändert, weil von s bis b die Probelinie in der Fläche bleibt.

Ermittelt man nunmehr ein Seilpolygon, welches durch die Punkte r, s und b für die Gewichte von s bis r und von s bis b geht, ſo weiſs man zunächſt, daſs das reſultirende Gewicht P_1 des Stückes von s bis zur Fuge r gleich $1 5$ iſt und lothrecht durch l zieht, daſs ferner das reſultirende Gewicht des Stückes von s bis zur Fuge b wiederum gleich $Q = 5 7$ iſt und lothrecht durch k zieht und daſs endlich für das bezeichnete Seilpolygon die durch r und s geführte Gerade $A_{,,}$ eine Polaraxe wird, während die zweite Polaraxe im vorliegenden Falle als der durch b und s gelegte Strahl E_1 verbleibt.

Ermittelt man im Hilfsplane K in der früher angegebenen und aus der Zeichnung näher erſichtlichen Weiſe die Projectionen der Fixpunkte F_1 und φ_1 und überträgt man dieſelben nach F_1 auf die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Polaraxe $A_{,,}$, bezw. nach φ_1 für die Polaraxe E_1, fo find $r\varphi_1$ und bF_1 die äufserften Strahlen des zu berückfichtigenden Seilpolygons. Man kann fchon hiernach bei genauer Zeichnung, unbekümmert um näheres Feftlegen des Seilpolygons, ohne Weiteres die eindeutige Beftimmung des jetzt fich geltend machenden Gewölbfchubes vornehmen.

Zieht man, da $P_1 = 15$ und $Q = 57$ ift, durch 1 im Gewichtsplane eine Linie $1O_{,,}$ parallel zu $r\varphi_1$ und ferner hier durch 7 einen Strahl $7O_{,,}$ parallel zu bF_1, fo ergiebt fich der gemeinfchaftliche Schnittpunkt $O_{,,}$ diefer Linien. Zieht man $O_{,,}5$, fo ergiebt diefer Strahl die Gröfse des neuen Gewölbfchubes und zugleich die Neigung deffelben zur Lothrechten an. Führt man durch s im Gewölbeplane eine Gerade $s_{,,}$ parallel zu $O_{,,}5$, fo ift hiermit die Lage des Gewölbfchubes gegeben. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung dient, dafs der Punkt I_1, als Schnittpunkt der Lothrechten P_1 mit dem Strahle $r\varphi_1$, der Punkt k_1, als Schnittpunkt der Richtung Q mit der Linie bF_1, und der Punkt s Elemente von einer und derfelben Geraden $s_{,,}$ fein müffen; dafs ferner auch die Strahlen $r\varphi_1$ und bF_1, gehörig erweitert, fich auf der Richtungslinie der durch d_1 des Seilpolygons G gehenden Refultirenden R_1 von P_1 und Q in einem gemeinfchaftlichen Punkte $\sigma_{,,}$ fchneiden.

In der Geraden $s_{,,}$ wirkt in der Richtung sg_1 der Gewölbfchub $5O_{,,}$, in der Richtung sk_1 der Gewölbfchub $O_{,,}5$. Setzt man den Gewölbfchub für die beiden Theile links und rechts von der Fuge sz unter Benutzung der aus dem Seilpolygon auf $s_{,,}$ übertragenen Angriffspunkte h entfprechend h_1, o für o_1 u. f. f. mit den bis auf die einzelnen Fugen kommenden refultirenden Gewichten zufammen, fo erhält man, wenn z. B. $h_1 5_1$ parallel $O_{,,}4$, $o_1 4_1$ parallel $O_{,,}3$ u. f. f. des Gewichtsplanes gezogen wird, in 5_1, 4_1 u. f. f. Punkte der Mittellinie des Druckes in der Fläche sza und eben fo, wenn i_1 durch i, k_1 durch k auf $s_{,,}$ übertragen ift, durch Ziehen der Strahlen $i_1 6_1$ parallel $O_{,,}6$, $k_1 b$ parallel $O_{,,}7$ in 6_1, b Punkte der Drucklinie in der Fläche szb.

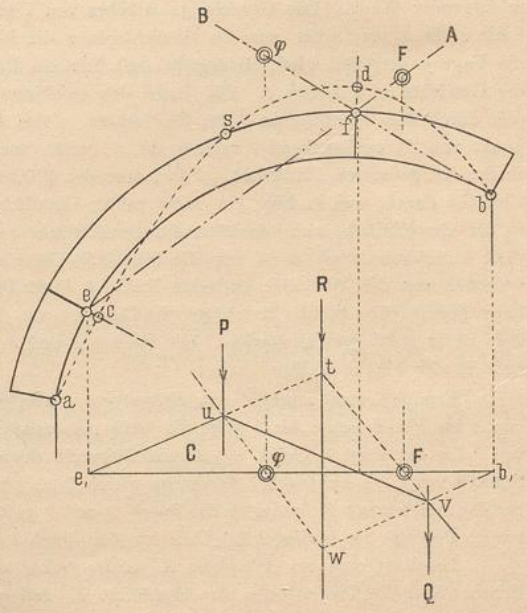
Die gezeichnete Mittellinie des Druckes $1_1 r 3_1 4_1 5_1 s 6_1 b$ bleibt vollftändig in der Gewölbfläche, hat mit der inneren Wölblinie nur die beiden Punkte r und b und mit der Rückenlinie nur den einen Punkt s gemein, ift alfo eine Drucklinie mit dem möglichft kleinften Horizontalfchube. Derfelbe ift gleich der wagrechten Seitenkraft von $o_{,,}5$, d. h. gleich $H = O_{,,}\gamma$ im Gewichtsplane.

Der Werth von $H\gamma$ beftimmt fich durch Meffung zu $0{,}8^{\,m}$. Da die Bafiszahl $B = 2^{\,m}$ ift, fo wird $H = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6^{\,qm}$, bezw. auch $= 1{,}6^{\,cbm}$. Diefer Werth liegt nach der Tabelle auf S. 202 zwifchen der Gewölbftärke $d = 1$ Stein und $d = 1\,1/2$ Stein, fo dafs für die Ausführung des unterfuchten Gewölbes die Stärke von $1\,1/2$ Stein zu nehmen ift. Der gröfste Fugendruck entfteht für die Kämpferfuge a als Strecke $oO_{,,}$. Zieht man $oa_{,,}$ parallel der Fuge a und beftimmt man in N die normale Seitenkraft des Fugendruckes, fo mifft $O_{,,}a_{,,}$ nach dem Zeichenmafsftabe $2{,}28^{\,m}$; mithin ift der gröfste Normaldruck durch die Zahl $2{,}28 \cdot 2 = 4{,}56$ Quadr.- bezw. Cub.-Met. beftimmt. Nach derfelben Tabelle würde d auch hierfür die Stärke von $1\,1/2$ Stein zuzuweifen fein, fo dafs die Gewölbftärke überall gleich grofs bleiben kann.

In vielen Fällen zeigt fich bei der Stabilitäts-Unterfuchung einhüftiger Gewölbe, dafs fich für die drei zuerft gewählten Punkte a, s, b eine Probelinie herausftellt, welche, wie in Fig. 312 angegeben, die Gewölbfläche mehrfach, häufig einmal unterhalb, ein zweites Mal oberhalb diefer Fläche verläfft. Dann werden durch die am weiteften abftehenden Punkte c und d diefer Linie von der inneren, bezw. äufseren Wölblinie Bruchfugen gekennzeichnet, deren Grenzpunkte e, bezw. f in Gemeinfchaft mit einem unveränderten Punkte b nunmehr an die Stelle der zuerft angenommenen drei Punkte zu treten haben. Die Polaraxen werden die durch e und f, fo wie durch b und f geführten Strahlen A, bezw. B.

Die diefen Polaraxen angehörigen Fixpunkte F und φ werden in der Hilfsfigur C nach dem mitgetheilten Verfahren unter Anwendung der Gewichte P für den Theil fe, und Q für den Theil fb

Fig. 312.



nebſt ihrer Mittelkraft R aufgeſucht, und dann wird die neue, durch b, f und e gehende Drucklinie in der vorhin beſchriebenen Weiſe gezeichnet. Bei einem überhaupt ſtabilen Gewölbe wird man bald zum Abſchluſs derartiger Unterſuchungen gelangen.

Iſt die Wölblinie eines einhüftigen Gewölbes kein Kreisbogen, ſondern irgend eine der in Art. 135 (S. 175) angegebenen Curven, ſo erfährt die Stabilitäts-Unterſuchung in ihren Grundlagen keine Aenderung.

Noch möge bemerkt werden, daſs auch bei geraden Tonnengewölben mit unſymmetriſcher Belaſtung das Verfahren der Ermittelung der Mittellinie des Druckes genau der eben behandelten Unterſuchungsart eines einhüftigen Gewölbes entſpricht. Selbſt wenn einhüftige Gewölbe auſser lothrecht wirkenden Gewichten noch durch zur Wagrechten geneigt gerichtete Kräfte, wie bei Strebebogen der Kreuzgewölbe, die auf ihrer Rückenfläche z. B. noch vom Winddruck getroffen, alſo dadurch mit beanſprucht werden können und wovon ſpäter noch das Nöthige geſagt werden wird, bleibt das Weſen des Verfahrens daſſelbe.

147. Tonnengewölbe von verſchiedenen Spannweiten.

Schlieſslich iſt noch eines für die Praxis wichtigen Falles zu gedenken, bei welchem Tonnengewölbe von verſchiedener Spannweite und von verſchiedener Belaſtung ſich gegen ein gemeinſchaftliches Widerlager ſetzen und dieſes durch ihre reſultirenden Kämpferdrücke beanſpruchen, welche nach Lage, Gröſse und Richtung von einander verſchieden ſind. Es handelt ſich deſshalb hier noch um die ſtatiſche Unterſuchung derartiger Gewölbanlagen, beſonders des Widerlagers, wofür Fig. 313 in Benutzung genommen werden ſoll.

Die beiden ungleich weiten, auch ungleich belaſteten geraden Tonnengewölbe G und G_1, deren Belaſtung, bei jedem Gewölbe für ſich betrachtet, eine zu ihrem Scheitellothe L, bezw. L_1 gleichmäſsig auftreten möge, ſtützen ſich gegen ein und daſſelbe Widerlager VI.

Da jedes Gewölbe für ſich ein ſymmetriſches Gewölbe mit ſymmetriſcher Belaſtung in Bezug auf das Scheitelloth bildet, ſo wirkt in einer gedachten Scheitelfuge jedes Gewölbkörpers G, bezw. G_1 ein wagrecht gerichteter Gewölbeſchub. Aus dieſem Grunde wurde nur je eine Hälfte der Gewölbe, wofür die Tiefe gleich der Längeneinheit iſt, dargeſtellt.

In bekannter Weiſe iſt, nachdem die Flächen der ſämmtlichen Theilſtreifen auf eine Baſis $o B = 1{,}5$ m reducirt wurden, für das gröſsere und ſtärker belaſtete Gewölbe G eine Mittellinie des Druckes für den möglichſt kleinſten Gewölbeſchub H ermittelt, welche dem gemäſs durch den höchſten Punkt der Scheitelfuge und den tiefſten Punkt h einer unter 60 Grad geneigten Bruchfuge geht. Dieſe Bruchfuge iſt hier zugleich Kämpferfuge. Wäre dies nicht der Fall, ſo müſſte die Bruchfuge zuvor, wie bei Fig. 312 angegeben iſt, beſtimmt werden. Daſſelbe gilt auch für das kleine Gewölbe G_1.

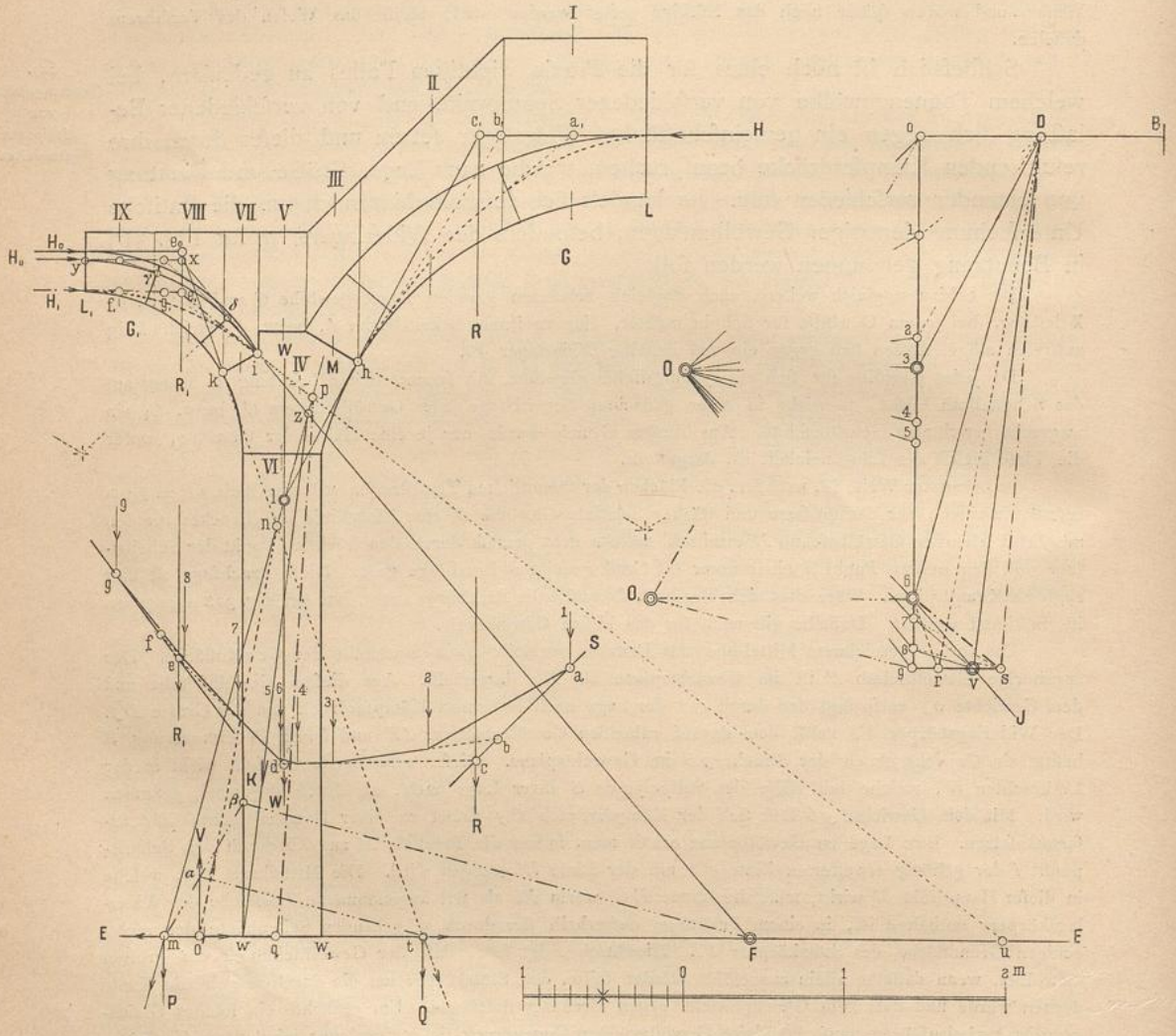
Die für G gezeichnete Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der zugehörige Gewölbſchub H iſt im Gewichtsplane als $D o$ dargeſtellt. Aus dieſem Gewölbſchube und dem Gewichte $o 3$ entſpringt der durch $c_1 h$ der Lage nach beſtimmte Kämpferdruck von der Gröſse $D 3$. Der Widerlagskörper VI nebſt dem darauf ruhenden Gewölbanfänger IV und ſeiner Uebermauerung V beſitzt ein Gewicht gleich der Strecke $3 6$ im Gewichtsplane. Dieſes reſultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten W, welche mit Hilfe des Seilpolygons S ihrer Lage nach, als durch d gehend, gefunden wird. Mit dem Gewichte $3 6$ läſst ſich der Kämpferdruck $D 3$ ſofort zu einer Hauptmittelkraft $D 6$ zuſammenſetzen. Ihre Lage im Gewölbplane erhält man, indem die Parallele M zu $D 6$ durch den Schnittpunkt l der gehörig erweiterten Linie $c_1 h$ mit der Linie W gezogen wird. Die Mittelkraft $D 6$, welche in dieſer Hauptlinie M wirkt, trifft die Ebene $E E$, worin die als feſt angenommene Fuſsfläche des Widerlagskörpers enthalten iſt, in einem Punkte m auſserhalb der durch w gehenden Seitenkante der rechteckigen Grundfläche des Stützkörpers VI. Hierdurch zeigt ſich, daſs der Gewölbſchub H des groſsen Gewölbes, wenn daſſelbe allein ausgeführt werden ſollte, den Stützkörper um die durch w gehende Kante drehen würde und daſs kein Gleichgewicht gegen Drehung ſtattfände. Um zunächſt ein ſolches Gleichgewicht herbeizuführen, muſs das kleine Gewölbe einen Gegendruck liefern, welcher mindeſtens die Gröſse und Lage annehmen muſs, daſs die Mittelkraft $D 6$, im Strahle M angreifend, mit dieſem noch völlig unbekannten Gegendruck des Gewölbes G_1 zuſammengeſetzt, eine neue Mittelkraft giebt, welche ſo weit zurückgedrängt wird, daſs dieſelbe wenigſtens durch den Punkt w der Drehkante des Widerlagers geht, um damit einen Grenzzuſtand des Gleichgewichtes gegen Drehen in der Vorausſetzung herbeizuführen, daſs die von $D 6$ und jenem unbekannten Gegendrucke im Widerlagskörper abhängige Mittellinie des Druckes ganz in der lothrechten Schnittfläche dieſes Körpers bleibt. Von einer Gefahr hinſichtlich des Gleitens in den wagrechten Lagerfugenflächen dieſes Körpers möge keine Rede ſein.

Um für den erwähnten Gegendruck des kleinen Gewölbes zunächſt Grenzwerthe zu ermitteln, iſt

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zu beachten, dafs, wenn diefes Gewölbe für fich allein beftände, der Kämpferdruck deffelben einem möglichft kleinen Gewölbfchube H_0 angehört. Derfelbe Schub H_0 erzeugt alsdann eine fog. Minimal-Drucklinie, welche durch den höchften Punkt der Rückenlinie im Scheitellothe L_1 und den tiefften Punkt k der Kämpfer-, hier zugleich Bruchfuge zu führen ift. Diefer hier auch wagrechte Horizontalfchub ift nach bekannter Methode als $H_0 = 9r$ im Gewichtsplane gefunden. Die Gröfse des Kämpferdruckes ergiebt fich als $6r$. Derfelbe wirkt in der durch $e_0 k$ gezogenen Geraden. Setzt man diefen Kämpferdruck mit der bekannten, in der Hauptlinie M wirkenden Mittelkraft $D6$ zufammen, fo entfteht die Mittelkraft Dr.

Fig. 313.



Sie geht im Gewölbplane durch den in M enthaltenen Schnittpunkt n mit dem fortgeführten Strahle $e_0 k$ des Kämpferdruckes $6r$. Zeichnet man no parallel Dr, fo ift die Lage diefer Schlufsmittelkraft gefunden. Auch diefe trifft die Ebene EE der Fufsfläche des Widerlagers in einem Punkte o, welcher noch aufserhalb der Drehkante w derfelben liegt.

Hieraus folgt, dafs der Widerlagskörper unter dem hier eingeführten möglichft kleinften Gegendrucke des Gewölbes G_1 nicht fähig ift, dem Schube des gröfseren Gewölbes G genügenden Widerftand zu leiften, und dafs der Schub des gröfseren Gewölbes zur Herftellung des Gleichgewichts des ganzen

Syſtems gegen Drehung einen gröſseren Gegendruck des kleineren Gewölbes, als ſolcher in Folge des möglichſt kleinſten Gewölbſchubes H_0 ſich darbot, wachrufen wird, daſs alſo ſtatt $H_0 = 6r$ ein gröſserer Gewölbſchub für G_1 eintreten muſs. Da für dieſen neuen Gewölbſchub nur die allgemeine wagrechte Richtung bekannt iſt, während ſein Angriffspunkt und ſeine Gröſse noch vollſtändig unbekannt ſind; ſo kann man, da ein Wachſen dieſes Schubes ſich unbedingt als erforderlich herausgeſtellt hat, da ferner der wagrechte Gewölbſchub für G_1 aber überhaupt vermöge der ſymmetriſchen Form und Belaſtung des Gewölbes nothwendig ſeinen Angriffspunkt innerhalb der Scheitelfuge deſſelben haben muſs, ſofort zu einer weiteren Grenzbeſtimmung für denſelben übergehen.

Nimmt man zu dieſem Zwecke eine Mittellinie des Druckes an, welche einem möglichſt gröſsten Gewölbſchube angehört und welche man mit dem Namen Maximal-Drucklinie bezeichnet, ſo geht dieſelbe bei dem vorliegenden Gewölbe G_1 durch den tiefſten Punkt der Scheitelfuge und den höchſten Punkt i der Bruchfuge. Die wagrechte Richtung des Gewölbſchubes H_1 ſchneidet die reſultirende Gewichtslinie R_1 des Gewölbſtückes G_1 im Punkte e_1. Die Richtung $e_1 i$ giebt die Lage des nun entſtehenden Kämpferdruckes an. Zieht man im Gewichtsplane $6s$ parallel zu $e_1 i$, ſo erhält man $9s$ als Horizontalſchub H_1 und $6s$ als Kämpferdruck. Die Maximal-Drucklinie für H_1 iſt in bekannter Weiſe im Gewölbplane eingezeichnet; dieſelbe verbleibt innerhalb der Gewölbfläche, ſo daſs hiernach für H_1 keine weitere Unterſuchung nöthig wird. Vereinigt man nun wiederum den Druck $D6$ mit dem Kämpferdruck $6s$ zu der Mittelkraft Ds, zieht man $e_1 i$ im Gewölbplane bis zum Schnitte p mit der Hauptlinie M, führt man ferner durch p einen Strahl pq parallel zu Ds, ſo zeigt ſich, daſs dieſer Strahl, welcher nunmehr die Mittelkraft aus dem Drucke $D6$ und dem neuen gröſseren Kämpferdrucke $6s$ des Gewölbes G_1 enthält, durch den Punkt q innerhalb der Fuſsfläche des Widerlagskörpers geht und daſs ſomit kein Drehen um die Seitenkanten dieſer Fuſsfläche eintreten kann, oder daſs bei der früher hinſichtlich der Lage einer Mittellinie des Druckes im Widerlager gemachten Vorausſetzung das Syſtem ſtabil iſt.

Hiernach iſt alſo gefunden, daſs der durch die Maximal-Drucklinie bedingte Gegendruck, ſobald ſolcher in dieſem Maſse im kleinen Gewölbe durch das groſse Gewölbe wach gerufen würde, im Stande iſt, die Standfähigkeit des ganzen Syſtemes herbei zu führen. Dieſer hier eingetretene, der Maximal-Drucklinie entſprechende Gegendruck kann aber füglich bei einer anderen Form der Gewölblinien oder einer anderen Art der ſonſt ſymmetriſchen Belaſtung der verſchiedenen Gewölbe oder einer anderen Gewölbſtärke eben ſo gut auch über die andere Drehkante w_1 der Fuſsfläche des Widerlagers hinausfallen, und damit wäre dann offenbar ein Zeichen dafür gegeben, daſs der Schub des groſsen Gewölbes G eines derart groſsen Gegendruckes nicht bedurfte, um die Standfähigkeit des Syſtemes herzuſtellen.

Würde in einem anderen Falle aber der Punkt q noch innerhalb der Strecke mw vor der Drehkante w gefunden, ſo iſt auch der Gegendruck, welcher der Maximal-Drucklinie des Gewölbes G_1 zukommt, nicht fähig, dem Schube des groſsen Gewölbes G den nöthigen Widerſtand zu leiſten, und ein ſolcher Fall würde dann bekunden, daſs das gegebene Syſtem nicht ſtandfähig wäre.

Aus der hier mitgetheilten Unterſuchung ergiebt ſich, entſprechend den Grenzwerthen von H_0 und H_1, auch eine Grenzlage für die Punkte o und q in der Ebene EE. So gut nun zwiſchen den Grenzen H_0 und H_1 noch zahlloſe Werthe des Horizontalſchubes für das Gewölbe G_1, nur gröſser als H_0 und kleiner als H_1, ſich einführen lieſsen, ebenſo gut würden noch zahlloſe Kämpferdrücke und zahlloſe, zwiſchen o und q liegende Schnittpunkte der aus dieſen Drücken und des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ mit der Ebene EE zu finden ſein.

Um nun den Gewölbeſchub $H_{,,}$ des kleinen Gewölbes zu finden, welcher eine, jedoch in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes liefert, die einem ſolchen Kämpferdrucke zukommt, der im Stande iſt, mit dem Schube $D6$ eine Mittelkraft zu erzeugen, welche die Ebene EE genau im Grenzpunkte w der Drehkante zwiſchen o und q trifft, kann man in folgender Weiſe vorgehen. Denkt man ſich den Angriffspunkt des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ nach m in EE verlegt, eben ſo z. B. den Angriffspunkt des Kämpferdruckes $6r$ der Minimal-Drucklinie durch Fortführen der Geraden $e_0 k$ nach t in EE gebracht, ſo kann man den Schub $D6$ hier zerlegen in eine lothrechte Seitenkraft P, deren Gröſse offenbar gleich der Strecke $o6$ im Gewichtsplane iſt, und in eine wagrechte Seitenkraft, deren Gröſse gleich Do ebendaſelbſt erhalten war; gleichfalls kann man in t den Kämpferdruck $6r$ in ſeine lothrechte Seitenkraft Q gleich der Strecke 69 und in ſeine wagrechte Seitenkraft von der Gröſse $H_0 = 9r$ zerlegen. Die Mittelkraft Dr aus $D6$ und 69 hat in o ihren Angriffspunkt auf EE; dieſe kann in eine lothrechte Seitenkraft V und in eine wagrechte Seitenkraft zerlegt werden. Da nun für den Gleichgewichtszuſtand das Kräftepolygon $o6rD$ geſchloſſen und mit ununterbrochenem Richtungsſinn verſehen ſein ſoll, ſo tritt die Strecke Dr in o im Sinne rD, aber in gleicher Gröſse von Dr auf. Ihre lothrechte Seitenkraft iſt alſo $V = 9o$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die algebraifche Summe aller in E liegenden wagrechten Seitenkräfte mufs gleich Null fein, wie auch die algebraifche Summe der lothrechten Seitenkräfte gleich Null ift. Das für die drei lothrechten Seitenkräfte P, Q und die diefe beiden verzehrende Kraft V mit einer wagrechten Schlufsfeite mt verfehene Seilpolygon mufs äufserfte Strahlen αm und αt befitzen, welche fich auf V in einem beliebigen Punkte α fchneiden, und aufserdem für den Gleichgewichtszuftand gefchloffen fein.

Da die Gröfsen $P = o6$, $Q = 69$ und $V = 90$ bekannt find, fo wird, wenn man im Gewichtsplane oO_1 parallel zur Seilfeite $m\alpha$ und $6O_1$ parallel zu mt zieht, in O_1 der Pol des Seilpolygons $m\alpha t$ erhalten; die Gerade $O_1 9$ wird der zu αt gehörige Polftrahl, alfo parallel mit αt.

Soll nun eine Gleichgewichtslage für das ganze Syftem herbeigeführt werden, wobei für irgend einen möglichen, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 auftretenden Kämpferdruck und dem Schube $D6$ des Gewölbes G eine Mittelkraft entftehen foll, welche durch einen gegebenen Punkt w geht, fo läfft fich der Schnittpunkt F der Richtungslinie eines folchen Kämpferdruckes mit EE überhaupt folgendermafsen feft legen.

Die durch den Punkt 9 im Gewichtsplane geführte wagrechte Linie $9s$ enthält ftets den Endpunkt des von D nach diefer Linie zu ziehenden Kämpferdruckes, weil $o6 = P$ und $69 = Q$ unveränderlich bleiben; eben fo können Do und die wagrechte Lage der Linie $9s$ keine Aenderung erfahren.

Aus diefem Grunde bleibt auch $o9$ ftets unverändert gleich V. Endlich ift auch der Punkt m der Hauptlinie M in EE unverrückbar, wie auch der Pol O_1 nebft den Polftrahlen oO_1, $o_1 6$, $o_1 9$ nicht veränderlich wird.

Geht nun die Lothrechte V durch einen beliebigen Punkt auf EE, z. B. durch w, fo trifft der äufserfte Seilftrahl, welcher nach wie vor parallel $O_1 o$ ift, diefe Lage von V in β. Durch diefen Punkt zieht auch, wie früher bemerkt, nothwendig die zu $O_1 9$ parallele zweite äufserfte Seilpolygonfeite. Legt man alfo durch β einen Strahl βF parallel $O_1 9$, fo wird die wagrechte Schlufsfeite des Seilpolygons $m\beta F$ im feften Punkte F gefchnitten. Durch diefen Punkt F mufs der mit der lothrechten Seitenkraft Q behaftete mögliche Kämpferdruck gehen, welcher die durch w gehende, vorhin bezeichnete Mittelkraft bedingt. Von den zahllofen Linien, welche durch F, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 liegend, gezogen werden können und welche fämmtlich zwifchen diefen Grenzen i und k einen Kämpferdruck enthalten können, welcher der geftellten Forderung entfpricht, ift eine vorhanden, welche den jetzt möglichft kleinften Kämpferdruck für G_1 enthält.

Zieht man zur Beftimmung diefer Linie durch F und den höchften Punkt i der Bruchfuge einen Strahl, fo fchliefst derfelbe den gröfsten Winkel mit der Wagrechten ein, der in Bezug auf die Punkte i und k möglich wird, fteht alfo am fteilften und wird defshalb, innerhalb des Dreiecks $6rs$ zur Führung einer durch 6 gezogenen Parallelen benutzt, einen kleineren Abfchnitt auf der wagrechten $9s$ hervorrufen, als jeder andere von F nach der Fuge ik gezogene Strahl, d. h. einen möglichft kleinen Gewölbfchub für G_1 veranlaffen.

Zieht man im Gewichtsplane $6\mathcal{J}$ parallel zu Fi, fo ift $6v$ der gefuchte Kämpferdruck und $9v$ der zugehörige Horizontalfchub des Gewölbes G_1. Verlängert man den Strahl Fi bis zum Schnitte x mit der Lothrechten R_1 und legt man durch x eine Wagrechte, fo trifft diefe die Lothrechte L_1 der Scheitelfuge in y. Diefer Punkt wird Angriffspunkt für den Horizontalfchub $H_{,,}$. Zeichnet man für diefen Schub eine Mittellinie des Druckes $y\gamma\delta i$, fo bleibt diefelbe ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der Strahl Fi fchneidet die Hauptlinie M im Punkte z. Die Mittelkraft aus $D6$ und dem zuletzt ermittelten Kämpferdrucke $6v$ ift Dv. Führt man durch z eine Parallele zu Dv, fo trifft diefelbe in der That und wie es fein foll den Punkt w auf EE.

Hiernach ift der in xi durch F ziehende Kämpferdruck $6v$ ein folcher, welcher, von dem hierfür möglichft kleinften in der Wagrechten xy wirkenden Horizontalfchube $H_{,,} = 9v$ mit bedingt, fähig ift, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes des ganzen Syftemes gegen Drehung um die Kante w der Fufsfläche des Widerlagers VI hervorzurufen.

Soll bei einer derartigen Stabilitäts-Unterfuchung die Prefsbarkeit des Materials berückfichtigt werden, fo ift beim Gewölbe G der Angriffspunkt von H etwas tiefer, der Punkt k in der Bruchfuge etwas nach innen zu rücken. Eben fo wäre beim kleinen Gewölbe der Angriffspunkt von H_0 etwas tiefer, von H_1 etwas höher zu legen, auch die Punkte i und k ebenfalls je etwas in das Innere auf der Bruchfuge ki zu verrücken. Der Punkt w kann gleichfalls nach q zu verlegt werden. Am eigentlichen Verfahren der Stabilitäts-Unterfuchung wird hierdurch keine Aenderung herbei geführt.

Nach den an der Zeichnung ausgeführten Meffungen ergiebt fich für das Gewölbe G der Werth H zu $0{,}75 \cdot 1{,}5 = 1{,}125$ qm, welchem für Backfteinmaterial nach der Tabelle auf S. 202 eine Gewölbftärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweifen ift. Für das kleine Gewölbe G_1 wird der hier zu berückfichtigende Horizontalfchub $H_{,,} = 0{,}4 \cdot 1{,}5 = 0{,}6$ qm, wonach die Gewölbftärke zu 1 Stein feft zu fetzen ift.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hätte man $H_1 = 0{,}56 \cdot 1{,}5 = 0{,}84$ qm in Betracht gezogen, fo würde auch hierfür die Gewölbftärke gleich 1 Stein fein. Die normalen Kämpferdrücke erfordern im vorliegenden Falle keine gröfseren Stärken.

Die Fufsfläche des Pfeilers wird von einem lothrechten Drucke $oq = 3{,}3 \cdot 1{,}5 \cdot 1 = 4{,}95$ cbm getroffen. Bei der Lage des Angriffspunktes deffelben in q für die Maximal-Drucklinie in G_1, welcher nahezu mit dem Schwerpunkte der Fufsfläche von 0,5 m Breite und 1 m Tiefe zufammenfällt, ergiebt fich die Beanfpruchung der Steine an der Grundfläche bei einem Eigengewicht von 1600 kg für 1 cbm zu $\frac{4{,}95 \cdot 1600}{100 \cdot 50} = 1{,}58$ kg für 1 qcm.

Liegt der Angriffspunkt der Gefammt-Refultirenden aller Drücke des Syftemes in der Kräfteebene in einer Hauptaxe der Grundfläche des Widerlagers im Abftande ξ vom Schwerpunkte diefer Grundfläche, fo ift für einen Punkt C im Abftande z von diefem Schwerpunkte die Spannung N nach der Gleichung[168])

$$N = \frac{P}{F}\left(1 + \frac{F\xi z}{\mathcal{J}}\right)$$

zu beftimmen. Hierin bezeichnen P die gegebene lothrechte Kraft, F die Querfchnittsfläche und $\mathcal{J}$ das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Schwerpunktsaxe, welche rechtwinkelig zur Hauptaxe fteht, worin der Angriffspunkt o von P liegt.

Sind hier b die Breite des Pfeilers mit rechteckiger Grundfläche und t die Tiefe deffelben, fo ift $\mathcal{J} = \frac{1}{12} t b^3$ für die zu der Seite t parallel genommene Schwerpunktsaxe. Alsdann ift $F = bt$, und man erhält

$$N = \frac{P}{tb}\left(1 + \frac{12\,\xi z}{b^2}\right).$$

Nach der Zeichnung ift $b = 50$ cm und $t = 100$ cm; P ergiebt fich zu $4{,}95 \cdot 1600 = 7920$ kg. Liegt der bezeichnete Angriffspunkt von P im Abftande $\xi = \frac{b}{2}$, alfo in w und ift dann für die Kantenpreffung N der Abftand z ebenfalls gleich $\frac{b}{2}$, fo wird

$$N = \frac{7920}{100 \cdot 50}\left(1 + \frac{12 \cdot 25 \cdot 25}{25 \cdot 25}\right) = \backsim 20{,}6 \text{ kg für } 1 \text{ qcm}.$$

Diefe Beanfpruchung ift für Backfteinmaterial viel zu grofs, und es müffte diefer halb für das Widerlager eine gröfsere Breite oder feftere Material angenommen werden. In jedem Falle ift es zweckmäfsig, die Breite des Widerlagers zu vergröfsern, damit fchon für daffelbe eine Mittellinie des Druckes eintreten kann, welche für den Gewölbfchub des grofsen Gewölbes thunlichft nur abhängig gemacht wird von einem Kämpferdrucke des kleinen Gewölbes, welcher durch die Minimal-Drucklinie für H_0 bedingt ift und wobei alsdann die Drucklinie im Widerlager im inneren Drittel feiner lothrechten Fläche bleibt.

c) Ausführung der Tonnengewölbe.

148. Allgemeines.

Zur Ausführung der Tonnengewölbe werden im Allgemeinen wefentlich Backftein, Bruchftein und, wenn auch in weniger häufigen Fällen, Quader (Werkftücke, Haufteine) als Hauptbauftoffe benutzt, je nachdem in den einzelnen Gegenden diefes oder jenes von den genannten Materialien als vorherrfchendes zur Verfügung fteht und je nachdem die Durchbildung der als Tonnengewölbe ausgeführten Decke eines Raumes in architektonifcher Beziehung mehr oder weniger reich, mehr oder weniger gegliedert in die Erfcheinung treten foll. Waren in früheft er Zeit die Tonnengewölbe bei der Decken-Conftruction über gröfseren Räumen von hohem Werthe und in ihrer Ausführung oft fo kühn behandelt, dafs die Refte derfelben noch heute die Bewunderung der Kunft- und Sachverftändigen, ja jedes gebildeten Menfchen wach rufen, fo ift nach weiterer Entwickelung des Gewölbbaues überhaupt doch die Anwendung des Tonnengewölbes zur Ueberdeckung gröfserer Räume, um als wichtiger Factor bei monumentalen Bauwerken aufzutreten, mehr und mehr in den Hinter-

[168]) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Gleichung 50 auf S. 273; 2. Aufl.: Gleichung 69 auf S. 86) diefes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

grund getreten, ſo daſs heute, mit wenigen, ja vereinzelt da ſtehenden Ausnahmen, Tonnengewölbe bei Werken des Hochbaues nur zur Ueberdeckung von Kellerräumen, Treppenhäuſern, Durchfahrten und, wenn es höher kommt, von Eingangshallen Verwendung finden.

149. Mauerung der Tonnengewölbe.

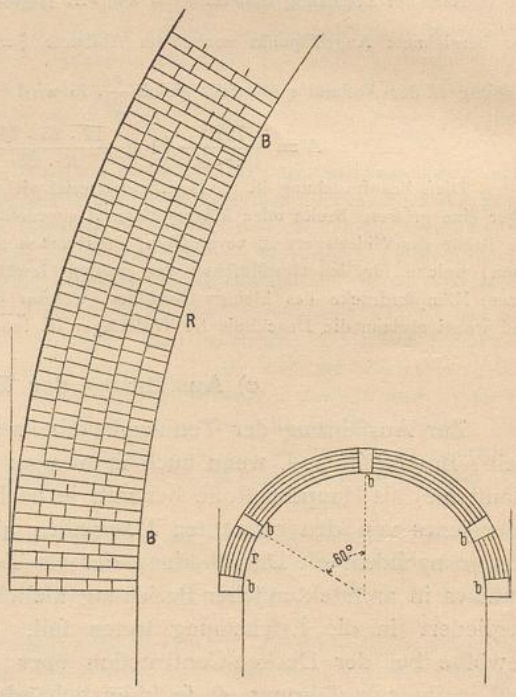
Bei der Mauerung der Tonnengewölbe gelten, ganz abgeſehen davon, ob als Wölbmaterial Backſtein, Quader oder Bruchſtein in Anwendung kommen, zuvor die Sätze, daſs:

1) in der Stirnfläche des Gewölbes eine ungerade Anzahl vom Schluſsſtein aus ſymmetriſch geordneter und gleich geſtalteter Steine auftreten, welche durch Lagerfugen geſchieden ſind, die in erſter Linie, als einem Hauptverbande zukommend, Ebenen angehören, welche ſenkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes und ſenkrecht zur Stirnfläche des Gewölbes ſtehen;

2) daſs ferner die Stoſsfugenflächen zwiſchen den Wölbſteinen in Ebenen liegen, welche ſenkrecht zur Laibungsfläche und ſenkrecht zur Gewölbaxe gerichtet ſind, doch ſo, daſs dabei die Stoſsfugen der benachbarten Wölbſchichten oder Wölbſcharen auf Verband angeordnet ſind, und

3) daſs endlich, wenn das Gewölbe eine gröſsere Stärke erhält, als daſs für jede Schicht ein einziger Stein ununterbrochen von der inneren Laibung bis zur Rückenlinie durchtreten kann, in dieſem Falle in jedem ſenkrecht zur Gewölbaxe genommenen Gewölbſchnitte (Stirnſchnitt) die einzelnen Wölbſcharen auch hier einen regelrechten Mauerverband aufweiſen.

Fig. 314.



Werden aus beſonderen Veranlaſſungen bei gröſseren Gewölben mit erheblicher Gewölbſtärke bei Verwendung von Backſteinen oder kleineren Bruchſteinen mehrere über einander liegende Gewölberinge, ſog. Rollſchichten, für die Erzielung der erforderlichen Gewölbſtärke in Ausführung genommen, ſo iſt es dringend erforderlich, die Gewölbſtärke jedes einzelnen Ringes ſo zu beſtimmen, daſs bei n Ringen jeder Ring $\frac{1}{n}$ der Geſammtbelaſtung zu tragen vermag und daſs nach Fig. 314 an den gefährlichen Stellen b, bezw. B des Gewölbes, alſo im Scheitel, in den Bruchfugen oder in ihrer Nähe und am Kämpfer durchgehende in regelrechtem Verbande ausgeführte Schichten eingefügt werden, zwiſchen welchen die Ringe r, bezw. R für ſich ausgemauert werden.

150. Mörtel.

Iſt bei den Unterſuchungen des Gleichgewichtszuſtandes der Tonnengewölbe im Allgemeinen auf die innigere Verbindung der Wölbſteine durch Mörtel keine Rückſicht genommen, vielmehr vorausgeſetzt, daſs ein Gewölbe ſchon an ſich in

jedem besonderen Falle stabil und tragfähig sein soll, ohne dass ein von der Wirkung des die Steine mehr oder weniger gut verkittenden Bindemittels, des Mörtels, abhängiger Factor von vornherein mit in Rechnung gestellt wird, so ist doch bei der praktischen Ausführung der Tonnengewölbe, wie der Gewölbe überhaupt, auf eine zweckmäßige Verwendung guten, mit Sorgfalt bereiteten Mörtels Bedacht zu nehmen, da hierdurch selbstredend ein erhöhter Sicherheitsgrad für den Gewölbkörper erzielt wird.

Im Gewölbebau kommen entweder Luftmörtel, Kalkmörtel allein oder hydraulischer Mörtel, Cement für sich oder endlich, und zwar mit großem Vortheil benutzbar, der sog. verlängerte Cementmörtel, d. i. ein Gemisch aus Cementmörtel und Kalkmörtel, zur Verwendung. Für Gewölbe, welche durchgängig aus Schnittsteinen oder Quadern hergerichtet werden, tritt die Verbindung der Steine durch Mörtel mehr in den Hintergrund, während die richtige Formgestaltung, Lagerung und Verbandanordnung der Wölbsteine vorwiegend in Betracht gezogen werden müssen. Aus diesem Grunde beschränkt sich die Mörtelgabe bei Quadergewölben vielfach beim Versetzen der Steine zunächst nur auf ein ganz dünnes Bestreichen der Lagerfugenflächen mit sog. Weißkalk (gelöschter Kalk ohne Sandzusatz), um hierdurch in erster Linie die noch bei der Bearbeitung der Steine etwa verbliebenen geringfügigen Unebenheiten der Flächen auszugleichen, und sodann, nach der Fertigstellung des Gewölbes, auf das Vergießen der Fugen mit dünnflüssigem, nicht zu schnell erhärtendem Mörtelbrei.

Zu beachten ist, dass die Gewölbanfänger, wenn dieselben vorgekragt werden, ohne Weiteres gleich mit dem Geschoss, bezw. Widerlagsmauerwerk in regelrechtem Verbande und bei Backstein- oder Bruchsteinmauerwerk am zweckmäßigsten mit Verwendung von verlängertem Cementmörtel ausgeführt werden. Zu diesem Mörtel benutzt man vortheilhaft das Gemisch von 1 Raumtheil Kalkmörtel, im Mischungsverhältniss 1 Theil gelöschten Kalk, 3 Theile reinen scharfkörnigen Mauersand und 1 Raumtheil Cementmörtel, im Mischungsverhältniss von 1 Theil Cement und 3 Theilen reinen Flusssands, bezw. Mauersands, oder auch ein Gemisch von 2 Raumtheilen des bezeichneten Kalkmörtels und 1 Raumtheil des angegebenen Cementmörtels. Ein inniges Mengen beider Mörtelarten ist vorzunehmen.

Es ist rathsam, Gewölbe von größerer Spannweite oder stark zu belastende Gewölbe, welche aus Backsteinmaterial (volle Backsteine oder Lochsteine) oder aus Bruchstein ausgeführt werden, immer mit verlängertem Cementmörtel, unter Umständen auch mit Cementmörtel allein herzustellen.

151. Zeit der Ausführung.

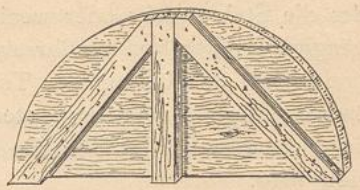
Im Hochbauwesen erfolgt die Ausführung der Gewölbe am besten erst dann, wenn sich für den Gewölbkörper die Einwirkung von Niederschlägen beim Vorhandensein der Ueberdachung des Bauwerkes nicht mehr geltend machen kann.

Erheischen besondere Umstände eine frühere Herstellung der Gewölbe, so sind dieselben nach ihrer Vollendung mit einer genügend starken Sandschüttung zu überwerfen und hierauf noch mit einer aus Dachpappe oder dergl. bestehenden Schutzdecke zu versehen, damit etwa auf das Gewölbe herabfallende Bautheile dasselbe nicht durchschlagen und damit ferner das auf das Gewölbe kommende Regenwasser nicht nachtheilig wirken kann. Damit das letztere in geeigneter Weise abfließen und schließlich sachgemäß fortgeleitet werden kann, sind unter Berücksichtigung von Gefälle in den Gewölbzwickeln an einem Punkte oder bei langen Gewölben an mehreren Stellen Abflussöffnungen von etwa 12 cm Länge und Breite, bezw. 25 cm

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Länge und 12 cm Breite anzulegen, durch welche einſtweilig Abflufsröhren geführt werden.

Fig. 315.



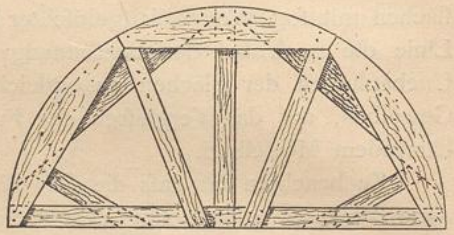
152. Rüſtungen.

Die Einwölbung der Tonnengewölbe erfolgt, gleichgiltig welches Material dabei zur Verwendung gelangt, auf beſonderen, meiſtens aus Holzwerk angefertigten, möglichſt leicht aufzuſtellenden und nach der Benutzung auch möglichſt mühelos wieder zu löſenden Rüſtungen.

Von der geſammten Rüſtung ſind die Rippen oder Rüſtbogen die weſentlichſten Beſtandtheile. Für kleinere Gewölbe werden zu dieſen Rippen einfache Wölbſcheiben oder auch einfache Lehrbogen benutzt, während hierfür bei gröſseren Gewölben trägerartige, aus entſprechend ſtarken Hölzern abgebundene Zimmerwerke, die ſog. Lehrgerüſte, zur Anwendung kommen.

Die einfachen Wölbſcheiben beſtehen nach Fig. 315 aus zuſammengefügten Brettern von 30 bis 35 mm Stärke, welche oben nach der Wölblinie geſchnitten, ſonſt nur durch ſeitlich aufgenagelte Leiſten von 15 bis 20 cm Breite und 30 bis 50 mm Stärke mit einander verbunden ſind.

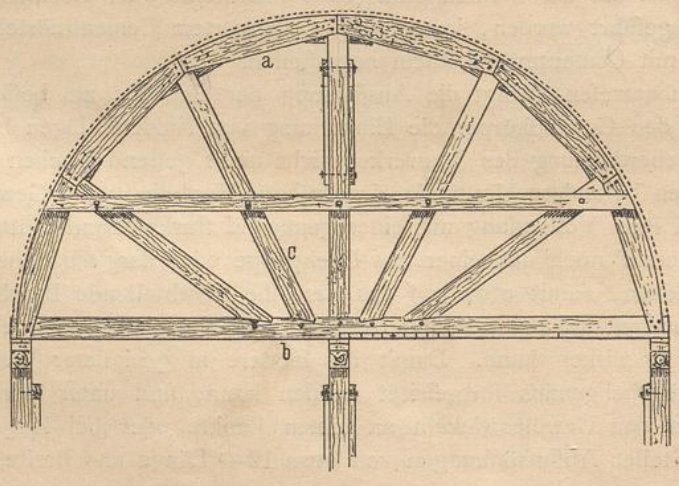
Fig. 316.



Bei den einfachen Lehrbogen (Fig. 316) ſind bei ſtärkerer Ausführung zwei neben einander liegende Brettſtücke von 30 bis 35 mm Stärke zu einem, der Wölblinie angepaſſten Wölbkranze vereinigt. Dieſer Wölbkranz erfährt weiter durch Leiſten oder Bretter, welche ſtrahlenförmig von einem wagrechten Grundbrett ausgehen, eine Abſteifung und Befeſtigung.

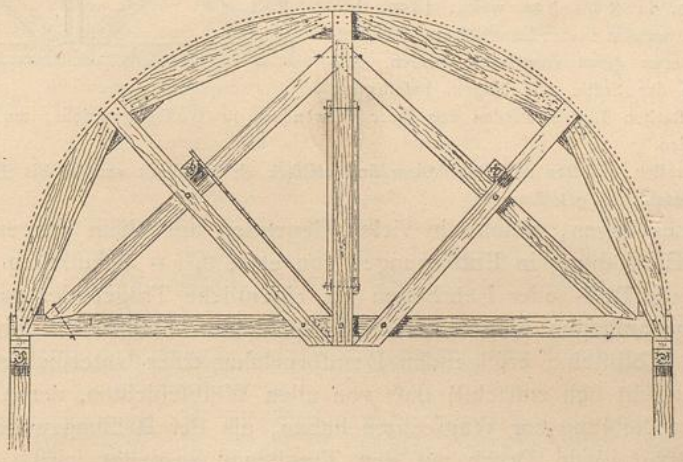
Einen einfachen Lehrbogen, welcher jedoch ſchon den Uebergang zu den Gerüſtbogen eines Lehrgerüſtes bildet, zeigt Fig. 317. Hierbei iſt der aus etwa 5 cm ſtarken, 1,5 m bis höchſtens 3,0 m langen Bohlen angefertigte Wölbkranz *a* mit der Schwelle *b* durch einzelne Pfoſten *c* in kräftige Verbindung gebracht.

Fig. 317.



Bei gröfseren Lehrgerüften ift das Holzwerk der Rippen fo zu ordnen, dafs möglichft unverfchiebbare Dreiecksverbindungen entftehen. Zwifchen die Berührungsflächen derjenigen Verknüpfungspunkte, bei welchen durch die Belaftung der Rüft-

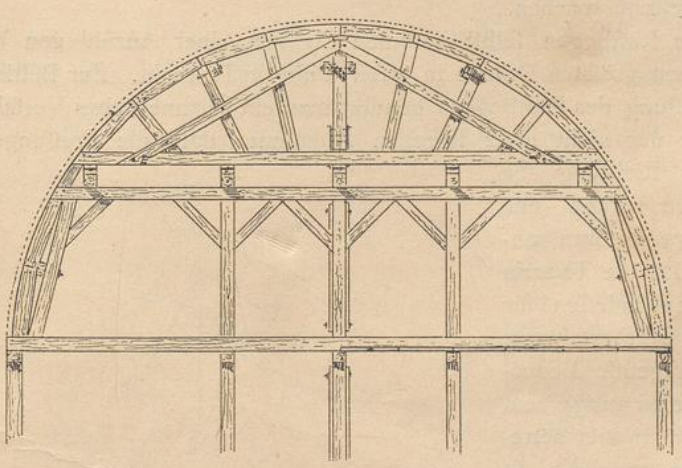
Fig. 318.



bogen die Hölzer fich leicht in einander preffen können, find zweckmäfsig dünne Streifen aus Weifs-, Zink- oder Kupferblech zu legen.

Meiftens werden derartige Rüftbogen als Häng- und Sprengwerke mit durchgehender wagrechter Schwelle conftruirt. Seltener find im Hochbauwefen die ge-

Fig. 319.

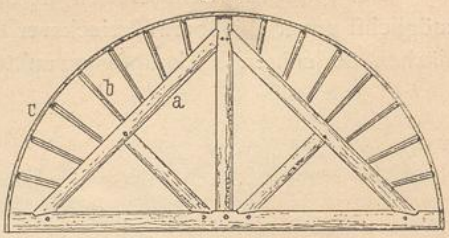


fprengten Gerüfte, deren Streben unmittelbar nach dem Widerlager, bezw. nach dem Fufsboden des zu überwölbenden Raumes geführt werden. In Fig. 318 u. 319 find Rippen mit durchgehender Schwelle und darüber befindlichem Streben- nebft Hängefäulen-Syftem dargeftellt. In Fig. 320 ift eine Rüftbogen-Conftruction gegeben,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

bei welcher in den Randhölzern *a* radial gerichtete Stäbe *b* zur Aufnahme gebogener Latten *c* dienen, welche dann die 2,0 bis 2,5 cm ſtarke Schalung aufnehmen.

Fig. 320.



Die Stäbe oder Speichen *b* ſind rund, beſitzen einen Durchmeſſer von 5 bis 8 cm und werden unten etwas zugeſpitzt, in 3 bis 5 cm weite, 10 cm tiefe Löcher geſteckt, welche in den Randhölzern *a* in Entfernungen von etwa 40 cm vorgebohrt werden. Die auf dem Kopfe der Stäbe mit Nägeln befeſtigten, etwa 2 + 4 cm ſtarken Latten werden vor ihrer Verwendung in Waſſer geweicht, um dadurch leichter biegſam zu werden.

Die Schwellen, Pfoſten und Randhölzer ſind vielfach als Rundholz von 15 bis 22 cm Durchmeſſer ohne weiteres Beſchlagen gelaſſen.

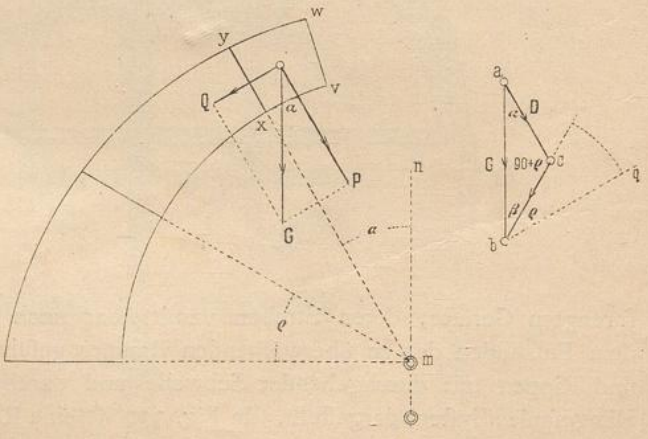
Dieſe Lehrbogen, welche in vielen Gegenden am Rhein Anwendung finden, ſind für die Einwölbung in Entfernungen von etwa 0,60 m aufzuſtellen.

Sollen die Rüſt- oder Lehrbogen als eigentliche Träger der nach und nach von den Bogenanfängen aufgebrachten Wölbſchichten hinſichtlich ihrer durch das Gewicht der Wölbſteine erfolgenden Beanſpruchung einer Unterſuchung unterzogen werden, ſo ergiebt ſich zunächſt, daſs von allen Wölbſchichten, deren Lagerflächen eine geringere Neigung zur Wagrechten haben, als der Reibungswinkel des Wölbmaterials beträgt, kein Druck auf den Tragbogen ausgeübt wird. Sodann aber ergiebt ſich weiter, daſs eine Wölbſchicht, deren Lagerfläche in ihrer Neigung dieſen Reibungswinkel überſchreitet, abgleiten würde und nur durch ihre vom Rüſtbogen getragene Unterlagerung hieran verhindert wird. Dieſe Wölbſchicht erzeugt alſo einen Druck für den Rüſtbogen. Verfolgt man jede weitere Wölbſchicht bis zur Scheitelſchicht, ſo ergiebt ſich ein fortwährendes Steigen der Gröſse der einzelnen Drücke der Wölbſchichten und erſt nach dem vollſtändigen Schluſſe des Gewölbes kann, da das Gewölbe alsdann frei für ſich beſtehen ſoll, die Entlaſtung der Rüſtbogen ſich geltend machen.

153. Druck auf die Rüſtbogen.

Für den Rüſtbogen ſelbſt kommen die von einer Anzahl von Wölbſchichten hervorgerufenen gröſsten Drücke in erſter Linie in Betracht. Zur Beſtimmung dieſer gröſsten Belaſtung des Rüſtbogens benutzt man ein zeichneriſches Verfahren, welches jedoch unter der nicht ganz ſtrengen Annahme, daſs die Preſſungen immer in winkelrechter Richtung für den Rüſtbogen wirken, nur als Näherungsverfahren anzuſehen iſt. Da die Theorie der Rüſtbogen indeſſen für die praktiſche Ausführung keine hervorragende Bedeutung hat, dieſelbe auch einem anderen, als dem hier betretenen Gebiete angehört, ſo möge nur das gewöhnliche Verfahren angegeben werden, welches zur Ermittelung des an irgend einer Stelle auftretenden gröſsten Druckes dient.

Fig. 321.

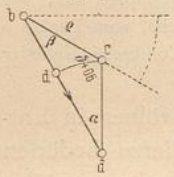


In Fig. 321 sei $xyvw$ ein Wölbstein von sehr geringer Breite $xv = b$, von der Tiefe gleich der Längeneinheit und vom Gewichte v für die Körpereinheit. Alsdann ist das Gewicht dieses Wölbsteines, da die Höhe h desselben als xy und die Breite b für das schmale Stück beibehalten werden können, bestimmt als

$$G = b \,.\, h \,.\, 1 \,.\, v. \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 162.$$

Der Körper ruht auf der beliebig angenommenen Lagerfläche xy, welche unter einem Winkel α zum Scheitellothe mn geneigt ist. Bezeichnet ρ den Reibungswinkel des Materials, so erhält man nach der Lehre von der schiefen Ebene unter Bezugnahme auf Fig. 321 und auf die darin vorgenommene Zerlegung von G in die Seitenkräfte P und Q, diejenige Kraft D, welche den Körper auf der schiefen Ebene xy abwärts zu treiben sucht und welche dem Drucke auf die Unterlage des Wölbsteines entsprechen soll, als

Fig. 322.



$$D = P - \operatorname{tg} \rho \,.\, Q,$$

d. h., da $P = G \,.\, \cos \alpha$ und $Q = G \,.\, \sin \alpha$ ist, auch

$$D = G \,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha). \quad \ldots \ldots \quad 163.$$

Dieser Ausdruck läfst sich nach Fig. 321 leicht durch Zeichnung darstellen. Nimmt man $ab = G$, zieht man ac parallel zu P, bq parallel zu Q und trägt man alsdann den Winkel $cbq = \rho$ an bq, so schneidet der Schenkel bc den Strahl ac in c, und im Dreiecke abc ist ac gleich dem gesuchten Werthe von D.

Denn es ist

$$\frac{D}{G} = \frac{\sin \beta}{\sin (90 + \rho)} = \frac{\sin [90 - (\alpha + \rho)]}{\cos \rho} = \frac{\cos (\alpha + \rho)}{\cos \rho} = \frac{\cos \alpha \,.\, \cos \rho - \sin \alpha \,.\, \sin \rho}{\cos \rho},$$

also auch

$$D = G \,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha).$$

Bringt man das Dreieck abc in die Lage von Fig. 322, indem man $ab = G$ parallel zu xy zieht, so ergiebt sich auch ac als D. Schlägt man ac von a aus auf ab nieder, so ist auch $da = D$ der für den Wölbstein $xyvw$ in Frage kommende Druck.

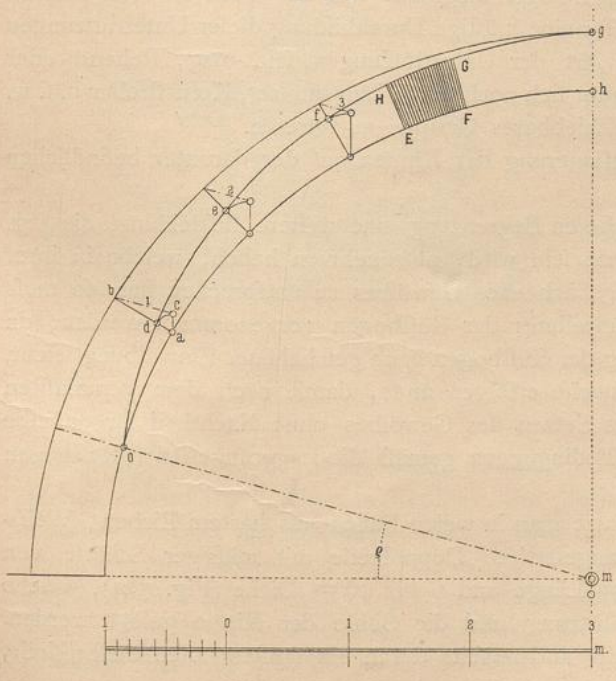
Setzt man in Gleichung 163 für G den Werth aus Gleichung 162, so wird

$$D = b\,h\,v \,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha),$$

und hieraus folgt weiter

$$\frac{D}{b\,v} = z = h \,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha) \quad \ldots \ldots \quad 164.$$

Fig. 323.



Dieser Werth von z bezeichnet den specifischen Druck des Rüstbogens im Punkte x. Derselbe kann nach Mafsgabe von Fig. 322 wiederum leicht durch Zeichnung ermittelt werden, sobald man für jeden Punkt x nur die Strecke ab gleich der zugehörigen Fugenlänge $xy = h$ nimmt und sonst unter Benutzung des veränderlichen Winkels α, wie derselbe der jedesmal gewählten Fuge zukommt, und des als unveränderlich geltenden Reibungswinkels ρ ganz nach Fig. 322 verfährt.

Am einfachsten wird diese Darstellung gleich in der Stirnfläche des Gewölbes, wie Fig. 323 zeigt, selbst vorgenommen. Bei der hier gegebenen Bestimmung der einzelnen Drücke ist der Reibungswinkel ρ nur zu 15 Grad gewählt, um der durch den frischen Mörtel bewirkten wesentlichen Verminderung der Reibung zwischen den Lagerflächen Rechnung zu tragen.

Verbindet man die für mehrere Fugen gewonnenen Punkte d, e, f u. s. f., wobei die Strahlen $1, 2, 3$ u. s. f.

fämmtlich parallel zu mo geführt werden, durch einen Linienzug, fo begrenzt derfelbe gemeinfchaftlich mit der inneren Wölblinie die Fläche $odefgh$ der gröfsten, rechtwinkelig zum Rüftbogen wirkenden Drücke. Soll mit Hilfe diefer Zeichnung der gröfste auf die Fläche EF kommende Druck D ermittelt werden, fo ergiebt fich für die Tiefe gleich der Längeneinheit nach Gleichung 164: $D = z b v$, d. h., da zb die Fläche $EFGH$ darftellt, die Regel: Man beftimme die Mafszahl des Flächeninhaltes des Stückes $EFGH$ der Druckfläche und multiplicire diefelbe mit der Mafszahl des Gewichtes der Körpereinheit des Wölbmaterials, um den Werth des für die Länge EF in Frage kommenden Druckes zu erhalten.

Aus der Druckfläche ergiebt fich die Zunahme der rechtwinkelig zum Rüftbogen gerichteten Preffungen vom Punkte o gleich Null bis zum gröfsten Drucke gh im Punkte h des Gewölbefcheitels. Für die Conftruction des Rüftbogens folgt hieraus, dafs bis zum Punkte o keine Unterftützung der Wölbfteine durch diefen Bogen nothwendig wird, dafs alfo bis zu diefem Punkte vom Kämpfer aus, wie Fig. 319 (S. 221) zeigt, die Anordnung der Rippe fich auf einfachere verbindende Theile, vom Punkte o ab bis zum Scheitel jedoch aufser verbindenden Theilen noch auf kräftigere, ftützende Conftructionsglieder zu erftrecken hat.

154. Unterlagerung.

Die einzelnen Rippen werden parallel zur Stirnebene des Gewölbes in Entfernungen von 1 m bis höchftens 2 m hinter einander aufgeftellt. Hierzu bedürfen diefelben einer kräftigen Unterlagerung, welche als weiteres Zubehör des Lehrgerüftes auftritt. Diefe Unterlagerung mufs fo hergeftellt fein, dafs die einzelnen Rippen während der Ausführung des Gewölbes fich nicht in merkbarem Grade fenken, fich nicht verfchieben oder verdrehen können. Zweckmäfsig ift eine Unterftützung, welche möglichft aus lothrecht oder aus fchwach geneigten Pfoften befteht, welche dann rechtwinkelig zu den Rippen ziehende Rahmhölzer oder Holme erhalten, alfo in ihrem Wefen ähnlich der Anordnung einer feften Fachwerkwand erfcheint. Hänge- und Sprengwerks-Conftructionen zu folchen Unterftützungen zu wählen, ift defshalb weniger vortheilhaft, weil bei diefen leichter ein Zufammendrücken der verfchiedenen Verbandhölzer und damit leichter das unbeabfichtigte Senken der Rüftbogen eintreten kann. Im Hochbauwefen laffen fich bei gröfseren Gewölben derartige Hänge- und Sprengwerksunterftützungen dann nicht gut vermeiden, wenn der Raum unter der Deckenbildung während der Bauzeit möglichft frei zu laffen ift. In folchen Fällen mufs in jeder Beziehung für eine kräftige Durchbildung diefer Unterftützungen geforgt werden. Wie auch die Art der Unterftützungen fein mag, ftehend oder liegend, immer müffen diefelben unter fich noch durch Längshölzer, Kreuzftreben u. f. w. abgefteift werden, um als unverfchiebbares Gerippe aufzutreten.

155. Ausrüftungsvorrichtungen.

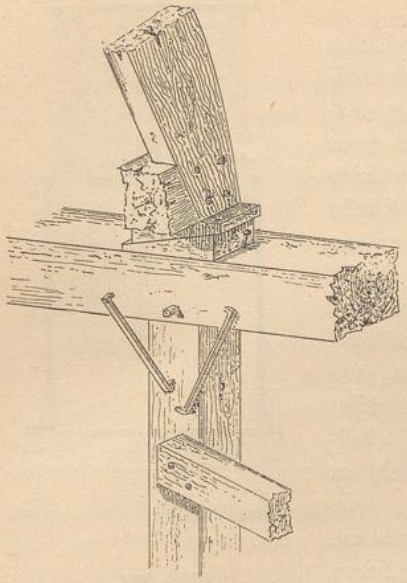
Von Bedeutung ift die Auflagerung der Rippen auf der darunter befindlichen Stütz-Conftruction.

Da die Rippen auf ihrer oberen Begrenzung eine weitere Bekleidung, die fog. Schalung, wovon gleich die Rede fein wird, aufzunehmen haben, welche in ihrer oberen Mantelfläche der Laibungsfläche des Gewölbes zu entfprechen hat, fo mufs von vornherein eine genaue Aufftellung der Rüftbogen vorgenommen werden; da aber auch andererfeits die Löfung der Rüftbogen nach gefchehener Einwölbung leicht, allmählich, fanft und nicht ftofsweife erfolgen mufs, damit nach dem veranlafften Senken der Rippen ein etwaiges Setzen des Gewölbes ohne Nachtheil für daffelbe ftattfinden kann, fo find diefen Bedingungen gemäfs die Lagerungen der Rüftbogen auszubilden.

Zu diefen Lagerungen benutzt man in vielen Fällen aus hartem Eichen-, Weifsbuchen-, Efchenholze u. f. w. angefertigte Doppelkeile mit mäfsiger Schärfe von 10 bis 15 cm Breite, 20 bis 30 cm Länge und 6 bis 10 cm Dicke (Fig. 324), welche zwifchen den Holm der Unterftützung und die Sohle der Rippe gelegt werden. Durch ein geringes Antreiben oder andererfeits durch ein fanftes Löfen diefer Keile,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 324.

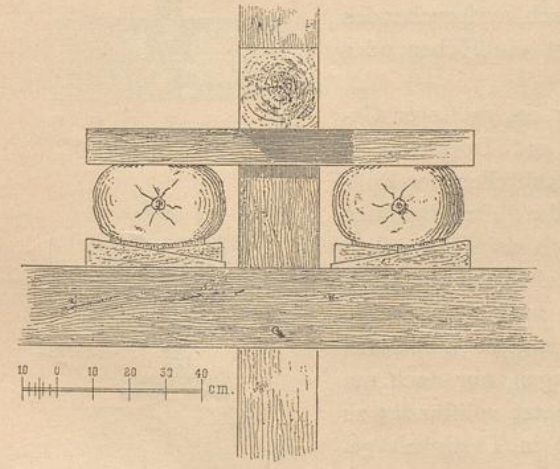


welche ab und an auch zur Verminderung der Reibung mit ſchwarzer Seife dünn beſtrichen werden, iſt ein leichtes Heben oder Senken der Rüſtbogen möglich.

Auſser ſolcher Keillagerung kommen bei gröſseren Gewölben auch Sandſäcke, beſſer Sandbüchſen oder Sandtöpfe, und unter Umſtänden auch Schraubenſätze zur Verwendung.

Die Sandſäcke ſind aus feſtem Zeug, Segelleinwand oder auch aus Leder angefertigte Beutel, welche an einem Ende zugeſchnürt werden können. Dieſe Säcke werden mit ganz reinem, durchaus trockenem, feinem Sande äuſserſt feſt gefüllt und entweder gleich beim Aufſtellen der Rüſtungen ſtatt der eben bezeichneten Keile eingelegt oder erſt ſpäter nach Vollendung der Wölbung zwiſchen Holm und Schwelle gebracht. Im letzteren Falle ſind die Rüſtbogen während der Wölbung durch einen Holzpfoſten, auf welchem ein kurzes Lagerholz liegt, geſtützt. Die Pfoſten werden nach Schluſs des Gewölbes an jeder Seite von Sandſäcken (Fig. 325), die durch angeſchobene kleine Holzkeile weiter gerichtet ſind, umlagert und dann keilförmig eingeſchnitten, ſo daſs ſie zum Umkippen gebracht werden können. Iſt dieſes Umkippen erfolgt, ſo ſetzen ſich die kurzen Lagerhölzer mit den Rüſtbogen unmittelbar auf die Sandſäcke. Wird die Schnürung derſelben vorſichtig gelöst, ſo rinnt der Füllſand in feinen Fäden langſam aus und die Rüſtbogen ſenken ſich in regelmäſsiger, ſtoſsfreier Weiſe. Unter Umſtänden befördert man das Ausflieſsen des Sandes noch durch Anrühren deſſelben mit Hilfe eines Eiſendrahtes oder Holzpflockes.

Fig. 325.



Die Sandbüchſen oder Sandtöpfe (Fig. 326) ſind cylindriſche, aus Guſs- oder Schmiedeeiſen angefertigte Gefäſse mit Boden. In den Seitenwandungen derſelben ſind in geringer Entfernung über dem Boden kleine Oeffnungen angebracht, welche durch einen dünnen Holzpflock geſchloſſen werden. Zur Büchſe gehört weiter ein cylindriſcher Stempel, welcher aus Guſseiſen beſteht, oder aus einem Holzkörper, welcher oben und unten mit Eiſenringen beſchlagen iſt, hergeſtellt wird. In die Sandtöpfe wird wiederum eine in ihren Eigenſchaften ſchon vorhin beſchriebene Sandfüllung gebracht; die Stempel werden ſo aufgeſetzt, daſs unter denſelben eine genügende Sandlage verbleibt und die ſo eingerichtete Büchſe nach ihrer Einfügung zwiſchen

Holm und Schwelle eine richtige und genaue Aufſtellung der Rüſtbogen möglich macht.

Nach der Ausführung des Gewölbes wird das Löſen der Rüſtbogen durch Ausziehen der Verſchlüſſe der Oeffnungen der Büchſen eingeleitet. Die Sandfüllung derſelben rieſelt aus, und die Senkung der Rüſtbogen geht langſam vor ſich. Hierzu iſt aber vollſtändige Trockenheit des reinen Sandes nothwendig, da derſelbe, feucht geworden und durch die Belaſtung gepreſſt, ſich zuſammenballt und nicht ausflieſst, ſelbſt wenn durch Nachhelfen mittels eines Eiſendrahtes dieſes Flieſsen befördert werden ſollte. In ſolchem Falle müſſen die Sandtöpfe mit ſtark erwärmten Sandbeuteln umlegt werden, um hierdurch den Sand in den Büchſen wieder in möglichſt trockenen Zuſtand zu ſetzen. Offenes Feuer darf ſelbſtverſtändlich zum Trocknen des Büchſenſandes nicht in Anwendung kommen.

Die Schraubenſätze ſind einfache Hebeſchrauben. Die in Fig. 327 gegebene Hebeſchraube ſteht zwiſchen dem Holme des Untergerüſtes und der Schwelle des Rüſtbogens, während bei der in Fig. 328 dargeſtellten Schraube die Schraubenmutter *a* in der Schwelle befeſtigt, die Schraubenſpindel weiter jedoch durch eine Oeffnung derſelben geführt wird. Im Holm des Rüſtbogens iſt die Scheibe *b* verlegt, gegen welche der Dorn des Kopfendes der Spindel tritt. Durch entſprechendes Andrehen der Schraubenſpindel erfolgt ein Heben oder Senken des Rüſtbogens.

Derartige Schraubenſätze werden bei gröſseren Gewölben auch wohl gemeinſchaftlich mit Doppelkeilen angewandt. Sind die letzteren beim Aufſtellen der Rüſtbogen genau eingefügt, ſo werden die Schraubenſätze ſeitlich von denſelben aufgeſtellt. Nach dem Einwölben werden die Schrauben mäſsig angedreht, um die Rüſtbogen in geringem Maſse zu heben und dadurch die Keile etwas zu lüften. Nach dem nunmehr müheloſen Entfernen der Keile ruhen die Rüſtbogen nur noch auf den Schraubenſätzen, welche für die jetzt vollſtändig zu beherrſchende Senkung der Rüſtbogen in Thätigkeit geſetzt werden können.

Bei beſonders groſsen Gewölben des Hochbauweſens iſt der Wölbkranz der Rüſtbogen nicht aus Bohlen hergerichtet, die unmittelbar mit dem Stützenwerk feſt verbunden ſind, ſondern aus ſog. Kranzhölzern *k* (Fig. 329) von etwa 2 m Länge und genügender Stärke angefertigt, welche in Ausſchnitten (Scheren) ihrer Stützen liegen und durch Doppelkeile, wie Fig. 329 zeigt, unterlagert ſind.

Fig. 326.

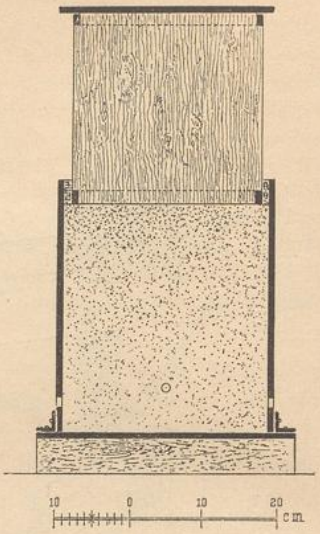


Fig. 327.

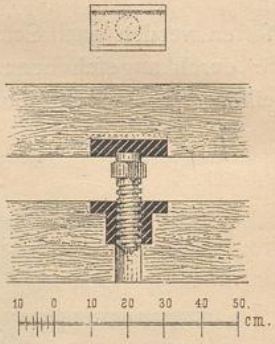


Fig. 328.

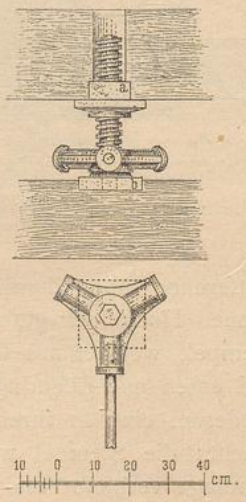
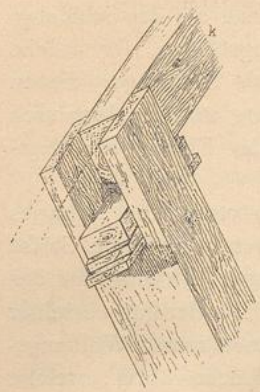


Fig. 329.



Bei ſolcher Anordnung iſt die Senkung der Kranzhölzer durch Lockern der Keile allein ſchon zu beſchaffen.

156. Schalung.

Den oberen Abſchluſs der Rüſtbogen bildet die Schalung. Hierunter verſteht man einen Belag aus Bohlen, Schalbrettern oder aus Latten, Gewölbelatten, welche in ihrer oberen Fläche eine der Laibung des Gewölbes genau entſprechende Mantelfläche liefern. Die Bohlen werden dicht neben einander gelegt, während die Latten mehr oder weniger breite Fugen zwiſchen ſich laſſen.

Die Rüſtbogen ſind die Träger der Schalung, welche rechtwinkelig über dieſe Bogen hinwegzieht. Die Bohlen erhalten im Allgemeinen keine weitere ausgiebige Befeſtigung mit den Rüſtbogen. Dieſelben werden meiſtens nur an ihren Enden mit dünnen Drahtſtiften geheftet. Die Scheitelbohle wird unter Umſtänden mehrfach geheftet, da hierdurch ſchon ein ſeitliches Verſchieben der Rüſtbogen gegen einander mit vermieden wird. Die Latten werden jedoch zweckmäſsig mit Drahtſtiften aufgenagelt. Alle dieſe Befeſtigungen müſſen aber nach dem Ausrüſten, alſo nach dem Senken der Rüſtbogen mühelos in einfachſter Weiſe gelöst werden können. Zur Vermeidung einer unregelmäſsigen Geſtaltung der inneren Wölbfläche während der Ausführung muſs die Schalung ſo ſtark ſein, daſs dieſelbe ſich bei ihrer Belaſtung durch die Wölbſteine überall in bemerkbarer Weiſe nicht durchbiegt. Je nach dem Abſtande der Rüſtbogen von einander erhalten die 20 bis 25 cm breiten Bohlen eine Stärke von 3 bis 5 cm. Die Gewölbelatten beſitzen meiſtens einen quadratiſchen Querſchnitt, deſſen Seitenlänge zwiſchen 5 bis 15 cm ſchwankt.

Backſtein- und Bruchſteingewölbe, ſo wie auch ſchiefe Gewölbe erhalten meiſtens und auch zweckmäſsig eine geſchloſſene Bohlenverſchalung. Quadergewölbe jedoch werden ſachgemäſs auf einer Lattenſchalung ausgeführt. Hierbei unterſcheidet man die Schalung mit ſog. halben Latten (Fig. 330) und Schalung mit ſog. ganzen Gewölbelatten (Fig. 331). Bei der erſteren liegt eine Schallatte mitten unter jeder Lagerfuge von zwei zuſammentretenden Wölbſteinen. Dieſe Anordnung iſt beim Verſetzen der Steine vortheilhaft, geſtattet aber ein Beobachten der Lagerfugen von unten aus nicht, und daher iſt die zweite Art der Lagerung der Schallatten mitten unter jedem Wölbſtein, wonach ein genaues Verfolgen der geraden Richtung der Lagerfugenkanten von unten aus möglich wird, bei Quadergewölben vorzuziehen.

Fig. 330.

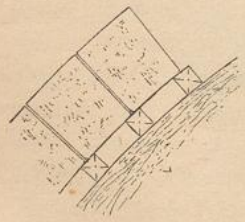


Fig. 331.



157. Einwölbung.

Auf der Schalung, gleichgiltig ob Bohlen- oder Lattenſchalung vorhanden iſt, wird die Theilung des Gewölbes durch Blei- oder Kohlenriſſe vor Beginn der Wölbung vorgenommen. Je ſorgfältiger dieſe Theilung ſtattgefunden hat, um ſo leichter und beſſer iſt die Ausführung des Gewölbes zu beſchaffen und zu überwachen.

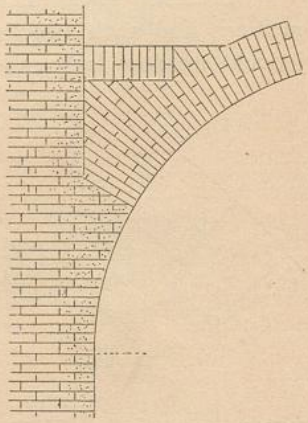
Die Einwölbung ſelbſt beginnt unter Beobachtung eines ſorgfältigen Annäſſens der Wölbſteine gleichzeitig vom Widerlager aus und geht regelmäſsig und in Bezug

zur Scheitellinie ſymmetriſch weiter bis zur letzten Schicht, der Schluſsſteinſchicht. Durch zweckmäſsige Vertheilung des zu benutzenden Wölbmaterials auf der Schalung, bezw. auf beſonderen an den Rüſtbogen geſchaffenen Belaſtungsböden, für welche die vorhandenen wagrechten Verbindungshölzer der Rippen als Unterlager dienen können, iſt man beſtrebt, die Ungleichmäſsigkeit in der Belaſtung und die hierdurch bewirkte Formveränderung der Gerüſt-Conſtruction während des Einwölbens thunlichſt zu beſeitigen.

Beim Einſetzen der Schluſsſteinſchicht iſt mit Vorſicht zu verfahren. Scharfes Eintreiben der Steine dieſer Schicht durch mit Erſchütterungen verknüpfte Stöſse iſt zu vermeiden, weil hierdurch nicht allein eine unangenehme Wirkung für das Lehrgerüſt, ſondern auch leicht ein Zerſpringen der Mörtelbänder oder gar einzelner Steine herbeigeführt wird. Bei guter und aufmerkſam vorgenommener Wölbungsarbeit bleibt für die Schluſsſteinſchicht die genau bemeſſene Lücke übrig, welche alsdann voll und regelrecht durch die zugehörigen Wölbſteine gefüllt werden kann. Häufig wird die Schluſsſteinſchicht erſt trocken vermauert, bezw. verſetzt und dann in den engen Fugen mit einem Cementmörtel vergoſſen, wobei zu beachten iſt, daſs dieſer Mörtel die Fugen vollſtändig füllt. Dieſes Verfahren iſt immerhin zu empfehlen, da hierdurch alle Erſchütterungen des Gewölbkörpers vermieden werden.

Nach der Vollendung des Gewölbes iſt immer noch eine Prüfung der Fugen auf der Rückenfläche deſſelben vorzunehmen. Etwa vorhandene offene Stellen derſelben ſind mit Mörtel zu dichten. Sehr zweckmäſsig erfolgt hierauf ein Uebergieſsen der ganzen Rückenfläche mit einem dünnflüſſigen Kalk- oder beſſer Cementmörtel, welche mit Hilfe eines Reiſigbeſens in einer dünnen Schicht ausgebreitet wird. Hierdurch werden etwa in den Fugen noch vorhandene Lücken gleichzeitig mit ausgefüllt. Nachdem dieſes geſchehen, iſt eine Ausmauerung der Gewölbezwickel, bezw. ein Ausfüllen derſelben mit Grobmörtel (Beton) vorzunehmen. Letztere Ausfüllung erſetzt jedoch die Ausmauerung nicht vollſtändig und ſollte deſshalb nur bei kleinen Gewölben in Anwendung kommen.

Fig. 332.



Zum Theile kann die Hintermauerung der Zwickel auch nach Fig. 332 gleich bei der Ausführung des Gewölbes im Wölbverbande mit hergeſtellt werden.

158. Zeit der Ausrüſtung.

Von jeher hat die Frage, wann die Ausrüſtung des geſchloſſenen Gewölbes, d. h. die Senkung der Rüſtbogen, bezw. die Entfernung derſelben geſchehen ſoll, eine Rolle geſpielt. Von einer Seite wird die ſofortige Ausrüſtung der Gewölbe nach ihrer Vollendung, von anderer Seite die Ausrüſtung nach einiger Zeit, welche dem Fugenmörtel bereits eine Erhärtung geſtattet hat, empfohlen.

Wird die Ausrüſtung ſofort nach der Vollendung des Gewölbes vorgenommen, ſo iſt der Mörtel noch weich; die Wölbſteine preſſen ſich an einander und bewirken, namentlich in der Nähe der Bruchfugen, ein Hervorquillen des Mörtels aus den Lagerfugen. Das Gewölbe vermag ſich bei ſonſt entſprechender Anordnung, durch den Mörtel wenig beeinflufst, allerdings in den Gleichgewichtszuſtand zu ſetzen; aber die wünſchenswerthe Eigenſchaft, daſs der in ſeinen Wölbſteinen durch Mörtel verbundene Wölbkörper ſich thunlichſt einem elaſtiſchen Bogen mit geſchloſſener Wand

nähern möge, wird hierdurch ohne Weiteres nicht hervorgerufen. Sind die Gewölbe nur mit Kalkmörtel gemauert, ſo iſt bei ſofortiger Ausrüſtung das Ausquillen der Fugen oft recht ſtark bemerkbar; weniger ſtark zeigt ſich dieſes Hervorquillen bei Verwendung von verlängertem Cementmörtel oder reinem Cementmörtel. Mit einer Verminderung und Zuſammenpreſſung der Mörtelbänder in den Lagerfugenflächen iſt offenbar eine Verkürzung der Bogenlänge und eine Formveränderung des Gewölbes, das ſog. Setzen deſſelben, verbunden, und es dürfte einleuchtend ſein, daſs, je mehr das Zuſammenpreſſen der noch weichen Mörtelbänder ſich geltend macht, deſto gröſser auch das Setzen oder die Senkung des Gewölbes ſein muſs. Solche Senkungen ſollen aber bei jedem Gewölbe auf das möglichſt geringſte Maſs beſchränkt werden, und ſomit folgt, daſs, zur Vermeidung ſtarker Zuſammenpreſſungen der Mörtelbänder, dem Mörtel ſelbſt eine gewiſſe Zeit zu ſeiner Erhärtung und zu ſeinem Verbinden mit den Wölbſteinen zu laſſen iſt. Daſs durch die innigere Verbindung des Mörtels mit den Wölbſteinen eine gröſsere Standfähigkeit erzielt werden muſs, lehren die Gewölbe früherer Zeit, welche einem Abbruche unterworfen werden muſsten. Konnte doch oft bei ſolchen Gewölben die Schluſsſteinſchicht ihrer ganzen Länge nach beſeitigt werden, ohne daſs die Gewölbſchenkel nach innen einſtürzten; konnten doch oft dieſe Gewölbſchenkel ſelbſt nur durch Zerſtören mittels kräftiger Sprengungsſtoffe beſeitigt werden! Die Wölbſteine waren vollſtändig verkittet; das Gewölbe war ein in ſich nahezu gleichartiger Körper; von einem Senken dieſes Körpers oder der Erſcheinung klaffender Fugen kann keine Rede mehr ſein.

Durch dieſe Geſichtspunkte gelangt man in logiſcher Weiſe zu dem Ergebniſs, daſs eine ſofortige Ausrüſtung derjenigen Gewölbe, bei welchen, wie bei Backſtein- oder Bruchſteingewölben, die Mörteleinfügung immer eine Bedeutung annimmt, weniger rathſam iſt, als die nach einiger Zeit nach Schluſs des Gewölbes vorgenommene Ausrüſtung. Der Gewölbkörper muſs eben durch die Verkittung mit Mörtel ſeine ihm urſprünglich angegebene Form in beſſerer Weiſe beibehalten, als ſolches bei ſofortiger Ausrüſtung möglich iſt, muſs weniger Senkung aufweiſen und muſs im Allgemeinen, weil die Annäherung an einen vollwandigen Bogen, abgeſehen davon, daſs derſelbe mehr oder weniger elaſtiſch iſt, in höherem Maſse erfolgt, in ſeiner Standfähigkeit eine Verbeſſerung erfahren. Wenngleich nun im Hochbauweſen in den meiſten Fällen das Entfernen der Wölbgerüſte in möglichſt kurzer Zeit wird angeſtrebt werden müſſen, da ſchnelles Vorwärtskommen im Bau oft angezeigt erſcheint, ſo möge unter Berückſichtigung aller Einflüſſe, welche, wie feuchte Luft, Windzug u. ſ. f., die Erhärtung der Mörtelbänder zurückhalten oder beſchleunigen können, doch darauf Bedacht genommen werden, ein zu frühzeitiges Ausrüſten der Gewölbe zu vermeiden. Wenngleich nun eine geraume Zeit verflieſsen muſs, bevor alle Mörtelbänder, die in ihren Rändern früher erhärten, als in ihrer Mitte, eine nahezu gleiche Preſsbarkeit und nahezu gleiche Bindefähigkeit erhalten, ſo kann man als Regel gelten laſſen, kleine Gewölbe erſt etwa nach 2 bis 3 Tagen, groſse Gewölbe nach 4 bis 6 Tagen und Gewölbe bis etwa 8 m Spannweite erſt nach 8 Tagen auszurüſten. Noch gröſsere Gewölbe laſſe man ſo lange als möglich unausgerüſtet. Bei geringer Fugenſtärke von 1 cm und gut und raſch bindendem Mörtel kann die Zeit bis zur vorſichtig vorzunehmenden Ausrüſtung herabgeſetzt werden.

Bei Quadergewölben tritt, wie ſchon früher erwähnt, die Mörtelung mehr in den Hintergrund. Demnach können ſolche Gewölbe ein ſofortiges Ausrüſten nach ihrer Vollendung ſchon leichter ertragen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In jedem Falle ist das Ausrüsten der Gewölbe in ruhiger, vorsichtiger Weise vorzunehmen, damit eine Schädigung sowohl des Gewölbes, wie auch der Gerüsttheile vermieden wird.

Im Allgemeinen zeigt ein jedes Gewölbe nach der Ausrüstung eine mehr oder weniger bemerkbare Senkung. Je sorgfältiger die Ausführung, je besser das benutzte Material war, um so geringer tritt solche Senkung auf.

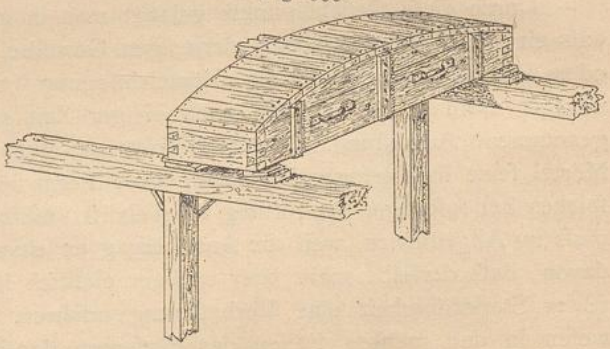
159. Senkung. Die Angaben über das muthmafsliche Senken der Gewölbe sind von vornherein im höchsten Mafse ungenau, so dafs dieselben besser unterbleiben.

Das über die Rüstung bei Tonnengewölben Gesagte findet im Wesentlichen bei allen solchen Gewölben oder besonderen Gewölbtheilen Anwendung, die nicht eine sog. Einwölbung aus freier Hand zulassen. Letzteres ist bei Gewölben mit sphärischen oder sphäroidischen Laibungsflächen der Fall. Bei diesen tritt dann die Unterstützung durch Lehrgerüste für die Einwölbung entweder gar nicht oder in bedeutender Einschränkung ein.

160. Rutschbogen. Bei Gewölben von kleinerer Spannweite, aber verhältnismäfsig bedeutender Länge wird unter Umständen auch eine Vereinfachung und billigere Herstellung des gesammten Lehrgerüstes durch Anwendung eines sog. Rutschbogens oder Schlittens erzielt.

Unter einem Rutschbogen (Fig. 333) versteht man einen kurzen, seitlich lothrecht, oben nach der Wölbungsform geschlossenen, unten aber offenen, hölzernen Kasten, welcher auf den stützenden Rahmen oder Holmen des Unterstützungsgerüstes nach und nach dann weiter vorgerückt werden kann, sobald über dem Rutschbogen ein kurzes Stück des Gewölbes ausgeführt ist. Selbstverständlich ist die richtige Aufstellung und das ruhige Lösen solcher Rutschbogen mit Hilfe von Doppelkeilen zu bewirken.

Fig. 333.



Damit die einzelnen Zonen, welche in ihrer Breite der Länge des Schlittens entsprechen, bei dem ganzen Gewölbe im Verband bleiben, ist die Stirn jeder Zone, die für sich im Gewölbeverband gemauert wird, auf Verzahnung zu ordnen. Die Länge des Schlittens darf höchstens 80 cm betragen, weil bei gröfserer Länge desselben die Ausführung der Wölbung für die vor dem Rutschbogen stehenden Maurer und auch das Vorrücken desselben unbequem wird.

Da nach der Vollendung jeder Zone bei der Anwendung des Rutschbogens eine sofortige Ausrüstung derselben eintreten mufs, so ist die Einwölbung sehr sorgfältig, unter Benutzung eines möglichst schnell bindenden und erhärtenden Mörtels auszuführen.

161. Ausführung neben einander gelegener Gewölbe. Liegen zwei oder mehrere Tonnengewölbe, bezw. Gewölbe überhaupt mit gemeinschaftlichen Widerlagern, mögen dieselben als Mauerwerkskörper, als Bogenstellungen oder als besondere eiserne Träger construirt sein, in Reihen oder sog. Jochen mit ihren Axen neben einander, so ist zu beachten, dafs diese Zwischenwiderlager an sich in den seltensten Fällen eine solche Stärke erhalten, um dem

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einſeitigen Schube mit Sicherheit Widerſtand leiſten zu können. Zur Vermeidung der Verſchiebungen dieſer Zwiſchenconſtructionen und zur Verhinderung des damit leicht eingeleiteten Einſturzes der Gewölbe iſt es immer am zweckmäſsigſten, die ſämmtlichen Gewölbejoche mit den nöthigen Wölbegerüſten vollſtändig zu verſehen und die Einwölbung in allen Jochen gleichzeitig, gleich liegend und gleichmäſsig fortſchreitend vorzunehmen. Kann man der gröſseren Koſten wegen eine ſolche vollſtändige Herrichtung der Lehrgerüſte für alle Joche nicht ausführen, ſo wird erſt nur für ein Joch entweder das ganze Gewölbe oder eine gewiſſe Länge deſſelben mit dem nothwendigen Lehrgerüſte verſehen und eingewölbt, dann das angrenzende Joch in gleicher Weiſe in Angriff genommen und ſo bis zur Vollendung der ganzen Anlage fortgefahren. In ſolchen Fällen iſt aber eine gründliche und kräftige Abſteifung der Zwiſchenwiderlager der nicht mit Lehrgerüſten verſehenen Joche oder Abtheilungen derſelben unbedingt erforderlich, da bei Vernachläſſigung dieſer Forderung leicht die Gefahr des Einſtürzens der fertigen Gewölbtheile eintreten kann.

162. Tonnengewölbe aus Backſteinen.

Die Ausführung der geraden Tonnengewölbe aus Backſtein erfordert in erſter Linie die Berückſichtigung eines richtigen Mauerverbandes in den einzelnen Schichten und eine beſtimmte Eintheilung der Wölbſchichten im Stirnſchnitte des Gewölbes, wonach ſtets eine ungerade Anzahl gleich groſser Abſtände für die einzelnen Wölbſcharen entſtehen ſoll. Jede Wölbſchicht erſcheint keilförmig; die Lagerfugen ſtehen ſenkrecht zur Wölblinie, ſelten rechtwinkelig zu einer beſtimmten Bedingungen gemäſs conſtruirten Mittellinie des Druckes.

Für den Mauerverband der Wölbſchichten gelten die für den Steinverband der Backſteinpfeiler mit rechteckiger Grundfläche gegebenen allgemeinen Regeln, wonach meiſtens zwei verſchieden angeordnete, neben einander liegende Wölbſchichten im Verbandwechſel auftreten. In Fig. 334 ſind für ein Stück eines $1\frac{1}{2}$ Stein ſtarken Tonnengewölbes die Verbände in den Schichten *1* und *2* dargeſtellt, wobei nament-

Fig. 334.

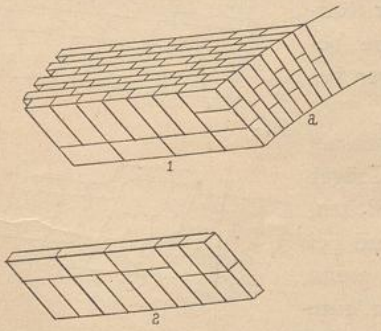
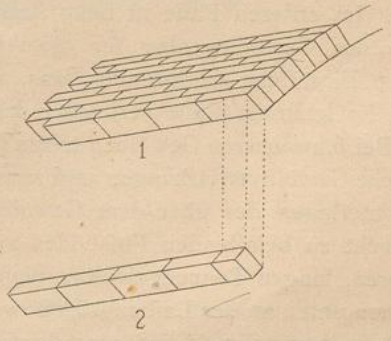


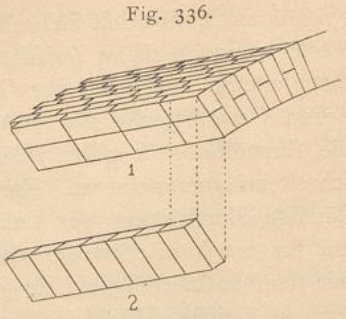
Fig. 335.



lich der Anfang der Wölbſchichten an der Stirnmauer des Gewölbes durch regelrechtes Einfügen von Dreiviertelſteinen zu beachten iſt. Die Stoſsfugen in Schnitten parallel zur Stirn ſind innerhalb des Gewölbkörpers *a* im Verbandwechſel ſtehende, concentriſch zur Wölblinie laufende Bänder, während dieſelben auf der Laibungs- und Rückenfläche im Verbandwechſel mit der Stirnlinie gleichlaufend ſind. Dieſe Einwölbungsart wird häufig als »auf Kuf gewölbt« bezeichnet. Bei einem nur $\frac{1}{2}$ Stein ſtarken, auf Kuf gemauerten Tonnengewölbe ſind alle Wölbſcharen Läuferſchichten, deren Stoſsfugen gegenſeitig um $\frac{1}{2}$ Steinlänge im Verbandwechſel ſtehen

(Fig. 335), während bei 1 ſtarken Tonnengewölben die neben einander liegenden Wölbſchichten nach Fig. 336 angeordnet werden.

Fig. 336.

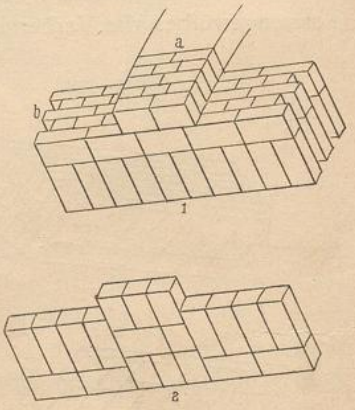


Bei Tonnengewölben, deren Stärke über $^1/_2$ Steinlänge beträgt, wird zur Erzielung keilförmiger Wölbſcharen in den meiſten Fällen ein Zuhauen der Backſteine erforderlich. Hierbei iſt auf der Rückenlinie des Gewölbes die Stärke der Wölbſchicht der Backſteindicke gleich zu laſſen, ſo daſs die Zuſchärfung der Steine nach der Laibungsfläche gerichtet iſt. Wollte man ſog. Lochſteine zum Einwölben verwenden, ſo iſt ein Zuhauen derſelben miſslich. Durchaus verwerflich iſt die Anordnung ſtark keilförmig genommener Mörtelbänder als Lagerfugen, welche dann an der Laibungsfläche dünn, an der Rückenfläche jedoch oft unverhältniſsmäſsig dick auftreten, um hierdurch ein Zuhauen der Wölbſteine zu umgehen. Am beſten iſt die Verwendung fertig gebrannter keilförmiger Barnſteine, deren Geſtaltung von vornherein dem auszuführenden Tonnengewölbe entſprechend gebildet wurde.

Bei ſehr ſtarken Tonnengewölben iſt die in Art. 149 (S. 218) erwähnte und näher beſprochene Einwölbung, beſtehend aus einzelnen Schalen oder Ringen, geeignet, um ein Zuhauen der Steine aller Wölbſchichten zu vermeiden.

Für weniger ſtarke oder auch für ſehr lange, ſonſt ſelbſt ſtärker bemeſſene Tonnengewölbe aus Backſtein iſt das Anbringen von Verſtärkungsrippen oder Gurten *a* (Fig. 337), welche bei kleineren ſchwächeren Gewölben in Abſtänden von 1,5 bis 2,0 m, bei ſtärkeren Gewölben in Weiten von 3,0 bis 4,0 m wiederkehren und mit dem Gewölbkörper *b* nach der Anordnung der Schichten *1* und *2* im Verbande ſtehen, zu empfehlen. Dieſe Rippen können entweder an der Laibungsfläche oder an der Rückenfläche vortreten. Im erſteren Falle iſt beim Aufſtellen der Rüſtbogen des Gewölbes aber für dieſe Gurte eine beſondere Einrüſtung nothwendig, was, als weniger bequem, im letzteren Falle vermieden wird.

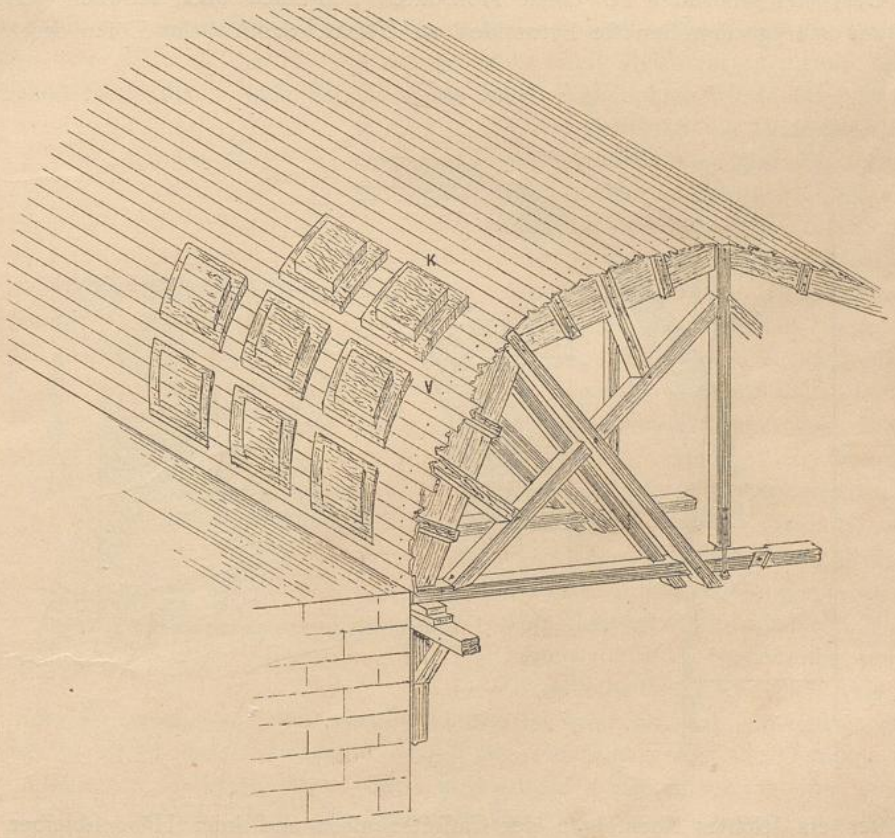
Fig. 337.



Bei ſchwächeren Gewölben treten dieſe Rippen als wirkliche Gewölbverſtärkungen und zuweilen als Träger von Unterlagen der über dem Gewölbe befindlichen, nur leicht zu belaſtenden Fuſsböden auf, während bei gröſseren, langen Tonnengewölben dieſe Rippen, wenn dieſelben unten an der Laibungsfläche vorſpringen, eine dem Auge angenehme Gliederung der Gewölbfläche bewirken und bei langen Gewölben mit wagrechter Scheitellinie den Eindruck verwiſchen, als ob dieſe Scheitellinie ſich nach unten geſenkt hätte. Hier möge bemerkt werden, daſs die in vielen Lehrbüchern aufgenommene und häufig wiederkehrende Angabe, wonach Tonnengewölbe bis zu 4 m Spannweite, welche keine weitere Belaſtung, als höchſtens diejenige der Fuſsböden gewöhnlicher Wohnräume aufzunehmen haben, nur $^1/_2$ Stein Stärke, bei gröſserer Spannweite Verſtärkungsrippen von 1 Stein Breite und Höhe in Entfernungen von 1,5 bis 2,0, bezw. 2,5 m und erſt bei 6 m Spannweite 1 Stein Stärke nebſt Verſtärkungsrippen von $1^1/_2$ Stein Höhe und Breite erhalten ſollen, mit gröſster

Vorſicht zu betrachten iſt. Bei derart ſchwach ausgeführten Tonnengewölben müſſen neben ausgezeichneter Arbeit vorzügliches Steinmaterial und vortrefflichſter Mörtel zur Geltung kommen, und dennoch treten in dieſen Tonnengewölben ſchon bei 4 m Spannweite leicht Verdrückungen, ſelbſt bei guter Ausmauerung der Zwickel, auf. Die Weite von 4 m wird beſſer auf höchſtens 3 m beſchränkt. Auch iſt zu berückſichtigen, daſs, wenn überhaupt über dem Gewölbe ein Fuſsboden hergerichtet iſt, derſelbe unter Umſtänden mit weit ſtärkerer Belaſtung verſehen wird, als ſolche bei der Bezeichnung »Belaſtung gewöhnlicher Wohnräume« urſprünglich angenommen

Fig. 338.



war. Die Decken-Conſtruction ſoll aber in jedem Falle bei der möglichſt ungünſtigſten Beanſpruchung ſtandfähig ſein, und hiernach iſt, wie früher gezeigt, die ſtatiſche Unterſuchung zu führen und die Gewölbſtärke ſowohl für die Gurte, wie für das Gewölbe ſelbſt zu beſtimmen.

Wird ein Backſteingewölbe nach der Widerlagsfuge hin verſtärkt, ſo ſoll dieſe Verſtärkung vom Scheitel bis zum Gewölbfuſse ſtetig und ohne ſchroffe Abſätze erfolgen, ſelbſt wenn hierbei ein mäſsiges Verhauen und Kürzen der Wölbſteine an der Rückenfläche des Gewölbes vorzunehmen iſt; denn hierdurch wird ein günſtigerer Verlauf der Mittellinie des Druckes erzielt.

Dem Einwölben mit Backſtein »auf Kuf« ſteht die allerdings mehr bei flach-

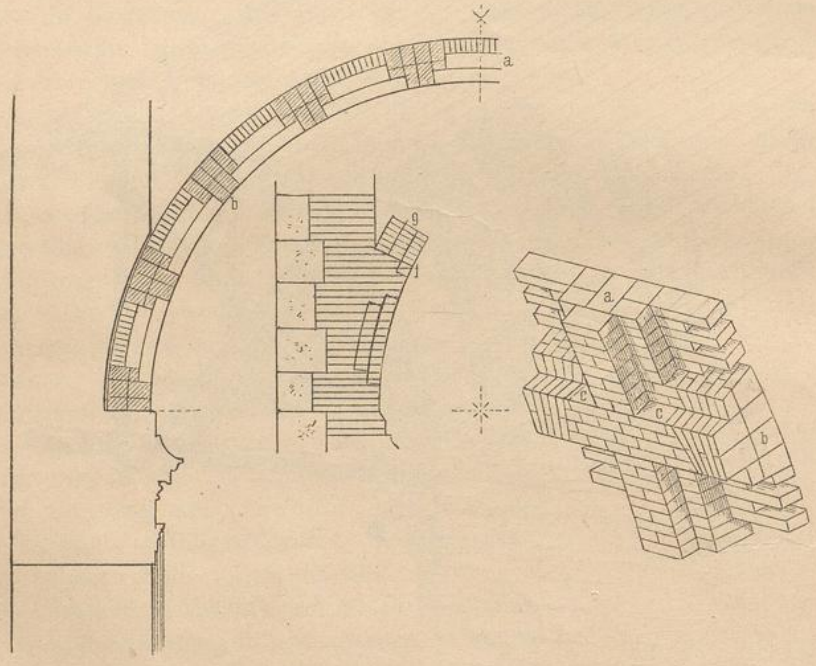
bogigen Gewölben angewandte Verbandart »auf Schwalbenſchwanz« oder »auf Stich« gegenüber. Dieſe ſoll bei den Kappengewölben näher beſprochen werden.

163. Caſſettirte Tonnengewölbe.

Um die Laibungsfläche eines Tonnengewölbes, abgeſehen von einem Schmuck durch Bemalung, ſchon in der Conſtruction ſelbſt architektoniſch zu gliedern und reicher zu geſtalten, verſieht man das Gewölbe mit künſtleriſch geformten und regelrecht geordneten, durch ſtaffelartig angelegte Umrahmungen begrenzte Füllungen, Vertiefungen oder mit ſog. Caſſetten.

Bei der Ausführung derartiger caſſettirter Tonnengewölbe werden nach Fig. 338 auf der vollſtändigen Verſchalung *V* der Wölbbogen, der Caſſettenanordnung entſprechend, Holzkaſten *K* befeſtigt, ſo daſs hierdurch die Grundlage für die Mauerung des Gewölbes geſchaffen iſt. Dieſe Holzkaſten ſind nach oben ſchwach verjüngt, alſo als mäſsig abgeſtumpfte Pyramiden zu bilden, damit beim Löſen des Wölb-

Fig. 339.



gerüſtes ein leichtes Nachfolgen der Caſſettenkaſten und kein Hängenbleiben derſelben im Gewölbe ſtattfinden kann. In ſehr zweckmäſsiger Weiſe können nach einem von *Moller* angegebenen Verfahren nach Fig. 339 die Querrippen *a* der Caſſetten als Stücke von Tonnengewölben, die Längsrippen *b* als Beſtandtheile des Gewölbes in der Anordnung eines die Querrippen verſpannenden ſcheitrechten Bogens ausgeführt werden, wobei das Zwiſchenſtück *c* ordnungsmäſsige Widerlagsflächen zu bieten hat. Der obere Abſchluſs der Caſſetten kann dabei in der Anordnung entweder derjenigen eines $^1/_2$ Stein ſtarken Tonnengewölbes oder eines $^1/_2$ Stein ſtarken ſcheitrechten Gewölbes entſprechen. In Fig. 339 iſt die erſte Einwölbungsart beibehalten.

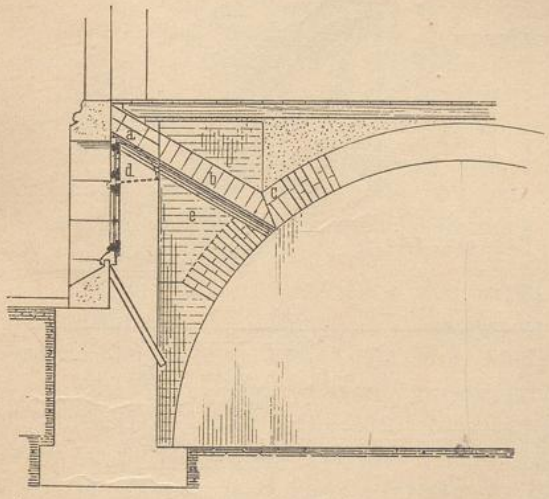
Soll ein caſſettirtes Tonnengewölbe bis zu einer um etwa 60 Grad zum Scheitellothe geneigten Fuge *f*, welche dann zweckmäſsig mit der unteren Fugen-

richtung der Caſſette *g* zuſammenfällt, ein wagrecht vorgemauertes Widerlager erhalten, ſo iſt, wie Fig. 339 zeigt, auch die tiefſte Caſſette in wagrechter Schichtenmauerung auszuführen.

164. Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Da bei Tonnengewölben an und für ſich die Pfeilhöhe ein beträchtliches Maſs erreicht, alſo die Conſtructionshöhe, einſchl. der Gewölbſtärke und der Höhe bis zur Oberkante des darüber befindlichen Fuſsbodens ziemlich groſs wird, da ferner die Stirnmauern der Tonnengewölbe häufig nicht für die Anlage von Oeffnungen zur Beleuchtung durch Tageslicht bei den mit Tonnengewölben zu überdeckenden Räumen benutzt werden können, ſo ſind bei beſchränkter Conſtructionshöhe derartige Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern des Gewölbes anzubringen. Dieſe Lichtöffnungen ſind bei den meiſten Anlagen in ihren oberen Begrenzungen weit über dem Gewölbefuſs abzudecken. Für die Breite dieſer Lichtöffnungen muſs im Tonnengewölbe freier Platz geſchaffen, alſo das Gewölbe ſelbſt gleichſam an dieſen Stellen ausgeſchnitten werden. Nach der Annahme dieſes Ausſchnittes würde aber für die Weite deſſelben ein Widerlager des angrenzenden Gewölbtheiles fehlen. Für dieſes Widerlager iſt ein ſelbſtändiger Gewölbtheil, der ſog. Kranz *c* (Fig. 340), in das Hauptgewölbe einzufügen, und ferner iſt zum oberen Abſchluſs der zwiſchen dem Gewölbekranze und der Lichtöffnung *d* verbleibenden Oeffnung ein beſonderes kleines Gewölbe, eine ſog. Stichkappe *b*, welche in das Hauptgewölbe geſteckt wird, herzuſtellen. Die an beiden Seiten der Oeffnung, dem ſog. Ohr, zu bewirkende Abſchlieſsung wird durch lothrecht aufgeführte, auf dem Hauptgewölbe ruhende, $\frac{1}{2}$ bis 1 Stein ſtarke Wangenmauern erzielt. Gröſstentheils gehören dieſe Wangen ſchon der Hintermauerung der Gewölbe in den Zwickeln an und ſind dann, wenn dieſe zu $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Gewölbhöhe ausgeführte Hintermauerung die Oeffnung des Ohres noch nicht ſchlieſsen ſollte, ſtets entſprechend höher zu führen. Iſt, wie in Fig. 340 angenommen, auch der Mauerbogen *a* der inneren Laibung der Lichtöffnung geneigt anzulegen, ſo folgt derſelbe in ſeiner Neigung meiſtens der Neigung der Stichkappe *b*.

Fig. 340.



Schon in Art. 133 (S. 161) iſt der Stichkappen bei Tonnengewölben gedacht worden.

Hinſichtlich der Ausführung dieſer Stichkappen iſt zu bemerken, daſs man Stichkappen, deren Laibungen einer Cylinder-, Kegel- oder Kugelfläche angehören, von einander zu unterſcheiden hat. Vorzugsweiſe werden die cylindriſchen oder kegelförmigen, ſeltener die kugelförmigen Stichkappen in Anwendung gebracht. Bei den erſten beiden kann die Axe der zugehörigen Cylinder- oder Kegelflächen eine wagrechte oder geneigte, nach unten oder nach oben gerichtete gerade Linie ſein. Bei kugelförmigen, bezw. Kugel-Stichkappen liegt der gröſste Kreis der Kappenfläche

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

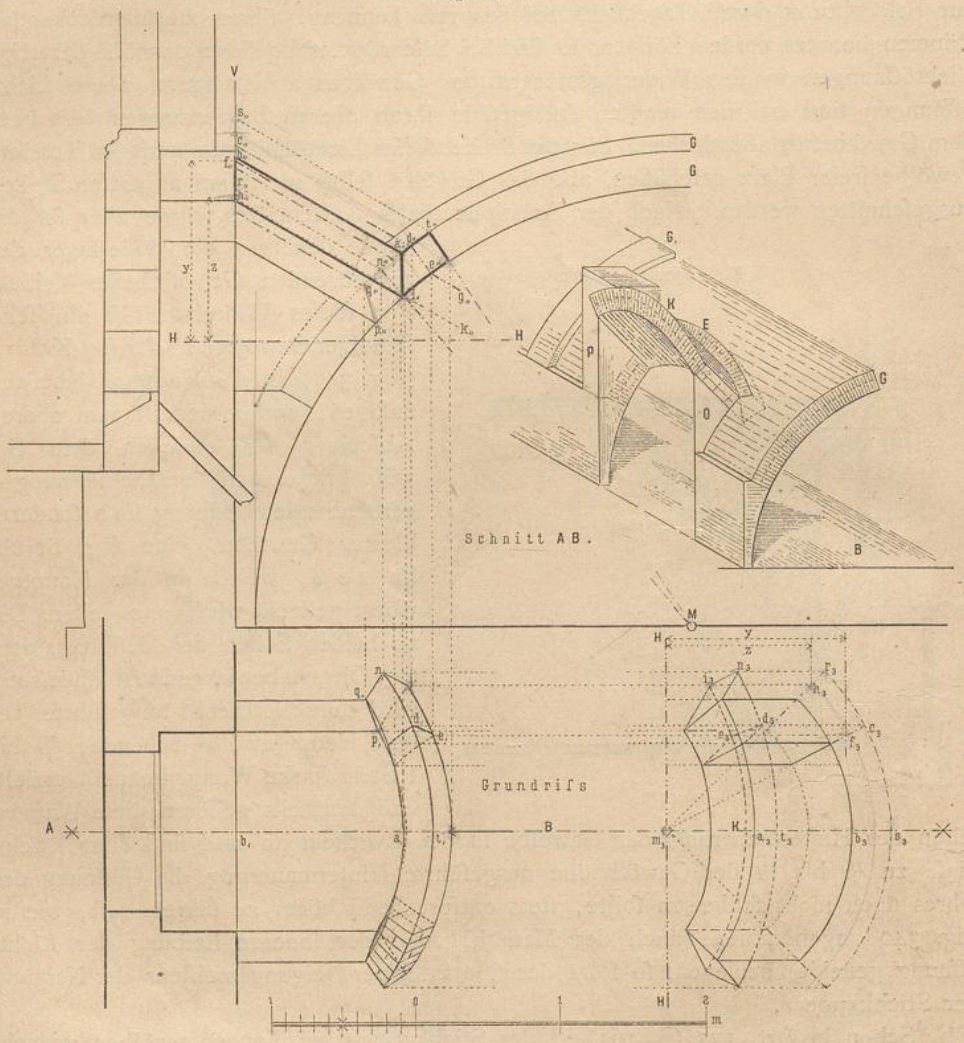
meiſtens und auch zweckmäſsig tiefer, als der tiefſte Punkt der inneren Kranzlinie an der Laibung des Hauptgewölbes.

165. Cylindriſche Stichkappen.

In Fig. 341 iſt die Ausmittelung einer cylindriſchen Stichkappe mit geneigter Axe nebſt dem Gewölbekranze, ſo wie ein Bild der ganzen Anordnung gegeben.

Im Bilde ſind B die Kämpferebene des Tonnengewölbes, G das Gewölbe, K die cylindriſche, nach dem Gewölbe geneigte Stichkappe und E der Kranz, welcher das Widerlager für das Gewölbe der Breite

Fig. 341.



der Stichkappe entſprechend bildet; gegen denſelben lehnt ſich die Stichkappe. O iſt das Ohr und P die Wange der Stichkappe; G_1 iſt ein Verſtärkungsgurt des Hauptgewölbes.

Die Leitlinie der Stichkappe iſt ein Kreisbogen mit dem Halbmeſſer z, deſſen Mittelpunkt in der wagrechten Ebene HH und der lothrechten Ebene V liegt. Derſelbe iſt in der Hilfsfigur K mit dem Halbmeſſer $m_3 d_3 = z$ geſchlagen. Die Rückenlinie iſt der mit dem Halbmeſſer $m_3 b_3 = y$ beſchriebene, durch b_3 gehende concentriſche Kreisbogen. Die Neigung der Cylinderaxe der Stichkappe iſt durch die dieſer Axe parallele Erzeugende $h_{,,} i_{,,}$ gegeben.

Setzt man im Schnitte AB, nachdem $b_{,,} a_{,,}$ parallel zu $h_{,,} i_{,,}$ bis zur Rückenlinie des Gewölbes gezogen iſt, die obere Stärke $a_{,,} t_{,,}$ des Kranzes ſo feſt, daſs die untere in der Wölbfläche liegende Stärke

deſſelben etwa 1 Stein, bei kleineren Gewölben ½ Stein beträgt, oder umgekehrt, daſs bei ſtark nach unten gerichteter Stichkappe $a_{,,} t_{,,}$ ſelbſt gleich dieſen Abmeſſungen genommen wird, ſo iſt durch die von $t_{,,}$ nach M geführte Gerade und durch die Linien $t'' a''$ und $a'' i''$, ſo wie ein Stück der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes, gleich der unteren Stärke des Kranzes, begrenzte Figur der in der lothrechten Ebene AB liegende Querſchnitt des Kranzes.

Legt man durch t'' eine Erzeugende $t'' s''$ parallel zu der Cylinderaxe, bezw. zu $h_{,,} i_{,,}$, ſo gehört dieſelbe einem ideellen Cylinder an, deſſen Leitlinie der um m_3 in der Hilfsfigur beſchriebene Kreisbogen mit dem Halbmeſſer $m_3 s_3$ iſt, wobei s_3 hier ſo hoch über HH liegt, wie die Lage von $s_{,,}$ im Schnitte AB über HH ergeben hat.

Sind ſomit für die Stichkappe und für den Kranz die nöthigen Cylinderflächen beſtimmt, ſo laſſen ſich mit Hilfe der darſtellenden Geometrie auf leichte Weiſe auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege die ſämmtlichen Begrenzungslinien des Kranzes, welche als Durchſchnittslinien der einzelnen cylindriſchen Flächen mit den unteren und oberen Flächen des Tonnengewölbes auftreten, in den drei hier gewählten Projectionen beſtimmen. Die von $p_,$ und $i_,$ auslaufenden Curven gehören der inneren Wölbfläche, die von $q_,$ und $n_,$ fortziehenden Begrenzungslinien gehören der Rückenfläche des Hauptgewölbes an.

Eben ſo läſſt ſich mittels der Projection der Erzeugenden, welche durch $f_{,,}$, bezw. f_3 und $c_{,,}$, bezw. c_3 gelegt ſind, eine Fuge $d_, e_,$ des Kranzes und danach die in der Figur für $d_, e_,$ angedeutete Fugenfläche beſtimmen, wobei nur zu beachten, daſs in der Hilfsfigur d_3 auf der durch n_3 gehenden Durchdringungslinie der Rückenlinie der Stichkappe und der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegt, während e_3 der Durchſchnittspunkt der durch f_3, bezw. $f_{,,}$ gehenden Erzeugenden mit der inneren Wölblinie iſt und ſich auf der durch $i_,$ laufenden Kranzlinie befindet. Die Lagerfugen des Kranzes gehören lothrechten Ebenen an, deren Spuren in der Hilfsfigur als $m_3 r_3$ und $m_3 c_3$ gezeichnet ſind.

Der Kranz an ſich wird aus Backſtein unter Wahrung der ſo beſtimmten Lagerfugen auf Verband gemauert und gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe, wobei auf der Schalung die inneren durch p_1 und i_1 gehenden Durchdringungslinien vorgezeichnet ſind, ausgeführt. Die Wangen für die Stichkappen und danach die Stichkappen ſelbſt können nach Vollendung des Hauptgewölbes oder gleichzeitig mit demſelben hergerichtet werden.

Für die Stichkappen wird in den meiſten Fällen eine Verſchalung, welche ſich unmittelbar auf die Schalung des Hauptgewölbes legt und die an ihrer Schmieglinie der inneren Durchdringungslinie p_1 folgt, angebracht. Bei untergeordneten Anlagen wird ſtatt ſolcher Schalung für die Laibungsfläche der Stichkappe auch hin und wieder ein oben entſprechend abgeformter, zwiſchen den aufgeführten Wangen liegender Erdhügel, aus thonigem Sande beſtehend, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht und dieſer als Lehre für die Stichkappe benutzt.

166. Kegelförmige Stichkappen.

Bei den kegelförmigen Stichkappen ſind gleichfalls zuerſt die Durchſchnittslinien der Laibungs-, bezw. Rückenflächen des Hauptgewölbes mit den entſprechenden Kegelflächen der Stichkappe zu ermitteln.

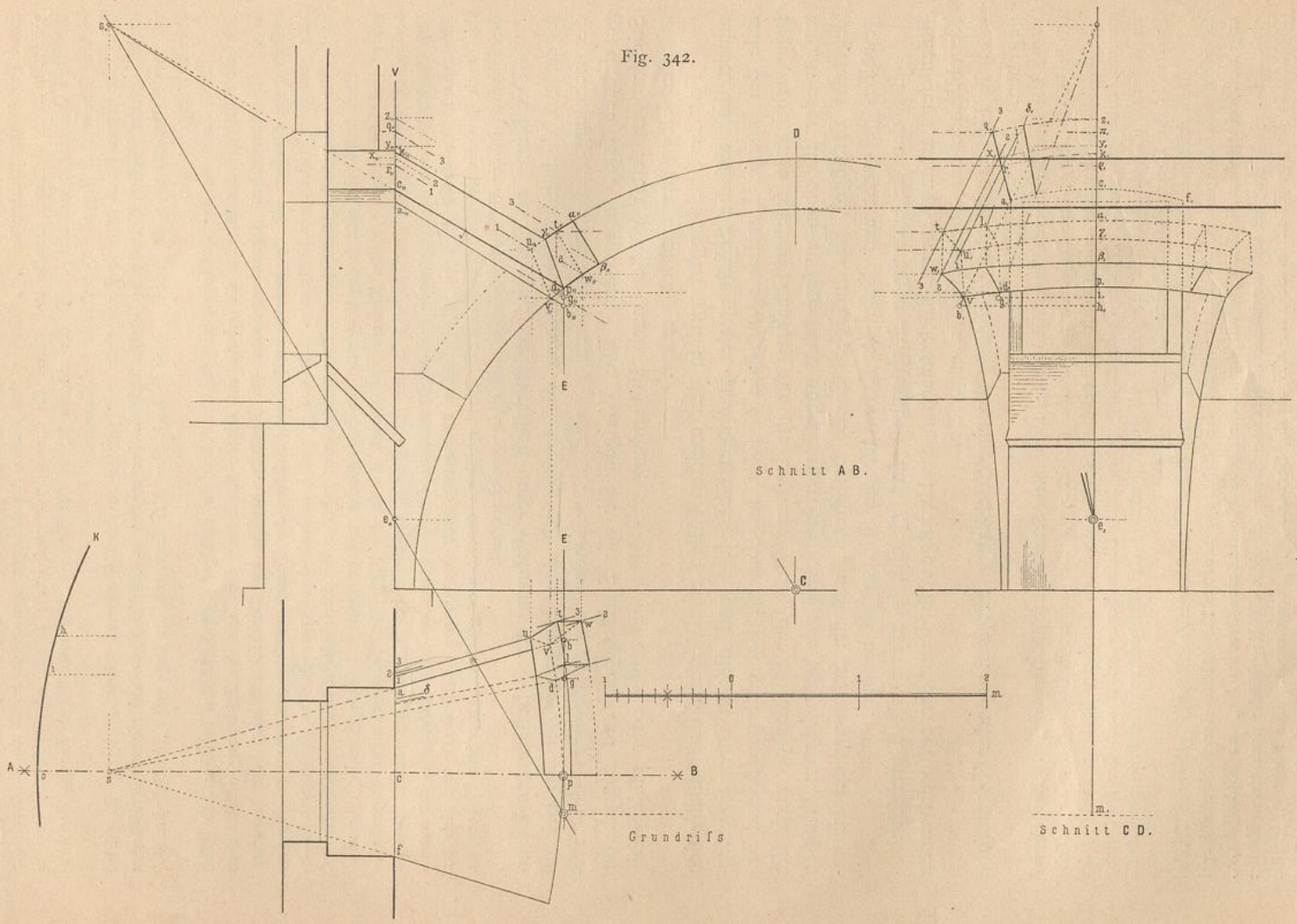
In Fig. 342 iſt die Zeichnung für eine Stichkappe mit anſteigender Kegelfläche gegeben.

Die Axe der inneren Kegelfläche iſt im lothrechten Schnitte AB die Gerade $s_{,,} m$. Ihre Grundriſs-Projection iſt sp; ihre Projection im Schnitte CD iſt $s_, m_,$. Das weitere Feſtlegen dieſer Kegelfläche iſt durch die Beſtimmung erfolgt, daſs die höchſte Seitenlinie derſelben durch den höchſten Punkt $c_,$ des inneren Laibungsbogens $a_, c_, f_,$ der Fenſteröffnung gehen ſoll. Dieſer Bogen beſitzt nach der Darſtellung im Schnitte CD den auf der Kegelaxe gelegenen Punkt $e_,$ als Mittelpunkt; die Projection dieſes Punktes in der Ebene V des Schnittes AB iſt $e_{,,}$.

Betrachtet man dieſen Bogen $a_, c_, f_,$ als Theil eines in der lothrechten Ebene V gelegenen Kreiſes, ſo erſieht man, daſs die für die Laibungsfläche der Stichkappe benutzte Kegelfläche einem ſchiefen Kegel angehört, bei welchem die Axe $s_{,,} m$ mit der in der Ebene V enthaltenen Geraden $V e_{,,}$ den Winkel $V e_{,,} s_{,,}$ einſchlieſst. Jede parallel mit der Ebene V geführte Ebene ſchneidet die Kegelfläche nach einem Kreiſe. Die höchſte Erzeugende iſt im Schnitte AB als die Gerade $s_{,,} c_{,,} p_{,,}$ eingetragen. Der Punkt $p_{,,}$ gehört der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes an, iſt alſo ein gemeinſchaftlicher Punkt des Hauptgewölbes und der inneren Laibungsfläche der Stichkappe.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 342.



Eine durch $p_{,,}$ geführte lothrechte Ebene E liefert als Kegelfchnitt einen Kreis mit dem Halbmeffer $m p_{,,}$. Ein Stück diefes Kreifes ift im Grundrifs AB als Bogen K niedergelegt. Der Mittelpunkt desfelben ift die wagrechte Projection des Punktes m, alfo der Punkt p, und hiernach ift $po = p_{,,} m$ zu nehmen. Die für die Stichkappe in Frage kommende tiefffte Seitenlinie des Kegels ift als Strahl sb im Grundrifs gekennzeichnet. Derfelbe mufs durch den tiefften Punkt a, der Bogenlinie $a, c, f,$, der Fenfteröffnung, gehen. Da der Punkt a im Grundriffe diefem tiefften Punkte a, zukommt, fo ift die Lage der bezeichneten tiefften Erzeugenden in ihrem Beginne durch sa beftimmt. Diefe Erzeugende trifft, gehörig erweitert, den in der Ebene EE gelegenen Kegelkreis im Punkte b. Die Ordinate diefes Punktes ift mit Hilfe des Kreifes K als bh auszumeffen. Trägt man diefe Länge bh von m als $m b_{,,}$ in der Lothrechten EE ab, fo ift $s_{,,} b_{,,}$ die Aufrifs-Projection der gefuchten Erzeugenden. Diefelbe durchftöfst die Laibungsfläche des Tonnengewölbes in einem Punkte, deffen Projectionen $v_{,,}$ und v auf den entfprechenden Kegelerzeugenden, deren Projectionen in $s_{,,} b_{,,}$ und sb find, nunmehr leicht gefunden werden können. Durch $v_{,,} p_{,,}$ und vp zieht die innere tiefffte Durchdringungslinie der Kegelfläche der Stichkappe mit der cylindrifchen Fläche des Hauptgewölbes.

Um noch irgend einen Punkt diefer Durchdringungslinie in feinen Projectionen zu erhalten, ift im Grundrifs die beliebig genommene Kegelerzeugende sg gezogen, die Ordinate gi des Endpunktes diefer Seitenlinie im Kreife K von m nach $g_{,,}$ im Schnitte AB abgetragen und die Gerade $s_{,,} g_{,,}$ geführt. Diefelbe liefert den Durchftofspunkt $d_{,,}$ im Aufrifs, wonach d im Grundrifs auf sg und $d_{,}$ im Schnitte CD beftimmt werden kann.

Die Rückenfläche der Stichkappe gehört gleichfalls einem fchiefen Kegel an, deffen Axe mit der Axe des Kegels der inneren Laibungsfläche zufammenfällt und deffen Leitlinie ein in der Ebene V gelegener Kreis ift, welcher dem Grundkreife des erften Kreifes concentrifch ift. Nimmt man die rechtwinkelig auf $c_{,,} p_{,,}$ abzufetzende Stärke der Stichkappe als Abftand der beiden parallelen Geraden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB z. B. gleich 1 Steinlänge an, fo ift $e_{,,} k_{,,}$ der Halbmeffer des Grundkreifes für den Kegel der Rückenfläche der Stichkappe. Im Schnitte CD ift der mit dem Halbmeffer $e, k, = e_{,,} k_{,,}$ um e, befchriebene Bogen $k, r,$ ein Stück diefes Grundkreifes. Daffelbe ift durch eine den Punkt a, und die Kegelaxe enthaltene Ebene begrenzt, welche die Ebene V in einer Geraden fchneidet, die im Punkte a, fenkrecht zum Bogen $a, c, f,$ fteht. Der Punkt r, ift ein Grenzpunkt. Jede durch die beiden Kegelflächen gemeinfchaftlich angehörende Axe geführte Ebene fchneidet diefelben in Seitenlinien, welche vermöge der concentrifchen Grundkreife und der Annahme des Parallelismus der höchften Erzeugenden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ unter einander gleichfalls parallel find.

Verbindet man im Schnitte AB die Punkte $\gamma_{,,}$ und $p_{,,}$ durch eine gerade Linie, nimmt man $p_{,,} \beta_{,,}$ oder, bei ftark geneigten Stichkappen, $\gamma_{,,} \alpha_{,,}$ gleich der zu wählenden Breite des Kranzes, z. B. bei Backfteingewölben je nach der gröfseren oder kleineren Spannweite der zufammentretenden Gewölbe zu 1, bezw. $^1/_2$ Steinlänge an, zieht man darauf $\beta_{,,} \alpha_{,,}$ bezw. $\alpha_{,,} \beta_{,,}$ fenkrecht zur Wölblinie des Hauptgewölbes, fo ift $\alpha_{,,} \beta_{,,} p_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB der lothrechte Schnitt des Kranzes.

Die Punkte $\beta_{,,}$ und $\alpha_{,,}$ find wiederum als Punkte weiterer Kegelflächen anzufehen, deren Axen mit der urfprünglichen Kegelaxe zufammenfallen und welche eben fo beftimmt werden können, wie folches bei der Kegelfläche des Rückens der Stichkappe gezeigt ift. Zieht man $\beta_{,,} y_{,,,}$ bezw. $\alpha_{,,} z_{,,}$ parallel zu $c_{,,} p_{,,}$ fo find $e_{,,} y_{,,,}$ bezw. $e_{,,} z_{,,}$ die Halbmeffer der zugehörigen Grundkreife. Diefelben find, fo weit die erweiterte Normale ar im Schnitte CD folches bedingt, ftückweife als $y, x,$, bezw. $z, q,$ gezeichnet. Nach diefen Ermittelungen läfft fich nun die Anfchlufsfläche des Kranzes im Hauptgewölbe näher angeben.

Die Projectionen diefer Fläche find im Grundriffe als $uvwt$, im Schnitte AB als $u_{,,} v_{,,} w_{,,} t_{,,}$ und im Schnitte CD als $u, vw, t,$ dargeftellt. Von diefen Eckpunkten der Fläche find bereits v, $v_{,,}$ früher beftimmt.

Um die Punkte u, $u_{,,}$, u, zu erhalten, ift das Folgende zu bemerken. Nach dem Schnitte CD gehört der Punkt u, der durch $b, a, r,$ gehenden Ebene und ferner einer durch r, gehenden Erzeugenden 11 an, welche, wie oben bemerkt, zur Seitenlinie $s, a,$ des urfprünglichen Kegels der Laibungsfläche der Stichkappe parallel fein mufs. Im Schnitte AB entfpricht dem Punkte r, der Punkt $r_{,,}$. Zieht man $r_{,,} u_{,,}$ parallel zu $s_{,,} a_{,,,}$ fo ift $u_{,,}$ auf der Rückenlinie des Hauptgewölbes gefunden; führt man im Schnitte CD die Gerade 11 parallel zu $s, a,$, fo liegt $u_{,}$, entfprechend $u_{,,,}$, auf diefer Geraden. Die rechtwinkelige Entfernung des Punktes r, vom Lothe $s, e,$ ift gleich $\rho, r_{,}$. Trägt man im Grundriffe die Strecke $c\,1 = \rho, r,$ ab und zieht man hier wiederum 11 parallel zu sa, fo ift der Punkt u, entfprechend $u_{,,,}$ auf 11 zu finden. In gleicher Weife ift für die übrigen Punkte zu verfahren. Die Punkte $t_{,}, t_{,,,}, t$ gehören den Erzeugenden 22 an, für welche zunächft der Punkt x, im Schnitte CD mafsgebend wird. Die Punkte $w_{,}, w_{,,,}, w$ kommen den Erzeugenden 33 zu, für welche alsdann der Punkt q, im Schnitte CD grundlegend wird. Da alle Punkte der zu beftimmenden Fläche in der durch die Kegelaxe gehenden

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

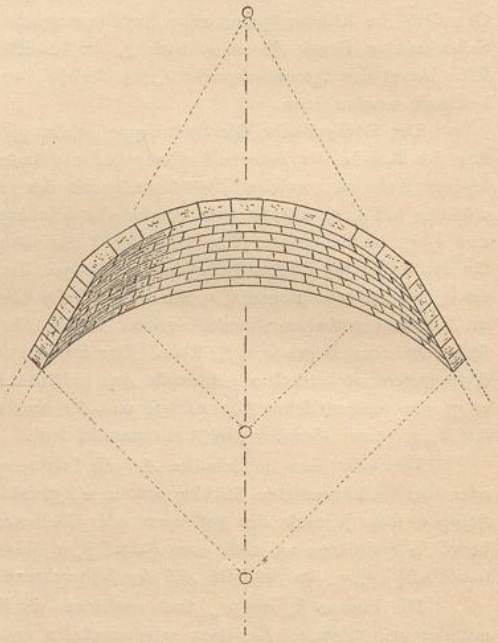
Ebene, welche die Gerade $a,r,$ enthält, liegen müſſen, ſo ſind die Erzeugenden 22, bezw. 33 parallel den zugehörigen Seitenlinien $s,a,$, bezw. $s,,a,,$, bezw. sa.

Für eine beliebige Lagerfugenfläche, welche im Schnitte CD durch $d,l,$ bezeichnet iſt, gilt dieſelbe Art der Beſtimmung.

Führt man im Schnitte CD eine beliebige der Ebene $a,q,$ benachbarte Ebene durch die Kegelaxe, ſo zieht durch den betreffenden Schnittpunkt dieſer Ebene mit dem Kreisbogen $a,c,f,$ eine Erzeugende $s,g,,$ zu welcher dann alle übrigen Erzeugenden, die für die Eckpunkte der Lagerfugenfläche in Betracht gezogen werden müſſen, parallel zu legen ſind. Für den Punkt $l,$ iſt alſo die Erzeugende δ_1 parallel zur Geraden $s,g,$. Für die übrigen Punkte der Lagerfugenfläche iſt die Zeichnung nicht weiter durchgeführt, da das Nöthige bei der Anſatzfläche des Kranzes mitgetheilt iſt.

Die kegelförmigen Stichkappen ſind vermöge ihrer Verbreiterung nach dem Hauptgewölbe zu für die Beleuchtung der mit ſolchen Decken verſehenen Räume durch Tageslicht günſtig. Ihre Einwölbung erfolgt bei Backſteingewölben zweckmäſsig auf Schwalbenſchwanz oder nach dem ſog. *Moller*'ſchen Verbande (Fig. 343), wobei die Lagerfugen in Ebenen parallel zur Stirn der Stichkappe liegen, weil bei der Einwölbung auf Kuf durch das Divergiren der Lagerfugenflächen in den meiſten Fällen ein zu ſtarkes Verhauen der Backſteine durch das Zuſpitzen der Wölbſteine vom Kranze nach der Fenſteröffnung hin eintreten müſſte.

Fig. 343.



167. Kugel-Stichkappen.

Bei den Kugel-Stichkappen gehört die Laibungsfläche einem beſtimmten Theile einer Kugelfläche an. Fig. 344 giebt die Anlage einer Kugel-Stichkappe an der Schildmauer eines Tonnengewölbes mit dem zugehörigen Kranze im Grundriſs, Aufriſs und in einem Meridionalſchnitte MM. Die Anſatz- oder Widerlagsflächen des Kranzes müſſen an den Stirnmauern liegen. Daſſelbe gilt auch für ſolche cylindriſche oder kegelförmige Stichkappen. Würde bei dieſen Anlagen der Kranz ſein Widerlager im Hauptgewölbe entfernt von der Schildmauer erhalten, ſo wären mehrere Schichten deſſelben ohne Widerlager; auch könnten die verbleibenden Seitenöffnungen der Stichkappe nicht durch Wangenmauern, welche auf den widerlagsloſen Schichten ruhen müſſten, geſchloſſen werden. Unſchön und nicht empfehlenswerth iſt ferner ein allmähliches Emporziehen der Wölbſcharen nach der Abſchluſslinie einer in der Stirnmauer befindlichen Licht- oder Thüröffnung.

Bei der in Fig. 344 gegebenen Kugel-Stichkappe iſt in erſter Linie die Beſtimmung des Kranzes von Bedeutung. Der Mittelpunkt der Kugel liegt in der Ebene der Stirnmauer. Die Kugelfläche der Stichkappe beſitzt in ihrem gröſsten Kreiſe den durch $o,,$ im Aufriſs geführten Abſchluſsbogen einer Maueröffnung, deſſen Mittelpunkt $m,,$ gleichzeitig die lothrechte Projection des Mittelpunktes der Kugel iſt. Dieſem entſprechen die Punkte $m,$, bezw. m_3 im Grundriſſe und im Schnitte MM. Die durch $m,,m_3$ gelegte wagrechte Ebene HH enthält ebenfalls den gröſsten Kreis der Kugel. Erweitert man den durch $o,,$ gehenden Kreisbogen, ſo ſchneidet derſelbe die innere Wölblinie des Hauptgewölbes im Punkte $f,,$. Die wagrechte Projection dieſes Durchſtoſspunktes iſt $f,$, und die lothrechte Projection deſſelben im Schnitte MM iſt f_3.

Nimmt man im Aufriſs $o_{,,} p_{,,}$ gleich der Stärke der Kugel-Stichkappe, ſo iſt dieſe in der Meridianebene $V V$ gelegen, bezeichnet alſo die normale Stärke dieſer Kappe. Der mit $m_{,,} p_{,,}$ und $m_{,,}$ geſchlagene Kreis trifft die Rückenlinie des Hauptgewölbes in $g_{,,}$, wonach weiter $g_{,}$ im Grundriſs und g_3 im

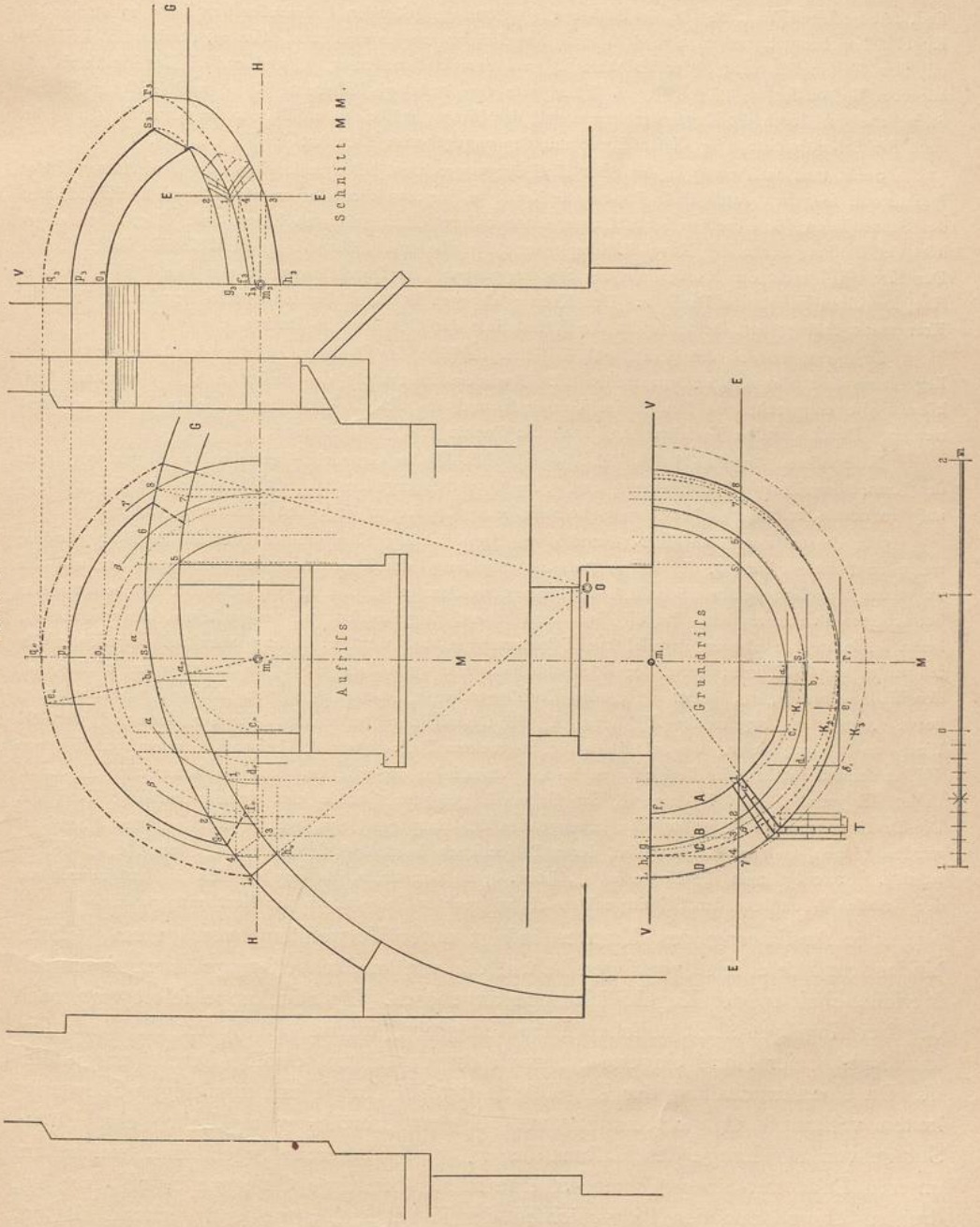


Fig. 344.

Schnitte MM beſtimmt werden können. Auſserdem ergeben die geraden Linien $f_{,} g_{,}$, $f_{,,} g_{,,}$, $f_3 g_3$ eine Begrenzungslinie vom Anſatze des Kranzes.

Setzt man im Aufriſs $g_{,,} i_{,,}$ oder $f_{,,} h_{,,}$ als Stärke des Kranzes feſt und zieht man $i_{,,} h_{,,}$ normal zur Wölblinie, hier alſo radial durch O, ſo ergiebt ſich in $f_{,,} g_{,,} i_{,,} h_{,,}$ die lothrechte Projection der An-

fatzfläche des Kranzes. Die Projectionen derfelben im Grundrifs und im Schnitt MM find danach leicht zu ermitteln.

In ganz gleicher Weife ift die zweite Anfatzfläche bei G zu zeichnen.

Um für die Kranzlinie weitere Punkte, welche in Fig. 344 durchweg mit $1, 2, 3, 4$ bezeichnet find, feft zu legen, find die für die Punkte $o_{,,}$, $p_{,,}$ und $q_{,,}$ geltenden Halbmeffer der ihnen zukommenden Kugelflächen benutzt, um im Grundrifs diefe Kugelflächen zu kennzeichnen. Um $m_{,}$ ift der Halbkreis $K_{,}$ mit dem Halbmeffer $m_{,,}o_{,,,}$, der Halbkreis K_2 mit dem Halbmeffer $m_{,,}p_{,,}$ und endlich der Halbkreis K_3 mit dem Halbmeffer $m_{,,}q_{,,}$ gefchlagen. Führt man eine beliebige lothrechte Ebene nach EE parallel zur Stirnebene VV durch die Kugel-Stichkappe und das Hauptgewölbe, fo erhält man im Grundrifs der Reihe nach die Schnittpunkte $\alpha\,\beta\,\gamma$ diefer Ebene mit den angegebenen Kugelkreifen K_1, K_2, K_3.

Sucht man im Aufrifs in der Spur HH der wagrechten Mittelpunktsebene die Projectionen diefer Punkte auf, fo gehen durch diefe Punkte die Kreife α, β, γ, welche offenbar die lothrechten Projectionen der Schnittlinien der einzelnen Kugelflächen mit der durch EE geführten Ebene find. Der Kreis α gehört der Laibungsfläche der Kugel-Stichkappe an; derfelbe durchftöfst die innere Wölblinie im Punkte 1. Der Kreis β kommt der Rückenlinie der Stichkappe zu; fein Durchftofspunkt mit der Rückenlinie des Hauptgewölbes liefert den Punkt 2. Der Kreis γ dagegen ift der äufserften oberen Begrenzungslinie des Kranzes angehörig; derfelbe fchneidet die Rückenlinie des Gewölbes im Punkte 4.

Zieht man endlich den Strahl $4\,O$, fo liefert derfelbe den Punkt 3, welcher der äufserften unteren Begrenzungslinie des Kranzes zuzuweifen ift. Nachdem im Aufrifs die Punkte $1, 2, 3, 4$ ermittelt find, können die entfprechenden Punkte im Grundrifs und im Schnitt MM in einfacher Weife beftimmt werden. Durch daffelbe Verfahren find auch die Punkte $5, 6, 7, 8$ gefunden.

Nach diefen Angaben laffen fich die mit $A\,B\,C\,D$ im Grundrifs bezeichneten Begrenzungslinien des Kranzes ermitteln. Die Punkte $s_{,}$ und $r_{,}$ im Grundrifs ergeben fich mit Hilfe der im Schnitt MM auf den um m_3 mit $m_3\,p_3$, bezw. $m_3\,q_3$ befchriebenen Kreisbogen liegenden Punkten s_3 und r_3.

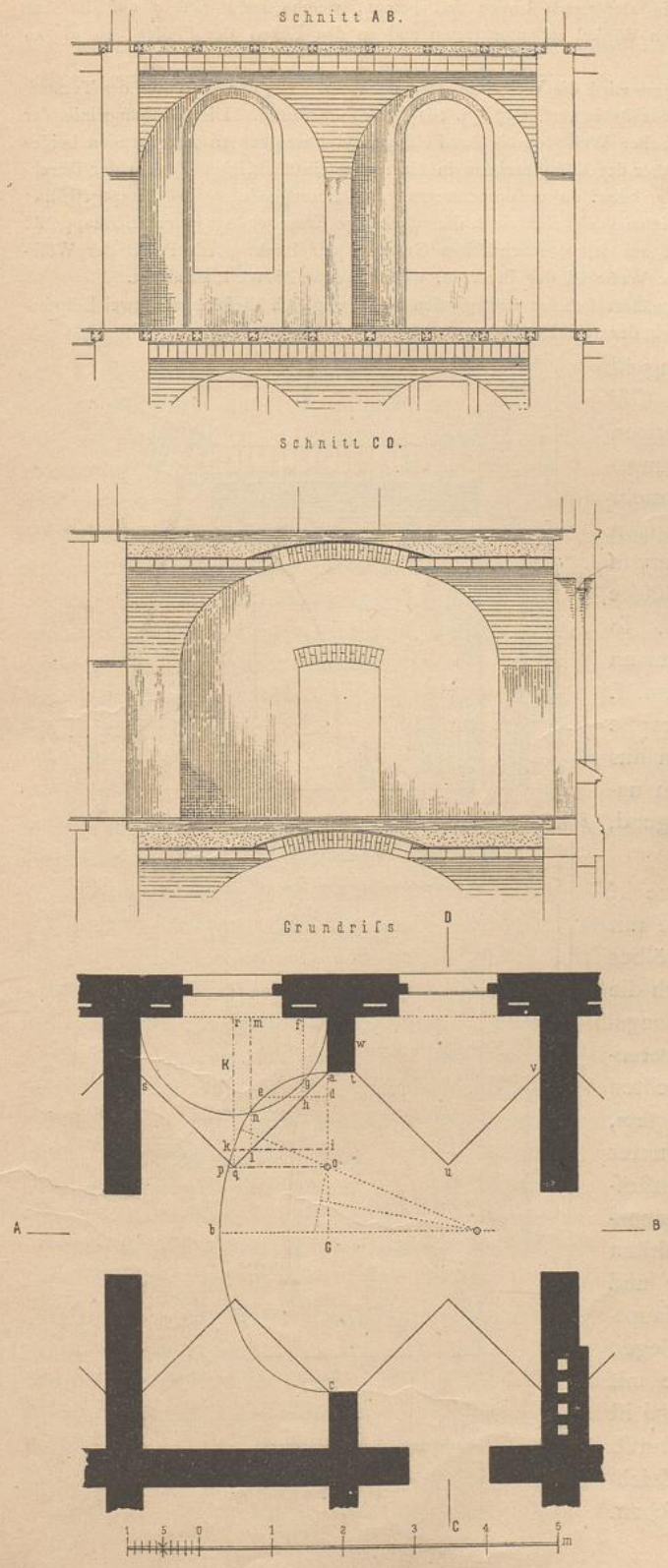
Für die auf den Kranzlinien A und B im Grundrifs liegenden, am weiteften in das Hauptgewölbe tretenden Punkte $a_{,}$ und $b_{,}$ ift der im Aufrifs angegebene, durch die Axe des Hauptgewölbes und die wagrechte Kugelaxe geführte Schnitt $O\,m_{,,}$ benutzt, welcher in $a_{,,}$ und $b_{,,}$ die lothrechte Projection diefer betrachteten Punkte ergiebt. Da diefelben zunächft auf Kugelkreifen, welche entftehen, wenn durch $a_{,,,}$ bezw. $b_{,,}$ lothrechte Ebenen parallel zur Stirnmauer geführt werden, fodann aber auf wagrechten Erzeugenden der Wölblinie, bezw. der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegen, fo hat man nur nöthig, mit den Halbmeffern $m_{,,}a_{,,,}$ bezw. $m_{,,}b_{,,}$ die Kreisbogen $m_{,,}c_{,,,}$ bezw. $m_{,,}d_{,,}$ zu fchlagen, die Punkte $c_{,}$ bezw. $d_{,}$ auf den Kugelkreifen $K_{,}$, bezw. $K_{,,}$ im Grundrifs zu beftimmen, durch $c_{,}$, bezw. $d_{,}$ parallele Linien zu VV zu führen, um auf diefen die wagrechten Projectionen $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ der am weiteften von VV entfernten Punkte der bezeichneten beiden Kranzlinien zu erhalten. Für die Kranzlinien D und C bildet die parallel zu VV durch δ_1 im Grundrifs gezogene Gerade eine gemeinfchaftliche Tangente. Die Berührungspunkte liegen auf den Erzeugenden des Hauptgewölbes, welche durch $a_{,,}$ und $b_{,,}$ geführt werden können, und auf Kugelkreifen, deren Projectionen im Aufrifs fich mit $b_{,,}d_{,,,}$ bezw. $a_{,,}c_{,,}$ decken würden. Erweitert man die Lothe in $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ im Grundrifs, fo ergeben fich in den dadurch auf der Geraden δ_1 entftehenden Schnittpunkten die wagrechten Projectionen der Berührungspunkte.

Die Ausführung des Kranzes erfolgt unter Verwendung von gutem, fchnell bindendem Mörtel mit Lagerfugenflächen, die, wie im Grundrifs angedeutet, fämmtlich Meridianfchnitten der Kugel-Stichkappe angehören. Die Stichkappe felbft wird nach der bei Kugelgewölben üblichen Einwölbungsart, wovon erft fpäter die Rede fein kann, aus freier Hand eingewölbt, nachdem das Hauptgewölbe bereits ausgerüftet ift. Da eine Ausfchalung der Kugelfläche der Stichkappe mit unnöthigen Schwierigkeiten verknüpft ift, fo benutzt man bei der Einwölbung als Lehre eine dünne Stange von der Länge des Halbmeffers $m_{,,}o_{,,}$ der inneren Kugelfläche, welche am unteren Ende mit einem Haken in eine in $m_{,,}$ befeftigte Oefe greift, alfo um $m_{,,}$ drehbar ift und nun den Ringfchichten der Kugel-Stichkappe entfprechend als fog. Leier umhergeführt werden kann, fo dafs mit Leichtigkeit durch das obere Ende der Leier die richtige Stellung und Anordnung der Lager- und Stofsfugen für die Wölbfteine der Stichkappe zu treffen ift.

Soll die Kugel-Stichkappe gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe ausgeführt werden,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 345.



ſo gebraucht man als Lehre für die Stichkappe einen aus lehmigem Sand entſprechend geformten, auf der Schalung des Hauptgewölbes ruhenden Kern, auf welchem die Wölbſteine der Stichkappe in concentriſch lagernden Ringſchichten mit radialen Lager- und Stoſsfugen vermauert werden.

168. Auflöſung der Widerlager in Pfeiler und Blenden.

Die Anordnung von Stichkappen bei Tonnengewölben bietet im Hochbauweſen, abgeſehen von der dadurch bewirkten ſachgemäſsen Anlage von Licht- und Thüröffnungen, mannigfache Vortheile. So iſt durch dieſelben eine Auflöſung der Widerlager in einzelne kräftigere Pfeiler mit dazwiſchen liegenden Niſchen oder Blenden und hiermit eine bedeutende Verminderung der ſonſt für ein gröſseres Tonnengewölbe erforderlichen, oft ſehr ſtarken Widerlagsmaſſen möglich. Eine ſolche Auflöſung der Widerlager in Pfeiler und Blenden zeigt Fig. 345 für ein Tonnengewölbe, deſſen Wölblinie ein aus drei Mittelpunkten beſchriebener Korbbogen *abc* iſt.

Das eigentliche Widerlager dieſes Gewölbes ſind die bei *a* und *c* verhältniſsmäſsig ſchmal, aber entſprechend ſtark angelegten Pfeiler. Zwiſchen dieſen und den Querſcheidemauern, welche übrigens auch als eben ſolche Pfeiler angelegt werden können, befinden ſich die Blenden. Dieſe ſind mit geraden Stichkappen überwölbt, welche ſich unmittelbar in das Hauptgewölbe einfügen.

In der Zeichnung ſind die unteren Durchdringungslinien in ihrer

wagrechten Projection von vornherein als gerade Linien feſt gelegt, welche im Punkte q auf der Axe der Stichkappen unter einem rechten Winkel zuſammentreten und an den Ecken der Pfeiler, ſo wie an den Scheidemauern endigen.

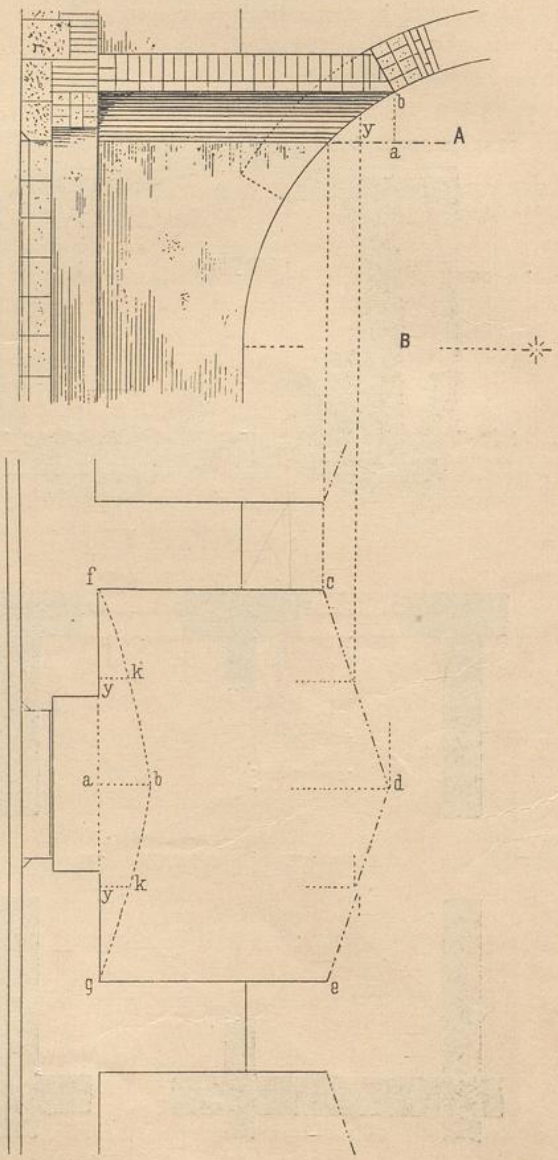
Durch dieſe beſtimmte Annahme wird die Wölblinie der Stichkappen von der Wölblinie des Tonnengewölbes abhängig gemacht, wie bereits in Art. 133 (S. 161) erwähnt wurde. Die Wölbungslinie der Stichkappe K ergiebt ſich in einfacher Weiſe durch das Feſtlegen von wagrechten Erzeugenden beider Gewölbe, welche in gleicher Höhe über der Kämpferebene in einem gemeinſchaftlichen Punkte der Durchdringungslinie über den Geraden aq, bezw. qs zuſammentreten. Die Erzeugende de des Hauptgewölbes ergiebt auf aq den Punkt h; durch dieſen Punkt zieht auch die zugehörige Erzeugende hf der Stichkappe K.

Nimmt man $de = fg$, ſo iſt aus leicht erſichtlichen Gründen der Punkt g ein Punkt der Wölblinie der Stichkappe K. In gleicher Weiſe iſt der Punkt n, wobei $mn = ik$ wird, ermittelt.

Die ſo gezeichnete Wölblinie nähert ſich im vorliegenden Falle, obgleich dieſelbe aus zwei Ellipſentheilen zuſammengeſetzt iſt, ſehr ſtark der Halbkreisform.

Die Art der Einwölbung iſt aus den Schnitten AB und CD erſichtlich. Hätten die Stichkappen nach den vorderen Begrenzungsmauern der Blenden, die nunmehr als Schildmauern für dieſe Kappen auftreten und in Folge hiervon meiſtens nur einer mäſsigen Stärke bedürfen, aufſteigen ſollen, ſo ändert dieſe Anordnung nichts an der Lage der Punkte g, n u. ſ. f. Die Erzeugenden der Stichkappe ſind dann von dieſen Punkten aus nicht mehr wagrecht, ſondern unter gleichen Winkeln anſteigend, dabei aber einander parallel.

Fig. 346.



Liegt die Kämpferebene A der Stichkappe höher, als die mit B bezeichnete des Hauptgewölbes (Fig. 346), und ſollen dennoch die Durchdringungslinien der Laibungsflächen der beiden zuſammentretenden Gewölbe in ihrer wagrechten Projection zwei gerade Linien ſein, ſo werden der Winkel cde, unter welchem dieſelben zuſammenſtoſſen, und die Lage ihrer Ausgangspunkte c und e von der gewählten Pfeilhöhe ab der Stichkappe und der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes abhängig. Das Feſtlegen der Leitlinie der Stichkappe mit den beiden Zweigen fb und gb iſt z. B. für irgend einen Punkt k mittels der Ordinate y aus der Zeichnung ohne Weiteres zu erſehen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

169. Tonnengewölbe aus Bruchſteinen.

Wird zur Ausführung der Tonnengewölbe ausſchliefslich Bruchſteinmaterial benutzt, ſo iſt vor allen Dingen auf ein möglichſt feſtes, lagerhaftes, alſo plattenartiges Material zu ſehen. Damit daſſelbe den für ein Gewölbe vorgeſchriebenen conſtructionellen Anforderungen entſpricht, iſt für die einzelnen Steine ein mechaniſches Zurichten geboten, das ſich darauf erſtreckt, daſs die einer und derſelben Wölbſchar zuzuweiſenden Steine thunlichſt gleiche Dicke und gleiche keilförmige Form durch die Bearbeitung bekommen, da nur hierdurch die Lagerfugenkanten nach dem Vermauern der Steine eine parallele Richtung mit der Gewölbaxe und die Mörtelbänder der Lagerfugen eine möglichſt gleiche Stärke erhalten.

Ebenfalls ſind Steine von einer Längen- und Breitenabmeſſung unter 20 cm, wenn nicht eine beſondere, dem Gufsmauerwerk ähnliche Ausführung ſtattfinden ſoll, von der Verwendung zur Gewölbemauerung auszuſchlieſsen. Die Art der Einwölbung mit Bruchſteinen hat ſich hinſichtlich der Verbandanordnung der einzelnen Steine und der Wölbſchichten möglichſt den für Backſteingewölbe niedergelegten Regeln anzupaſſen. Die einzelnen Wölbſteine ſollen thunlichſt durch die ganze Gewölbſtärke reichen, die Steine ſelbſt normal zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen und die Stofsfugen rechtwinkelig zu den Lagerfugen gerichtet ſein. Für die Verbindung der Steine iſt ein guter verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel zu nehmen. Zeigen ſich auf dem Rücken des Gewölbes einzelne Lücken in den Steinen oder gar ſtärkere Fugen, ſo ſind dieſelben ſorgſam zu verzwicken; überhaupt iſt dahin zu ſehen, daſs ein Bruchſteingewölbe in ſeinem Körper ein gut geſchloſſenes Mauerwerk zeigt, welches in ſeinem Gefüge ſich den Backſteingewölben ſo weit als irgend möglich nähert.

Bruchſteingewölbe werden zweckmäſsig nicht unter 30 cm Stärke ausgeführt. Bei gröſseren Gewölben muſs natürlich die Stärke durch ſtatiſche Unterſuchung ermittelt werden. Hierbei kommt nun aber weſentlich die Feſtigkeit des zu Gebote ſtehenden Materials in Betracht.

Weniger feſte Bruchſteine liefern ein Gewölbe, welches dieſelbe Stärke, wie ein gleich geformtes und belaſtetes Backſteingewölbe, unter Umſtänden eine noch gröſsere Stärke erfordert, während feſtere Bruchſteine eine Stärke erhalten können, welche der Stärke von guten Quadergewölben ſich nähert. Bruchſteine, die geringere Feſtigkeit als gut gebrannte Backſteine beſitzen, ſollen zu Gewölben nicht verbraucht werden. Unter Berückſichtigung dieſer Verhältniſſe kann die Stärke der Bruchſteingewölbe nach den auf S. 185 u. 186 mitgetheilten Gleichungen 142 u. 145 ermittelt werden, indem man die dadurch erhaltenen Abmeſſungen gleichſam als untere und obere Grenzwerthe betrachtet, wobei jedoch von Fall zu Fall in Rückſicht auf die Beſchaffenheit des Wölbmaterials eine Erhöhung, bezw. eine etwaige Herabminderung ſolcher Stärke ſorgfältig erwogen werden muſs.

In Frankreich und hin und wieder auch in Deutſchland ſind Tonnengewölbe nur aus kleineren unbearbeiteten Steinen hergerichtet, welche an den Stirnen der Gewölbe von einem aus guten Bruchſteinen oder Quadern angefertigten, kurzen Gewölbeſtück begrenzt ſind. Die Gewölbe beſtehen alsdann aus über einander gelagerten Schalen. Die erſte Steinſchicht wird unter Benutzung von Cementmörtel auf der Schalung des Gewölbes ſo gebildet, daſs die möglichſt ebenen Flächen der Wölbſteine auf der letzteren gut lagern. Auf dieſe erſte noch nicht vollſtändig erhärtete Schale kommt die zweite u. ſ. f., bis das Gewölbe die erforderliche Stärke erhalten hat. Das Ganze wird dann mit einem flüſſigen Cementmörtel übergoſſen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ein ſolches Gewölbe kann auch ſeiner Länge nach ſtreckenweiſe in Zonen von der unteren bis zur oberen Schale ausgeführt werden.

Nach dem Erhärten dieſes Baukörpers, welcher einem ſog. Gufsgewölbe ähnlich iſt, entſpricht derſelbe einem vollwandigen Bogen mehr, als einem eigentlichen Gewölbe.

170. Tonnengewölbe aus Quadern.

Das edle, vornehme und dauerhafte Quadermaterial iſt zur Ausführung von Tonnengewölben ſelbſtredend ſehr geeignet. Seiner oft grofsen Koſten halber findet daſſelbe im Hochbauweſen jedoch eine nur gering zu nennende Verwendung, da weſentlich nur bei Prachtbauten auf Quadergewölbe Rückſicht genommen werden dürfte.

Bei der Ausführung von Gewölben aus Quadern, auch Haufteine, Schnittſteine, Werkſtücke genannt, iſt im Allgemeinen für die Verbandanordnung der Lager- und Stofsfugenkanten das bei Backſteingewölben Geſagte maſsgebend. Die einzelnen Quader der Wölbſcharen greifen durch die ganze Gewölbſtärke. Nichts ſteht einer reicheren Ausſchmückung der in der Laibung des Gewölbes auftretenden unteren Flächen der Wölbquader durch Ornamente, Caſſettirung u. ſ. w. entgegen, und bei ſorgſamer, einem gut und regelrecht gewählten Fugenſchnitte entſprechender Bearbeitung der einzelnen Steine erſcheint ein Quadergewölbe als eine beachtenswerthe Conſtruction.

Beim Verſetzen der Quader auf der Schalung des Gewölbes bedient man ſich derſelben Werkzeuge und Hilfsmittel, welche beim Quadermauerwerk überhaupt Verwendung finden. Eine Eintheilung der Schichten und ein Vorzeichnen der Lager- und Stofsfugenkanten auf der Schalung der Lehrbogen bietet für das richtige Verſetzen der Quader den nöthigen Anhalt. Für die Mörtelgabe bei Quadergewölben iſt bereits in Art. 150 (S. 218) das Nähere angegeben.

171. Schneckengewölbe.

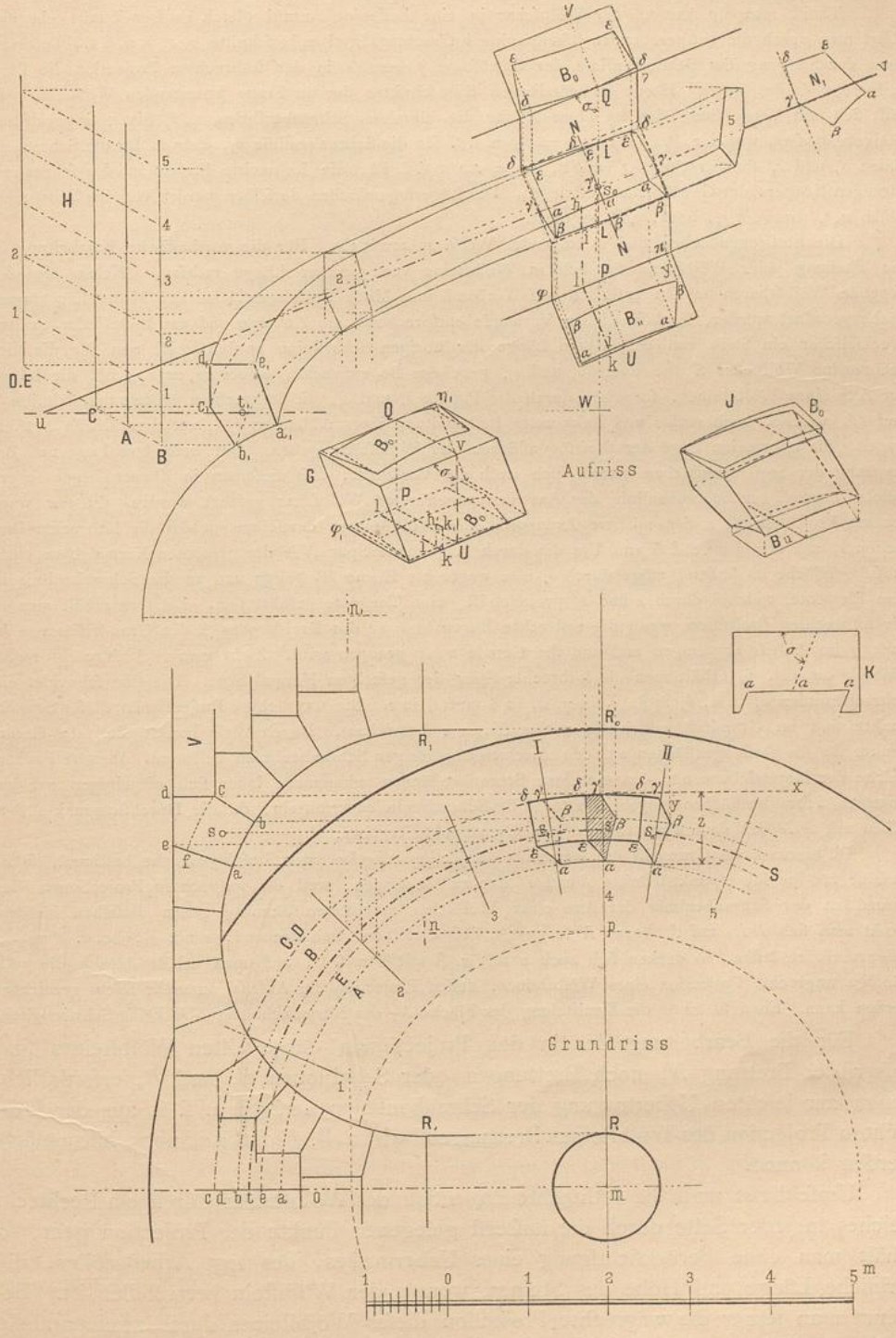
Geſtaltet ſich der Fugenſchnitt bei einem geraden Quader-Tonnengewölbe im Allgemeinen in einfacher Weiſe, ſo ſind doch für die in Art. 131 (S. 160) bereits erwähnten, ſchraubenförmig ſteigenden Tonnengewölbe oder Schneckengewölbe und für die in Art. 134 (S. 164) angeführten ſchiefen Gewölbe hinſichtlich des Steinfugenſchnittes und der Formen der als Wölbſteine zu bearbeitenden Werkſtücke beſondere Ausmittelungen erforderlich, welche zur Beſtimmung der Brettungen oder Schablonen dienen, wonach die Zurichtung der Steine vorgenommen werden mufs.

Unter Bezugnahme auf Fig. 274 (S. 161), in welcher die Anordnung der Lager- und Stofsfugenkanten der Wölbſteine für ein Schneckengewölbe nur angedeutet wurde, iſt in Fig. 347 die Ausmittelung eines Werkſtückes für ein derartig ſchraubenförmig anſteigendes Gewölbe vorgenommen.

Die Erzeugende des Schneckengewölbes ſei der in der lothrechten, durch den Mittelpunkt m der vollen Spindel (Mönch, Mäkler) geführten Ebene RR_0 gelegene, hier im Grundriſs niedergeklappte Halbkreis R, R_1 mit dem Mittelpunkte n. Die wagrechte Projection der als Schraubenlinie auftretenden Gewölbeaxe iſt der um m mit dem Halbmeſſer mp beſchriebene Kreis, während die wagrechten Projectionen der ſchraubenförmigen Kämpferlinien die mit den Halbmeſſern mR_0, bezw. mR beſchriebenen Kreiſe ſind. Unter Berückſichtigung der Steigung, welche der Schraubenlinie der Gewölbaxe gegeben werden ſoll, liegen für jede durch m tretende lothrechte Ebene die Punkte R_1, n, R_1 in einer wagrechten Linie.

Beſtimmt man im lothrechten Mittelpunktsſchnitte V die Gewölbetheilung, ſo möge $abcde$ die lothrechte Stirnfläche irgend eines Wölbſteines ſein. Betrachtet man den Punkt s_0, welcher hier der Schwerpunkt des Flächenſtückes $abcf$ iſt, als einen Punkt der ſchraubenförmigen Axe desjenigen Wölbkörpers, dem die ſämmtlichen Steine mit gleichen lothrechten Stirnſchnitten angehören, ſo iſt die wagrechte Projection der Axe dieſer Wölbſchar der um m beſchriebene Kreis Sst. Mit Hilfe der Projection der

Fig. 347.


Aufriss
Grundriss
H
D.E
A
B
C
G
J
K
W
U
V
N
L
P
Q
R
R1
Ro
Ru
S
X
I
II
CD
E
m
0 1 2 3 4 5 m

Fläche $abcde$, bezogen auf die Ebene RR_0, kann die gesammte wagrechte Projection der bezeichneten Wölbschar vervollständigt werden, wie solches durch die um m beschriebenen Kreise A, B, C, D, E geschehen ist.

Theilt man die Axe tS der Wölbschar in eine beliebige Anzahl gleich grosser Theile ein und führt man durch die entsprechenden Theilpunkte lothrechte Mittelpunktsschnitte $o, 1, 2$ u. s. f., bestimmt man der Steigung der Schraubenlinie der Gewölbaxe p gemäss in der lothrechten Projection die Lage a, b, c, d, e, f, des in der Ebene O befindlichen Stirnschnittes der in Frage kommenden Wölbschar, so lässt sich mit Verwendung des im Plane K für die einzelnen Schraubenlinien a_1, b_1 bis e_1 angegebenen Steigungsmasses, wobei z. B. $B1 = 12 = 23$ u. s. f. für die Schraubenlinie b_1, eben so für die Schraubenlinien d_1 und e_1 die Strecke $D1 = B1$, $12 = 12$ u. s. f. ist, die lothrechte Projection des schraubenförmigen Körpers der Gewölbschar fest legen. Die Lagerfugenflächen derselben werden von den Schraubenlinien a, e_1, bezw. b, c_1, bezw. c, d, begrenzt.

Die Stossfugenflächen sind in folgender Weise zu ermitteln. Für die vortheilhafte Bearbeitung ist die Theilung jeder Wölbschar für sich in Wölbsteine von gleicher Länge rathsam. Neben einander liegende Wölbscharen müssen natürlich auf Verband mit Mitte Stossfugenfläche auf Mitte Lagerfugenfläche geordnet werden, so dass, diesem Verbande entsprechend, am Anfange und am Ende jeder zweiten Wechselschar ein Stein von der halben Länge der übrigen Scharsteine entsteht. Ist nun für die hier genommene Wölbschar S die durch s_1 und s_{11} gegebene Bogenstrecke, wobei $ss_1 = ss_{11}$ ist, die Länge der Axe eines Wölbsteines, so gehen durch die Punkte s_1 und s_{11} die lothrechten Mittelpunktsschnitte I und II, welche, nach rechts und links unter Beibehaltung ihres Abstandes $s_1 s_{11}$ auf dem Kreise S übertragen, die allgemeine Lage der Stossfugenflächen der Wölbschar geben. Die besondere Lage und Begrenzung der Stossfugenflächen richtet sich nach der Vorschrift, dass dieselben in Ebenen liegen sollen, welche normal zur Schraubenlinie der Axe der zugehörigen Wölbschar geführt werden. In der wagrechten Projection ist s der mittlere Axenpunkt des Wölbsteines; demselben gehört die lothrechte Projection s_0 auf dem Lothe LL an. Um die durch s_0 gehende Spur NN der gesuchten Normalebene einer Stossfugenfläche zu finden, möge durch t_1 eine wagrechte Ebene W gelegt und an die Schraubenlinie in dem Elemente, welches durch s und s_0 projicirt ist, eine Tangente geführt sein. Letztere erhält man in der lothrechten Projection, wenn die erstreckte Bogenlänge st des Kreisbogens S des Grundrisses von W nach u im Aufriss abgetragen und nun die Gerade us_0v gezogen wird. Zieht man NN durch s_0 rechtwinkelig zu uv, so erhält man die lothrechte Spur der gesuchten Normalebene. Dieselbe schneidet die Schraubenlinien a_1 in α, b_1 in β_1, c_1 in γ, d_1 in δ und e_1 in ε. Die wagrechten Projectionen dieser Schnittpunkte sind im Grundriss gleichfalls mit $\alpha, \beta \ldots \varepsilon$ bezeichnet. Durch diese Punkte sind die Grenzpunkte für die Stossfugenflächen auf den einzelnen zugehörigen Schraubenlinien bestimmt. Weitere Punkte, welche der Normalebene und den einzelnen Schraubenflächen zukommen, lassen sich mit einigen auf den einzelnen Schraubenflächen eingezeichneten Hilfs-Schraubenlinien ermitteln, da die Durchstosspunkte derselben mit NN sich dann eben so, wie jene Grenzpunkte ergeben.

Ist hiernach im Grundriss die wagrechte Projection $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$ einer Stossfugenfläche bestimmt, so ist dieselbe für die Mittelpunktsschnitte I und II nur zu übertragen, weil die wagrechten Projectionen aller normal zu der Schraubenlinie der Axe einer Wölbschar gerichteten Schnitte genau dieselben bleiben. Denkt man sich RR_0 auf I, bezw. II so gelegt, dass dieselben, sich deckend, s mit s_1, bezw. s mit s_{11} zusammenfallen lassen, so decken sich auch α mit α, β mit β u. s. f., und man erhält danach die vollständige wagrechte Projection eines Wölbsteines, dessen Projection im Aufriss nunmehr leicht gezeichnet werden kann. Eben so bietet die Ermittelung der Fläche N_1 des Normalschnittes NN keine Schwierigkeit.

Für die Bearbeitung des in den Projectionen dargestellten Wölbsteines sind ausser der Brettung N_1 noch Brettungen oder Schablonen B_o und B_u erforderlich, denen zur leichten Uebertragung der Schraubenlinien $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ u. s. f. aus der lothrechten Projection des Wölbsteines Brettungen, wie z. B. K für $\alpha\alpha$, noch hinzugefügt werden können.

Umschliesst man die lothrechte Projection des Wölbsteines durch ein Rechteck, welches in jeder Seite durch die äussersten gelegenen Punkte der Projection geht, so erhält man ohne Berücksichtigung eines Uebermasses, des sog. Arbeitszolles, die wirkliche Länge und Höhe des Steines, woraus der Wölbstein herzustellen ist. Begrenzt man ferner die wagrechte Projection dieses Wölbsteines durch zwei parallele Linien, welche, rechtwinkelig zu $R_o R$ geführt, durch die äussersten Punkte dieser

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Projection ziehen, ſo erhält man im Abſtande Z derſelben die wirkliche Breite des Werkſtückes.

Hätte man die Abmeſſungen unter Beifügung eines Arbeitszolles entſprechend vergröſsert, ſo würde im Grundgedanken an der Ausmittelung der Schablonen nichts geändert werden. Denkt man ſich die für die Brettung B_u maſsgebende Seitenfläche U niedergeklappt, ſo beſtimmt ſich der Punkt β derſelben in folgender Weiſe. Man ziehe die Lothrechte $\beta\pi$, errichte in π zur Linie P die Senkrechte $\pi\beta$, entnehme aus dem Grundriſs die Ordinate y der wagrechten Projection β und trage $\pi\beta = y$ ab; alsdann iſt β auf der Ebene U ein Punkt der Brettung B_u. In derſelben Weiſe wird nicht allein für B_u, ſondern auch für B_0, wie aus der Zeichnung erſichtlich iſt, die erforderliche Zahl von Punkten für die Brettungen aus den bekannten Projectionen der oberen und unteren Flächen des Wölbſteines ermittelt. Die Brettungen ſind alſo Projectionen auf die ebenen Seitenflächen des Werkſtückes.

Für das Anlegen dieſer Brettungen an die obere, bezw. untere Ebene des Werkſtückes ſind die Geraden $Q\,V$, bezw. $P\,U$ maſsgebend, welche rechtwinkelig zur Linie Q, bezw. zur Linie P ſtehen und deren Fuſspunkte Q und P auf der lothrechten Linie $L\,L$ liegen. In der Darſtellung G iſt das Anlegen der Brettungen B_0 und B_u beim Werkſtücke angegeben. Hierbei iſt $Q\eta_1 = Q\,7$ der Schablonenfläche V und $P\varphi_1 = P\varphi$ der Schablonenfläche U. Reifst man die Geraden $V\,U$, bezw. $Q\,P$ am Steine vor, ſo entſprechen dieſelben der Lothrechten $L\,L$, welche um einen Winkel σ von den Begrenzungslinien Q, bezw. P abweicht. Dieſer Winkel σ iſt der ſog. Schmiegewinkel.

Mit Hilfe deſſelben können für die Bearbeitung des Wölbſteines die nöthigen Punkte der am Steine auftretenden Schraubenlinien leicht feſt gelegt werden. So iſt für den Punkt h_1 am Steine G zunächſt $P\,l$ aus der Fläche $U = P\,l$ am Steine zu nehmen und $l\,k$ winkelrecht zur P-Linie vorzureiſsen, alsdann durch k, dem Schmiegewinkel σ entſprechend, die Linie $k\,k_1$ parallel $U\,V$ zu ziehen und endlich $k\,k_1$ gleich der Länge $i\,h$ in der lothrechten Projection des Wölbſteines zu nehmen. Würde nun $i\,h_1$ gleich und parallel $k\,k_1$ gearbeitet, ſo iſt h_1 ein Punkt der Schraubenlinie α an Wölbſteine. Dieſes Uebertragen der Punkte der Schraubenlinie wird durch die vorhin ſchon erwähnten Brettungen K erleichtert, welche an die betreffenden ebenen Seitenflächen des Werkſtückes gelegt werden können und hier das Vorreiſsen der Projectionen der Schraubenlinien geſtatten.

Sind die einzelnen Stücke des Wölbſteines bis zu den betreffenden Schraubenlinien abgearbeitet und die Flächen für die ebenen Stoſsfugenflächen vermöge der zugehörigen Begrenzungslinien $\alpha\beta$, bezw. $\delta\varepsilon$ hergerichtet, ſo ſind die Schablonen N_1 der Stoſsfugenflächen anzulegen, wonach alsdann die Steinſtücke oder Boſſen an den Laibungs- und Rückenflächen zwiſchen den bereits erhaltenen Schraubenlinien ſorgfältig fortgenommen werden können. Bei der Darſtellung $\mathcal{J}$ ſind dieſe Stücke beſeitigt, während oben und unten die den Brettungen B_o und B_u entſprechenden Boſſen bis zu den ihnen zukommenden Schraubenlinien noch belaſſen ſind.

Wie ſpäter bei der Ausführung der ſchiefen Tonnengewölbe erörtert wird, kann entſprechend der ſchon aufgeſtellten Gleichung 128 (S. 174) für das Feſtlegen der Curven $\alpha\,\alpha$ und $\beta\,\beta$ der Brettung B_u und eben ſo für die Curven $\delta\,\delta$ und $\varepsilon\,\varepsilon$ der Brettung B_o je ein Kreisbogenſtück mit einem beſtimmten Krümmungshalbmeſſer genommen werden. Iſt z. B. ρ_a der geſuchte Halbmeſſer für die Curve $\alpha\,\alpha$ der Brettung B_u, ſo wird

$$\rho_a = \frac{r_a}{\sin \sigma^2}.$$

Eben ſo wird, wenn ρ_δ der geſuchte Halbmeſſer für die Curve $\delta\,\delta$ der Brettung iſt,

$$\rho_\delta = \frac{r_\delta}{\sin \sigma^2} \text{ u. ſ. f.}$$

In dieſen Ausdrücken iſt r_a gleich dem Halbmeſſer $m\,\alpha$, r_δ gleich dem Halbmeſſer $m\,\delta$ der im Grundriſs feſt gelegten Kreisbogen A, bezw. D, während σ den Winkel bezeichnet, welchen die untere, bezw. obere Rechteckſeite des die lothreche Projection des Wölbſteines umſchlieſsenden Rechteckes mit dem Lothe $L\,L$ bildet. Dieſe Rechteckſeiten ſind in der Zeichnung parallel mit $u\,v$ gelegt.

Nach den Abmeſſungen in der Zeichnung iſt $\sin \sigma = \frac{W\,u}{u\,s_0} = \frac{6{,}9}{7{,}4}$; ferner iſt

$$r_a = m\,\alpha = 4\text{ m} \quad \text{und} \quad r_\delta = m\,\delta = 4{,}85\text{ m}.$$

Hiernach iſt

$$\rho_a = \frac{4}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}4}\right)^2} = 4{,}60\text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_\delta = \frac{4{,}85}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}4}\right)^2} = 5{,}58\text{ m}.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auf gleichem Wege laſſen ſich die Krümmungshalbmeſſer für $\beta\beta$ an B_u, bezw. für $\varepsilon\varepsilon$ an B_o berechnen und ſomit unter Benutzung der betreffenden Krümmungshalbmeſſer die Schablonen B_u und B_o in erleichterter Weiſe in natürlicher Gröſse aufzeichnen.

Für die Ausführung der Schneckengewölbe in Backſtein- oder Bruchſteinmaterial iſt hinſichtlich der Stellung und des Verbandes der Wölbſcharen mit Sorgfalt zu verfahren.

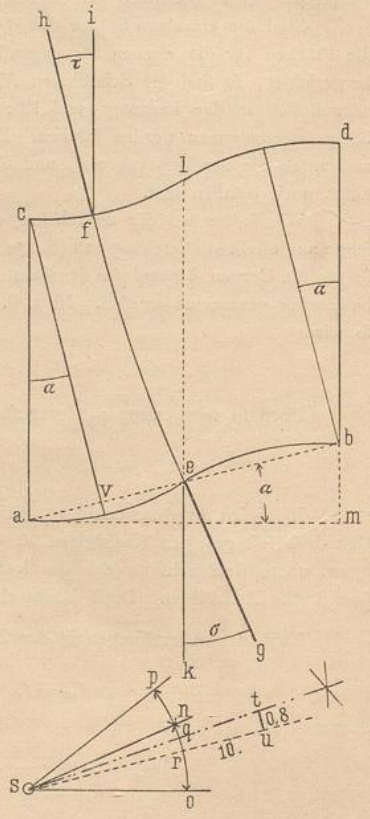
Das Aufſtellen der Lehrbogen hat, der ſchraubenförmig aufſteigenden Gewölbaxe entſprechend, in gleichen wagrechten, nicht zu groſs zu nehmenden Entfernungen der mittleren Lothlinien der Bogen ſo zu geſchehen, daſs jeder lothrecht geſtellte Lehrbogen gleichſam in einem Mittelpunktsſchnitte ſteht und jeder folgende Lehrbogen um die Steighöhe, welche den wagrechten Entfernungen ihrer mittleren Lothlinien zukommt, höher geſtellt wird, als der unmittelbar vorher befindliche Lehrbogen. Die Schalung der Lehrbogen wird aus thunlichſt ſchmalen, nicht zu langen Leiſten, welche nach vorherigem Erweichen in Waſſer etwas biegſam ſind, hergeſtellt. Bei ſchweren Gewölben werden unter Umſtänden mehrere über einander befindliche Lagen ſolcher Leiſten erforderlich. Bei der Verſchalung iſt man bemüht, die Oberfläche derſelben möglichſt genau der Laibungsfläche des ſchraubenförmigen Gewölbes anzupaſſen, und man hat dem gemäſs die einzelnen Leiſten in ihren Kanten etwas nachzuarbeiten.

172. Schiefe Tonnengewölbe.

Ueber die allgemeine Geſtaltung der ſchiefen Tonnengewölbe iſt bereits in Art. 134 (S. 164) das Nöthigſte geſagt.

Für die beſondere Ausführung derſelben kommen noch einige Punkte in Betracht, welche hier näher berührt werden ſollen. In den meiſten Fällen wird für die Ausführung der ſchiefen Gewölbe aus Werkſtücken der früher gekennzeichnete ſog. engliſche Fugenſchnitt in den Vordergrund treten, wobei der conſtante Fugenwinkel für die Richtung der Lagerkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche des Gewölbes maſsgebend wird. Die Gröſse dieſes Winkels bedingt die Steigung der Schraubenlinien der Lagerkanten und damit die mehr oder weniger ſtark von Stirn zu Stirn, bezw. vom Kämpfer zur Stirn anſteigenden Schraubenflächen der Lager- und weiter der Stoſsflächen der Wölbſteine. Iſt jener Winkel zu groſs, ſo kann ein Gleiten der Steine auf den Lagerflächen und hiernach ein Ausbauchen an der Gewölbſtirn eintreten. Um dieſen Uebelſtand zu vermeiden, läſſt man für den conſtanten Fugenwinkel einen Grenzwerth gelten, welcher wie folgt feſt geſetzt wird.

Fig. 348.



Iſt in Fig. 348 $abcd$ die abgewickelte Laibungsfläche eines ſchiefen Gewölbes, aeb die Verbindungsſehne der abgewickelten Stirnlinie, cv ein Loth auf der Geraden ab, ſo giebt nach dem in Art. 134 (S. 171) Geſagten der $\sphericalangle acv = \sphericalangle bam = \sphericalangle \alpha$ den conſtanten Fugenwinkel. Beſtimmt man nach den an

der angezogenen Stelle gemachten Mittheilungen die Scheiteltrajectorie ef, fo weicht die im Elemente e diefer Curve gezogene Tangente eg um $\sphericalangle gek = \sphericalangle \sigma$ und die im Elemente f der Trajectorie geführte Tangente fh um $\sphericalangle hfi = \sphericalangle \tau$ von der Richtung der Scheitellinie lek, bezw. von der ihr parallelen Linie if ab. Im Allgemeinen haben die Winkel σ und τ eine vom Winkel α abweichende Gröfse. Nimmt man aus den beiden Werthen der Winkelgröfsen σ und τ den Durchfchnitt, fo foll erfahrungsmäfsig, um den vorhin erwähnten Uebelftand nicht herbeizulaffen, der Unterfchied zwifchen der Gröfse diefes Durchfchnittswinkels und dem Winkel α die Gröfse von 8 Grad nicht überfchreiten.

In der Zeichnung find die beiden Winkel $\sigma = osn$ und $\tau = nsp$ zum Winkel osp zufammengetragen; der Winkel osp ift durch den Strahl sq halbirt und hierdurch der Durchfchnittswerth von $\sigma + \tau$ als Winkelgröfse qso erhalten. Sodann ift $\sphericalangle \alpha = osr$ eingetragen, fo dafs jetzt im $\sphericalangle qsr$ der Unterfchied zwifchen qso und α beftimmt ift. Im rechtwinkeligen Dreiecke sut ift die Kathete su gleich 10 Einheiten eines beliebigen Mafsftabes genommen; die Beftimmung der Länge tu der zweiten Kathete nach demfelben Mafsftabe ergiebt die Gröfse von 0,8 Einheiten. Mithin ift $\operatorname{tg} tsu = \frac{0{,}8}{10} = 0{,}08$. Diefe Zahl entfpricht einem Winkel von $\backsim 4^0\,34'$. Derfelbe ift alfo von dem Grenzwerthe $= 8$ Grad noch weit entfernt, und dieferhalb kann das in der Zeichnung behandelte Gewölbe unter Benutzung des conftanten Fugenwinkels zur Ausführung kommen. Würde der bezeichnete Unterfchied die Gröfse von 8 Grad übertreffen, fo wäre, wenn fonft eine Aenderung der ganzen Gewölbeanlage unftatthaft ift, der ftrenge oder fog. franzöfifche Fugenfchnitt in Anwendung zu bringen.

Für die praktifche Ausführung wird unter Anwendung des conftanten Fugenwinkels der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes als Kreisbogen genommen, fo dafs der Stirnbogen ein elliptifcher Bogen wird. Die Theilung für die Wölbfteine erfolgt nach den in Art. 134 (S. 173) gegebenen Erörterungen. Da hiernach alle Wölbfteine mit Ausnahme der Steine mit befonders abgeftumpften Ecken in den Bogenanfängen und an den Stirnen des Gewölbes nach den gleichen Brettungen bearbeitet werden können, fo ift hierdurch eine weit gröfsere Erleichterung für die Herftellung der Wölbfteine gefchaffen, als wenn umgekehrt der Stirnbogen des fchiefen Gewölbes ein Kreisbogen und der Normalfchnitt ein elliptifcher Bogen ift. In diefem Falle können mit geringen Ausnahmen die einzelnen Wölbfteine eben fo wenig, wie beim franzöfifchen Fugenfchnitte, nach denfelben Schablonen bearbeitet werden.

Bei der erften Anordnung find allerdings elliptifche Lehrbogen, welche parallel zur Stirn aufgeftellt werden, anzufertigen, während bei der letzten Anordnung kreisförmige Lehrbogen entftehen. Allein diefer Umftand ift für die erfte Anordnung gegenüber den fonftigen Vortheilen bei den Wölbfteinen nicht von erheblicher Bedeutung.

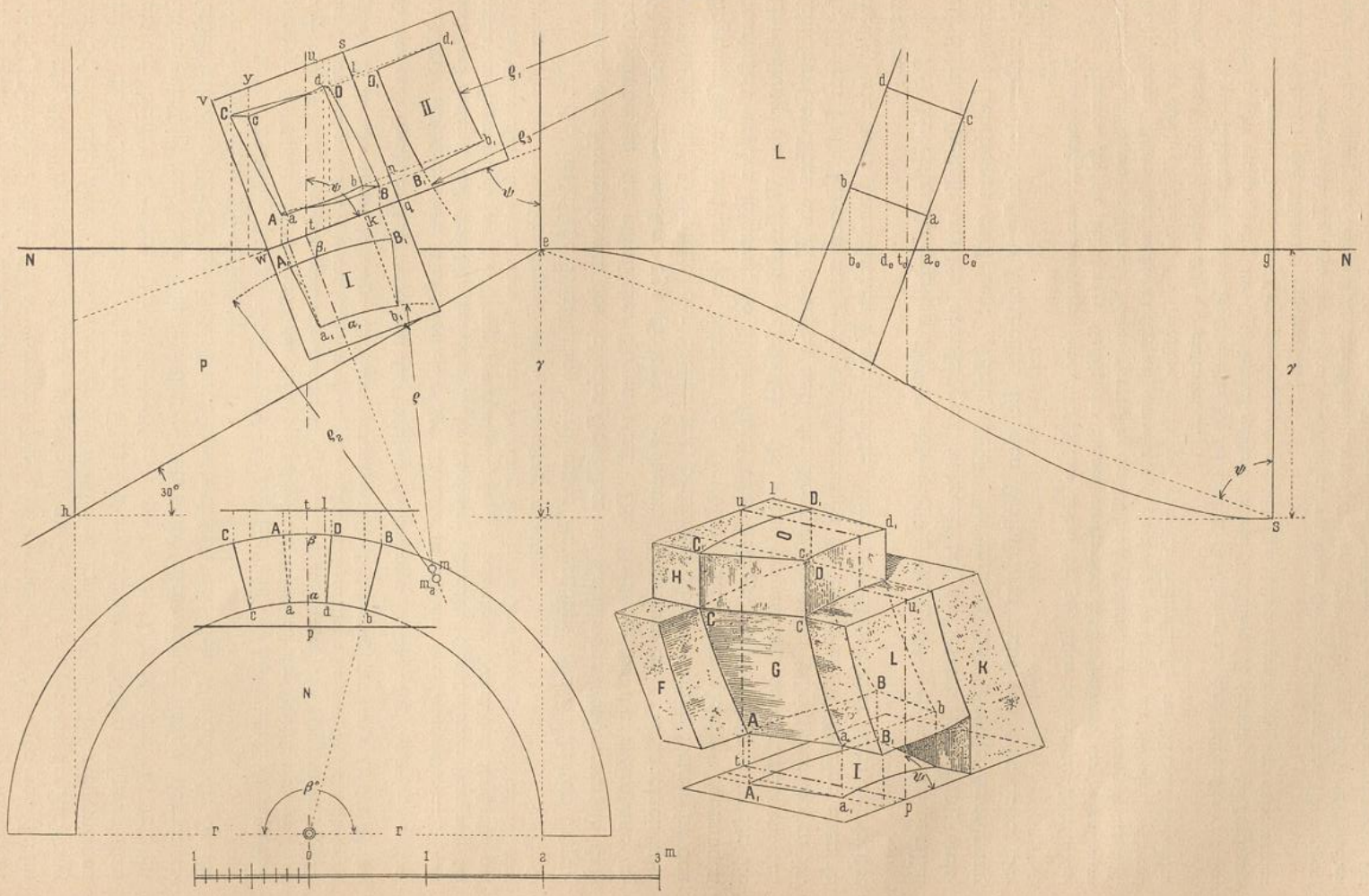
Beim Ausmitteln der Brettungen eines Wölbfteines des in Fig. 349 näher behandelten fchiefen Gewölbes kommen für die keilförmige Geftalt des Steines vorwiegend die Projectionen der Seitenflächen deffelben auf Ebenen in Betracht, deren Spuren in der Bildtafel P durch wq und qs angedeutet find. Beide Ebenen ftehen hier rechtwinkelig auf einander und gleichzeitig lothrecht zur Bildtafel, während fie mit der durch die Axe tu des Gewölbes geführten, ebenfalls rechtwinkelig zur Bildtafel ftehenden Ebene einen Winkel ψ, bezw. $90 - \psi$ einfchliefsen.

Ift die Laibungsfläche des Gewölbes die Fläche eines Kreiscylinders mit dem Halbmeffer r, deffen Leitlinie in der rechtwinkelig zur Cylinderaxe geführten Ebene NN liegt, fo fchneiden die durch wq und qs beftimmten Ebenen den Kreiscylindermantel nach Ellipfen, deren Axenlängen berechnet werden können, fobald r und Winkel ψ gegeben find.

Ift vorweg nach Fig. 350 der Winkel ψ willkürlich von einer Gröfse σ angenommen, ift übrigens aber an der Stellung der beiden fich fchneidenden Ebenen CD und EF, welche wq und qs entfprechen follen, nichts weiter geändert, als dafs fich diefelben auf der Cylinderaxe zm in einer rechtwinkelig zur

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 349.



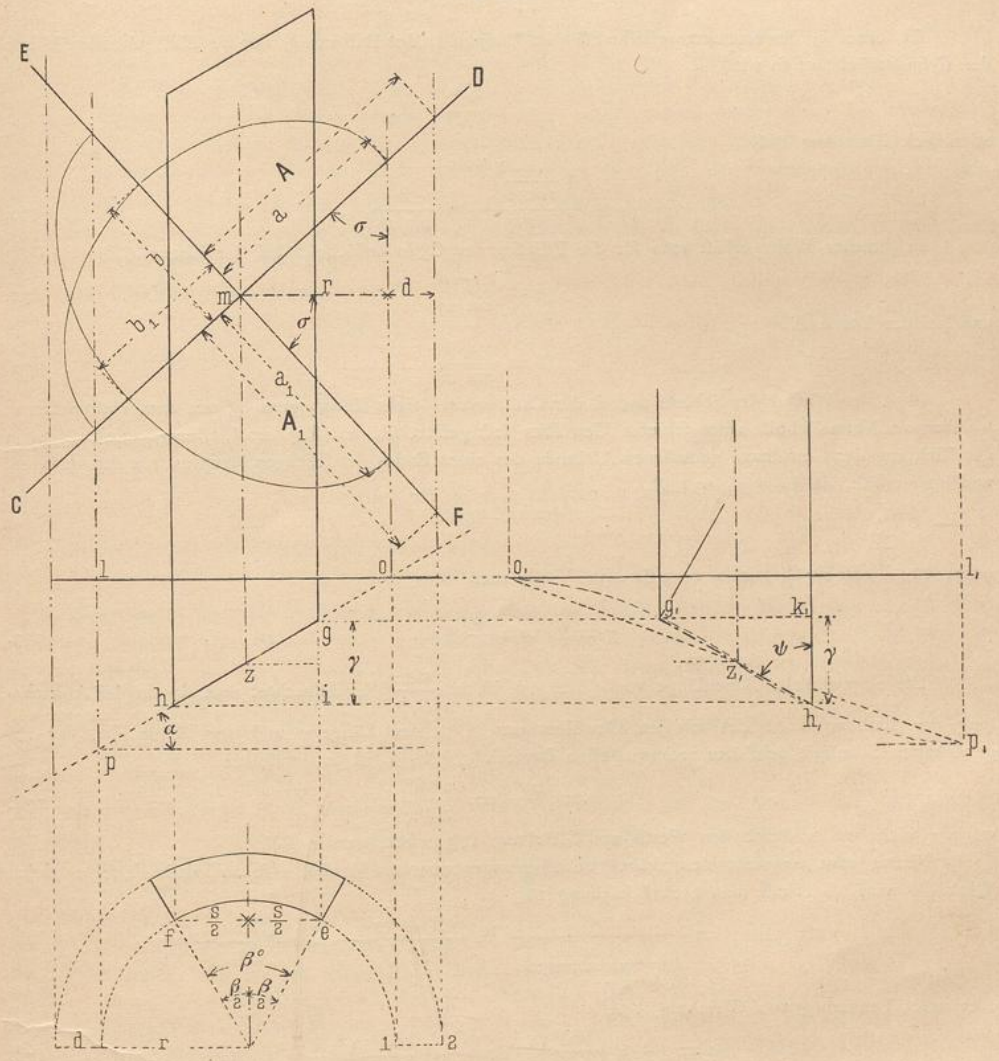
Bildtafel ſtehenden geraden Linie treffen; ſo wird die Länge dieſer geraden Linie von der Cylinderaxe bis zum Cylindermantel gleich dem Halbmeſſer r der Leitlinie des Cylinders und ſofort auch gleich der Länge der Halbaxen b, bezw. b_1 der erwähnten Ellipſen.

Für die Cylinderfläche *1* mit einem Kreiſe vom Halbmeſſer r als Leitlinie liefert die ſchneidende Ebene CD eine Ellipſe mit den Halbaxen a und b.

Unter Bezugnahme auf Fig. 350 iſt

$$a = \frac{r}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad b = r \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 165.$$

Fig. 350.



Eben ſo giebt für dieſelbe Cylinderfläche *1* die ſchneidende Ebene EF eine Ellipſe, deren Halbaxen

$$a_1 = \frac{r}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad b_1 = r \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 166.$$

werden.

Für die Cylinderfläche *2*, deren normale kreisförmige Leitlinie einen Halbmeſſer $r + d$ beſitzt, entſpringt bei der ſchneidenden Ebene CD eine Ellipſe mit den Halbaxen

$$A = \frac{r + d}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad B = r + d; \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 167.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

eben ſo bei der ſchneidenden Ebene EF eine ſolche mit den Halbaxen

$$A_1 = \frac{r+d}{\cos\sigma} \text{ und } B_1 = r + d. \quad \ldots \quad 168.$$

Bezeichnet ρ den Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbaxe b der für CD in Frage kommenden Ellipſe der Cylinderfläche 1, ſo iſt

$$\rho = \frac{a^2}{b},$$

d. h. nach Gleichung 165

$$\rho = \frac{\left(\frac{r}{\sin\sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\sin\sigma^2}. \quad \ldots \quad 169.$$

Iſt ferner ρ_1 der Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbaxe b_1 der für EF geltenden Ellipſe der Cylinderfläche 1, ſo wird

$$\rho_1 = \frac{{a_1}^2}{b_1}$$

oder nach Gleichung 166

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{r}{\cos\sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\cos\sigma^2}. \quad \ldots \quad 170.$$

In gleicher Weiſe erhält man für die Ellipſen der Cylinderfläche 2 bei der Ebene CD

$$\rho_2 = \frac{r+d}{\sin\sigma^2} \quad \ldots \quad 171.$$

und bei der Ebene EF

$$\rho_3 = \frac{r+d}{\cos\sigma^2}. \quad \ldots \quad 172.$$

Iſt α der Winkel der Schiefe und β der Centriwinkel eines Kreisbogens ef mit dem Halbmeſſer r, welcher als Normalſchnitt eines ſchiefen Gewölbes feſt gefetzt iſt, ſo iſt $gi = k,h, = \gamma$, gleich dem in der Richtung der Gewölbaxe gemeſſenen Abſtande des einen Endes des ſchrägen Hauptes von dem anderen, und man erhält, da $hi = fe = s$ iſt,

$$\gamma = s \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha,$$

oder, da $\frac{\frac{s}{2}}{r} = \sin\frac{\beta}{2}$, alſo $s = 2r \,.\, \sin\frac{\beta}{2}$ iſt, auch

$$\gamma = 2r \,.\, \sin\frac{\beta}{2}\,\mathrm{tg}\,\alpha. \quad \ldots \quad 173.$$

Die abgewickelte Bogenlänge von $ef = g,k,$ iſt $= \frac{\pi r}{180^0}\beta^0$. Betrachtet man das in der Abwickelung der Laibungsfläche des ſchiefen Gewölbes aus $g,k,$, der Länge γ und der Sehne $g,h,$ der abgewickelten Stirnlinie gebildete recktwinkelige Dreieck $g,k,h,$, ſo iſt in demſelben

$$\mathrm{tg}\,\psi = \frac{g_1 k_1}{\gamma} = \frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}, \quad \ldots \quad 174.$$

worin γ nicht weiter durch den Werth aus Gleichung 173 erſetzt werden ſoll.

Nimmt man nunmehr den früher beliebig angenommenen Winkel σ ſo an, daſs derſelbe gleich Winkel ψ wird, ſo erhält man nach Gleichung 169

$$\rho = \frac{r}{\sin\psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{\mathrm{tg}\,\psi}{\sqrt{1+\mathrm{tg}\,\psi^2}}\right)^2} = \frac{r(1+\mathrm{tg}\,\psi^2)}{\mathrm{tg}\,\psi^2} = r + \frac{r}{\mathrm{tg}\,\psi^2}$$

oder unter Benutzung von Gleichung 174

$$\rho = r + r\left(\frac{180^0\gamma}{\pi r \beta}\right)^2 = r + \left(\frac{180^0\gamma}{\pi\beta^0}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \quad 175.$$

und ferner nach Gleichung 170

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos\psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{tg}\,\psi^2}}\right)^2} = r(1+\mathrm{tg}\,\psi^2),$$

d. h. unter Verwerthung von Gleichung 174

$$\rho_1 = r\left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0\gamma}\right)^2\right] = r + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0\gamma}\right)^2 r. \quad \ldots \quad 176.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die beiden Gleichungen 175 u. 176 ſtimmen mit den früher gefundenen Ausdrücken für die Krümmungshalbmeſſer der Schraubenlinien der Gleichungen 127 u. 130 (S. 174), wie vorauszuſehen war, vollſtändig überein.

Für die Ellipſen der Cylinderfläche ε, alſo der Rückenfläche des ſchiefen Gewölbes, ergiebt ſich unter der Beſtimmung $\sigma = \psi$ und bei der Benutzung von Gleichung 171 nach Gleichung 175

$$\rho_2 = (r + d)\left[1 + \left(\frac{180^0\,\gamma}{\pi\, r\, \beta^0}\right)^2\right], \quad \ldots \quad 177.$$

ſo wie nach Gleichung 176

$$\rho_3 = (r + d)\left[1 + \left(\frac{\pi\, r\, \beta^0}{180^0\,\gamma}\right)^2\right]. \quad \ldots \quad 178.$$

Da die Abmeſſungen der einzelnen Wölbſteine im Verhältniſs zu den Halbmeſſern der Leitlinien der Cylinderflächen immer noch als klein anzuſehen ſind, ſo können, wie ſchon in Art. 134 (S. 173) erwähnt iſt, die Krümmungshalbmeſſer ρ, ρ_1, ρ_2 und ρ_3 zur Beſtimmung der Brettungen, bezw. der keilförmigen Verjüngung der Wölbſteine benutzt werden. Bei recht groſsen Abmeſſungen der Wölbſteine hätte man für die Brettungen die von den zugehörigen Ellipſen begrenzten Flächenſtücke in Betracht zu ziehen. Die Längen der reellen Axen dieſer Ellipſen ergeben ſich nach den Gleichungen 165 bis 168.

Beiſpiel. Für ein ſchiefes Gewölbe (Fig. 349) ſei der Normalſchnitt N ein Halbkreis mit dem Halbmeſſer $r = 2$ m; die Dicke d des Gewölbes betrage 0,6 m; der Winkel α der Schiefe ſei 30 Grad, und der Centriwinkel β iſt 180 Grad.

Man erhält nach Gleichung 173

$$\gamma = 2 \cdot 2 \cdot \sin 90 \cdot \operatorname{tg} 30 = 4 \operatorname{tg} 30 = 4 \cdot 0{,}5774 = \sim 2{,}31 \text{ m}.$$

Alsdann iſt nach Gleichung 175

$$\rho = 2 + \left(\frac{180 \cdot 2{,}31}{3{,}1416 \cdot 180}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 2{,}27 \text{ m}.$$

Ferner wird nach Gleichung 176

$$\rho_1 = 2 + \left(\frac{3{,}1416 \cdot 2 \cdot 180}{180 \cdot 2{,}31}\right)^2 2 = 16{,}80 \text{ m}.$$

Endlich liefern die Gleichungen 177 u. 178

$$\rho_2 = 2{,}95 \text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_3 = 21{,}84 \text{ m}.$$

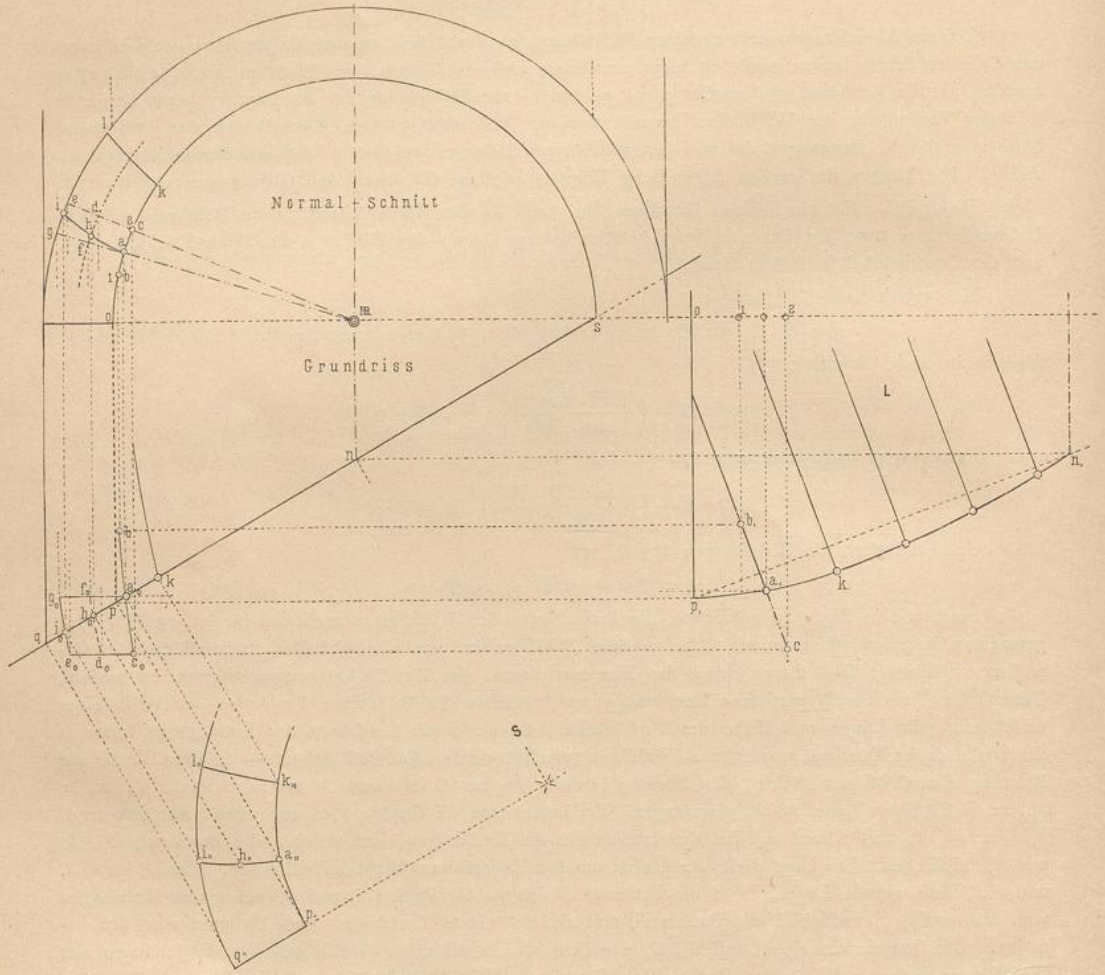
Sind, wie in Fig. 349 geſchehen, die Projectionen des Wölbſteines nach den in Art. 134 (S. 171) gemachten Angaben, hier jedoch ohne weitere Zuhilfenahme der abgewickelten Rückenfläche des Gewölbes, beſtimmt; ſind ferner durch das hier mit einem, der Deutlichkeit wegen übertrieben groſsen, Uebermaſse (Arbeitszoll) verſehene Rechteck $qsvw$, welches die lothrechte Projection des Wölbſteines umſchlieſst, die Länge und Höhe des Werkſtückes, ſo wie durch die Länge der Linie pt im Plane N die Dicke dieſes Quaders, woraus der Wölbſtein gefertigt werden ſoll, feſt geſetzt — ſo iſt z. B. für die Brettung I zunächſt nur nöthig, den Punkt α_1, wofür $t\alpha_1 = t\alpha$ im Plane N und den Punkt β_1, wofür $t\beta_1 = t\beta$ deſſelben Planes N iſt, einzutragen. Verlängert man die Gerade $\beta_1\alpha_1$ und nimmt man $\alpha_1 m = \rho$, $\beta_1 m_2 = \rho_2$, ſo ſind m und m_2 die Mittelpunkte für die Kreisbogen, auf welchen die Punkte a_1, b_1, ſo wie A_1, B_1 liegen. Die Lage dieſer Punkte iſt aus den Projectionen leicht zu beſtimmen. Die Linien a_1A_1 und b_1B_1 ſind gerade Linien. Für die Brettung II liegen die Punkte b_1 und d_1 auf einem Kreisbogen vom Halbmeſſer ρ_1, während die Punkte B_1 und D_1 auf einem Kreisbogen vom Halbmeſſer ρ_3 ſich befinden. Die Lagen von b_1, d_1 und B_1, D_1 ergeben ſich in einfacher Weiſe aus den Projectionen des Wölbſteines, indem z. B. für den Punkt d_1 der Brettung II die Ordinate $ld_1 = ld$ im Plane N iſt u. ſ. f. Auch bei dieſer Brettung ſind b_1B_1 und d_1D_1 gerade Linien. Ueber das Anlegen der Brettungen I und II an das betreffende Werkſtück und das Bearbeiten deſſelben, unter Heranziehen der für die Schraubenlinien ab, bd u. ſ. f. der lothrechten Projection des Wölbſteines angefertigten Schablonen, gilt weſentlich das in Art. 171 (S. 248) beim Schneckengewölbe angegebene Verfahren. Hier iſt nur zu bemerken, daſs die Brettung I ſowohl für die obere, als auch für die untere Steinfläche, die Brettung II ebenfalls für die vordere und hintere Steinfläche zu benutzen ſind, wenn dieſe Schablonen nur entſprechend den Lagen der zugehörigen Grenzpunkte des Wölbſteines auf den zu bearbeitenden Stein gelegt werden.

Der in Fig. 349 im Bilde gegebene Stein zeigt wohl genügend die unter Beobachtung der Geraden ut, bezw. u_1t_1, welche durch den Schmiegewinkel ψ beſtimmt ſind, erforderlichen Handhabungen für das Anlegen der Brettungen und das danach einzuleitende Bearbeiten des Gewölbſteines G, welcher nach Beſeitigung der Boſſen O, F, L, K entſteht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine beſondere Aufmerkſamkeit erfordert bei der Anwendung des engliſchen Fugenſchnittes die Bearbeitung der Stirnſteine. Die Stirnebene des Gewölbes ſchneidet die ſchraubenförmigen Lagerfugenflächen deſſelben im Allgemeinen in nach unten convexen Curven, ſo daſs für jeden rechts und links ſymmetriſch vom Schluſsſtein liegenden Wölbſtein eine beſondere Stirnſchablone nöthig wird. In Fig. 351 iſt für einen Stein eine Stirnbrettung $a_{,,}$ $i_{,,}$ $k_{,,}$ $l_{,,}$ ermittelt.

Fig. 351.



Der Normalſchnitt des ſchiefen Gewölbes iſt als Halbkreis angenommen und in L ein Stück der Abwickelung der Laibungsfläche des Gewölbes gezeichnet.

Auf der Fläche L ſind die durch $a, k,$ u. ſ. f. recktwinkelig auf $p, n,$ ſtehenden, abgewickelten Lagerfugenkanten eingetragen, wobei die Kante $b, a,$ noch beliebig bis $c,$ verlängert iſt. Hier liegt der Punkt $c,$ auf der Erzeugenden 2, wofür die Länge $o\,2$ gleich der Bogenlänge $o\,2$ im Normalſchnitte iſt. Da die Lagerfugenflächen dadurch erzeugt werden, daſs in jedem Punkte der ſchraubenförmigen Lagerkante eines Wölbſteines eine gerade Linie vorhanden ſein ſoll, welche normal zur inneren Gewölbfläche ſteht, ſo giebt der im Normalſchnitte durch m und 2 geführte Halbmeſſer $m\,e$ dieſe gerade Linie in der Strecke $c\,e$ an. Der Punkt e iſt der Durchſtoſspunkt derſelben mit der Rückenlinie des Gewölbes; die wagrechte Projection der Geraden $c\,e$ ergiebt ſich auf der Spur der durch $c,$ parallel zum Normalſchnitt geführten Ebene als $c_0\,e_0$. Wird zwiſchen den Punkten c und e des Normalſchnittes noch irgend ein

durch d geführter Kreis gelegt, welcher als Leitlinie einer Cylinderfläche angefehen werden kann, fo würde auch d ein Durchftofspunkt von ce mit diefer Cylinderfläche fein. Die wagrechte Projection desfelben ift d_0.

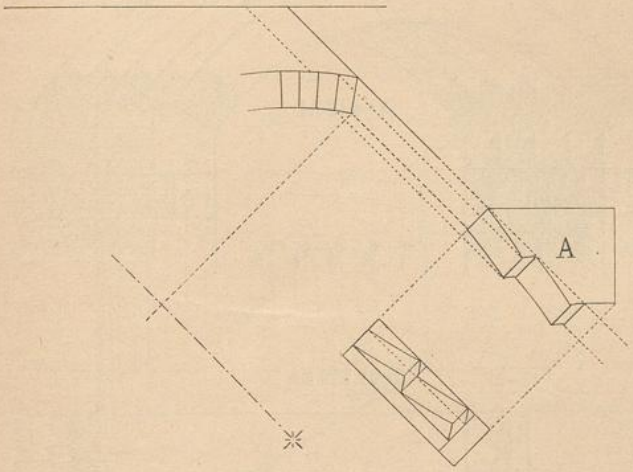
Verfährt man in gleicher Weife mit der Geraden ag, fo erhält man die wagrechten Projectionen der Durchftofspunkte a, f, g in a_0, f_0, g_0. Setzt man diefe Darftellungen fort, fo ergeben fich offenbar in $c_0 a_0$, $d_0 f_0$ und $e_0 g_0$ die wagrechten Projectionen von Schraubenlinien, welche auf den durch c, bezw. a gehenden Lagerfugenflächen liegen.

Diefe Schraubenlinien durchfchneiden die Stirnebene qs des fchiefen Gewölbes in den Punkten a_0, h_0 und i_0. Die lothrechten Projectionen befinden fich bezw. auf den durch a, d und e gehenden Kreifen des Normalfchnittes, find alfo in a, h und i beftimmt. Die Verbindungslinie ahi diefer Punkte ift die lothrechte Projection der Schnittlinie der Schraubenfläche, welche der durch a gehenden Lagerkante zukommt, mit der Ebene der Gewölbftirn.

Projicirt man diefe Schnittlinie in die Stirnebene S auf bekanntem Wege, fo erhält man die wirkliche Geftalt $a_{,,} h_{,,} i_{,,}$ derfelben.

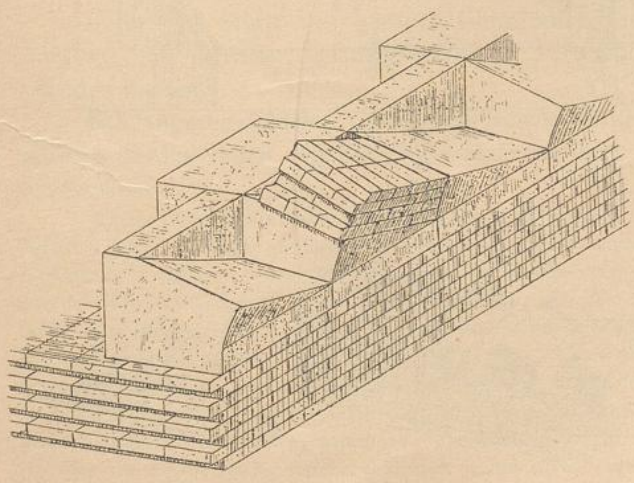
Wendet man das angegebene zeichnerifche Verfahren auch für die durch k gehende Lagerkante an, fo erhält man in $k_{,,} l_{,,}$ die zugehörige Schnittlinie und in dem ebenen Flächenftücke $a_{,,} h_{,,} i_{,,} l_{,,} k_{,,}$ die nöthige vordere Brettung für den hier gewählten Stirnftein.

Fig. 352.



Die Beftimmung der Brettungen für die Kämpferfteine wird, nachdem die Projectionen derfelben ermittelt find, fo weit dabei die Anfätze für die Wölbfteine in Frage kommen, nach den für diefe Steine gegebenen Vorfchriften bewirkt. Die übrigen Begrenzungsflächen ergeben fich als Ebenen, welche unmittelbar nach den Projectionen derfelben feft gelegt werden können. Bei nicht fehr breiten Wölbfteinen läfft man zweckmäfsig zwei Wölbfcharen gegen einen Kämpferftein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 352 zeigt, eine dem entfprechende Länge erhält.

Fig. 353.

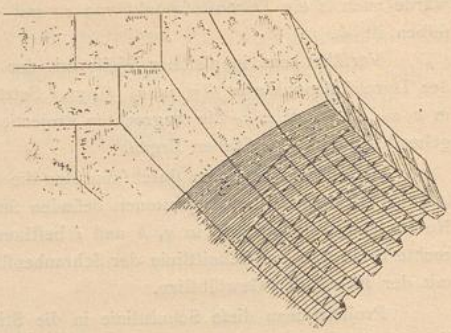


Schiefe Gewölbe, welche vollftändig aus Haufteinen hergeftellt werden follen, find in Folge der erheblicheren, durch die befondere Geftalt der Wölbfteine entfpringenden Steinhauerarbeiten nicht billig. Um die Koften für fchiefe Gewölbe zu vermindern, können diefelben auch aus Backfteinmaterial ausgeführt werden, wobei jedoch unter fonftiger Beobachtung

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

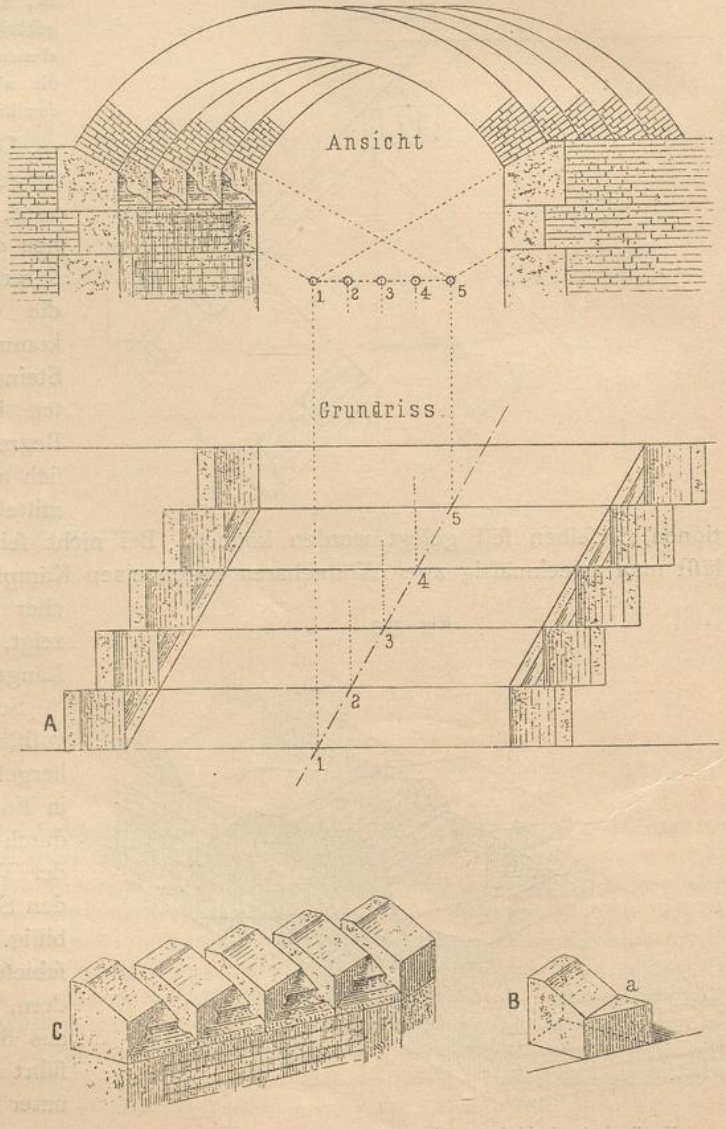
des engliſchen oder auch des franzöſiſchen Fugenſchnittes, zur Vermeidung des häſslichen und unzweckmäſsigen Verhauens der Backſteine an den Kämpfern und den Häuptern, ſowohl die Kämpferſteine als auch die Stirnſteine am rathſamſten aus Quadern, wie in Fig. 353 u. 354 angegeben, angefertigt werden. Zwiſchen den zuſammengehörigen Kämpfer- und Stirnſteinen ſind alsdann die aus Backſtein beſtehenden Wölbſcharen in regelrechtem Verbande in gewöhnlicher Wölbweiſe einzubringen.

Fig. 354.



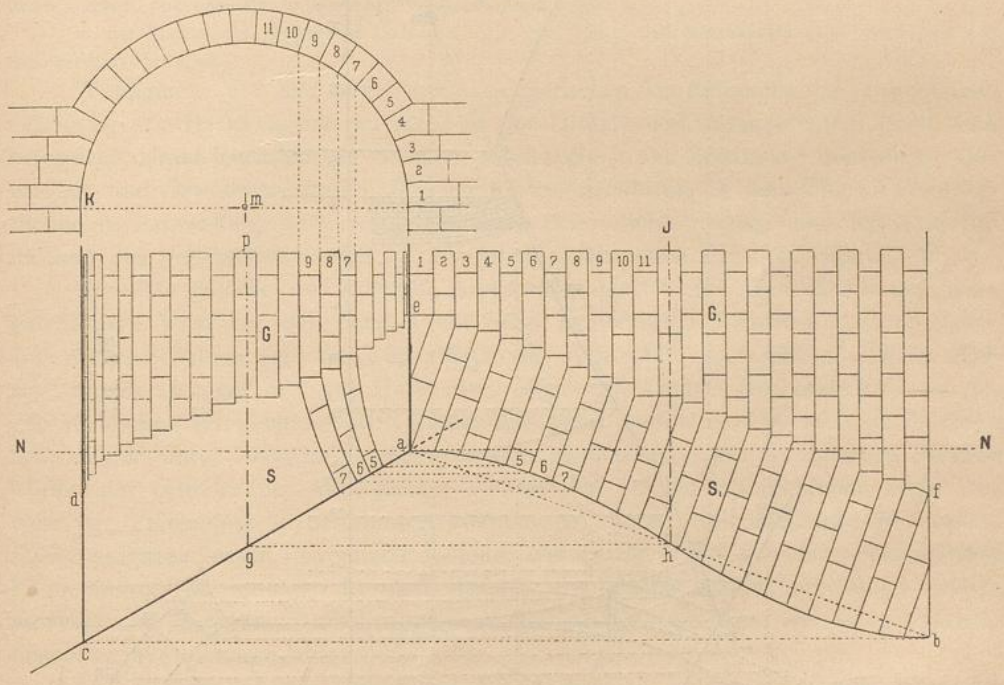
Um die Schwierigkeiten, welche bei der Ausführung von ſchiefen Gewölben in gewiſſem Grade immer entſtehen, zu beſeitigen, können verſchiedene mehr oder weniger gute Aenderungen in der Gewölbebildung derſelben vorgenommen werden. Die einfachſte Anordnung zum Umgehen des rechtmäſsigen Wölbens ſchiefer Gewölbe beſteht nach Fig. 355 darin, daſs man einzelne parallel zur Stirn geſtellte Gurtbogen *1*, *2* u. ſ. f. als kurze gerade Tonnengewölbe neben einander ausführt, welche unter ſich eine Verbindung durch eiſerne Anker erhalten. Die geſammte Laibungsfläche dieſer Gewölbebildung zeigt alsdann ſichelartige lothrechte Flächen neben den cylindriſchen Flächen der Gurte, wodurch kein beſonders ſchönes Ausſehen entſpringt. Zweckmäſsig werden

Fig. 355.



die Kämpferſteine *A* auch bei ſolchen Anlagen aus Werkſtücken angefertigt, welche entweder, wie bei *B*, mit der dreieckigen wagrechten Fläche *a* belaſſen oder, wie bei *C*, mit einem Eckauslauf verſehen werden. In langen ſchiefen Gewölben kann vortheilhaft bei Quadermaterial, wie Fig. 356 giebt, an den Stirnen ein Stück *S* als ſchiefes Gewölbe mit richtigem engliſchen oder, wenn man will, mit franzöſiſchem Fugenſchnitt ausgeführt und hiermit ein längeres als gerades Gewölbe angeordnetes Stück *G* in Verbindung gebracht werden. Die Ausmittelung des Steinverbandes iſt aus der Zeichnung unter Beachtung der abgewickelten Laibungsfläche des ſchiefen Gewölbes erſichtlich. Durch eine derartige Anordnung wird an den Koſten für das Bearbeiten der Wölbſteine erheblich geſpart.

Fig. 356.

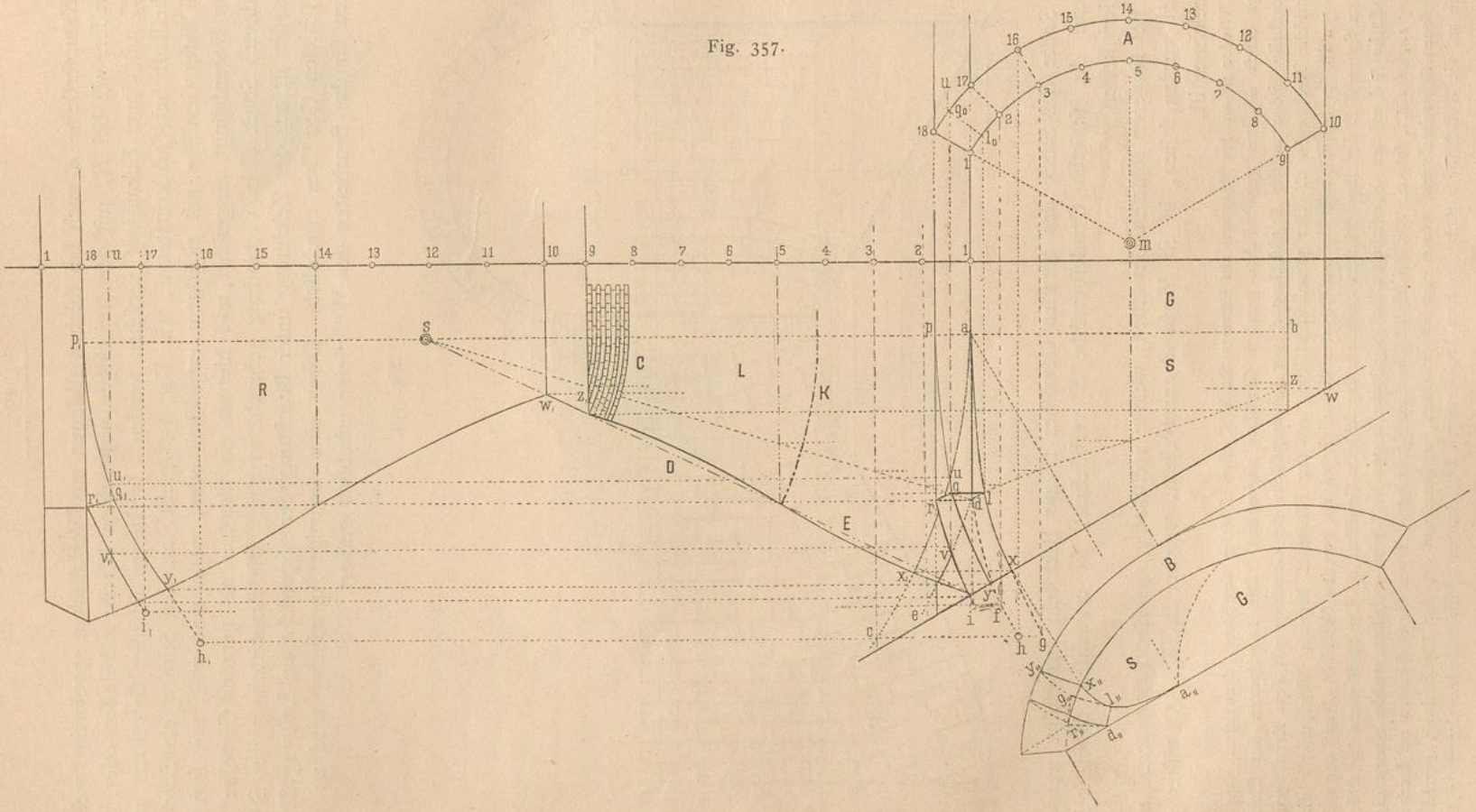


Sollte das Stück des geraden Gewölbes *G* aus Backſtein ausgeführt werden, während die ſchiefen Quadergewölbe *S* verblieben, ſo erwachſen dabei keine Schwierigkeiten.

Bei längeren ſchiefen Gewölben, welche vollſtändig aus Backſteinmaterial ausgeführt werden ſollen, iſt ein Verband anzuordnen, welcher in Fig. 357 näher gekennzeichnet iſt.

Wieder iſt an den Häuptern ein kürzeres Stück *S* eines ſchiefen Gewölbes, dazwiſchen aber ein längeres Stück *G* eines gewöhnlichen geraden Gewölbes angeordnet. Die Lagerkanten der ſchiefen Gewölbetheile bilden in der Abwickelung *L* der Laibungsfläche des Gewölbes mit dem Kreisbogen *K* concentriſche Kreisbogen *C*. Der gemeinſchaftliche, auf der Fläche *L* liegende Mittelpunkt *s* dieſer Kreisbogen iſt der Schnittpunkt der verlängerten Grenzlinie *a b* des geraden Gewölbes *G* und der weiter geführten Sehne *D E* der abgewickelten Stirnlinie des ſchiefen Gewölbes *S*. Die Stoſskanten der ſchiefen Gewölbſtücke ſind auf der abgewickelten Laibungsfläche in geraden Linien enthalten, welche einer radialen Richtung *s a*, *s d* u. ſ. f. folgen. Auf die Wölbfläche zurückgeſchlagen, liegen die Stoſskanten auf durchweg verſchiedenen Schraubenlinien, wovon eine *d z* derſelben, entſprechend *d z*, der Abwickelung, gezeichnet iſt. Die auf die Wölbfläche zurückgebrachten kreisförmigen Lagerkanten bilden beſondere Curven, welche

Fig. 357.



wie ag, entſprechend dem Kreisbogen ae der Abwickelung, oder wie df, entſprechend dem Kreisbogen de, mit Hilfe der Cylinder-Erzeugenden $1, 2, 3$, wie aus der Zeichnung erſichtlich iſt, beſtimmt werden können. Die Erzeugenden der Lagerfugenflächen ſind gerade Linien, welche in jedem Punkte der Lagerkante ſtreng genommen normal zur Laibungsfläche des cylindriſchen Gewölbes ſtehen ſollen. So iſt z. B. für den Punkt l, deſſen lothrechte Projection l_0 iſt, die Gerade $l_0 q_0$, welche nach dem Mittelpunkte m des Normalſchnittes des Gewölbes gerichtet wird, eine ſolche Erzeugende. Da dieſelbe in einer rechtwinkelig zur Gewölbaxe ſtehenden Ebene liegt, ſo erhält man ihre wagrechte Projection in lq und hierdurch die Projection einer etwa hier vorhandenen Stoſsflächenkante eines Backſteines. In gleicher Weiſe iſt dr beſtimmt. Ermittelt man auf dem ſchon früher in Fig. 280 angegebenen Wege die den Lagerkanten ag, df zugehörigen Rückenlinien $pqyh$, bezw. rvi, ſo iſt die wagrechte Projection der Lagerfugenflächen für dieſe Lagerkanten zu erhalten.

Bringt man die Rückenlinien in die abgewickelte Rückenfläche des Gewölbes R zurück, was mit Hilfe der Erzeugenden 16, 17, U, 18 der Cylinderfläche leicht geſchehen kann, ſo ergiebt ſich die allgemeine Anordnung des Fugenſchnittes im ſchiefen Gewölbe S, wobei die Stoſsfugenkanten dl, qr, Schraubenlinien folgend, ſich ebenfalls in einfacher Weiſe ermitteln laſſen.

In der Stirnanſicht B ſind die Curven $a_{,,} l_{,,} x_{,,}$ und $q_{,,} y_{,,}$, den Kantenlinien alx, bezw. qy entſprechend, eingetragen.

Wenngleich die hier gegebenen zeichneriſchen Darſtellungen bei der Berückſichtigung von Backſteinmaterial mehr in den Hintergrund treten können, ſo iſt doch beſonders darauf Rückſicht zu nehmen, ſobald die in der Zeichnung behandelte Verbandart und Gewölbeanordnung für eine Quaderausführung in den ſchiefen Gewölbetheilen in Anwendung kommen ſoll, zumal eine ſolche Löſung eine ſchönere Geſtaltung des geſammten Gewölbes zuläſſt, als ſolche nach Fig. 356 möglich iſt.

Für eine ſaubere und tadelloſe Ausführung der ſchiefen Gewölbe iſt eine gute geſchloſſene Schalung der parallel zur Stirn aufgeſtellten Lehrbogen herzurichten. Auf dieſer Schalung ſind die Fugenlinien der Wölbſteine vorzureiſsen. Dieſes Aufzeichnen der Fugenlinien mit Hilfe eines biegſamen Lineals (Blechſtreifen) und des gebräuchlichen Winkeleiſens wird namentlich beim engliſchen Fugenſchnitt ſehr einfach, ſobald unter Benutzung einer gefärbten Schnur auch die erzeugenden geraden Linien der cylindriſchen Wölbfläche, welche den einzelnen Fugenlinien nach Ausweis der Zeichnung in beſtimmten Punkten angehören, mit aufgeſchnürt werden. Dieſen aufgezeichneten Fugenlinien folgend, werden die in den Schichten entſprechend bezeichneten Gewölbquader ſorgſam verſetzt. Bei ſchiefen Backſteingewölben werden natürlich die Fugenlinien nur gruppenweiſe für eine gröſsere Zahl von neben einander liegenden Wölbſcharen aufgeriſſen.

173. Einhüftige Gewölbe.

Die Ausführung der einhüftigen Tonnengewölbe richtet ſich genau nach der Bauweiſe, welche für das einfache gerade Tonnengewölbe angegeben iſt. Da bei den einhüftigen Gewölben geſchloſſene Stirnmauern meiſtens fehlen oder doch nur als Blendmauern ab und an eingefügt auftreten, ſo kommt bei dieſen Gewölben, gleichgiltig welches Material auch zur Einwölbung benutzt wird, weſentlich der gewöhnliche Verband auf Kuf in Anwendung.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

10. Kapitel.

Kappengewölbe.

(Preufsifche Kappen.)

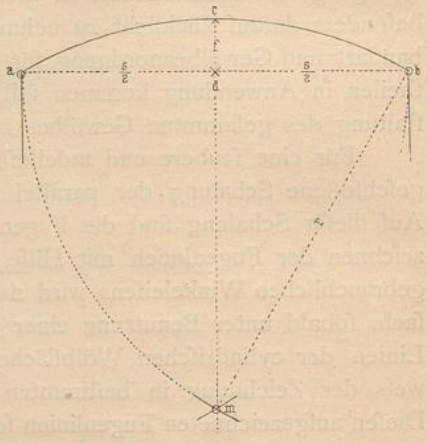
a) Geftaltung der Kappengewölbe.

174. Geftalt.

Das Kappengewölbe oder die preufsifche Kappe ift im Allgemeinen der obere Abfchnitt eines geraden Tonnengewölbes. Seine Laibungsfläche ift demnach ein Theil der halben Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, fo dafs die Wölblinie ein flacher Kreisbogen wird. Das Pfeilverhältnifs diefer Wölblinie ift ftets gering, fo dafs danach diefes Gewölbe als ein fog. flachbogiges auftritt. Für dieses Pfeilverhältnifs ift im Hochbauwefen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ in Anwendung gekommen.

Zweckmäfsig wird aber die Wölblinie fo genommen, dafs die Pfeilhöhe derfelben $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt oder, was nahezu daffelbe ift, wenn dieWölblinie als Kreisbogen befchrieben wird, deffen Halbmeffer nach Fig. 358 gleich der Spannweite des zu bildenden Kappengewölbes ift.

Fig. 358.



Die Rückenlinie der meiftens nur $^1/_2$ bis 1 Backftein ftarken Kappengewölbe, die kurz auch nur »gerade Kappen« oder »Kappen« genannt werden, ift in der Regel ein mit der inneren Wölblinie concentrifch befchriebener Kreisbogen.

Von anderen gefetzmäfsig gebildeten krummen Linien macht man für die Wölblinien der Kappengewölbe keinen Gebrauch. Auch die Spannweite derartiger Gewölbe, welche von vornherein in das Bauwefen eingeführt find, um bei den für Hochbauten damit zu fchaffenden Decken eine möglichft geringe Conftructionshöhe zu erzielen, ift auf geringe Abmeffungen bis höchftens auf etwa 5 m zu befchränken.

Hieraus ergiebt fich, dafs die Geftaltung des Kappengewölbes, welches, weil es vielfach in Preufsen ftatt des Tonnengewölbes zur Deckenbildung für Kellerräume, Gänge, Gefchäftszimmer u. dergl. in Anwendung gekommen ift und noch benutzt wird, auch »preufsifche Kappe« genannt wird, eine äufserft einfache ift.

175. Ueberwölbung gröfserer Räume.

Soll ein gröfserer Raum mit Kappengewölben überdeckt werden, fo find bei der verhältnifsmäfsig eng begrenzten Spannweite derfelben mehrere Gewölbjoche zu bilden (Fig. 359), welche fich gegen befonders herzurichtende, den Raum, bezw. die Decke trennende Trag-Conftructionen A, B und fchliefslich in den beiden äufserften Jochen oder Feldern gegen die Umfangsmauern des Raumes legen.

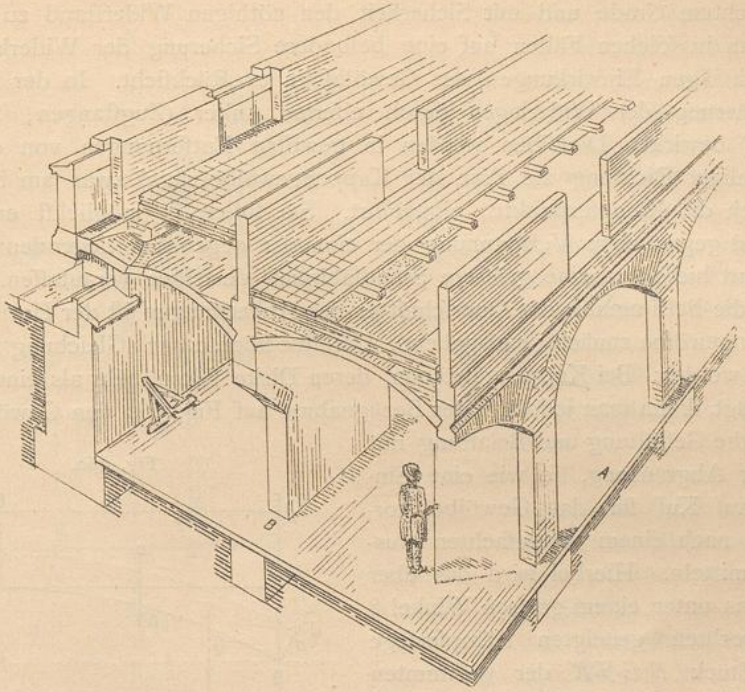
Diefe eingefügten, wiederum als Widerlager der einzelnen neben einander liegenden Kappengewölbe auftretenden Zwifchen-Conftructionen können fein:

1) volle Mauern;

2) kleinere und fchmalere flachbogige oder tonnengewölbartige Bogenftellungen, fog. Gurtbogen, deren Axen rechtwinkelig zu den Axen der Kappengewölbe ftehen;

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 359.



3) eiſerne Träger, welche parallel mit den Gewölbaxen laufen und nur an den Enden aufruhen oder auch noch zwiſchen den Endauflagern durch Säulen oder andere Freiſtützen, unter Umſtänden auch durch Unterzüge unterſtützt ſind (ſiehe auch unter A, Kap. 1, unter a u. b).

Dieſe Anordnungen geſtatten für die Geſammtgeſtaltung der Kappengewölbe über gröſseren Räumen dennoch eine möglichſt freie Benutzung derſelben und namentlich bei der geringen Conſtructionshöhe ſolcher Gewölbzüge auch die Anlage entſprechend hoher Licht-, bezw. Thüröffnungen in den Umfangsmauern des zu überdeckenden Raumes, nicht allein in den rechtwinkelig zu den Gewölbaxen ſtehenden Schildmauern, ſondern auch in den eigentlichen Widerlagsmauern. Hierdurch bietet in dieſer Beziehung das Kappengewölbe dem Tonnengewölbe gegenüber groſse Vortheile. Werden dennoch auch bei Kappengewölben für die Licht- oder Thüröffnungen unter Umſtänden Stichkappen erforderlich, ſo gilt für dieſe das ſchon beim Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) Mitgetheilte. Von einer eigentlichen Gliederung der Kappengewölbe durch Stichkappen hat man nicht zu ſprechen.

b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

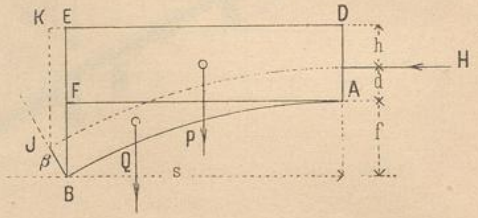
176. Prüfung der Gewölbſtärke.

Die Stabilitätsunterſuchungen der Kappengewölbe und ihrer Widerlager weichen in ihren Grundlagen von denjenigen der Tonnengewölbe nicht ab, gleichgiltig ob die Kappengewölbe, was allerdings ſelten der Fall iſt, unbelaſtet bleiben oder ob dieſelben eine mehr oder weniger groſse Belaſtung zu tragen haben, und es kann in dieſer Beziehung auf das bereits im vorhergehenden Kapitel (unter b) Geſagte verwieſen werden. Da aber in der Praxis die Widerlagsmauern der Kappengewölbe nicht immer eine ſolche Stärke erhalten können, daſs dieſelben fähig ſind, namentlich wenn ihnen eine

bedeutendere Höhe nicht gegeben werden kann, dem Gewölbſchube ohne Weiteres in erwünſchtem Grade und mit Sicherheit den nöthigen Widerſtand zu leiſten, ſo nimmt man in ſolchen Fällen auf eine beſondere Sicherung der Widerlager gegen die nachtheiligen Einwirkungen des Gewölbſchubes Rückſicht. In der Regel wird dieſe Sicherung der Widerlager durch eiſerne Anker (Zugſtangen, Schlaudern, Schlieſsen) bewirkt. Dieſelben werden in gewiſſen Entfernungen von einander in rechtwinkeliger Richtung zur Axe der Kappengewölbe, und zwar am beſten wagrecht durch die Kämpferpunkte, eingeführt. Sie ſollen in möglichſt erreichbarem Grade eine gegenſeitige Verſpannung der einander gegenüber liegenden Widerlagsmauern und hierdurch eine gröſsere Standfähigkeit derſelben veranlaſſen.

Für die Beſtimmung des Querſchnittes der Ankerſtangen iſt der Horizontalſchub der Kappengewölbe zunächſt maſsgebend. Derſelbe könnte nach Gleichung 159 (S. 192) berechnet werden. Bei Kappengewölben, deren Dicke ſelten mehr als eine Backſteinlänge beträgt, kann man jedoch unter Bezugnahme auf Fig. 360 den Gewölbſchub H, ſymmetriſche Geſtaltung und Belaſtung mit wagrechter Abgrenzung, ſo wie eine Einwölbung auf Kuf für das Gewölbe vorausgeſetzt, nach einem vereinfachten Ausdrucke ermitteln. Hierbei wird das über der meiſtens unter einem groſsen Winkel β zur Wagrechten geneigten Kämpferfuge ruhende Stück $BEFK$ der geſammten Belaſtungsfläche $ADKFB$ als verhältniſsmäſsig ſehr klein vernachläſſigt. Der hierdurch begangene Fehler iſt an ſich geringfügig; er veranlaſst, wie aus Gleichung 159 zu erſehen iſt, einen etwas vergröſserten Werth des Gewölbſchubes H, was im vorliegenden Falle bei der Stabilitätsbeſtimmung des Gewölbes und ſeiner Widerlager nur als günſtig zu bezeichnen iſt.

Fig. 360.



Den in Art. 138 (S. 190) für das Tonnengewölbe gegebenen Entwickelungen ganz entſprechend, erhält man alsdann für den Gewölbeſchub bei Kappengewölben, bei einer Tiefe gleich der Längeneinheit, den einfacheren Ausdruck

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)}\,[6\,(d+h)+f] \quad \text{Quadr.-, bezw. Cub.-Met. .} \quad 179.$$

Eben ſo ergiebt ſich bei der eingeführten Vereinfachung für die Belaſtungsfläche $ADEFB$ der Werth

$$G = s\left(d+h+\frac{f}{3}\right) \quad \text{Quadr.-, bezw. Cub.-Met. .} \quad 180.$$

In dieſen beiden Gleichungen bedeuten s die halbe Spannweite, f die Pfeilhöhe, d die Scheitelſtärke und h die Höhe der Belaſtung über der Rückenlinie im Scheitellothe des Gewölbes (in Met.).

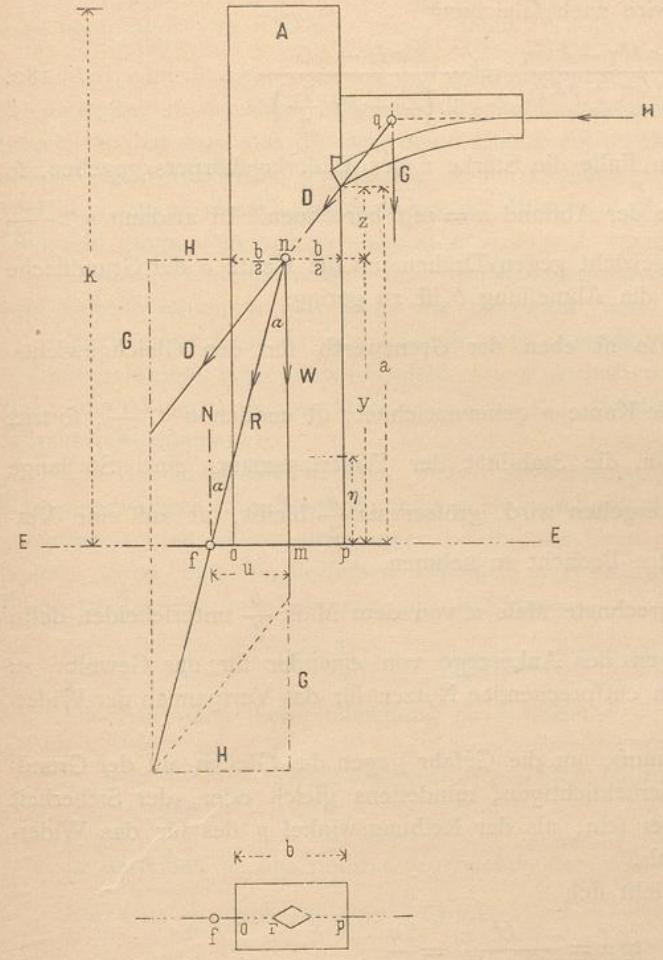
177. Prüfung der Widerlagsſtärke.

Die Berechnung der Widerlagsſtärke würde nach der in Art. 145 (S. 208) gegebenen Gleichung erfolgen können. Da aber bei Kappengewölben die Beſtimmung der Widerlagsſtärke möglichſt ſchnell ſchon beim Entwurfe des Gewölbeplanes vorzunehmen iſt, ſo ſoll hier die dafür maſsgebende Ermittelung in einem anderen Gewande gegeben werden.

In Fig. 361 bezeichne A den Höhenſchnitt des Widerlagskörpers, deſſen Länge 1 m beträgt. Der Einfachheit halber und mit der praktiſchen Ausführung auch

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 361.



meiſtens übereinſtimmend, iſt dieſer Höhenſchnitt als ein ſtehendes Rechteck von der Breite b Met. und der Höhe k Met. angenommen.

Der Horizontalſchub H des Gewölbes und das Gewicht G der Gewölbhälfte ſetzen ſich in q zu dem reſultirenden Gewölbdruck D zuſammen. Vereinigt man dieſen Druck in n mit dem Gewichte W des betrachteten Widerlagskörpers zur Mittelkraft R, ſo möge dieſelbe die Ebene EE der feſten und widerſtandsfähigen Grundfläche des Mauerkörpers in einem Punkte f treffen, deſſen Abſtand mf von der Mitte m der Grundfläche allgemein das Maſs u beſitzen möge. Der Neigungswinkel nfN, welchen die Mittelkraft R mit einer zu EE Lothrechten fN einſchlieſst, ſei α. Wie aus der Zeichnung und aus einfachen geometriſchen Beziehungen erſichtlich, iſt ſofort $\frac{u}{y} = \frac{H}{G+W}$, alſo $u = \frac{H}{G+W} y$. Nun iſt $y = a - z$ und, da $\frac{\frac{z}{b}}{2} = \frac{G}{H}$, alſo $z = \frac{bG}{2H}$, auch $y = \frac{2aH - bG}{2H}$; ferner iſt bei dem rechtwinkeligen Querſchnitte des Mauerkörpers $W = bk$. Unter Benutzung dieſer Werthe für y und W wird

$$u = \frac{2aH - bG}{2(G + bk)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 181.$$

In dieſem Ausdrucke iſt a der lothrechte Abſtand der Kämpferlinie von der Ebene EE (in Met.)

Die Gleichung 181 hat aber nur Giltigkeit, wenn das Eigengewicht des Wölbmaterials und die auf daſſelbe zurückgeführte Belaſtung des Gewölbes dem Eigengewichte des Mauerkörpers vom Widerlager gleich iſt.

Iſt dagegen eine derartige Uebereinſtimmung im Eigengewicht, wie recht oft der Fall, nicht vorhanden, ſo iſt, wenn γ das Einheitsgewicht für das Wölbmaterial und die Belaſtung, γ_1 dagegen das Einheitsgewicht des Materials der Widerlags-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mauer bezeichnet, zu beachten, dafs H und G mit γ und W mit γ_1 multiplicirt werden müffen. Hiernach wird nach Gleichung

$$u = \frac{2aH\gamma - bG\gamma}{2(G\gamma + bk\gamma_1)} = \frac{2aH - bG}{2\left(G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}\right)} \quad \ldots\ldots 182.$$

Ift in einem befonderen Falle die Stärke b des Widerlagskörpers gegeben, fo läfft fich nach Gleichung 182 der Abftand $u = mf$ berechnen. Ift alsdann $u > \frac{b}{2}$ gefunden, fo ift kein Gleichgewicht gegen Drehen um die Kante o der Grundfläche des Widerlagers vorhanden; die Abmeffung b ift zu gering.

Ift $u = \frac{b}{2}$ berechnet, fo ift eben der Grenzwerth für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen um die Kante o gekennzeichnet; ift endlich $u < \frac{b}{2}$, fo tritt fchon ein Sicherheitsgrad für die Stabilität der Widerlagsmauer ein. So lange $u = \frac{b}{2}$ oder, wie fich bald ergeben wird, gröfser als $\frac{b}{2}$ bleibt, ift auf eine Verankerung der Widerlagsmauern Bedacht zu nehmen.

Je weniger fich das berechnete Mafs u von dem Mafs $\frac{b}{2}$ unterfcheidet, defto geringer find die Entfernungen der Ankerzüge von einander für das Gewölbe zu wählen, wenn diefelben einen entfprechenden Nutzen für das Verfpannen der Widerlagsmauern gewähren follen.

Der Winkel α endlich mufs, um die Gefahr gegen das Gleiten auf der Grundfläche des Widerlagers zu berückfichtigen, mindeftens gleich oder, der Sicherheit gegen Gleitens halber, kleiner fein, als der Reibungswinkel ρ des für das Widerlager benutzten Mauermaterials.

Aus der Zeichnung ergiebt fich

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H}{G + W} = \frac{u}{y}$$

oder, unter Berückfichtigung der befonderen, vorhin angeführten Einheitsgewichte und da $W = bk$, auch

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad \ldots\ldots 183.$$

Soll $\sphericalangle\alpha < \sphericalangle\rho$, d. h. $\sphericalangle\rho > \sphericalangle\alpha$ fein, fo ift auch $\operatorname{tg}\rho > \operatorname{tg}\alpha$, d. h.

$$\operatorname{tg}\rho > \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}},$$

mithin $\operatorname{tg}\rho \cdot G + \operatorname{tg}\rho \cdot \frac{k\gamma_1}{\gamma} b > H$; folglich mufs auch

$$b > \frac{H - \operatorname{tg}\rho \cdot G}{\operatorname{tg}\rho \cdot k\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad \ldots\ldots 184.$$

fein. Fände diefe Beziehung bei einem gegebenen Werthe von b nicht ftatt, fo

würde die Gefahr des Gleitens des Widerlagskörpers eintreten, ſelbſt wenn das berechnete Maſs von u kleiner als $\frac{b}{2}$ gefunden wäre.

Will man für eine andere wagrechte Schnittfuge unterhalb der Kämpferlinie des Gewölbes in der Widerlagsmauer die Stabilität gegen Drehen und gegen Gleiten prüfen, ſo hat man nur die wagrechte Ebene entſprechend höher zu verlegen und dieſer Lagenveränderung gemäſs die in den Gleichungen 182 u. 184 vorkommenden Werthe a und k danach zu verkleinern. Rückte z. B. die Ebene EE um η Met. höher, ſo ginge a in $a_1 = a - \eta$ und k in $k_1 = k - \eta$ über.

Derartige Unterſuchungen ſind bei Widerlagsmauern nicht zu unterlaſſen, ſobald Durchbrechungen derſelben, wie bei Thür- und Lichtöffnungen vorkommen.

Noch möge bemerkt werden, daſs unter Einführung verſchiedener Werthe für η die zugehörigen berechneten Gröſsen von u auch Punkte in den wagrechten Lagerfugen der Widerlagsmauer liefern, welche der Mittellinie des Druckes in dieſem Stützkörper zukommen.

Die Gleichung 182 iſt aber weiter zu benutzen, wenn für eine Anlage von Kappengewölben eine Breite b der im Höhenſchnitt rechteckigen Widerlagsmauer gefunden werden ſoll, welche einen beſtimmten Grad von Stabilität gegen Drehen beſitzt. Setzt man in derſelben allgemein $u = nb$, unter n irgend einen echten Bruch verſtanden, ſo erhält man den Ausdruck

$$2nk\frac{\gamma_1}{\gamma}b^2 + (2n+1)Gb = 2aH.$$

Die Auflöſung dieſer Gleichung für b liefert

$$b = \frac{1}{4nk\frac{\gamma_1}{\gamma}}\left[-(2n+1)G \mp \sqrt{16nk\frac{\gamma_1}{\gamma}aH + (2n+1)^2G^2}\right] \quad . \quad 185.$$

In derſelben iſt das poſitive Vorzeichen der Wurzelgröſse zu verwenden.

Für $n = \frac{1}{2}$, alſo für $u = \frac{b}{2}$ wird

$$b = \frac{1}{k\frac{\gamma_1}{\gamma}}\left(-G + \sqrt{2k\frac{\gamma_1}{\gamma}aH + G^2}\right).$$

Bei dieſer Breite b geht die Mittelkraft R durch den Punkt o der Grundfläche der Widerlagsmauer. Das Syſtem befindet ſich im Grenzzuſtande des Gleichgewichtes gegen Drehen.

Für $n = \frac{1}{6}$ wird $u = \frac{b}{6}$ und

$$b = \frac{1}{k\frac{\gamma_1}{\gamma}}\left(-2G + \sqrt{6k\frac{\gamma_1}{\gamma}aH + 4G^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 186.$$

Bei dieſer Abmeſſung von b trifft die Mittelkraft die Axe op des rechteckigen Querſchnittes der Fuſsfläche des Widerlagers den Grenzpunkt r des inneren Drittels, d. h. den Grenzpunkt des ſog. Kernes des Querſchnittes, ſo daſs nun bekanntlich die vorhandene Breite den ſtatiſchen Anforderungen entſpricht, vorausgeſetzt, daſs Gleichung 184 für das Gleichgewicht gegen Gleiten keine gröſsere Breite vorſchreibt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ergiebt ſich die Breite b für $n = \frac{1}{6}$ auch hiernach als ausreichend, ſo iſt bei ſonſt guter Ausführung, bei widerſtandsfähigem Material und bei günſtigem Verlauf der Mittellinie des Druckes in der Gewölbfläche und im Höhenſchnitte des Widerlagers, das Anbringen von Zugankern überflüſſig.

178. Berechnung der Verankerungen.

Die Verankerung ſoll aber angebracht werden, wenn der Schnittpunkt von R mit der Axe op zwiſchen o und r fällt. Schneidet die Mittelkraft R die verlängerte Axe op aufserhalb der Mauerkante, ſo ſoll eine Verſtärkung der Widerlagsmauer an ſich vorgenommen werden, bis jener Angriffspunkt von R mindeſtens nahe bei o in die Grundfläche tritt, da für den ſicheren Beſtand der Mauer einer Verankerung derſelben allein eine zu groſse Wirkung nicht zugemuthet werden kann, wenn dabei nicht noch beſondere Vorkehrungen getroffen werden.

Die Zuganker können nur in gewiſſen Entfernungen, nicht dicht neben einander liegend, angebracht werden. Das Geſetz für die Vertheilung des Gewölbſchubes an dem zwiſchen den Angriffsſtellen der Verankerung liegenden Mauerkörper iſt nicht vollſtändig bekannt, ſo daſs eine ſcharfe Beſtimmung der Beanſpruchung, welche jener Mauerkörper durch den Gewölbſchub und durch die in beſtimmten Abſtänden eingeführte Verankerung erleidet, augenblicklich noch nicht möglich iſt. Würde der Gewölbſchub aber z. B. durch widerſtandsfähige eiſerne Träger für gegebene Gewölblängen auf beſtimmte, einander gegenüber liegende feſte Stützpunkte der beiden Widerlagsmauern übertragen und alsdann eine Verankerung dieſer Stützpunkte vorgenommen, ſo würde durch eine derartige Vorkehrung eine gänzliche oder theilweiſe Entlaſtung des zwiſchen den Stützpunkten liegenden Mauerkörpers vom Gewölbſchube herbeigeführt. Dieſer Theil des Widerlagers würde dann mehr oder weniger nur als einfache Begrenzungsmauer auftreten. Bei ſehr ſchwachen Widerlagsmauern der Kappengewölbe iſt das Anbringen eiſerner Träger rathſam. In der Praxis ſind dieſelben mehrfach in Anwendung gekommen. Bei ſolchen Anlagen iſt auch die Berechnung der Träger und der zugehörigen Ankerverbindung ohne erhebliche Schwierigkeiten durchzuführen.

Werden dieſe Vorkehrungen nicht getroffen, ſo iſt für die Berechnung der Zuganker immer nur ein Näherungsverfahren einzuſchlagen, welches in ſeinen Ergebniſſen für die praktiſche Ausführung zweckmäſsige Werthe liefert.

Der Querſchnitt der Zug- oder Ankerſtangen iſt in den weitaus meiſten Fällen eine Kreisfläche. Nur wenn beſondere Verhältniſſe eine Verbindung ſolcher Anker mit anderen Bautheilen erfordern oder wenn beſtimmte gröſsere Längen dieſer Anker durch volles Mauerwerk geführt werden müſſen, erhalten dieſelben für dieſe Längen wohl einen flachen rechteckigen Querſchnitt, welcher an den Enden wieder in den kreisförmigen übergeht.

Da die Hauptaufgabe dieſer Anker darin beſteht, die nachtheiligen Wirkungen des Gewölbſchubes auf die Widerlager möglichſt zu vermindern und zu dieſem Zwecke eine möglichſt kräftige gegenſeitige Verſpannung derſelben hervorzurufen, ſo iſt auf eine entſprechend ſtarke Verbindung der Zuganker mit dem Mauerwerkskörper ſelbſt Bedacht zu nehmen. Dieſe Verbindung erfolgt durch ſog. Ankerſplinte oder weit beſſer durch Ankerplatten. Die Ankerſplinte beſtehen aus Flacheiſen, welche durch Oeſen greifen, die an den Enden der Zugſtangen ausgeſchmiedet ſind. Die Ankerplatten ſind guſseiſerne Platten mit quadratiſcher oder kreisförmiger Grundfläche. Der Querſchnitt derſelben iſt rechteckig oder beſſer trapezförmig, ab

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

und zu auch gerippt. Sind die Ankerplatten, wie in der Regel der Fall, aufsen vor der Widerlagsmauer in freier Lage anzubringen, fo ift die gerippte Ankerplatte weniger empfehlenswerth, weil die vorfpringenden Rippen das Anfammeln von Feuchtigkeit oder das Auflagern von Schnee zulaffen, wodurch nach und nach die Platten gefchädigt werden. Am beften wird für die hier vorliegenden Zwecke der trapezförmige Querfchnitt gewählt. Die Enden der Ankerftangen werden durch eine in der Mitte der Platte angebrachte Oeffnung geführt und durch eine geeignete Keil- oder Schraubenverbindung mit den Platten verknüpft.

Eine weitere wefentliche Forderung für das Herbeiführen einer tüchtigen Verankerung der Widerlager geht dahin, dafs fowohl die Ankerfplinte wie auch die Ankerplatten eine thunlichft grofse Mauerfläche, bezw. möglichft viele Steinfchichten der Widerlagsmauer faffen, um hierdurch die Uebermittelung des Gewölbfchubes auf eine gröfsere Fläche und die Verfpannung eines gröfseren Mauerkörpers zu bewirken. Diefer Forderung wird, wie an fich klar, weit beffer durch Ankerplatten, als durch die hochkantig aufliegenden Ankerfplinte genügt, da erfteren felbft bei nicht fehr grofsen Seitenabmeffungen eine weit gröfsere Lagerfläche gegeben werden kann, als den letzteren, welchen etwa nur 40 bis 60 cm Länge zugewiefen werden.

Sollen Ankerfplinte zur Verwendung kommen, fo giebt man denfelben bei ftarker Beanfpruchung der Zugftangen zweckmäfsig eine von den Oefen diefer Stangen ausgehende äfteartige Ausbreitung in Form von Buchftaben, Zahlen oder fonft entfprechend gebildeten Ornamenten, wie in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abfchn. 3, Kap. 5) diefes »Handbuches« näher angegeben ift.

Werden die Zuganker an den Enden mit Schraubengewinden verfehen, fo find unter Berückfichtigung des Umftandes, dafs beim kräftigen Anziehen der Schraubenmutter leicht eine Beanfpruchung der Enden der Ankerftange auf Torfion entftehen kann, für die Berechnung der Zugftangen die an der eben bezeichneten Stelle diefes »Handbuches« entwickelten Gleichungen 116 u. 117 (S. 152[169]) zu benutzen. Bezeichnet d' den inneren, d den äufseren Gewindedurchmeffer und d'' den äufseren Durchmeffer der Zugftange, fo ift

$$d'' = (1{,}173\, d' + 0{,}128) \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 187.$$

$$d = (1{,}139\, d' + 0{,}103) \text{ Centim.}, \quad \ldots \quad 188.$$

und hierin

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{P} \quad \ldots \quad 189.$$

zu nehmen.

In Gleichung 189 bezeichnet P die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerftange aufzunehmen hat.

Die Beanfpruchung der Ankerftange durch Biegung, hervorgerufen von ihrem Eigengewicht, ift hier als gering im Vergleich zur Beanfpruchung durch P ohne weiteres vernachläffigt.

Befitzen die Enden der runden Zuganker Oefen, welche die Ankerfplinte aufzunehmen haben, fo find die Oefen in ihren Abmeffungen, wie in Art. 231 (S. 159[170]) des gedachten Bandes diefes »Handbuches« angegeben ift, zu berechnen.

---

[169]) 2. Aufl.: Gleichungen 139 u. 140 (S. 161).

[170]) 2. Aufl.: Art. 234 (S. 171).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Unter Verwerthung der hierfür entwickelten Gleichungen 135 [171]) ist

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P\pi}{s''}\cdot\frac{1}{1+\frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 190.$$

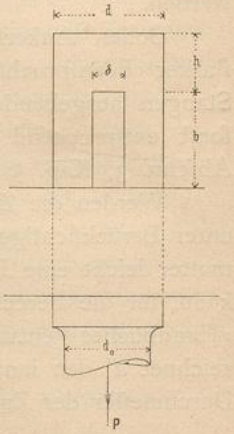
$$d = 2\sqrt{\frac{P}{\pi s''}\left(1+\frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 191.$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{\pi t}\cdot\frac{s''}{t}\left(1+\frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 192.$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P\pi}{t}\cdot\frac{s''}{t}\cdot\frac{1}{1+\frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 193.$$

Hierin bezeichnet P wiederum die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerſtange aufzunehmen hat; s' die zuläſſige Zugſpannung in derſelben, welche zu 800 kg für 1 qcm zu nehmen iſt; s'' der ſog. Lochlaibungsdruck hinter dem Keile, bezw. dem Ankerſplinte gleich 1200 kg für 1 qcm, und t die zuläſſige Scherſpannung in der Oeſe, bezw. im Keile oder im Ankerſplinte, etwa gleich 640 kg für 1 qcm, während δ, d, b, h die aus Fig. 362 zu entnehmenden Bedeutungen für die Oeſe, bezw. für den Keil oder den Ankerſplint haben.

Fig. 362.



Die Länge des Keiles iſt gleich $2d$ (Gleichung 191) zu nehmen.

Die Oeſe wird durch Anſtauchen der Enden der Ankerſtange gebildet und dieſe demnach verſtärkt. Dieſe durch d (Gleichung 191) beſtimmte Verſtärkung iſt gröſser, als der Durchmeſſer d_0 der eigentlichen Stange. Letzterer iſt zu berechnen aus der Beziehung

$$\frac{\pi}{4} d_0^{\,2} s' = P,$$

ſo daſs

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi}\cdot\frac{P}{s'}} = \sim 1{,}13\sqrt{\frac{P}{s'}} \quad \ldots \quad 194.$$



wird. Ankerſtangen aus Flacheiſen von einer Dicke δ' ſind nach Gleichung 137 (S. 160 [172]) im angeführten Bande dieſes »Handbuches« zu berechnen.

Die Abmeſſungen der Oeſe, bezw. des Keiles oder des Ankerſplintes, ſind mit Berückſichtigung der Bezeichnungen in Fig. 363

$$\delta = \frac{P}{s''\delta'};\quad b' = \frac{P}{\delta'}\cdot\frac{s'+s''}{s's''} \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 195.$$

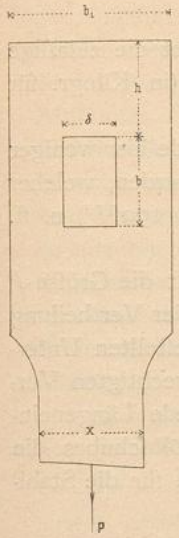
$$b = \frac{\delta'}{2}\,\frac{s''}{t};\quad h = \frac{P}{t\delta'} \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 196.$$

---

[171]) 2. Aufl.: Gleichungen 161.
[172]) 2. Aufl.: Gleichung 163 (S. 172).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 363.



während

$$x = \frac{P}{\delta' s'} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 197.$$

zu nehmen ist.

Fallen die berechneten Abmessungen für b, d. i. für die lichte Höhe der Oeffnung der Oese oder für die Höhe des Keiles, wie häufig sich zeigt, unter ein praktisch zulässiges Mafs, so hat man den Unterschied zwischen dem theoretischen Mafse und dem wirklich für b zu wählenden praktischen Mafse dem Werthe h hinzuzufügen, während alle übrigen berechneten Abmessungen unverändert beibehalten werden.

Für die Ankerplatten mit rechteckigem Querschnitte und quadratischer oder kreisrunder Grundfläche können die für Grundplatten im bezeichneten Bande dieses »Handbuches« (Art. 276, S. 182 [173]) angeführten Gleichungen 142 [174]) der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

Hiernach wird, wenn F die Grundfläche dieser Platten (in Quadr.-Centim.) und P wie früher der Ankerzug (in Kilogr.) ist

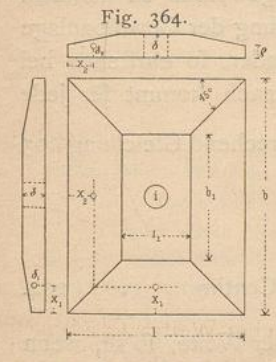
für gewöhnliches Backsteinmauerwerk . $F = \frac{P}{7}$ Quadr.-Centim.
„ Klinkermauerwerk in Cement-Mörtel $F = \frac{P}{12}$ „ „
„ Mauerwerk aus weniger festen Quadern $F = \frac{P}{20}$ „ „
„ Mauerwerk aus sehr festen Quadern . $F = \frac{P}{45}$ „ „ } . 198.

Die Dicke δ in Centim. der Ankerplatten ist

$$\left.\begin{aligned} \delta &= 0{,}055 \sqrt{P} \text{ für quadratische Platten} \\ \delta &= 0{,}05 \sqrt{P} \text{ für kreisrunde Platten} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 199.$$

Für trapezförmige Ankerplatten wird unter Bezugnahme auf Fig. 364 die im angeführten Bande (2. Aufl.) dieses »Handbuches« auf S. 223 gegebene Gleichung 194 füglich benutzt werden können. Hiernach wird

Fig. 364.



$$\left.\begin{aligned} \delta_1 &= 0{,}1\, x_1 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3l - 2x_1}{l - 2x_1}} \text{ Centim.} \\ \delta_2 &= 0{,}1\, x_2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3b - 2x_2}{b - 2x_2}} \text{ Centim.} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 200.$$

Die erforderliche Grundfläche F ist nach Abzug der Fläche i für die Oeffnung in der Mitte, durch welche der Zuganker geführt wird, bei einem rechteckigen Auflager, wobei l oder b gewählt werden kann,

$$lb - i = F = \frac{P}{\sigma_1}, \text{ d. h. } lb = \frac{P}{\sigma_1} + i$$

und bei quadratischem Auflager in der Seitenlänge

$$b = \sqrt{\frac{P}{\sigma_1} + i} \quad \ldots \quad 201.$$

[173]) 2. Aufl.: Art. 282, S. 197.
[174]) 2. Aufl.: Gleichungen 174.

Bei diefen Platten ift $l = b$, fo dafs eine der Gleichungen 200 zur Berechnung von δ_1, bezw. $\delta_{,,}$ zu benutzen ift.

Die Randftärke ρ beträgt paffend 2 cm. Die Gröfse σ_1 bezeichnet die zuläffige Preffung auf das Mauerwerk, gegen welches fich die Platte legt (in Kilogr. für 1 qcm); der Werth hierfür geht aus Gleichung 198 hervor.

Für gerippte Platten, welche aus dem früher angegebenen Grunde hier weniger in Betracht kommen, mufs auf den Gang der Berechnung verwiefen werden, welcher im mehrfach erwähnten Bande diefes »Handbuches« in Art. 294 (S. 199[175]) u. ff. betreten ift.

179. Zugkraft und Zahl der Ankerftangen.

In den für die Verankerung auszuführenden Berechnungen fpielt die Gröfse P der Zugkraft eine Rolle. Diefelbe hängt vom Gewölbfchube und von der Vertheilung deffelben auf das Gewölbwiderlager ab. Sieht man von peinlich angeftellten Unterfuchungen ab, deren Ergebniffe doch nur auf mehr oder weniger berechtigten Vorausfetzungen beruhen, fo kann man unter der Annahme eines für jede Längeneinheit der Widerlagsmauern gleichförmig und ftetig vertheilten Gewölbfchubes die Gröfse von P leicht feft fetzen, welche für die Zuganker entfteht und für die Stabilität der Widerlagsmauern verwerthet werden foll.

Ift L Met. die ganze Länge des Kappengewölbes zwifchen den Stirnmauern, H der Gewölbefchub für 1 m Länge nach Gleichung 179 (S. 264) und γ das Einheitsgewicht des Wölbmaterials in Kilogr. für 1 cbm, fo wird der gefammte Gewölbefchub

$$P = L H \gamma \text{ Kilogr.} \quad \ldots \quad 202.$$

Ift m die Zahl der in beftimmten Abftänden zwifchen den Stirnmauern einander parallel einzulegenden runden Zuganker, deren Durchmeffer je d_0 Centim. beträgt, fo ift, wenn s' wie früher die zuläffige Zugfpannung (in Kilogr. für 1 qcm) bezeichnet,

$m \frac{\pi}{4} d_0^2 s' = L H \gamma$, d. h.

$$m = \frac{4 L H \gamma}{\pi d_0^2 s'} \quad \ldots \quad 203.$$

Ift d_0 von vornherein in einem praktifchen Mafse für die Zuganker feft gefetzt, fo ergiebt fich nach Gleichung 203 die erforderliche Anzahl derfelben. In der Regel ift d_0 zu $2\frac{1}{2}$, 3 bis höchftens zu 5 cm bei gewöhnlichen Kappengewölben zu nehmen.

Meiftens ift aber die Zahl m vorweg durch die Plangeftaltung der Gewölbanlage beftimmt. Liegen diefelben in gleichen Abftänden von einander, fo entftehen bei m Zugftangen $m + 1$ Abtheilungen der Länge L, und demnach kommt für jede Zugftange eine Kraft $\frac{L H \gamma}{m + 1}$ in Rechnung. Hiernach wird entfprechend Gleichung 203

$\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = \frac{L H \gamma}{m + 1}$ oder

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{L H \gamma}{(m+1) s'}} = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{L H \gamma}{(m+1) s'}} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 204.$$

Liegen dagegen die Zuganker in Abftänden von ungleicher Weite, fo ift, wenn l Met. die gröfste überhaupt vorkommende Entfernung zwifchen zwei Ankerftangen bezeichnet,

$$d_0 = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{l H \gamma}{s'}} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 205.$$

[175]) 2. Aufl.: Art. 299 (S. 224).

zu nehmen. Hierbei ift zu bemerken, dafs derartige ungleich weite Abftände für die Zuganker dem ganzen Syftem weniger zuträglich find und daher thunlichft vermieden werden müffen. Sehr grofse Abweichungen zwifchen den einzelnen Weiten dürfen überhaupt nicht zugelaffen werden. Bei geringfügigen Unterfchieden in diefen Abftänden ift dann für alle Ankerftangen der nach Gleichung 205 für l Met. berechnete Durchmeffer d_0 beizubehalten. Von Wichtigkeit ift bei der Verankerung der Kappengewölbe auch das Anbringen von Zugankern an jeder Stirnmauer, um hierdurch dem erfahrungsmäfsig leicht eintretenden Ausweichen, bezw. Abreifsen der Widerlagsmauern an den Ecken des Raumes möglichft vorzubeugen. Die Entfernungen der Zuganker von einander follen höchftens 4 m, unter Umftänden weit weniger betragen weil bei zu grofsen Abftänden der Verankerungen die nicht ausreichend ftarken Widerlagsmauern zwifchen den Ankerzügen fich leicht ausbauchen und Mauerriffe erhalten.

180. Beifpiel.

Beifpiel. Ein aus Backftein vom Einheitsgewichte 1,6 ausgeführtes Kappengewölbe mit einem Kreisbogen als Leitlinie ift 14,5 m lang; die Spannweite $2s$ deffelben beträgt 3 m, alfo $s = 1{,}5$ m, und die Pfeilhöhe $f = 0{,}4$ m, alfo etwas über $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Das Gewölbe ftützt fich gegen Widerlagsmauern, welche ordnungsmäfsig aus feftem Kalkftein vom Einheitsgewichte 2,6 ausgeführt find; die Stärke b derfelben beträgt 0,60 m und die Höhe $k = 8{,}2$ m; die Kämpferhöhe a des Gewölbes beträgt 3 m. Das Gewölbe ift 1 Stein = 0,25 m ftark, in den Zwickeln mit Backftein ausgemauert und mit einem Bretterfufsboden überlagert. Die Nutzlaft des Gewölbes ift zu 400 kg für 1 qm Grundfläche beftimmt. Diefer nicht ganz geringfügigen Nutzlaft entfprechend, wird die als wagrecht abgeglichene Belaftungsfläche, auf Backftein-Material zurückgeführt, zu einer Höhe $h = \frac{400}{1600} = 0{,}25$ m im Scheitellothe des Gewölbes gefunden. Vom Zurückführen des Gewichtes des mit Sand unterlagerten Bretterfufsbodens ift hier abgefehen.

1) Prüfung der Gewölbftärke. Man erhält nach Gleichung 179

$$H = \frac{1{,}5^2}{12\,(0{,}25 + 0{,}4)}\left[6\,(0{,}25 + 0{,}25) + 0{,}4\right] = 0{,}97 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 202 überfchreitet diefer Werth die für H berechnete Gröfse bei 1 Stein ftarken Gewölben um 0,1 qm, bleibt aber von H für $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke um 1,06 qm entfernt. Wird nun das Gewölbe auch etwas ftärker gepreffft, als Gleichung 145 angiebt, fo kann diefe etwas gröfsere Preffung bei kleineren Gewölben doch zugelaffen und die Gewölbftärke d zu 1 Stein als genügend angefehen werden.

Nach Gleichung 180 wird

$$G = 1{,}5\left(0{,}25 + 0{,}25 + \frac{0{,}4}{3}\right) = 0{,}95 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Bei den gegebenen Abmeffungen wird, um den Normaldruck N in der Kämpferfuge beftimmen zu können, zuvor $\sin\alpha = \frac{s}{r}$ und, da $\frac{f}{s} = \frac{s}{2r - f}$, alfo $r = \frac{f^2 + s^2}{2f}$ ift,

$$\sin\alpha = \frac{2fs}{f^2 + s^2} = \frac{1{,}20}{2{,}41} = 0{,}4979 = \sim 0{,}5\,,$$

mithin nahezu und hier genau genug $\alpha = 30$ Grad. Hiernach ift zufolge Gleichung 152

$$N = 0{,}97\cos 30^0 + 0{,}95\sin 30^0 = 0{,}97 \cdot 0{,}866 + 0{,}95 \cdot 0{,}5 = 1{,}325 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Diefer Werth bleibt nach der Tabelle auf S. 202 weit unter der für den Normaldruck N bei einem 1 Stein ftarken Gewölbe berechneten Gröfse. Mithin ift auch in diefer Beziehung die ausgeführte Gewölbftärke hinreichend.

2) Prüfung der Widerlagsftärke. Das Gewicht des Wölbmaterials fammt Belaftung ift $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm, während das Eigengewicht des Mauerwerkes vom Widerlager $\gamma_1 = 2600$ kg für 1 cbm beträgt. Unter Benutzung von Gleichung 182 wird

$$u = \frac{2 \cdot 3 \cdot 0{,}97 - 0{,}6 \cdot 0{,}95}{2\left(0{,}95 + 0{,}6 \cdot 8{,}2 \cdot \frac{2600}{1600}\right)} = \frac{5{,}25}{17{,}89} = 0{,}293 \text{ m},$$

alfo ganz wenig kleiner als $\frac{b}{2} = \frac{0{,}60}{2} = 0{,}30$ m.

Dieſes Ergebniſs bedingt eine kräftige Verankerung der Widerlagsmauern.

Für den Gleichgewichtszuſtand gegen Gleiten muſs bei der Annahme des Reibungswinkels ϱ für Kalkſteinmauerwerk als $\operatorname{tg} \varrho = 0{,}7$ nach Gleichung 184

$$0{,}60 > \frac{0{,}97 - 0{,}7 \,.\, 0{,}95}{0{,}7 \,.\, 8{,}2 \,.\, \frac{2600}{1600}},$$

d. h. $0{,}60 > 0{,}326$ fein.

Solches iſt hier der Fall, mithin iſt Sicherheit gegen Gleiten der Widerlagsmauer auf ihrer Grundfläche bekundet.

Für eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Fuge der Widerlagsmauer geht die Gröſse k der Gleichung 184 in $k_1 = k - \gamma_1 = 8{,}2 - 3 = 5{,}2$ m über, und nun muſs

$$0{,}60 > \frac{0{,}97 - 0{,}7 \,.\, 0{,}95}{0{,}7 \,.\, 5{,}2 \,.\, \frac{2600}{1600}},$$

d. i. $0{,}60 > 0{,}515$ fein. Auch für dieſe Fuge iſt demnach keine Gefahr in Bezug auf Gleiten vorhanden.

3) Berechnung der Verankerung. Wird die Zahl m der in gleichen Entfernungen von einander zwiſchen den Stirnmauern angebrachten Zugankern zu 4 genommen, ſo iſt die Entfernung derſelben $l = \frac{14{,}2}{4+1} = 2{,}9$ m und ſomit die Zugkraft P für dieſelbe gleich dem reſultirenden Gewölbſchube für dieſe Länge l, d. h. $P = 2{,}9 \,.\, 0{,}97 \,.\, 1600 = 4500{,}8$ kg, wofür 4500 kg geſetzt werden ſollen.

Für dieſe Beanſpruchung würde nach Gleichung 194, worin s' unter Berückſichtigung der Torſion, welche die Ankerſtange erleiden kann, gleich 600 kg für 1 qcm geſetzt werden ſoll, der Durchmeſſer der Stange

$$d_0 = \backsim 1{,}13 \sqrt{\frac{4500}{600}} = 3{,}09 \text{ cm}.$$

Die Zuganker erhalten aber an ihren Enden Schraubengewinde, deren äuſserer Ring von etwa 1 mm Tiefe nicht als tragfähig gelten kann. Aus dieſem Grunde iſt zunächſt nach Gleichung 189, worin auch $s' = 600$ kg berückſichtigt iſt, der innere Durchmeſſer zu beſtimmen als

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{4500} = 0{,}2 + 3{,}086 = 3{,}286 \text{ cm},$$

wofür 3,3 cm genommen werden ſollen.

Alsdann wird nach Gleichung 188 der äuſsere Gewindedurchmeſſer $d = (1{,}139 \,.\, 3{,}3 + 0{,}103) = 3{,}86$ cm und endlich nach Gleichung 187 der Durchmeſſer der Zugſtange ſelbſt

$$d'' = 1{,}173 \,.\, 3{,}3 + 0{,}128 = 3{,}99 \text{ cm},$$

wofür ſelbſtredend 4 cm zu nehmen ſind. Dieſer Durchmeſſer iſt den Zwiſchenankern ſtatt des Maſses $d_0 = \backsim 3$ cm zu geben.

Die Ankerſtangen an jeder Stirnmauer können, da der für ihre Spannung maſsgebende reſultirende Gewölbſchub zu $\frac{l}{2} H \gamma = \frac{2{,}9}{2} \,.\, 0{,}97 \,.\, 1600 = 2250$ kg angenommen werden darf, einen geringeren Durchmeſſer als die Zwiſchenanker erhalten. Für den inneren Gewindedurchmeſſer würde nach Gleichung 189

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{2250} = 2{,}38 \text{ cm}$$

und hiernach der Durchmeſſer der Stange nach Gleichung 187

$$d'' = 1{,}173 \,.\, 2{,}38 + 0{,}128 = 2{,}91 \text{ cm},$$

wofür $d'' = 3$ cm zu nehmen iſt.

Vielfach giebt man aber in der Praxis dieſen Stirnankern denſelben Durchmeſſer, wie den Zwiſchenankern.

Giebt man den runden Zugankern an ihren Enden Oeſen, welche Keile, bezw. Splinte aufnehmen, die dann zweckmäſsig auf Ankerplatten lagern, ſo ſind zur Berechnung derſelben die Gleichungen 190 bis 193 und die Gleichung 197 anzuwenden. Man erhält alsdann nach Gleichung 194 den Stangendurchmeſſer, da s' beim Nichteintreten einer Torſion bei derartigen Ankern gleich 800 kg für 1 qcm geſetzt werden kann,

$$d_0 = 1{,}13 \sqrt{\frac{5400}{800}} = 2{,}94 = \backsim 3 \text{ cm}$$

und nun der Reihe nach entſprechend den Gleichungen 190 bis 193

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4500 \cdot 3{,}1416}{1200} \cdot \frac{1}{1+\frac{1200}{800}}} = \infty\, 1{,}1\ \text{cm},$$

$$d = 2\sqrt{\frac{4500}{3{,}1416 \cdot 1200}\left(1+\frac{1200}{800}\right)} = \infty\, 3{,}8\ \text{cm},$$

$$b = \sqrt{\frac{4500}{3{,}1416 \cdot 640} \cdot \frac{1200}{640}\left(1+\frac{1200}{800}\right)} = \infty\, 3{,}3\ \text{cm},$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4500 \cdot 3{,}1416}{640} \cdot \frac{1200}{640} \cdot \frac{1}{1+\frac{1200}{800}}} = \infty\, 2\ \text{cm}.$$

Ein Vergleich der Ergebniſſe der Rechnung fällt hinſichtlich der Zugſtangen zu Gunſten der zuletzt betrachteten Anordnungen von Oeſen mit Keilen aus, da die Anwendung von Ankerſtangen mit Schraubengewinden an den Enden einen gröſseren Aufwand an Material für die Verankerung bedingt.

4) Berechnung der Ankerplatten. Sollen quadratiſche gufseiſerne Ankerplatten mit einfachem rechteckigen Querſchnitte Verwendung finden, ſo iſt bei der Beanſpruchung $P = 4500$ kg die Dicke derſelben nach Gleichung

$$\delta = 0{,}055\sqrt{4500} = 3{,}69\ \text{cm},$$

wofür rund 3,7 cm genommen werden.

Bei runden Zugankern mit Schraubengewinden an den Enden iſt die Oeffnung in der Ankerplatte um etwa 2 mm gröſser als der Durchmeſſer der Zugſtange zu nehmen, ſo daſs dieſelbe nach der angeſtellten Rechnung 4,2 cm betragen würde. Die Grundfläche dieſer Oeffnung iſt demnach $i = \frac{\pi}{4}\, 4{,}2^2 = \infty\, 13{,}85$ qcm.

Hiernach wird unter Benutzung von Gleichung 201

$$b = \sqrt{\frac{4500}{\sigma'} + 13{,}85}\ \text{Centim.}$$

Nimmt man für Mauerwerk aus feſtem Kalkſtein in Kalkmörtel die zuläſſige Beanſpruchung σ' für 1 qcm zu 10 kg an, ſo iſt $b = \sqrt{450 + 13{,}85} = \sqrt{463{,}85} = 21{,}54$ cm oder abgerundet $= 22$ cm.

Da aber die Ankerplatten eine möglichſt groſse Fläche der Widerlagsmauer überlagern ſollen, ſo iſt es rathſam, die Seitenlänge b dieſer Platten zu 30 cm anzunehmen. Alsdann iſt die Grundfläche derſelben, welche die von den Zugankern herbeigeführte Preſſung auszuhalten hat, gleich $F = (30^2 - 13{,}85)$ $= 886{,}15$ qcm und folglich $\sigma' = \frac{4500}{886{,}15} = \infty\, 5$ kg für 1 qcm, eine Beanſpruchung, welche ſelbſt bei weniger feſtem Kalkſteinmauerwerk zuläſſig iſt.

Werden die vorhin berechneten Zugſtangen mit Oeſen und Keilen zur Ausführung gebracht, ſo würden zweckmäſsig dieſelben Ankerplatten für die Unterlagerung der Keile, bezw. für die Verankerung benutzt.

Würden ſtatt der Ankerplatten Ankerſplinte für die Verankerung genommen, welche zur Erzielung einer möglichſt groſsen Auflagerfläche oberhalb der Oeſe oder oberhalb und unterhalb derſelben entſprechend geäſtet angeordnet werden könnten, ſo müſſte, wenn aus practiſchen Gründen, die Breite der Auflagerfläche derſelben ſtatt der für den Keil berechneten Breite $\delta = 1{,}1$ cm zu 2 cm gewählt würde, bei der Beanſpruchung $\sigma' = 10$ kg für 1 qcm Mauerfläche die geſammte Länge l der Aeſte eines Ankerſplintes gleich $\frac{4500}{10 \cdot 2} = 225$ cm ſein, d. h. bei 4 auch in geſchwungenen Linien geführten Aeſten würde jeder derſelben oberhalb und unterhalb derſelben rund 57 cm in der Erſtreckung meſſen. Bei Verminderung dieſer erſtreckten Länge würde ſelbſtverſtändlich die Beanſpruchung σ' des Mauerwerkes wachſen.

Nach den gemachten Angaben hätte alſo die Durchbildung der Ankerſplinte zu erfolgen.

181. Strebepfeiler.

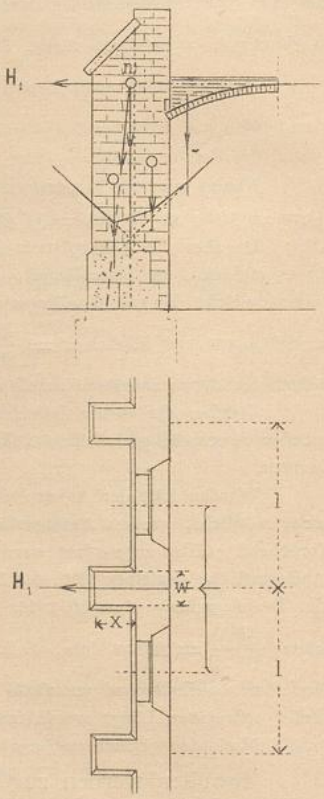
Zuweilen werden zur Verſtärkung der Widerlager für Kappengewölbe und auch wohl für ihr Urſprungsgewölbe, das Tonnengewölbe, Strebepfeiler in gewiſſen Entfernungen von der Widerlagsmauer in Vorſchlag gebracht. Sind, wie bei den Kreuzgewölben ſich zeigen wird, Strebepfeiler, bezw. Strebebogen bei ſolchen Anlagen vortheilhaft am Platze, ſo iſt dieſes bei Kappengewölben oder Tonnengewölben weit weniger der Fall. Bei dieſen Gewölben iſt, wie bereits bei der Verankerung der-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſelben geſagt iſt, keine Vereinigung des Gewölbſchubes an einzelnen abgegrenzten Theilen der Widerlager vorhanden. Die Vorausſetzungen, welche hinſichtlich der Vertheilung des Gewölbſchubes auf eine Widerlagsmauer mit Strebepfeilern zu Grunde gelegt werden, laſſen noch Zweifel zu. Obgleich dieſer Vorwurf auch die Verankerung treffen muſs, ſo iſt doch durch ſolche Anlagen erfahrungsmäſsig eine entſprechende Erhöhung der Standſicherheit der mit nicht ganz zureichender Stärke behafteten Widerlagsmauern in verhältnismäſsig einfacher Weiſe herbeizuführen. Die in der Höhe der Kämpferebene eingezogene Verankerung vermag eine beſſere Verſpannung der Widerlagsmauern und eine gröſsere Gegenwirkung für den Gewölbſchub auszuüben, als die vorgelegten Strebepfeiler, welche etwa eine erhöhte Standfähigkeit der an ſich nicht ganz genügend ſtarken Widerlagsmauern der Kappengewölbe vermitteln ſollen.

Müſſen aus beſonderen Gründen ſtatt der Zuganker Strebepfeiler angeordnet werden, ſo iſt, unter Beachtung des in Art. 178 (S. 268) für die Unterſuchung der zwiſchen den Zugankern liegenden Mauertheile der Widerlager Geſagten, für die Strebepfeiler ſelbſt eine Entfernung von über 4 m von Mitte zu Mitte thunlichſt zu vermeiden. Die parallel zur Widerlagsmauer auftretende Breite der Strebepfeiler ſollte nicht unter 38, bezw. 40 cm betragen. Ihre rechtwinkelig zum Widerlager antretende Dicke iſt durch ſtatiſche Unterſuchung zu beſtimmen. Das bei dieſer Unterſuchung zu benutzende Verfahren entſpricht im Weſen ganz dem in Art. 143 (S. 197) über die Ermittelung der Stabilität eines Tonnengewölbes und ſeines Widerlagers Mitgetheilten. Im Beſonderen iſt hier nur zu berückſichtigen, daſs unter Bezugnahme auf Fig. 365 der für den Körper des Strebepfeilers in Betracht kommende, im Punkte n angreifende reſultirende Horizontalſchub $H_1 = l H$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. bei der graphiſchen Unterſuchung oder als $H_1 = l H \gamma$ Kilogr. bei der rechneriſchen Ermittelung der Stabilität des Strebepfeilers einzuführen iſt. Die Gröſsen H und γ haben die früher angegebene Bedeutung; l iſt die Entfernung der Strebepfeiler von Mitte zu Mitte (in Met.).

Fig. 365.



Die Gewichtsbeſtimmung vom Körper des einzelnen Strebepfeilers erfolgt ſelbſtredend unter Berückſichtigung der meiſtens von vornherein angenommenen Breite w deſſelben, einer vorläufig zu wählenden Dicke x und des Eigengewichtes γ_1 des betreffenden Mauermaterials. Bei der graphiſchen Methode iſt dieſes Mauermaterial auf das Wölbmaterial, wie früher beſprochen, zu reduciren. Die für den Höhenſchnitt des Strebepfeilers darzuſtellende Mittellinie des Druckes darf die Kernfläche des Querſchnittes deſſelben nicht verlaſſen; auſserdem muſs das Gleichgewicht gegen Gleiten in bekannter Weiſe bekundet ſein.

Findet die Einwölbung der Kappengewölbe nicht auf »Kuf«, ſondern auf »Stich« oder »Schwalbenſchwanz« ſtatt, wovon unter c des Näheren mitgetheilt wird, ſo

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

entftehen fchmale, neben einander liegende Wölbftreifen, Wölbfcharen oder Zonen, welche ihr Widerlager fowohl an den eigentlichen Widerlagsmauern, als auch an den Stirnmauern und endlich auch an den Seitenflächen einzelner Zonen felbft finden.

In jedem Falle treten bei diefer Art der Einwölbung die fämmtlichen das Gewölbe begrenzenden Raumtheile als Widerlager auf, fo dafs auch die Stirnmauern einem Gewölbfchube ausgefetzt find, welcher hier fogar für die einzelnen Wölbfcharen in verfchiedenen Höhen über der Kämpferebene des Gewölbes angreift und auch in Bezug auf einander verfchieden grofs ausfällt.

Ift die Leitlinie des Kappengewölbes, wie eigentlich ftets der Fall, ein flacher Kreisbogen, fo ift die Leitlinie jeder einzelnen Wölbfchar ein elliptifcher Bogen, deffen Kämpferpunkte in verfchieden hoch gelegenen wagrechten Ebenen auftreten. Im Allgemeinen find demnach, ftreng genommen, die einzelnen Wölbfcharen fchmale einhüftige oder anfteigende Gewölbe, deren Gewölbfchub nach den in Art. 146 (S. 209) gemachten Angaben ermittelt werden kann, wenn dabei nur die Annahme gemacht wird, dafs etwas abweichend von der Wirklichkeit die feitlichen Begrenzungsflächen diefer Wölbfcharen einander parallelen, lothrechten Ebenen angehören, während diefelben, ftreng genommen, in verfchieden zu einander geneigten Ebenen liegen, welche die Laibungsfläche des Gewölbes nach Ellipfenftücken durchfchneiden, deren Grundrifsprojectionen ebenfalls gekrümmt find. Die Abweichung von der Wirklichkeit noch weiter zu treiben und auch Abftand zu nehmen von der Eigenfchaft der Wölbfcharen, wonach diefelben als einhüftige kleine Gewölbe erfcheinen, um diefelben ohne Weiteres als fymmetrifch geformte und fymmetrifch belaftete Gewölbe anzufehen, könnte füglich unterlaffen werden, da die ftatifche Unterfuchung einhüftiger Gewölbe nebft deren Widerlager keine erheblich zu nennende Schwierigkeiten verurfacht, fo fern überhaupt nicht fehr hoch gefpannte theoretifche Entwickelungen angeftellt werden follen.

Eine in dem einfacheren Sinne geführte Unterfuchung eines auf »Schwalbenfchwanz« gewölbten Kappengewölbes ift unter Benutzung der Methode der graphifchen Statik unter Beachtung einhüftig geformter Wölbfcharen in Fig. 366 vorgenommen. Sie foll dazu dienen, namentlich auch einen Einblick in die Einwirkung des Gewölbfchubes auf die Stirnmauern des überwölbten Raumes zu gewinnen; fie foll aber auch durch ihren Gang die nöthigen, beachtenswerth erfcheinenden Anhaltspunkte gewähren, welche für die fpäter zu berückfichtigende Stabilitätsermittelung der flachen Kloftergewölbe, der Kreuzgewölbe u. f. f. weiter benutzt werden können, zumal der fog. Verband auf »Stich« oder »Schwalbenfchwanz« in der Praxis des Gewölbebaues eine fehr ausgedehnte Anwendung findet.

Es fei $abcd$ (Fig. 366) ein rechteckiger Raum von 4 m Breite und 8 m Länge. Derfelbe wird mit einem Kappengewölbe überdeckt, deffen Leitlinie ein Kreisbogen ift, welcher als fog. Kreuzrifsbogen (Centriwinkel = 60 Grad) befchrieben wurde. Das Pfeilverhältnifs ift demnach $\frac{1}{7{,}46}$, alfo etwas mehr als $\frac{1}{8}$.

Betrachtet man den einzelnen Gewölbftreifen I, fo erhält derfelbe feine Stützen an der eigentlichen Widerlagsmauer ac und in der Mitte der Stirnmauer ab. Derfelbe möge innerhalb des Grundriffes des Wölbraumes einen beliebigen Winkel φ mit der Richtung ab einfchliefsen. Seine Wölblinie he ift ein Theil einer Ellipfe, welche nach der gegebenen Leitlinie des Kappengewölbes beftimmt werden kann. Die Kämpferpunkte h und e liegen in verfchiedenen wagrechten Ebenen; das Gewölbe felbft befteht nicht aus zwei congruenten Hälften mit fymmetrifcher Belaftung, ift alfo ein unfymmetrifch geformtes und unfymmetrifch belaftetes Gewölbe oder kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Wird die Tiefe deffelben durch zwei parallele lothrechte Ebenen im Abftande gleich der Längen-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

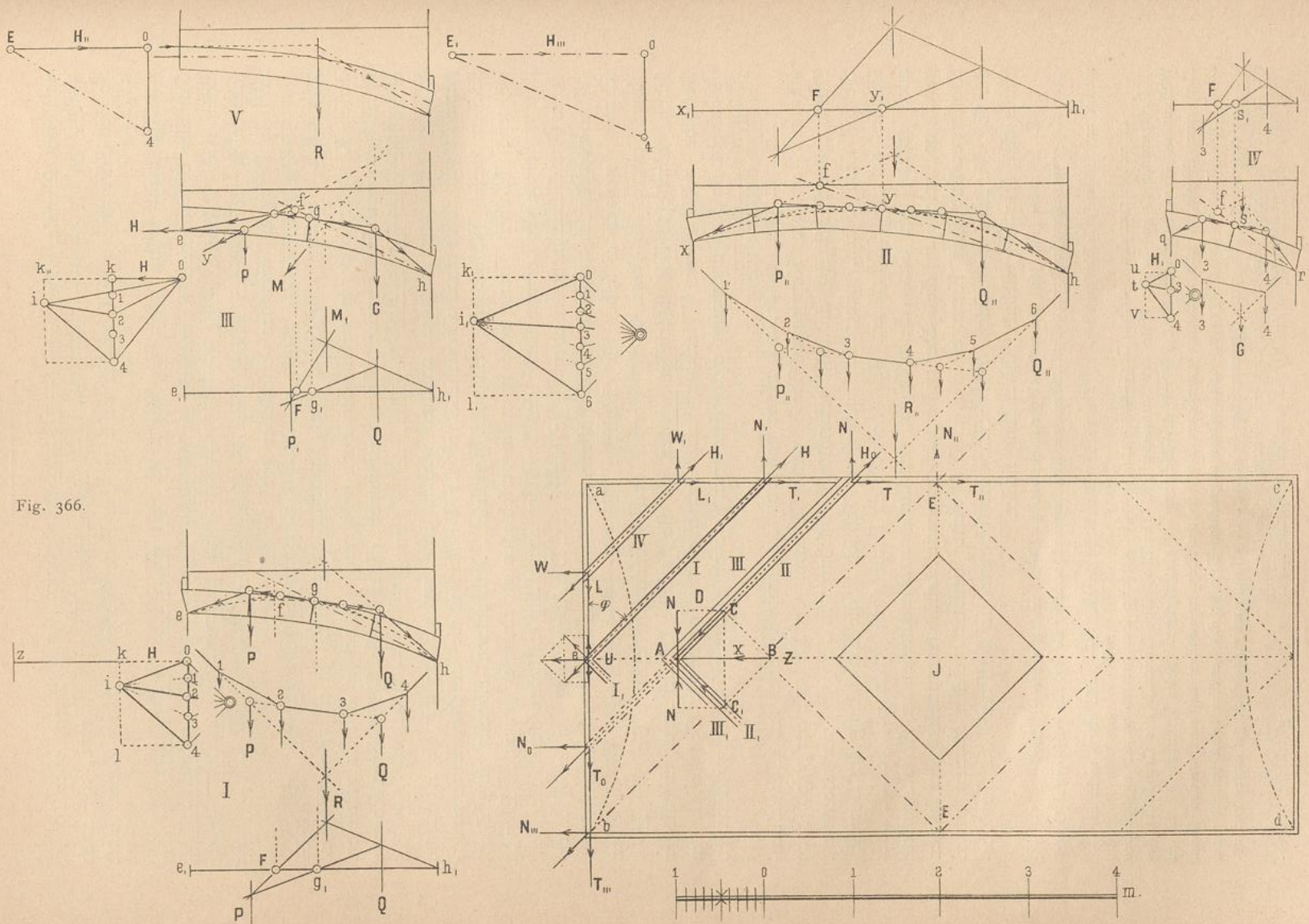

E
H
V
R
E
H
F
y
x
h
f
y
P
M
G
H
k
i
III
M
F
P
Q
II
P
Q
R
IV
F
S
f
S
q
u
t
v
r
G
W
H
N
N
H
a
L
T
T
E
c
W
IV
I
III
II
L
φ
N
D
C
A
x
B
Z
J
U
N
C
N
III
II
N
T
E
b
d
T
1
0
1
2
3
4
m.
z
k
H
i
P
Q
R
I
F
P
Q

Fig. 366.

einheit begrenzt genommen, so kann bei gegebener oder gewählter Gewölbstärke und bei fest gesetzter Belastung, zurückgeführt auf Wölbmaterial, die Stabilitätsuntersuchung des Gewölbstreifens ganz so vorgenommen werden, wie in Art. 146 (S. 209) mitgetheilt ist. Als Nutzlast sind 320 kg für 1 qm angenommen; die Gewölbstärke ist zu 1 Stein fest gesetzt.

Für die Bestimmung der Mittellinie des Druckes egh wurde die durch h und g gelegte Gerade als Polaraxe benutzt. Der in g wirksame Gewölbeschub ergiebt sich als $2i$, bezw. $i2$ im zugehörigen Kräftepolygon. Die in e und h auftretenden Drucke der Kämpferfugen bestimmen sich in demselben Polygon als oi, bezw. $i4$.

Der Horizontalschub H wird als wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes $2i$ der Grösse nach gleich ok, bezw. ko. Denselben Werth besitzen auch die wagrechten Seitenkräfte der bezeichneten Kämpferdrücke, welche die Widerlagsmauer und die Stirnmauer treffen. Die lothrechten Seitenkräfte dieser Drücke sind $o2$, bezw. 24.

In der Zeichnung ist $ok = 0{,}78$ m gefunden und, da die Basis oz, welche für die Verwandelung der Belastungsfläche des Gewölbes benutzt wurde, gleich 2 m ist, so wird

$$H = 2 \,.\, 0{,}78 = 1{,}56 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Diesem Werthe von H entspricht nach der auf S. 202 enthaltenen Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein bis $1^1/_2$ Stein. Da aber nach einer vorgenommenen Prüfung der grösste Normaldruck N für die Kämpferfuge h nur $2 \,.\, 0{,}88 = 1{,}76$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. beträgt, so wird hierfür nach der angeführten Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein ausreichend. Bei Kappengewölben kann dieser Werth von N Berücksichtigung finden, und dieserhalb ist die Gewölbstärke mit 1 Stein gelassen. Dieselbe kann durchgängig beibehalten werden, weil innerhalb des Wölbgebietes $aE\mathcal{J}U$ kein einziger mit I parallel laufender Wölbstreifen eine grössere Spannweite als I selbst erhält. Dasselbe gilt auch für die übrigen Wölbgebiete, welche dieselbe Anordnung der Wölbstreifen erfahren, wie das bezeichnete Gebiet.

Für den mit I zusammentretenden Streifen I_1, welcher vollständig der Gewölbzone I entspricht, entsteht derselbe Gewölbschub $H = 1{,}56$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.

Die Dicke dieser Streifen ist aber nicht 1 m, sondern nur gleich einer Backsteindicke, also gleich 0,065 m; mithin kommt für jeden Streifen nur ein Horizontalschub von $1{,}56 \,.\, 0{,}065 = \backsim 0{,}1$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. oder bei einem Gewicht des Wölbmaterials von 1600 kg für 1 cbm von $1600 \,.\, 0{,}1 = 160$ kg in Betracht.

Erfetzt man diese beiden Kräfte je für sich durch zwei Seitenkräfte, welche in der Richtung der Scheitellinie $U\mathcal{J}$ des Gewölbes und rechtwinkelig hierzu wirkend genommen werden, so vereinigen sich die ersten beiden zu einer wagrechten Mittelkraft $U = 2H \,.\, \sin\varphi$; d. i. im vorliegenden Falle, da $\varphi = 45$ Grad gewählt ist, $U = 2 \,.\, 160 \,\frac{1}{\sqrt{2}} = 226{,}24$ kg. Diese Kraft trifft die Stirnmauer rechtwinkelig im Punkte e. Die beiden anderen in e angreifenden Seitenkräfte, welche an der inneren Seitenfläche der Stirnmauern wirken, halten sich im Gleichgewicht.

Die Widerlagsmauer ac erhält vom Streifen I den Horizontalschub $H = 160$ kg. Die rechtwinkelig zu ac gerichtete Seitenkraft desselben wird also $N_1 = H \,.\, \cos\varphi = 160 \,\frac{1}{\sqrt{2}} = 113{,}12$ kg, während die mit ac zusammenfallende, in der Kämpferlinie des Gewölbes wirkende Seitenkraft $T_1 = H \,.\, \sin\varphi$, d. h. auch hier gleich $160\frac{1}{\sqrt{2}} = 113{,}12$ kg wird.

Für einen Streifen IV entsteht wiederum ein einhüftiges elliptisches Gewölbe, dessen Stabilitätsuntersuchung in der Zeichnung in bekannter Weise unter Benutzung der Polaraxe rs vorgenommen wurde. Der Horizontalschub H_1 ergab sich zu $0{,}31 \,.\, 2 = 0{,}62$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met., mithin für die Dicke 0,065 m des Streifens zu

$$0{,}62 \,.\, 0{,}065 \,.\, 1600 = 64{,}48 \text{ kg}.$$

Dieser Schub trifft sowohl die Stirnmauer ab, als auch die Widerlagsmauer ac.

Für die rechtwinkelig zu diesen Mauerkörpern wirkenden Seitenkräfte erhält man $W = H_1 \,.\, \sin\varphi$ und $W_1 = H_1 \,.\, \cos\varphi$, während für die mit den Begrenzungen ab, bezw. ac zusammenfallenden Seitenkräfte sich $L = H_1 \,.\, \cos\varphi$ und $L_1 = H_1 \,.\, \sin\varphi$ ergiebt. Für $\varphi = 45$ Grad ist $\sin\varphi = \cos\varphi$ und demnach

$$W = W_1 = L = L_1 = 64{,}48 \,\frac{1}{\sqrt{2}} = \backsim 45{,}6 \text{ kg}.$$

Von Wichtigkeit ist die Prüfung des Einflusses, welchen die Gewölbschübe der sämmtlichen Wölbstreifen zwischen dem mittleren Stirnstreifen und der Mittellinie EE des Gewölbes auf die Stirnmauer

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

und die eigentlichen Widerlagsmauern ausüben. Jeder Gewölbſtreifen liefert jedoch nur ſcheinbar in der Richtung $\mathcal{J}U$, d. h. in der Scheitellinie des Gewölbes, einen vom Gewölbſchube, welcher in einem Einzelſtreifen auftritt, abhängigen Horizontalſchub. Möchte derſelbe an ſich betrachtet auch keine übermäſsige Gröſse aufweiſen, da ſehr weit geſpannte Kappengewölbe nicht in Anwendung kommen, ſo iſt doch für dieſelben ſehr häufig eine nicht unbedeutende Länge unter Benutzung des Verbandes auf Schwalbenſchwanz erfahrungsmäſsig zur Ausführung gekommen, ohne daſs bei dieſen langen Gewölben übermäſsig ſtarke Stirnmauern erforderlich geworden wären. Wollte man einfach die erwähnten, ſcheinbar auftretenden einzelnen Horizontalſchübe, welche in $\mathcal{J}U$ liegen, ſummiren, ſo müſſte bei ſehr groſser Länge von $\mathcal{J}U$ ein ſehr groſser reſultirender Horizontalſchub für die Stirnmauer in ihrer Mitte entſtehen, der ſchliefslich, ſo darf man folgern, bei unendlicher Länge des Gewölbes auch unendlich groſs werden müſſte. Dieſer Annahme, wonach ein ſolches Addiren der einzelnen Horizontalſchübe zuläſſig ſei, widerſpricht aber aller Erfahrung. Sehr lange Gänge ſind häufig mit Kappengewölben im genannten Verbande ausgeführt und doch haben nicht unverhältniſsmäſsig ſtarke Stirnmauern den geſammten entſpringenden Horizontalſchub ohne beſonderen Nachtheil für ihren ſicheren Beſtand und ohne beſondere Verankerung aufgenommen. Die Stärke dieſer Stirnmauern würde ſicherlich nicht genügend geweſen ſein, wenn der durch Summirung der einzelnen Horizontalſchübe der äuſserſt zahlreichen Wölbſtreifen ermittelte geſammte Horizontalſchub für die Stirnmauern thatſächlich zur Wirkung gekommen wäre.

So liefert in dem hier behandelten Beiſpiele der Elementarſtreifen I in Gemeinſchaft mit dem ihm zugehörigen Streifen I_1 einen Horizontalſchub $U = 226{,}24$ kg. Nimmt man an, ein Gewölbe von derſelben Spannweite gleich 4 m beſitze ſtatt 8 m Länge eine ſolche von 80 m, ſo würde die Scheitellinie von U bis Z, für welche nur die Wölbſtreifen von gleicher Spannweite mit dem Streifen I zunächſt einmal in Frage kommen mögen, bei dem Winkel $\varphi = 45$ Grad eine Länge von $\frac{80}{2} - 2 = 38$ m beſitzen. Für dieſe Strecke würden unter Berückſichtigung von 1 cm ſtarken Fugen zwiſchen den Streifen

$$\frac{38}{0{,}075\,\frac{1}{\sin\varphi}} = \frac{38}{0{,}075\sqrt{2}} = \sim 380 \text{ Schichten}$$

auftreten und folglich ein reſultirender Horizontalſchub allein für dieſe Schichten von $380 \cdot 226{,}24$ kg $= \sim 85972$ kg entſtehen, mithin ſich ein Ergebniſs herausſtellen, welches als widerſinnig gelten muſs.

Um zu anderen, der Wirklichkeit näher kommenden Ergebniſſen zu gelangen, möge das Gewölbe bis zu den Streifen III und III_1 ausgeführt ſein. Würden die unterſtützenden Lehrgerüſte auch beſeitigt ſein, ſo würde dieſes Gewölbſtück ſich frei ſchwebend erhalten, ſo fern jeder Streifen zwiſchen I und III an ſich im Gleichgewichte iſt. Sein Widerlager findet derſelbe in ſeiner Geſammtheit an der Mauer ac und an den bis zur Stirnmauer eingefügten Streifen des Gewölbeſtückes.

Bei der praktiſchen Ausführung, wovon ſpäter noch näher die Rede iſt, wird nach und nach jedes Paar zuſammengehöriger Wölbſtreifen für ſich gewölbt; von geſchickten Arbeitern oft aus freier Hand nur unter Benutzung einer ſog. Lehre. Dieſe beſteht aus einem Brettſtücke, deſſen obere Begrenzung der Wölblinie des Streifens entſpricht. Hiernach können auf Schwalbenſchwanz eingewölbte Kappen in der Nähe ihres Scheitels ſelbſt eine Oeffnung behalten; eine Anordnung, welche auch häufiger getroffen wird.

Werden die Gewölbſtreifen II und II_1 eingewölbt, ſo ſtützen ſich dieſelben gegen die Widerlagsmauer und gegen die Streifen III und III_1 derart, daſs die Kämpferdrücke für jene Mauer und für dieſe Streifen in einer Gröſse und Richtung auftreten, welche dem möglichſt kleinſten Gewölbeſchube der Elementarſtreifen II, bezw. II_1 entſprechen. Die Form und Belaſtung dieſer Streifen ſind aber in vollſtändiger Uebereinſtimmung mit dem Streifen I, ſo daſs die ſtatiſche Unterſuchung derſelben auch übereinſtimmende Ergebniſſe mit derjenigen für I liefern muſs.

Die in den Kämpferpunkten e und h für ſich entſpringenden Kämpferdrücke ſind wieder oi, bezw. $i4$. Die wagrechten Seitenkräfte $H = ok$, bezw. $= l4$, die lothrechten Seitenkräfte $o2$, bezw. 24 ergeben ſich gleichfalls wie früher. Die von II und II_1 auf den Gewölbkörper, welcher bis III, bezw. III_1 reichte, übertragenen Horizontalſchübe ſetzen ſich zu einem in der Scheitellinie des Gewölbes wirkenden Horizontalſchub $X = 2D = 2H \sin\varphi$ zuſammen, während die ſenkrecht zur Scheitellinie genommenen Seitenkräfte N der Horizontalſchübe H ſich im Gleichgewicht halten und die Endflächen der Streifen II und II_1 gegen einander preſſen. Der noch übrig bleibende reſultirende Horizontalſchub X trifft zunächſt die angrenzenden Gewölbſtreifen III und III_1 im Punkte A und muſs ſelbſtverſtändlich durch ein entſprechendes Widerlager aufgehoben werden.

Denkt man ſich, die Streifen III und III_1 wären von dem übrigen bis zur Stirnmauer gehenden Gewölbkörper um irgend eine Strecke nach $\mathcal{J}$ zu abgerückt, nimmt man ferner an, der übrige Gewölb-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

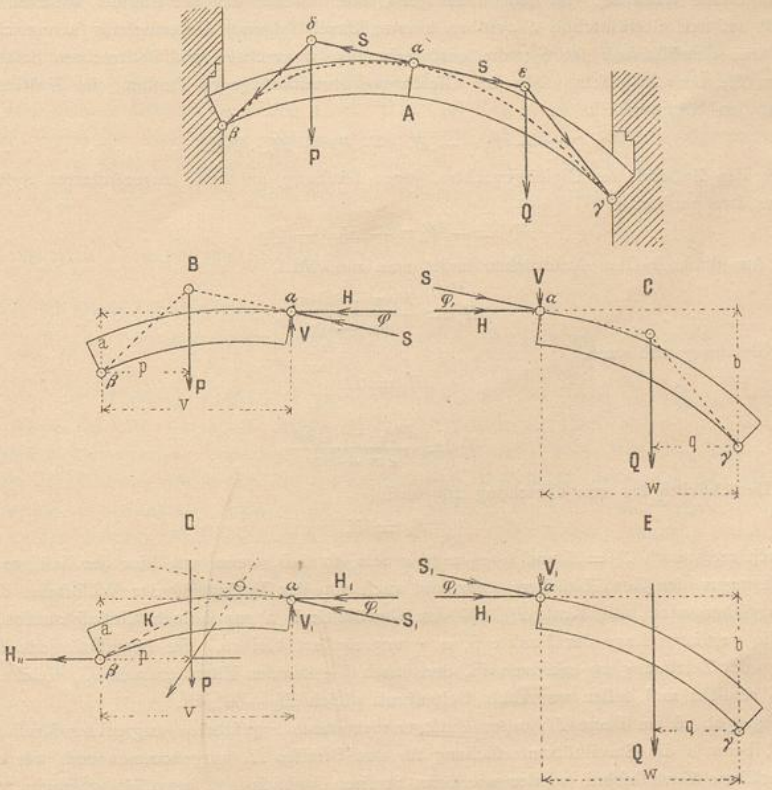
körper ſei in der Richtung der Scheitellinie durchſchnitten und lege ſich mit den von einander getrennten Scheitelflächen ſeiner Streifen gegen eine unpreſsbare Strebe, deren Axe in der Scheitellinie liegt, ſo daſs das eine Ende dieſer Strebe ſich gegen die Stirnmauer, das andere Ende derſelben gegen die ausſpringende Ecke der Streifen *III* und III_1 ſetzt; ſo würde dieſe Strebe den Horizontalſchub *X* allein aufnehmen und unmittelbar auf die Stirnmauer übertragen, ohne den übrigen Gewölbkörper in Mitleidenſchaft zu ziehen.

Würde man für jeden Streifen ſo verfahren, ſo käme allerdings die Summe aller Horizontalſchübe *X* der zahlreichen Wölbſtreifen von *I* nach *J* ohne Weiteres auf die Stirnmauer, und zwar in der Richtung der Scheitellinie des Gewölbes. Eine derartige Anordnung einer Strebe findet aber nicht ſtatt; ein gewaltig groſser reſultirender Horizontalſchub für die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes kann gleichfalls bei ſehr langen Gewölben erfahrungsmäſsig nicht auftreten.

Betrachtet man zuvor den Gleichgewichtszuſtand eines Streifens *III*, bezw. III_1, in dem die in *A* wirkſame Kraft *BA* von der Gröſse *X* nach der Richtung dieſer Streifen in die beiden wagrechten Seitenkräfte *CA* und $C_1 A$ zerlegt wird, welche offenbar jede gleich *H* der Streifen *II* und II_1 iſt, ſo wird die Beanſpruchung der Streifen *III* und III_1 durch dieſe Kräfte *CA*, bezw. CA_1 und ihre gegebene Belaſtung bekannt.

Um danach die Stabilitätsunterſuchung des in ſolcher Weiſe beanſpruchten einhüftigen Gewölbſtreifens *III* vornehmen zu können, möge folgende Erörterung Platz greifen.

Fig. 367.



In Fig. 367 ſei für das einhüftige Gewölbſtück *A* der möglichſt kleinſte Gewölbeſchub als *S* und die dazu gehörige, ganz in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes als $\beta\alpha\gamma$ gefunden. Um die Gröſse dieſes Gewölbſchubes durch Rechnung zu beſtimmen, iſt für die Gewölbtheile *B* und *C* der Gewölbſchub *S* unter Berückſichtigung ſeiner Richtung gegen die beiden Gewölbtheile in die beiden Seitenkräfte *H* und *V* zerlegt, wovon erſtere wagrecht, letztere lothrecht wirkend genommen ſind. Für den Gleichgewichtszuſtand gegen Drehung erhält man im Syſtem *B*, bezogen auf den Drehpunkt β, bei

der bekannten Lage der Punkte α, β und der bekannten Gröfse, Richtung und Lage der Kraft P, welche das Gewicht des Gewölbtheiles B darftellt,

$$0 = - Vv - Ha + Pp \quad \ldots \quad 206.$$

Für den Theil C mit dem Gewichte Q ergiebt fich in Bezug auf den Drehpunkt γ in entfprechender Weife

$$0 = - Vw + Hb - Qq \quad \ldots \quad 207.$$

Aus diefen beiden Gleichungen erhält man

$$H = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \quad \ldots \quad 208.$$

$$V = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \quad \ldots \quad 209.$$

und hiernach würde die Gröfse des Gewölbfchubes S aus der Gleichung

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} \quad \ldots \quad 210.$$

zu beftimmen fein.

Der Neigungswinkel φ des Gewölbfchubes S zur Wagrechten wird ermittelt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{H} \quad \ldots \quad 211.$$

Wirkt nun an dem fonft unveränderten Gewölbftücke A noch eine gegen den Punkt β nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft $H_{,,}$ von ganz beliebiger Gröfse, fo läfft fich der Einflufs, welchen diefe hinzugefügte Kraft auf den Gewölbfchub S ausüben könnte, durch folgende Unterfuchung kennzeichnen.

Der neue Gewölbfchub fei S_1; die entfprechenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte desfelben mögen H_1, bezw. V_1 fein. Für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung im Kräftefyftem D ift in Bezug auf den Drehpunkt β

$$0 = - V_1 v - H_1 a + Pp + H_{,,} \text{ . Null}, \quad \ldots \quad 212.$$

während für den Zuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung im fonft unveränderten Syftem E unter Annahme des Drehpunktes γ

$$0 = - V_1 w + H_1 b - Qq \quad \ldots \quad 213.$$

fein mufs. Aus diefen beiden Ausdrücken findet man zunächft

$$H_1 = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \quad \ldots \quad 214.$$

d. h. nach Gleichung 208 auch

$$H_1 = H$$

und fodann

$$V_1 = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \quad \ldots \quad 215.$$

oder unter Berückfichtigung von Gleichung 209 auch

$$V_1 = V.$$

Danach mufs auch $S_1 = S$ und $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi$ fein, fo dafs, wenn, wie hier der Fall, von elaftifchen Formveränderungen des Gewölbkörpers ganz und auch von der Verkittung der Wölbfteine durch Mörtel vorläufig abgefehen wird, die Kraft $H_{,,}$ auf den Gewölbfchub S gar keinen Einflufs ausübt, fobald nur P, Q und die gegebene Lage der Punkte β, α, γ unverändert bleiben. Sie beeinflufft jedoch, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu erkennen ift, den durch β gehenden Kämpferdruck K, welcher aus $H_{,,}$, P und $S_1 = S$ refultirt und deffen wagrechte Seitenkraft gleich $H_1 + H_{,,}$ ift.

In Fig. 366 ift im Plane *III* unter Einfügen der durch e geführten wagrechten Kraft $H = o\,k$ des Streifens *II*, bezw. *I* die Stabilitätsunterfuchung für den Streifen *III* vorgenommen und, wie es fein mufs, der in g wirkfame Gewölbfchub wieder wie beim Streifen *I* gleich $2\,i$, bezw. $i\,2$ gefunden, während die wagrechte Seitenkraft $o\,k_{,,}$ des in e wirkenden Druckes $o\,i = 2\,H$ ift.

Da auf den Gewölbefchub der einzelnen Streifen durch Hinzufügen jener gekennzeichneten Kraft $H_{,,}$ kein Einflufs ausgeübt wird, da ferner eine unmittelbare Uebertragung der wagrechten Seitenkräfte der ftets gröfser werdenden Kämpferdrücke in den Scheitellinien der einzelnen Streifen von Z bis U auf die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes nicht als zuläffig erachtet werden kann, fo mufs die Beanfpruchung des zwifchen Z und U, bezw. zwifchen $\mathfrak{Z}$ und U befindlichen Gewölbkörpers, fo wie auch der zwifchen a und dem Streifen I, bezw. zwifchen b und I_1 befindliche Streifen von der Befchaffenheit

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

des Streifens *IV* in anderer Weife erfolgen, als im Vorhergegangenen und hier und dort wohl auch bei der Stabilitätsunterfuchung von Kreuzgewölben, wenn deren Gewölbkappen gleichfalls auf Schwalbenfchwanz-Verband ausgeführt werden follen, angenommen wurde.

Hinfichtlich der Beanfpruchung der Stirnmauern durch den Gewölbfchub wird man der Wahrheit durch folgende Betrachtung näher kommen.

Der gefammte Gewölbkörper befteht im Allgemeinen aus verhältnifsmäfsig kleinen Wölbfteinen, die, wenn auch entfprechend auf Schwalbenfchwanz-Verband geordnet, dennoch das Zerlegen in lauter neben einander liegende Zonen geftatten, welche fämmtlich in ihren Axen unter einem Winkel φ zur Stirnmauer gerichtet find und für die gröfste Länge des Gewölbes über die Scheitellinie deffelben mit hinweg laufen. Die Einwölbung nach einer folchen parallelen Zonenlage würde, wenn die Stützflächen derfelben gegen Gleiten gefichert find und auch fonft der Gleichgewichtszuftand der einzelnen Streifen bekundet ift, praktifch ohne Bedenken vorgenommen werden können. Für die theoretifche Unterfuchung hat diefe Zerlegung den Vortheil, dafs dadurch die möglicher Weife eintretende ungünftigfte Beanfpruchung der Stirnmauer, bezw. Widerlagsmauer in Betracht gezogen wird.

Würden z. B. die Streifen *II* oder II_1 bis zur Stirnmauer $a\,b$ erweitert gedacht, fo enthält diefe Zone einen Theil *II* oder II_1 als Haupttheil und den punktirten Theil als Nebentheil. Die gefammte Zone bildet alsdann ein einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität im Plane *II* unterfucht ift. Hiernach wird der in x angreifende Kämpferdruck für die Stirnmauer $a\,b$ als $o\,i_1$ und der in h wirkfame Kämpferdruck für die Widerlagsmauer $a\,c$ als $i_1\,6$ gefunden. Diefelben fchliefsen mit den Normalen der zugehörigen Kämpferfugen einen Winkel ein, welcher hier weit kleiner bleibt, als der Reibungswinkel des Materials, fo dafs eine Gefahr des Abgleitens des Wölbftreifens, d. h. wie ausdrücklich bemerkt werden foll, nach dem Innenraume des Gewölbes zu, nicht vorhanden ift.

Zerlegt man die Kämpferdrücke in ihre wagrechten und lothrechten Seitenkräfte, fo kommen für die vorliegende Unterfuchung die wagrechten Seitenkräfte $o\,k_1$, bezw. $i_1\,6$ hauptfächlich in Betracht. Beide find von gleicher Gröfse; fie meffen $1{,}_2$ m. Bei einer Zonentiefe von 1 m und bei der zu Grunde gelegten Bafis $o\,z = 2$ m entfprechen diefelben einer Kraft von $1{,}_2 \cdot 2 \cdot 1600 = 3840$ kg und fomit für den Streifen von $^1/_2$ Stein $= 0{,}_{065}$ m einer Kraft von $0{,}_{065} \cdot 3840 = 249{,}_6$ kg $= H_0$.

Diefe Kraft H_0 läfft fich am Widerlager $a\,c$ zerlegen in eine Kraft

$$N = H_0 \cdot \cos\varphi,$$

welche fenkrecht auf $a\,c$ wirkt, und in eine Seitenkraft

$$T = H_0 \cdot \sin\varphi,$$

welche in der Richtung von $a\,c$ fällt.

Die entfprechend vorgenommene Zerlegung von H an der Stirnmauer $a\,b$ ergiebt

$$N_0 = H_0 \cdot \sin\varphi \quad \text{und} \quad T_0 = H_0 \cdot \cos\varphi.$$

Da hier der Winkel $\varphi = 45$ Grad genommen war, fo wird, weil $\sin 45^0 = \cos 45^0$ ift, auch $N = T = N_0 = T_0$, und zwar $= H_0 \cdot 0{,}_{7071} = 249{,}_6 \cdot 0{,}_{7071} = \backsim 176{,}_5$ kg.

Hierbei ift nun noch zu bemerken, dafs die Kräfte T und T_0 das Beftreben haben, den Gewölbftreifen längs der Widerlagsfläche zum Gleiten zu bringen. Um diefes Gleiten bei dem noch nicht vollendeten Gewölbe zu verhindern, könnten die Widerlagsflächen für jede Zone rechtwinkelig zur Zonenebene, alfo in der Gefammtheit fägeförmig ausgeführt werden. Eine folche Anordnung unterbleibt meiftens, und es ift alsdann beim Einwölben ein gut und fchnell bindender Mörtel zu verwenden. Ift das Gewölbe in allen Schichten am Widerlager angefetzt, fo halten fich die in der Richtung von a nach E und die in entgegengefetzter Richtung von b nach E beim Schwalbenfchwanz-Verband entftehenden Kräfte T das Gleichgewicht.

Bei der Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Wölbmaterials find, wie früher in Art. 141 (S. 194) fchon erwähnt, z. B. für den Streifen *II* die Punkte x, y und h mehr in das Innere der Stirnfläche zu verlegen. Hierdurch entfteht jedoch ein gröfserer Gewölbfchub, welcher nach den gemachten Angaben leicht beftimmt werden kann.

Wäre der Gewölbkörper in den Ecken von a und b, bezw. von c und d aus nur bis zu den von der Mitte e der Stirnmauer $a\,b$ abzweigenden Streifen *I* und I_1 ausgeführt und dann nach befeitigter Unterrüftung fich felbft überlaffen, fo würde ein Einzelftreifen von der Befchaffenheit der Wölbfchicht *IV* nach der Unterfuchung im Plane *IV* nur einen wagrechten Schub $o\,u = 0{,}_4 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}_{065}$ kg $= 83{,}_2$ kg liefern. Die Seitenkräfte $W_1 = 83{,}_2 \cdot \cos\varphi$ und $W = 83{,}_2 \cdot \sin\varphi$, d. h. hier $W_1 = W = 83{,}_2 \cdot 0{,}_{7071}$ kg $= \backsim 59$ kg würden in folchem Falle, bei dem die Eckftücke des Gewölbkörpers durch das ganze übrige Gewölbe noch nicht in Mitleidenfchaft gekommen find, für die Widerlagsmauer, bezw. Stirnmauer in Rechnung zu ziehen fein. Sobald aber die Gewölbftreifen in der Richtung von e nach f zu weiter aus-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

geführt werden, und namentlich nach Vollendung des Gewölbes wird der ganze Gewölbkörper diese Eckstücke in Anspruch nehmen und beeinflussen.

Denn denkt man sich, dass beim geschlossenen Gewölbe die Stirnmauer mit dem bis A reichenden Gewölbkörper seitlich nur wenig ausweichen würde, so dass bei A eine Lücke entstände, so würde der Gewölbschub des Streifens bei A sich in seiner Kräfteebene fortzupflanzen streben, d. h. in der Fortsetzung der Richtungsebene der angenommenen und bei der Wölbung innegehaltenen Zonenlage. Hierdurch wird es erklärlich, dass, wie die Erfahrung in der Praxis lehrt, kein übermässig grosser Gewölbschub auch bei erheblich langen Kappengewölben mit Schwalbenschwanz-Verband auf die Stirnmauer gelangt. Der Streifen II liefert innerhalb der Strecke eb der Stirnmauer die Kräfte N_0, bezw. T_0. Der zugehörige Streifen II_1, gehörig erweitert genommen, würde bei dem in Rede stehenden Verbande, entsprechend einer Zonentheilung des Gewölbes parallel zu II_1, für die Stirnmauer innerhalb der Strecke ea dieselben Kräfte N_0 und T_0 ergeben. Gesellt sich an diesen Stellen noch der Schub W eines antretenden Streifens, z. B. IV, hinzu, so ist die ungünstigste Beanspruchung für die Stirnmauer in eine gewisse Grenze gebracht. Der Rechnung nach wäre alsdann für diese Stelle der ungünstigste Schub gleich

$$N_0 + W = 176{,}5 + 59 = 235{,}5 \text{ kg}.$$

In der Mitte e der Stirnmauer wirkt als ungünstigster rechtwinkeliger Schub die auf S. 279 ermittelte Kraft $U = 226{,}24$ kg. Setzt man in der angegebenen Weise, der Zonentheilung gemäss, die Untersuchung der einzelnen Wölbstreifen fort, so gelangt man in bE zu einem Wölbstreifen von grösster Spannweite. Derselbe tritt nun aber als symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes kleines Gewölbe mit elliptischer Wölblinie auf. Die statische Untersuchung dieses Streifens ist im Plane V vorgenommen. Man erhält hiernach den möglichst kleinsten, jetzt wagrecht gerichteten Gewölbschub $oE = H_{,,}$ zu

$$1{,}55 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}065 \text{ kg} = 322{,}4 \text{ kg}.$$

Die senkrecht zur Widerlagsmauer ac, bezw. bd gerichtete Seitenkraft derselben ist $N_{,,} = T_{,,,} = 322{,}4 \cdot \cos\varphi = 322{,}4 \cdot 0{,}7071 = \backsim 228$ kg, und ihre rechtwinkelig zur Stirnmauer gerichtete Seitenkraft ist $N_{,,,} = 322{,}4 \cdot \sin\varphi = 322{,}4 \cdot 0{,}7071 = \backsim 228$ kg, deren Grösse hier auch für die in ac fallende Seitenkraft $T_{,,} = 322{,}4 \cdot \sin\varphi = \backsim 228$ kg massgebend wird.

Für alle bis zu dem durch c parallel mit bE geführten Streifen bleibt beim ganz geschlossenen Gewölbe derselbe Gewölbschub $H_{,,}$, während von hier ab für die Stirnmauer cd dieselbe Untersuchung wieder eintritt, welche für die Stirnmauer ab vorgenommen wurde. Sollte in der Nähe des Scheitels $\mathcal{S}$ eine Oeffnung verbleiben, so ist anzunehmen, dass die Streifen, welche diese Oeffnung begrenzen und sich wiederum gegen die vorhandenen Gewölbstücke legen, ihren Gewölbschub durch dieselben auf die Widerlager übertragen. Da für diese Grenzstreifen, wenn sich dieselben nicht etwa, wie bei ganz kurzen Gewölben der Fall sein würde, gegen die Stirnmauern mit legen, derselbe Gewölbschub wie für einen ganzen Zonenstreifen bE auftritt, so erleidet die Bestimmung der Widerlagsstärke für ac, bezw. umgekehrt für bd auch bei einer solchen Oeffnung im Allgemeinen keine wesentliche Aenderung; denn würde hinter jeder Ecke eines solchen Streifens eine Lücke sein, so würde der Gewölbschub das Bestreben haben, sich in seiner Kräfteebene fortzusetzen, bis der widerstehende Mauerkörper ac, bezw. bd getroffen wird. Dies gilt für die in der Richtung bE genommenen Zonen eben so gut, wie für die in einer Richtung aE gewählten Zonen.

Wollte man aber auch die kleinen Grenzstreifen der Oeffnung, der Weite dieser Oeffnung entsprechend, als kleine einhüftige Gewölbe behandeln, so würde die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes derselben weit kleiner ausfallen, als die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes eines Zonenstreifens von der Eigenschaft des Streifens bE, bezw. aE, so dass die für letzteren Streifen erforderliche Widerlagsstärke vollauf auch für jene einhüftigen Oeffnungsstreifen und deren Nachbarstreifen genügt.

Für einen Hauptstreifen bE ist noch derjenige wagrechte Gewölbschub $E_1 o = H_{,,,}$ im Plane V ermittelt, welcher einer Mittellinie des Druckes angehört, die durch die Mittelpunkte der angenommenen Scheitelfuge und der Kämpferfuge geht.

Es ist selbstredend, dass für die sichere Standfähigkeit der Widerlagsmauern dieser grössere Gewölbschub, wie in Art. 142 (S. 197) für das Tonnengewölbe angegeben, Berücksichtigung finden soll.

Vergleicht man die gewonnenen Ergebnisse der Rechnung, so zeigt sich, dass die auf die Stirnmauer kommenden wagrechten und rechtwinkelig dazu gerichteten Gewölbschübe $U, N_0 + W$ und $N_{,,,}$ nur ganz wenig von einander abweichen und dass die Grösse derselben auch mit den auf die Widerlagsmauer gelangenden rechtwinkelig und wagrecht gerichteten Schüben $N_{,,}$ der Wölbstreifen bei der Zonentheilung oder Schichtenlage unter einem Winkel $\varphi = 45$ Grad in guter Uebereinstimmung steht. Hierdurch ergiebt sich auch eine Bestätigung der in der Praxis bekannten und befolgten Regel, wonach bei der An-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wendung des Schwalbenfchwanz-Verbandes bei Kappengewölben unter Verwendung eines Richtungswinkels $\varphi = 45$ Grad im Allgemeinen die Stärke der Stirnmauern gleich der Stärke der Widerlagsmauern anzuordnen ift.

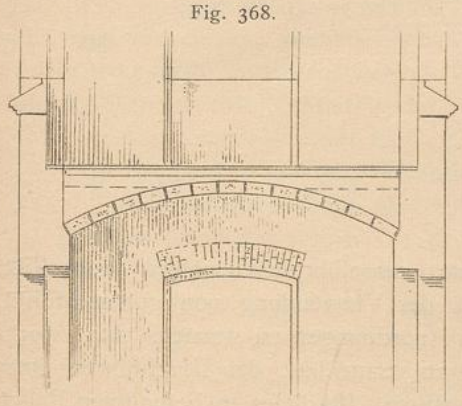
182. Kappengewölbe mit Stich.

Soll die Scheitellinie des Kappengewölbes mit dem bezeichneten Verbande nicht wagrecht, fondern unter Hebung des Mittelpunktes der Scheitellinie als gebrochene gerade Linie mit Stich oder als flach gekrümmte Linie (Kreisbogen mit grofsem Halbmeffer) genommen werden, fo wird am Grundzuge der Stabilitätsunterfuchung nichts geändert.

Wohl aber ergeben fich bei einer derartigen Anordnung einige Vortheile in Bezug auf die Abnahme der Gröfse der Gewölbfchübe. Durch das Höherlegen der Scheitellinie bis zum Mittelpunkte derfelben erhalten die einzelnen Wölbftreifen nach und nach eine gröfsere Pfeilhöhe, und da die Gewichte der Streifen fich in nennenswerther Weife nicht ändern, fo wird der Wölbfchub im Grofsen und Ganzen kleiner, als bei wagrechter Lage der Scheitellinie. Dadurch wird im Allgemeinen eine geringere Stärke der Widerlagsmauern, bezw. der Stirnmauern des Gewölbes bedingt.

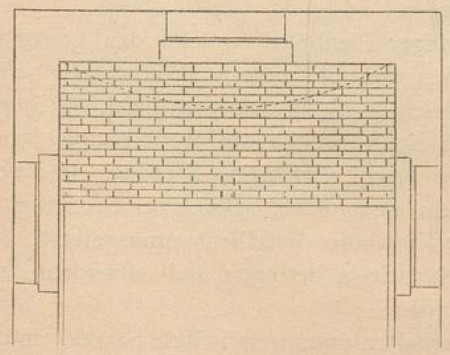
Sind die parallelen Seitenebenen der Wölbftreifen nicht lothrecht, fondern geneigt, fo tritt die im Vorhergegangenen erörterte Beeinfluffung der Gewölbftücke an den Ecken des Raumes erft recht ein, ohne aber, da diefe Neigung aus praktifchen Gründen immer nur äufserft geringfügig genommen werden kann, die früher ermittelte Gröfse der einzelnen Gewölbfchübe wefentlich zu beeinträchtigen. Denn bei der Beftimmung derfelben ift, wie aus dem Plane *II* von Fig. 366 im Befonderen fchon hervorgeht, bereits durch Anordnung geneigter Fugenrichtungen die Beftimmung der Mittellinie des Druckes und des dazu gehörigen Gewölbfchubes berückfichtigt.

Fig. 368.



Müffen bei diefen Gewölben Verankerungen der Widerlager eintreten, fo gilt hierfür daffelbe wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Die Stirnmauern follen niemals fo fchwach hergerichtet werden, dafs diefelben einer Verankerung bedürfen. Würden diefelben unter befonderen Umftänden eine nicht ausreichende Stärke erhalten müffen, fo ift von der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanz-Verband Abftand zu nehmen.



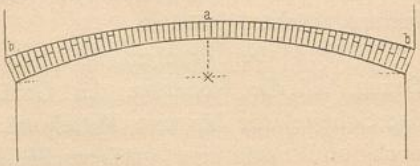
183. Kappengewölbe mit *Moller*'fchem Verband.

Beim fog. *Moller*'fchen Verbande (Fig. 368) liegen fämmtliche Wölbzonen parallel mit der Stirnmauer. Die einzelnen Backfteine find auf die hohe Kante geftellt, fo dafs die Dicke derfelben parallel zur Gewölbaxe ift. Jede Gewölbzone bildet ein kleines Kappengewölbe für fich, welches

Fig. 369.



Fig. 370.

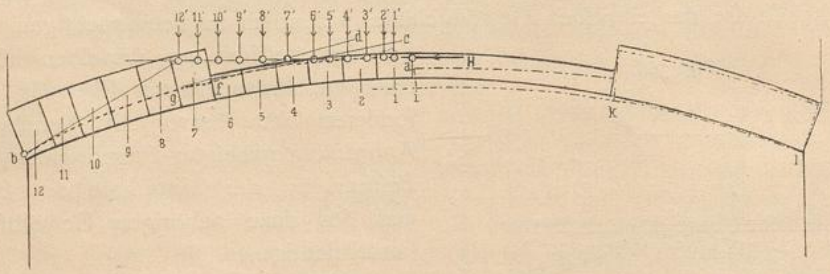


feine Stütze an den eigentlichen Widerlagsmauern findet. Die Stabilitätsunterfuchung diefer Wölbzonen erfolgt in gleicher Weife, wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

184. Kappengewölbe mit zunehmender Wölbdicke.

Soll ein Kappengewölbe nach dem Widerlager zu eine gröfsere Stärke als im Scheitel erhalten, fo mufs, wie fchon in Art. 124 (S. 147) bemerkt ift, die Zunahme folcher Stärke ftetig eintreten, wie in Fig. 370, und nicht, wie in Fig. 369, im plötzlich gebildeten Anfatze b erfolgen. Wie die ftatifche Unterfuchung (Fig. 371) zeigt, wird bei diefer Anordnung für den fchwächeren Theil in der Mitte des Gewölbes ein ungünftiger Verlauf der Drucklinie herbeigeführt. Bei k zeigt fich eine Bruchfuge; der mittlere Theil fenkt fich dann leicht und nimmt eine neue Lage aik an, womit eine Ausbauchung des Gewölbes in der Nähe von fg, bezw. k verknüpft ift.

Fig. 371.



Diefe Erfcheinungen find thatfächlich bei derart ausgeführten Gewölben beobachtet, die zum Theile nach ihrer Ausrüftung, trotz der Verwendung von gutem Mörtel, eingeftürzt find. Es ift geboten, vor folchen Anordnungen zu warnen. Am zweckmäfsigften ift, um ein Verhauen der Steine zu vermeiden, das Durchführen einer gleichen Stärke vom Scheitel bis zur Widerlagsfuge. Ift diefes in befonderen Fällen bei einer im Scheitel befchränkten Conftructionshöhe nicht möglich, fo mufs durch entfprechendes Verhauen der Wölbfteine am Gewölbrücken die Stetigkeit der Zunahme der Gewölbftärke herbeigeführt werden.

185. Empirifche Regeln für die Wölb- und Widerlagsftärke.

Bei Kappengewölben, mit nicht zu geringer Pfeilhöhe, welche den gewöhnlichen mittleren Belaftungen ausgefetzt find, wird bei gutem Wölbmaterial die Gewölbftärke für Spannweiten bis zu 2,5 m gleich 1/2 Stein, bis 3 m gleich 1/2 Stein und behaftet mit 1 Stein ftarken, 1 bis 1 1/2 Stein breiten, in Entfernungen von 1,5 bis 2,5 m angebrachten Verftärkungsgurten (vergl. Art. 162, S. 212), oder bei gröfseren Belaftungen durchweg gleich 1 Stein genommen. Bei einer Spannweite von 4 m kann die Gewölbftärke, eine ftetige Zunahme derfelben vorausgefetzt, im Scheitel gleich 1/2 Stein, am Widerlager gleich 1 Stein betragen und aufserdem das Gewölbe mit Verftärkungsgurten verfehen werden.

Kappengewölbe bis zu 5 m Spannweite erhalten durchweg 1 Stein Stärke, unter

Umſtänden, namentlich bei ſehr langen Gewölbzügen, Verſtärkungsgurte oder auch 1 Stein Stärke im Scheitel und $1\frac{1}{2}$ Stein am Widerlager in ſtetiger Zunahme.

Sind die Widerlager der Kappengewölbe nicht beſonders zu verankern, iſt ihre Höhe nicht erheblich über der Rückenlinie des Gewölbes abgegrenzt, ſo nimmt man die Stärke derſelben zu $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ der Spannweite an.

c) Ausführung der Kappengewölbe.

186. Allgemeines.

Als Wölbmaterial für Kappengewölbe wird hauptſächlich Backſtein benutzt. Nur in Gegenden, in welchen dünne, lagerhafte und gute Bruchſteine billiger beſchafft werden können, werden dieſe in Verwendung genommen. Außerdem werden hier und dort ſtatt der Backſteine auch andere künſtliche Bauſteine, deren Geſtalt im Allgemeinen derjenigen der Backſteine entſpricht, mit Vortheil als Wölbſteine gebraucht.

Soll das Gewicht der Kappengewölbe möglichſt gering werden, ſo verwendet man in beſonderen Fällen Hohlziegel oder Lochſteine, unter Umſtänden auch die poröſen Steine, Schwemmſteine u. dergl. Dieſe Materialien müſſen aber ſtets eine genügende Feſtigkeit gegen Druck beſitzen.

In architektoniſcher Beziehung erſcheint das Kappengewölbe mehr als eigentliche Nützlichkeits-Conſtruction, ſo daſs daſſelbe im Vergleich mit den übrigen Gewölbformen, welche einer weiteren künſtleriſchen Durchbildung fähig ſind, in den Hintergrund tritt. Das Kappengewölbe nähert ſich mehr einer flachen, wagrechten Decke von mäſsiger Breitenabmeſſung, tritt dem entſprechend in die Erſcheinung und erhält danach eine ähnliche Behandlung.

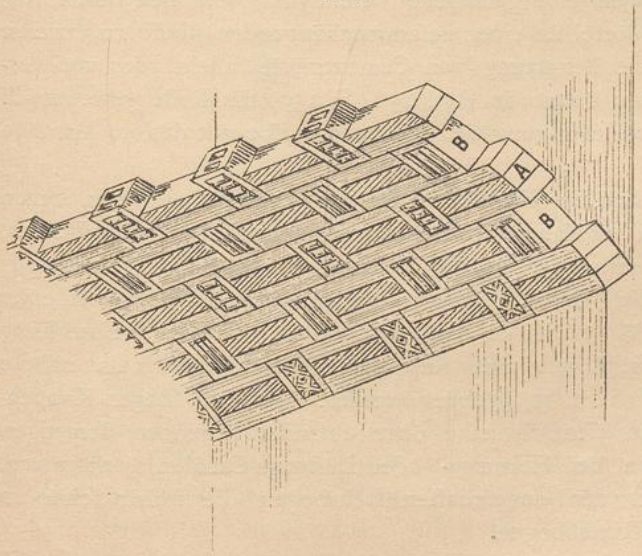
187. Mauerung der Kappengewölbe.

Je nach dem Verbande, welcher bei der Mauerung der Kappengewölbe in Anwendung gebracht wird, unterſcheidet man

1) Kappengewölbe auf Kuf,
2) Kappengewölbe mit Schwalbenſchwanz-Verband und
3) Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verband.

Bei den Kappengewölben auf Kuf gemauert gelten genau dieſelben Regeln, welche bezüglich der Mauerung der Tonnengewölbe in Art. 149 (S. 218) mitgetheilt ſind. Hier möge noch bemerkt werden, daſs die Ausführung von gewöhnlichen Kappengewölben in zwei oder mehr flach über einander liegenden Ringſchichten weniger gebräuchlich iſt.

Fig. 372.



Soll bei Kappengewölben die Laibungsfläche frei, ohne Putz, in farbigem und noch beſonders geſchmücktem

Backſteinmauerwerk gelaſſen werden, ſo kann, entſprechend dem Verbande auf Kuf, eine reicher geſtaltete, häufiger ausgeführte Anordnung nach Fig. 372 getroffen werden. Hierbei ſind gröſsere Wölbſteine *B* gleichſam als Binder eingefügt, zwiſchen welchen die Läuferſchichten *A* auftreten.

Die Kappengewölbe mit Schwalbenſchwanz-Verband erhalten die bereits in Fig. 366 (S. 278) im Allgemeinen angegebene Schichtenbildung, ſo daſs jede derſelben ein ſchmales Kappengewölbe für ſich iſt, welches in ſeinen Lagerfugenflächen ſo zu behandeln iſt, daſs dieſelben ſenkrecht zur Wölblinie und ſenkrecht zur Stirnfläche der zugehörigen Zone ſtehen.

Die beſondere Ausführungsweiſe dieſer Zonen wird noch weiter beſprochen werden.

Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verbande beſtehen, wie vorher in Art. 183 (S. 285) bemerkt wurde, aus einer Schar parallel zur Stirnmauer und neben einander liegender ſelbſtändiger Wölbzonen, deren Tiefe gleich der Dicke eines Backſteines, deren Axe mit der Gewölbaxe zuſammenfällt und deren Leitlinie ſich mit der Leitlinie des Kappengewölbes deckt. Die Lagerfugenflächen der ungeraden Anzahl ſymmetriſch zum Schluſsſteine der Zone geordneten Wölbſteine ſtehen ſenkrecht zur Stirn und zur Laibungsfläche dieſes dünnen Wölbſtreifens.

188. Mörtel.

Bei den an und für ſich nicht ſehr ſtarken und aufserdem immerhin flachen Kappengewölben, gleichgiltig welcher Verband dabei Verwendung findet, iſt die innige Verkittung der einzelnen Wölbſteine, bezw. der einzelnen Wölbſcharen und Wölbzonen durch guten und möglichſt ſchnell bindenden Mörtel für einen dauernden Beſtand des Gewölbes von hervorragendſter Bedeutung, und zwar ſelbſt dann, wenn die ſtatiſchen Unterſuchungen den Gleichgewichtszuſtand deſſelben als geſichert nachweiſen. Bei einem mangelhaften Verbinden der Wölbſteine durch Mörtel oder bei Verwendung eines minder guten Bindemittels werden leicht durch oft nur geringfügige, einſeitig das Gewölbe treffende Belaſtungen Verdrückungen und Formveränderungen zum Nachtheile des ganzen Gewölbes oder einzelner Stücke deſſelben veranlaſſt.

Als Regel mufs gelten, daſs neben der Beobachtung eines richtigen Verbandes der Wölbſteine vor allen Dingen eine gediegene Vereinigung derſelben durch vorzüglichen, ſchnell bindenden Mörtel zu einer zuſammenhängenden Maſſe zu erzielen iſt. Vielfach empfiehlt ſich die Benutzung von Cementmörtel allein oder von verlängertem Cementmörtel, wovon bereits in Art. 150 (S. 159) die Rede geweſen iſt.

Hinſichtlich der Zeit der Ausführung der Kappengewölbe gilt das in Art. 151 (S. 219) Geſagte gleichfalls.

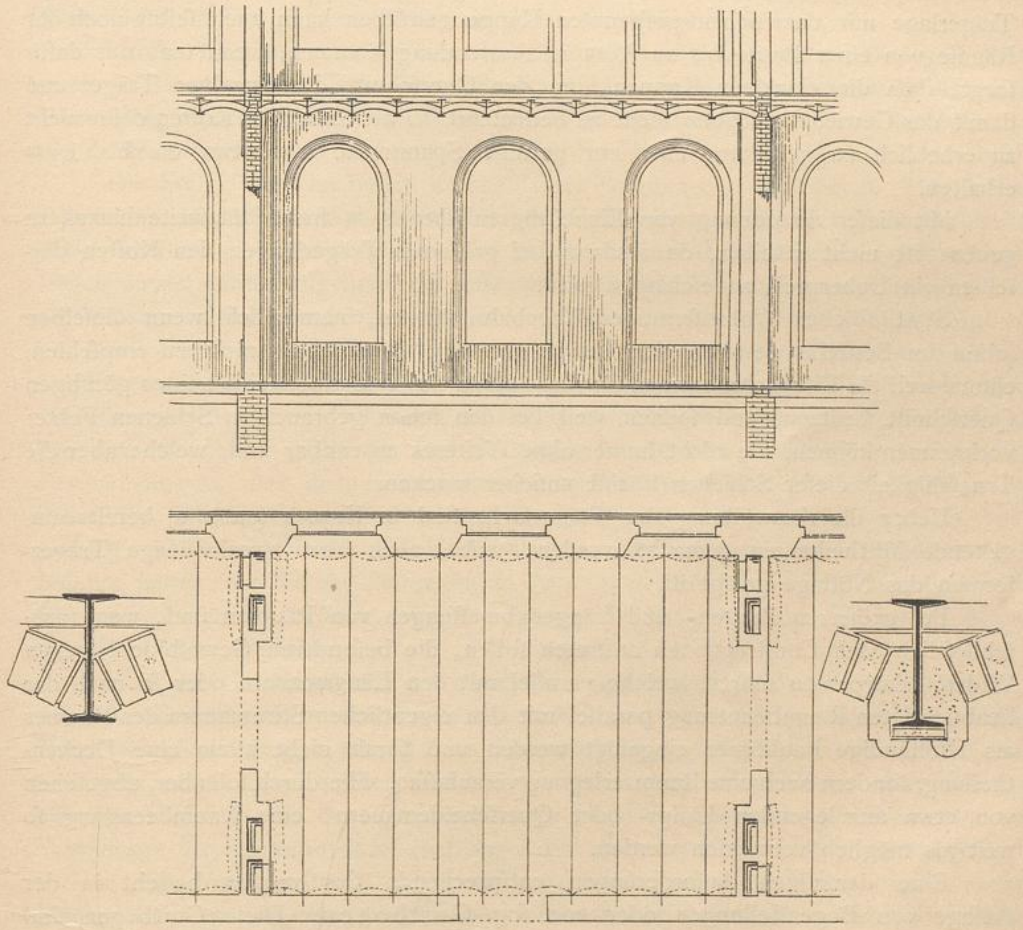
189. Rüſtungen.

Die Rüſtungen, auf welchen das Einwölben der Kappengewölbe vorgenommen wird, ſind äuſserſt einfach. Sie beſtehen weſentlich nur aus entſprechend unterſtützten, aus 30 bis 35 mm ſtarken Bohlen angefertigten Wölbſcheiben, welche in Entfernungen von 1,0 m bis 1,3 m aufgeſtellt, durch Holzkeile unterlagert ſind und mit einer Bretterſchalung von 30 bis 35 mm Stärke verſehen werden. Bei der Beſprechung der geſammten Anlage und Ausführung eines Kappengewölbes wird noch eine nähere Beſchreibung dieſer Lehrbogen u. ſ. w. gegeben werden. Bei ſehr langen Kappengewölben oder auch bei zwei ziemlich nahe über einander liegenden derartigen Gewölben, wie dieſelben etwa bei Heizungs- oder Lüftungs-Canälen vorkommen, benutzt man vortheilhaft ſtatt der eingeſchalten Lehrbogen die früher ſchon in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutſchbogen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Einwölbung der Kappengewölbe ist unter Beobachtung der in Art. 149 (S. 218) für Tonnengewölbe gegebenen Vorschriften im Allgemeinen in gleicher Weise vorzunehmen. Auf eine sorgfältige Ausmauerung der Gewölbezwickel oder eine gute Ausfüllung derselben mit Beton ist besonders Bedacht zu lenken. Auch für die Zeit der Ausrüstung gilt hier vollständig das in Art. 158 (S. 228) Gesagte. 190. Einwölbung.

Fig. 373.



Für die Spannweite der Kappengewölbe sind mäfsige Abmessungen bedingt. Dieselben bewegen sich in Weiten von 0,5 bis höchstens 5,0 m. Beim Ueberschreiten der Spannweite von 5,0 m geht der Nutzen, welchen sonst die flachen Kappengewölbe wegen ihrer geringen Constructionshöhe zu bieten vermögen, mehr oder weniger verloren. 191. Ausführung neben einander liegender Kappengewölbe.

Im Allgemeinen ist für Kappengewölbe durchschnittlich eine Spannweite von 2,5 bis 3,5 m üblich, welche ab und an auf 4,0 m gesteigert werden kann.

Bei Räumen, deren Breite diesen durchschnittlich gegebenen Spannweiten entspricht, welche aber sonst eine beliebige Länge aufweisen, kann zur Bildung der Decke ein einziger Gewölbezug als Kappengewölbe dienen.

Häufig und nicht ohne Vortheil für die Sicherheit des Gewölbekörpers werden

aber auch Räume von mehr oder minder grofser Länge und einer Breite, entfprechend der Durchfchnittsweite der Kappen, mit neben einander liegenden fchmalen Kappengewölben überdeckt, deren Gewölbaxen rechtwinkelig zu den Längsmauern des Raumes gerichtet find. Bei diefer Gliederung der Decke (Fig. 373) ftützen fich die einzelnen Gewölbjoche gemeinfchaftlich gegen einen eifernen Walzträger in I-Form, deffen Endauflager in den Längsmauern geboten wird, während fich die erfte und letzte Kappe gegen die feitlichen kurzen Umfangsmauern legen. Eine derartige Trägerlage mit dazwifchen gefpannten Kappengewölben kann auch felbft noch für Räume von einer Breite bis zu 8,0 m in Anwendung kommen, wenn man nur dafür forgt, dafs die einzelnen Kappen, um den Querfchnitt der einzelnen Träger und damit das Gewicht derfelben nicht zu bedeutend, fo wie ferner die Koften dafür nicht zu erheblich zu geftalten, eine nur geringe Spannweite von etwa 0,8 bis 1,0 m erhalten.

Mit diefer Anordnung von Einzelträgern über 8,0 m freie Stützweite hinaus zu gehen, ift nicht räthlich, da alsdann bei gröfseren Trägerlängen den Koften derfelben ein Ueberpreis zugefchlagen wird.

Statt folcher Walzeifenträger Eifenbahnfchienen, namentlich wenn diefelben fchon im Betriebe gewefen find, zu verwenden, ift durchaus nicht zu empfehlen, einmal weil die Eifenbahnfchienen für den Anfatz der Widerlagsfteine keinen günftigen Querfchnitt befitzen, und fodann weil bei den fchon gebrauchten Schienen Fehler vorkommen können, die nicht immer ohne Weiteres erkennbar find, welche aber die Tragfähigkeit diefer Schienen höchft unficher machen.

Ueber die Auswölbung der Trägerfache find in Kap. 4 (unter a) bereits eingehende Mittheilungen gemacht worden, wobei auch über zweckmäfsige Trägerformen das Nöthige gefagt ift.

Bei gröfseren Breiten- und Längenabmeffungen von Räumen find, wenn ausfchliefslich Stein-Conftructionen auftreten follen, die befonderen Gewölbjoche gegen Widerlagskörper zu führen, welche parallel mit den Längsmauern oder je nach der beabfichtigten Raumbenutzung parallel mit den eigentlichen Stirnmauern des Raumes als felbftändige Baukörper eingefügt werden und fomit nicht allein eine Deckentheilung, fondern auch eine Raumzerlegung veranlaffen. Hierdurch foll aber, abgefehen von etwa anzulegenden Längs- oder Querfcheidemauern, eine Raumbeengung fo weit als möglich vermieden werden.

192. Gurtbogen.

Eine derartigen Anforderungen entfprechende Conftruction befteht in der Anlage von Bogenftellungen oder von fog. Gurtbogen. Diefe Gurtbogen find fchmale Tonnengewölbe, bezw. Flachbogengewölbe, welche fich gegen einen gemeinfchaftlichen Pfeiler, Gurtbogenpfeiler genannt, ftützen und an ihrem Vor- und Rückhaupt die Widerlagsflächen als »Falze« für die antretenden Kämpfer der aufzunehmenden beiden feitlich gelegenen Gewölbjoche oder Kappen enthalten.

Die Wölblinie der Gurtbogen kann als Halbkreis, gedrückte oder überhöhte Ellipfe, gedrückter oder überhöhter Korbbogen oder fehr zweckmäfsig als Parabel gewählt werden.

Wird ein Flachbogen als Wölblinie genommen, fo giebt man demfelben ein Pfeilverhältnifs von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, feltener von $\frac{1}{6}$, letzteres nur, wenn die Gurtbogen die Kappen allein zu tragen haben. Wohl ift aber beim Flachbogen der ihm zukommende oft nicht unbedeutende Gewölbfchub zu beachten, welcher Veranlaffung

geben kann, auf die Benutzung deſſelben als Wölblinie für die Gurtbogen bei gewiſſen Verhältniſſen zu verzichten. Die Spannweite der Gurtbogen wird zweckmäſsig etwa zu 4,0 m genommen.

Die Breite oder Tiefe derſelben beträgt gewöhnlich 1½ bis 2 Steinlängen. Gurtbogen nur 1 Stein breit zu nehmen iſt verwerflich, weil dieſelben durch den antretenden Gewölbſchub bei ungleicher Belaſtung der von ihnen getragenen Kappengewölbe leicht verdreht werden können und weil dieſelben durch das eingeſchnittene Widerlager für die Kappen zu ſehr geſchwächt werden.

Müſſen Gurtbogen auſser ihrer Hauptaufgabe, die Kappengewölbe zu ſtützen, noch als Tragbogen für Scheidemauern der darüber befindlichen Obergeſchoſſe eines Bauwerkes dienen, ſo wird ihre Breite ſchon hiervon abhängig und oft bedeutender als 2 Steinlängen.

Die Stärke der Gurtbogen iſt nach ihrer Belaſtung zu beſtimmen. Haben dieſelben nur die beiden zuſammengehörigen Gewölbe zu tragen, ſo kommt, wenn dieſe Gewölbe gleiche Spannweite und gleiche Ueberlaſt aufweiſen, für jeden Gurtbogen auſser ſeinem Eigengewicht offenbar noch das Gewicht eines Gewölbes von einer Länge gleich der Länge des Gurtbogens in Betracht. Die von den Kappengewölben herrührenden Kämpferdrücke beſitzen wagrechte Seitenkräfte, die Gewölbſchübe, welche unter der gemachten Vorausſetzung von gleicher Gröſse und gegen einander gerichtet ſind, alſo ſich aufheben. Ruhen noch auſserdem Obermauern mit den von ihnen geſtützten Balkenlagen u. ſ. f. auf den Gurtbogen, ſo iſt unter Berückſichtigung der hieraus entſpringenden Belaſtungen die Stärke derſelben zu ermitteln. Die Stabilitätsunterſuchung iſt entſprechend dem in Art. 143 (S. 197) Geſagten zu führen, wobei, falls ein Gurtbogen etwa auch noch durch Einzelgewichte belaſtet würde, auf die Ausführungen in Art. 144 (S. 205) Rückſicht zu nehmen iſt. Für die gewöhnlichen Fälle wird die Stärke der Gurtbogen zu 1½ bis 2, bezw. 2½ Steinlängen gewählt.

193. Vorlagen.

Sind die Gurtbogen als ein einzelner Bogen oder als Bogenſtellung parallel mit der ſchmalen Seite des Raumes anzulegen, ſo ſind bei gröſserer Länge des Raumes in Entfernungen von 2,5 bis 3,5 m und unter beſonderen Verhältniſſen bis höchſtens etwa 4,0 m parallel geſtellte Gurtbogenzüge auszuführen. Zweckmäſsig erhalten dieſelben an den Umfangsmauern oder Scheidemauern, welche nun als Widerlager für die antretenden Gurtbogen mit dienen müſſen, noch beſondere Wandpfeiler, ſog. Vorlagen, um nicht von vornherein jenen den Raum begrenzenden Mauern ihrer ganzen Länge nach eine ſolche Stärke geben zu müſſen, wie ſolche der Gewölbſchub der angelegten Gurtbogen erforderlich macht.

In der Bildung dieſer Vorlagen liegt ein weſentlicher Nutzen für die Bemeſſung der Stärke der Umfangsmauern des mit Kappengewölben zu überdeckenden Raumes, da, ſobald dieſe Mauern thunlichſt von der Stärke des Mauerkörpers, welcher als Widerlager für die Gurtbogen vorhanden ſein muſs, zwiſchen den Gurtbogenfeldern befreit ſind, für dieſe Baukörper eine weſentlich geringere Stärke genommen werden kann.

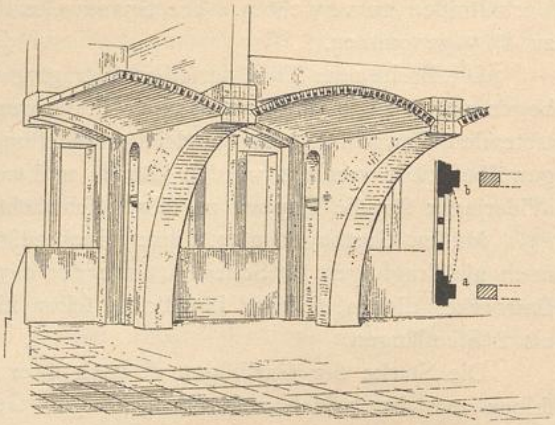
In Fig. 374 iſt die Anlage von Kappengewölben mit ſog. vorgezogenen Gurtbogen dargeſtellt. Die zwiſchen den vorſpringenden Vorlagen der Gurtbogen vorhandenen Umfangsmauern treten nur als Schildmauern der Kappengewölbe auf, können alſo, namentlich wenn die Kappen auf Kuf oder nach dem *Moller*'ſchen Verbande eingewölbt ſind, eine nur mäſsige Stärke erhalten und durch Licht- oder

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Thüröffnungen in ausgiebigſter Weiſe geöffnet behandelt werden.

Selbſtverſtändlich iſt die Theilung für die Gurtbogen der Axenlage des Raumes, bezw. des ganzen Bauwerkes entſprechend zu nehmen.

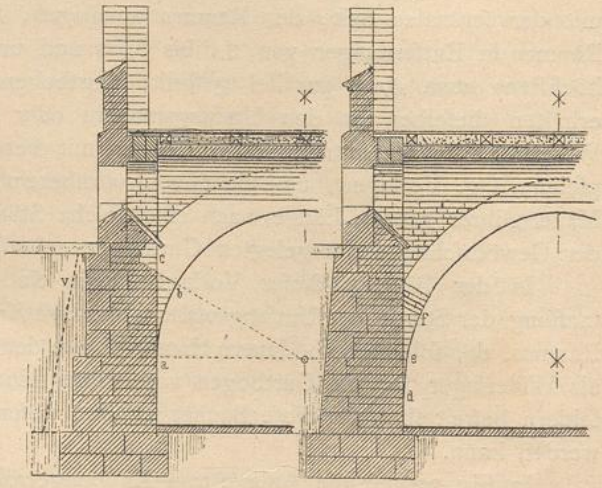
Fig. 374.



Daſs unter Umſtänden, wie auch in Fig. 374 angedeutet iſt, die Vorlagen der Gurtbogen, ſelbſt bei genügend weitem Vorſprunge und bei geeignet gewählter Wölblinie der Gurtbogen, mit Oeffnungen verſehen werden können, iſt für die Benutzung des Raumes nicht ohne Bedeutung. In derartigen Fällen empfiehlt ſich in erſter Reihe die Verwendung einer Parabel, deren Pfeilhöhe gleich oder gröſser als ihre halbe Spannweite iſt, als Wölblinie für die Gurtbogen, weil hierbei der Kämpferdruck derſelben in günſtiger Weiſe nach ihrem unmittelbar unter dem Fuſsboden des Raumes befindlichen Widerlagsmauerwerk geleitet wird. Bei Flachbogen liegt der Kämpferdruck höher, wirkt alſo ungünſtiger auf die Vorlagen ein. Bei einem Halbkreiſe, einem elliptiſchen Bogen oder einem Korbbogen wird die Beanſpruchung des Wölbmaterials im Allgemeinen ebenfalls ungünſtiger, als beim Parabelbogen mit dem bereits angegebenen Pfeilverhältniſſe.

Sind aus beſtimmten Gründen, wie z. B. bei Kellern, die Umfangsmauern der mit Kappengewölben zu überdeckenden Räume an und für ſich ſchon in ſo bedeutender Stärke auszuführen, daſs dieſelben durch den Gewölbſchub der Gurtbogen nicht in ihrer Stabilität geſchädigt werden, ſo können die Gurtbogen, ohne mit Vorlagen verſehen zu ſein, aus den Umfangsmauern hervorwachſen. Dann iſt auch die vorhin angedeutete Vorſicht hinſichtlich der Wahl der Wölblinie für die Gurtbogen von geringerer Bedeutung. In Fig. 375 iſt für einen derartigen Gurtbogenanſatz ein Halbkreis- und ein Parabelbogen als Wölblinie angenommen, für welche die innere lothrechte Begrenzungslinie der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei ſolchen Anlagen ſind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei iſt ein regelrechter

Fig. 375.



Verband dieſer Anfänger mit dem eigentlichen Mauerkörper unter Verwendung eines tadelloſen Mörtels, zweckmäſsig des verlängerten Cementmörtels, innezuhalten.

Im Allgemeinen beträgt bei den gewöhnlichen Anlagen die Stärke der Widerlager der Gurtbogen, je nach ihrer Belaſtung, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{5}$ ihrer Spannweite.

194. Strebepfeiler.

Hier möge noch bemerkt werden, daſs für ſtark belaſtete Gurtbogen mit einem Halbkreiſe als Wölblinie bei unzureichender Stärke der Umfangsmauer der Kellergeſchoſſe auch die nöthige Widerlagsſtärke für die Gurtbogen durch nach auſsen vorgelegte Strebepfeiler *v*, deren Breite der Tiefe der Gurtbogen mindeſtens gleich wird, zu ſchaffen iſt, eine Anordnung, welche bei der Parabel als Wölblinie ſeltener nöthig wird.

195. Verankerungen.

Iſt für Gurtbogen in beſonderen Fällen ein kräftiges Widerlager durch Vorlagen, bezw. durch Strebepfeiler hinter den Umfangsmauern nicht zu ſchaffen, erſcheinen auch die Umfangsmauern, gegen welche ſich die Gurtbogen legen, hinſichtlich ihrer Stärke nicht genügend ſicher, ſo hat man ſeine Zuflucht zu Verankerungen der Gurtbogen zu nehmen. Hierbei iſt aber ſtets die gröſste Vorſicht geboten. Namentlich ſind die Zuganker dann ſo tief zu legen, daſs dieſelben durch die Kämpfer der Gurtbogen gehen, um hierdurch den Gewölbſchub derſelben möglichſt vollſtändig abzufangen. Auſserdem ſind reichlich groſs bemeſſene Ankerplatten zu verwenden. Im Uebrigen kann in dieſer Beziehung auf das in Art. 178 (S. 268) Vorgetragene hingewieſen werden.

196. Kreuzung von Gurtbogen.

Bedingt eine Grundriſsbildung das Durchkreuzen von zwei Gurtbogen, bezw. Gurtbogenzügen, ſo darf ein kreuzender Gurtbogen niemals ſein Widerlager an den Häuptern des anderen Gurtbogens finden. Vielmehr müſſen dieſe Gurtbogen eine gemeinſchaftliche Fuſsfläche und einen gemeinſchaftlichen Stützkörper erhalten.

197. Falze.

Der an den Häuptern der Gurtbogen einzufügende Falz für das Widerlager der Kappengewölbe folgt in ſeiner unteren Begrenzungslinie genau der Kämpferlinie der Kappengewölbe. Dieſelbe ſoll für alle Kappengewölbe zwiſchen Gurtbogen bei einer und derſelben Raumdecke in einer wagrechten Ebene liegen, damit eine möglichſt günſtige Beanſpruchung der Gurtbogen durch den Schub der Kappen eintritt. Auſserdem ſollen die Spannweiten und Pfeilverhältniſſe für die Kappengewölbe zwiſchen den Gurtbogen thunlichſt gleich ſein, weil bei gröſserer Abweichung in dieſen Abmeſſungen der benachbarten Kappen der Gurtbogen eben ſo ungünſtig beanſprucht wird, wie das im Art. 147 (S. 213) beſprochene gemeinſchaftliche Widerlager von zwei Tonnengewölben mit verſchiedener Spannweite. Die Kämpferlinie der Kappengewölbe liegt mindeſtens 10 cm, beſſer 12 cm über dem Scheitel des Gurtbogens, da bei einer tieferen Lage derſelben leicht ein Abdrücken der Scheitelſteine des Bogens unterhalb des Falzes möglich wird.

Die ſchräg aufſteigende Fläche des Falzes richtet ſich in ihrer Neigung nach der Richtung der Kämpferfuge der Kappengewölbe.

Da die Stärke des Gurtbogens in den meiſten Fällen nicht ſo groſs iſt, daſs das Widerlager der Kappen, alſo auch der Falz hierfür in der ganzen Stirnfläche der Gurtbogen verbleiben kann, ſo muſs eine ſorgſame Ausmauerung der Zwickel der Gurtbogen oberhalb der Rückenfläche derſelben, wie auch aus Fig. 375 zu erſehen iſt, ſtattfinden. Dieſe Ausmauerung nimmt dann die Fortſetzung des Falzes mit auf.

Der geſammte an beiden Hauptflächen des Gurtbogens vorkommende Falz wird in der Regel gleich bei der Wölbung des Bogens durch entſprechend zu-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

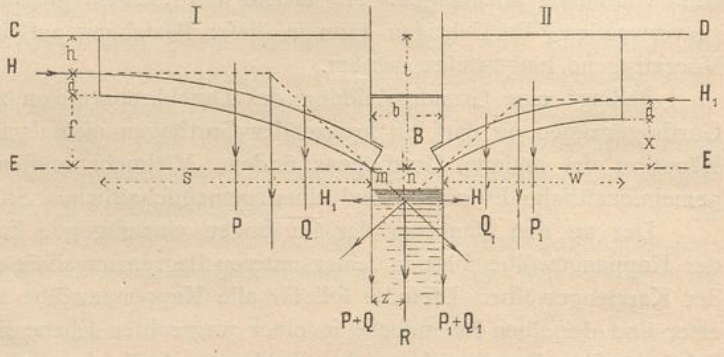
gehauene Wölbſteine mit ausgeführt. Soll dagegen der Falz ſpäter eingehauen werden, ſo muſs dieſe Arbeit erſt nach möglichſt vollſtändigem Abbinden und Erhärten der Mörtelbänder des Bogens vorgenommen werden. Eben ſo iſt die Einwölbung der Kappen zwiſchen den Gurtbogen erſt dann zweckmäſsig in Angriff zu nehmen, ſobald die Gurtbogen kräftig im Mörtel abgebunden ſind.

Müſſen die Gurtbogen parallel mit der Längsmauer des Raumes angelegt werden, ſo gilt daſſelbe, was vorhin über die parallel zur ſchmalen Seite des Raumes geſtellten Gurtbogen mitgetheilt iſt.

198. Kappengewölbe mit ungleicher Spannweite.

Kann die erwähnte günſtige Beanſpruchung der Gurtbogen bei einer ungleichen Spannweite der von einem gemeinſchaftlichen Gurtbogen aufzunehmenden Kappengewölbe bei gegebenen beſonderen Verhältniſſen eine Beeinfluſſung erfahren, welche nachtheilig für den Gurtbogen werden müſſte, ſo darf, um dieſe Einflüſſe thunlichſt zu beſeitigen, das Feſtſtellen der zweckmäſsigen Pfeilhöhen der beiden verſchieden weit geſpannten Kappen nicht unterlaſſen werden. In dieſer Beziehung begegnet man in der Praxis des Hochbauweſens bei derartigen Anlagen von Kappengewölben noch manchen Willkürlichkeiten, die einzuſchränken ſind.

Fig. 376.



In Fig. 376 ſei I ein halbes Kappengewölbe mit der Spannweite $2s$, der Pfeilhöhe f, der Wölbſtärke d und der auf Wölbmaterial zurückgeführten, oben wagrecht abgeglichenen Ueberlaſt von der Höhe h. Die Gröſse des möglichſt kleinſten Gewölbſchubes H iſt nach Gleichung 179 (S. 264) mit

$$H = \frac{s^2}{12\,(f+d)}\,[6\,(d+h)+f]$$

zu berechnen.

Tritt mit dieſem Gewölbe das zur Hälfte gezeichnete Kappengewölbe II mit der Spannweite $2w$ an einen gemeinſchaftlichen Gurtbogen B, ſo iſt zunächſt zu beachten, daſs die Kämpferlinien beider Gewölbe in einer und derſelben wagrechten Ebene liegen, daſs ſodann, den Anforderungen des Hochbauweſens meiſtens entſprechend, die Gewölbe eine gleiche Stärke erhalten und ſo übermauert oder mit Beton, bezw. Sandſchüttung überlagert werden, daſs der Fuſsboden, bezw. die obere Abgrenzung der Gewölbe wiederum in eine und dieſelbe wagrechte Ebene gelangt.

Sind nun beide Gewölbe noch auſserdem mit einer gleich groſsen Nutzlaſt für 1 qm Grundriſsfläche behaftet, ſo liegt auch die obere Grenzlinie der Belaſtungsflächen derſelben in einer wagrechten Ebene CD. Die lothrechte Entfernung dieſer Ebene von der Kämpferebene EE iſt

$$t = f + d + h \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 216.$$

Die Tiefe beider Gewölbe ſei gleich der Längeneinheit. Iſt ferner x die Pfeilhöhe des Gewölbes II und H_1 der möglichſt kleinſte Gewölbſchub deſſelben, ſo wird

nach den Bezeichnungen in Fig. 376 und in Rückſicht auf das in Art. 138 (S. 190) Geſagte

$$H_1 = \frac{P_1 \frac{w}{2} + Q_1 \frac{w}{4}}{d + x}.$$

Da

$$P_1 = (t - x)\, w \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3} w x \quad \ldots\ldots\ldots \quad 217.$$

iſt, ſo wird hiernach

$$H_1 = \frac{(t-x) \frac{w^2}{2} + \frac{w^2 x}{12}}{d + x}$$

und nunmehr hieraus

$$x = \frac{6 (t w^2 - 2 H_1 d)}{12 H_1 + 5 w^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 218.$$

gefunden.

Da der Gurtbogen durch die Kämpferdrücke der beiden Gewölbe im Allgemeinen am günſtigſten in Mitleidenſchaft gezogen wird, wenn die wagrechten, in der Kämpferebene EE liegenden Seitenkräfte H und H_1 ſich das Gleichgewicht halten, ſo daſs neben dem Eigengewicht und der Belaſtung des Gurtbogens von den Kappengewölben nur die lothrecht wirkenden Seitenkräfte

$$R = P + Q + P_1 + Q_1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 219.$$

der Kämpferdrücke für denſelben in Betracht zu ziehen ſind, ſo folgt, daſs $H_1 = H$ zu ſetzen und danach

$$x = \frac{6 (t w^2 - 2 H d)}{12 H + 5 w^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 220.$$

zu berechnen iſt.

In dieſem Ausdrucke hat H den nach Gleichung 179 ermittelten Werth. Setzt man alſo die Geſtaltung des Gewölbes I feſt, ſo iſt bei gegebener Spannweite des Gewölbes II die Pfeilhöhe x in die durch Gleichung 220 ausgeſprochene Abhängigkeit vom Gewölbe I zu bringen, ſo daſs jede Willkür ausgeſchloſſen iſt.

Um die Lage der Mittelkraft R der lothrechten Seitenkräfte der von beiden Gewölben hervorgerufenen Kämpferdrücke zu finden, kann man, wenn die Breite b des Gurtbogens gegeben iſt, den Abſtand $m n = z$ dieſer Kraft R von dem Kämpferpunkte m unter Berückſichtigung von Fig. 376 leicht beſtimmen. Man erhält durch $R z = (P_1 + Q_1) b$ den Ausdruck, woraus

$$z = \frac{(P_1 + Q_1) b}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 221.$$

wird. In der Gröſse R ſind nach Gleichung 219 auch die Werthe von P und Q mit enthalten. Dieſelben ergeben ſich nach den Gleichungen 154 u. 155 (S. 191), während P_1 und Q_1 nach Gleichung 217 in Verbindung mit dem aus Gleichung 220 zu berechnenden Werthe von x zu beſtimmen ſind.

Würden die Gewölbkappen ſich ſtatt gegen einen Gurtbogen gegen einen gemeinſchaftlichen Walzeiſenträger legen, ſo wird an der geführten Unterſuchung nichts geändert.

Beiſpiel. Es ſei $2s = 4\,\text{m}$, alſo $s = 2\,\text{m}$, $f = 0{,}5\,\text{m}$ oder $= \frac{1}{8}$ der Spannweite, $d = 0{,}25\,\text{m}$ und $h = 0{,}18\,\text{m}$, d. h. einer Nutzlaſt von etwa $280\,\text{kg}$ für $1\,\text{qm}$ Grundriſsfläche entſprechend. Die Spannweite $2w$ des Nachbargewölbes ſei $3\,\text{m}$, alſo $w = 1{,}5\,\text{m}$; die Gewölbſtärke d ſei auch hier $0{,}25\,\text{m}$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Man erhält nach Gleichung 179 (S. 264)

$$H = \frac{2^2}{12\ (0{,}5 + 0{,}25)}\ [6\ (0{,}25 + 0{,}18) + 0{,}5] = 1{,}37\ \text{qm}.$$

Nach der Tabelle in Art. 143 (S. 202) könnte für die Gewölbſtärke gleich 1 Stein $= 0{,}25$ m der Normaldruck $N = 2{,}61$ qm betragen, während H dort nur $= 0{,}87$ qm iſt.

Aus den in Art. 180 (S. 273) angegebenen Gründen kann aber für das unterſuchte Gewölbe die Stärke von $0{,}25$ m beibehalten werden.

Nach Gleichung 216 wird

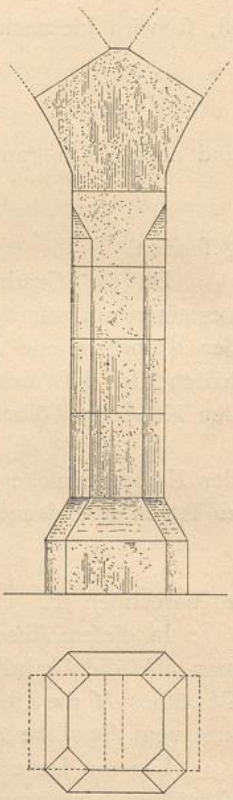
$$t = 0{,}5 + 0{,}25 + 0{,}18 = 0{,}93\ \text{m}$$

und nunmehr nach Gleichung 220

$$x = \frac{6\ (0{,}93\ .\ 1{,}5^2 - 2\ .\ 1{,}37\ .\ 0{,}25)}{12\ .\ 1{,}37 + 5\ .\ 1{,}5^2} = 0{,}305\ \text{m}$$

als geſuchte Pfeilhöhe des Gewölbes mit der Spannweite $2w = 3\,m$. Danach iſt alſo das Pfeilverhältniſs dieſes Gewölbes nicht auch gleich $\frac{1}{8}$, wie beim gröſseren Gewölbe, ſondern nur $\frac{0{,}305}{3} =$ rund $\frac{1}{10}$ zu nehmen.

Fig. 377.



Derartige Ergebniſſe ſind in der Praxis bei der Ausführung von Kappengewölben füglich zu beachten. Nachdem x berechnet iſt, läſſt ſich z nach Gleichung 221 finden. Zuvor iſt nach den Gleichungen 217 u. 220:

$$P_1 = (0{,}93 - 0{,}305)\ 1{,}5 = 0{,}938\ \text{qm} \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3}\ .\ 1{,}5\ .\ 0{,}305 = 0{,}153\ \text{qm}.$$

Aufserdem ergiebt ſich nach Gleichung 154: $P = (0{,}25 + 0{,}18)\ 2 = 0{,}86$ qm und endlich nach Gleichung 155: $Q = \frac{1}{3}\ .\ 0{,}5\ .\ 2 = 0{,}333$ qm.

Nach Gleichung 219 iſt demnach R gleich der Summe dieſer Gewichte, alſo gleich $2{,}304$ qm, ſo daſs zuletzt nach Gleichung 221

$$z = \frac{(0{,}938 + 0{,}153)\ b}{2{,}304} = \frac{1{,}091\ b}{2{,}304} = 0{,}473\ b$$

wird. Hiernach liegt die lothrechte Kraft R der Kämpferdrücke in nicht ſehr bedeutendem Abſtande von der lothrechten Mittellinie des Gurtbogens. Das Gewicht, bezw. die ſachgemäſse Uebermauerung deſſelben wird eine lothrechte Kraft erzeugen, welche, mit R zu einer neuen Mittelkraft vereinigt, dieſe bis nahezu in die lothrechte Mittellinie des Gurtbogenquerſchnittes legt, oder falls die Uebermauerung des Gurtbogens entſprechend vorgenommen wird, ſchlieſslich die zuletzt erwähnte Mittelkraft ſelbſt durch jene Mittellinie bringt.

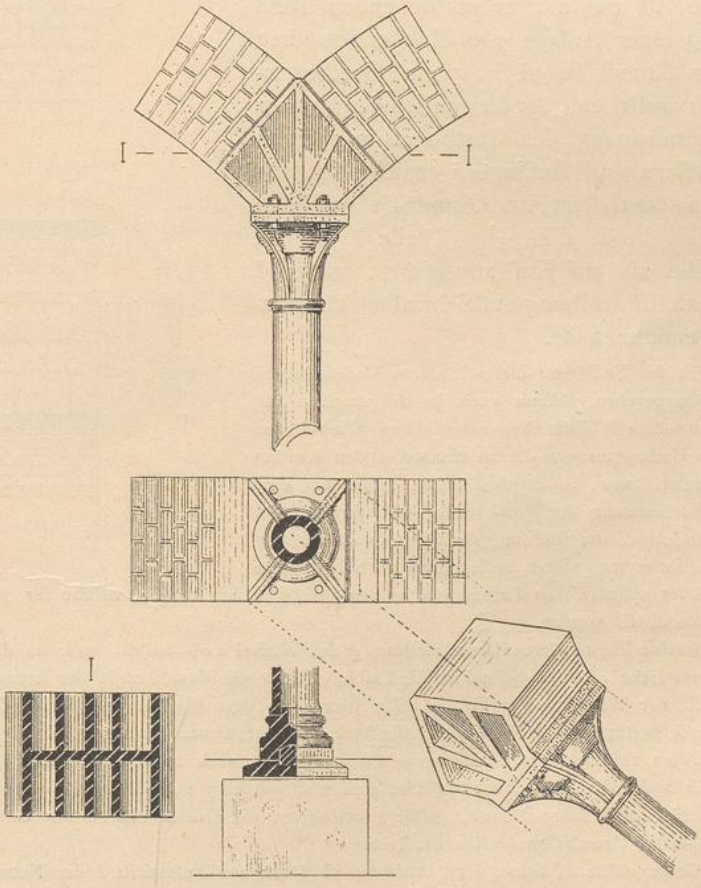
Derartige Vortheile für die Conſtruction ſind alſo ohne groſse Mühe zu ſchaffen.

199. Gurtbogenpfeiler und -Anfänger.

Sind zwei oder mehrere Gurtbogen als Bogenſtellungen anzuordnen, ſo erhalten je zwei derſelben einen gemeinſchaftlichen Zwiſchenpfeiler, den ſog. Gurtbogenpfeiler, als Stütze und am Kopfe deſſelben ihr zuſammengehöriges Widerlager. Die Breite dieſer Pfeiler wird, wenn dieſelben aus Mauerwerk beſtehen, in der Regel gleich der Breite der Gurtbogen genommen, wenigſtens niemals gröſser gewählt. Die Länge derſelben richtet ſich nach der Gröſse des Druckes, welcher vermöge der Gurtbogen mit Kappenbelaſtung oder der ſonſt noch auf die Gurtbogen gelangenden Gewichte in Frage kommt. Sehr ſelten iſt jedoch die Länge dieſer Pfeiler ſo groſs, daſs dieſelbe gleich der wagrechten Projection der beiden Widerlagsfugen der Gurtbogen würde. Vielmehr ſchneiden ſich die Rückenlinien der Gurtbogen über der lothrechten Axe des Pfeilers in ziemlich hoher Lage über ihren Kämpferlinien. In Folge hiervon entſtehen über der Kämpferlinie beſondere Beſtandtheile des Gurtbogens, die ſog. Gurtbogenanfänger. Werden die Pfeiler und die Anfänger aus Backſtein hergeſtellt, ſo gilt genau das in Art. 137 (S. 189) über derartige Gewölbeanfänger Geſagte auch hier. Sollen die Anfänger aus Haufteinen hergerichtet werden, ſo

können dieſelben nach Fig. 377 in den meiſten Fällen aus einem einzigen, nach den Wölblinien und den Widerlagsflächen der Gurtbogen bearbeiteten Quader beſtehen. Wird der Gurtbogenpfeiler aus Quadermaterial errichtet, ſo kann derſelbe bei nicht zu groſser Pfeilerhöhe aus einem Stücke beſtehen oder anderenfalls in Schichten von 30 bis 50 cm Höhe ausgeführt werden. Selbſtredend können ſtatt der Gurtbogenpfeiler auch Freiſtützen aus Backſteinmaterial gemauert oder aus Quadern beſtehend angeordnet werden, wenn nur in jedem Falle den betreffenden Stützkörpern der nöthige Querſchnitt gegeben wird. Für die im Hochbauweſen auftreten-

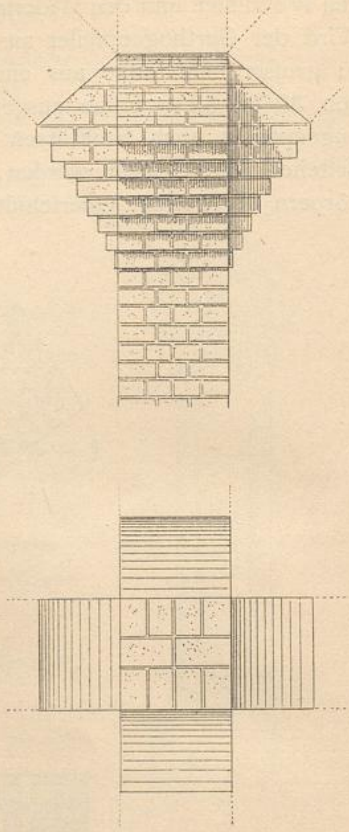
Fig. 378.



den gewöhnlichen Belaſtungen beträgt die Länge der Backſteinpfeiler, gutes und feſtes Material vorausgeſetzt, 2 Stein bis 2½ Stein und die Länge der Quaderpfeiler bei feſtem Steinmaterial 40 bis 50 cm. Statt der aus Steinmaterial zu bildenden Gurtbogenpfeiler können ſelbſtverſtändlich auch guſseiſerne oder ſchmiedeeiſerne Säulen (Fig. 378) als Stützen in Anwendung kommen. Dieſe erhalten dann einen aus Backſtein oder aus Quadern angefertigten Anfänger über ſich oder unter Umſtänden ein guſseiſernes Kopfſtück, welches als Gurtbogenanfänger, wie in Fig. 378, ausgebildet iſt. Treten bei ſich kreuzenden Gurtbogenzügen vier Gurtbogen über einer gemeinſchaftlichen Freiſtütze zuſammen, ſo iſt der allen Gurtbogen zukommende

Anfänger, möge derfelbe aus Backftein oder aus Quadern beftehen, fo zu geftalten, dafs, wie Fig. 379 bei einem aus Backftein gebildeten Mauerkörper zeigt, alle vier Widerlagsflächen in entfprechender Gröfse vorhanden find.

Fig. 379.



Für eine forgfältig ausgeführte, vollftändig ficbere Fundamentirung der Gurtbogenpfeiler oder Säulen ift unter jeder Bedingung zu forgen.

200. Beifpiel einer gröfseren Kappengewölbanlage.

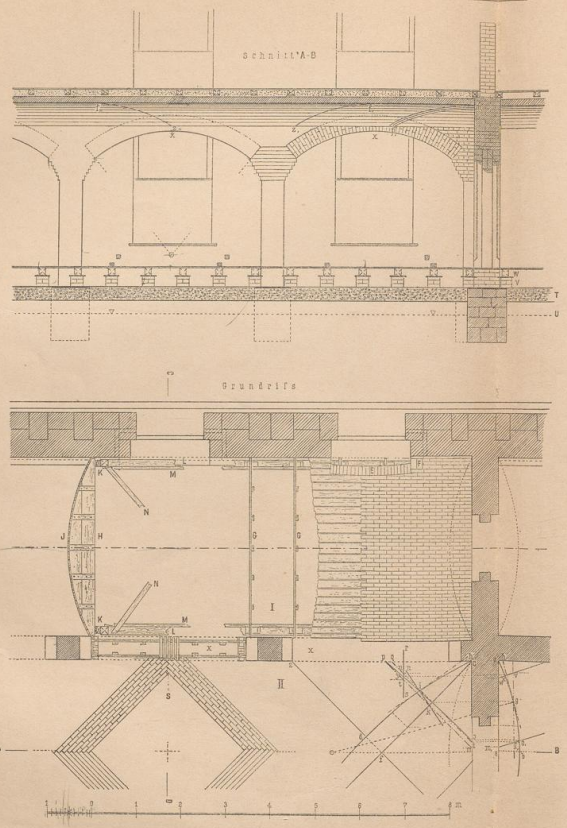
Unter Beobachtung der für die Kappengewölbe zwifchen Gurtbogen in Betracht kommenden Gefichtspunkte ift auf der neben ftehenden Tafel die Zeichnung einer Anlage von Kappengewölben gegeben. Im Grundriffe ift x, x ein Gurtbogenzug, welcher parallel mit der langen Umfangsmauer läuft. Die Anordnung der Gurtbogen mit ihren Vorlagen, Pfeilern und Anfängern ergiebt fich aus der Darftellung derfelben im Grundriffe und den Schnitten AB, bezw. CD. Im Theile I ift das Kappengewölbe als auf Kuf ausgeführt, während im Theile II die Einwölbung auf Schwalbenfchwanz-Verband angenommen ift.

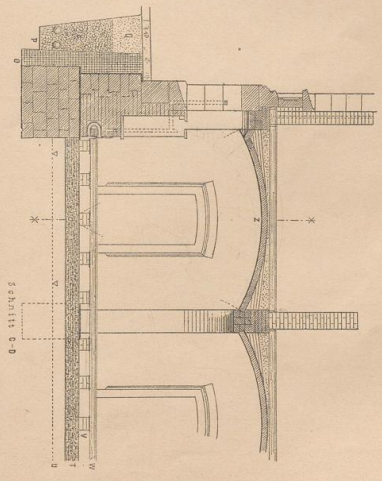
Hinfichtlich des Feftlegens diefes letzteren Verbandes fei noch Folgendes angegeben. Wenn auch im Allgemeinen die Richtung der einzelnen Wölbftreifen unter einem Winkel von 45 Grad zu den Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes angenommen werden kann, fo empfiehlt fich doch, um eine zweckdienliche Verfpannung der Wölbftreifen mit ihren Nachbarftreifen zu erreichen, die Richtung derfelben fo zu nehmen, dafs diefelben in ihren wagrechten Projectionen als Schnittlinien von Ebenen mit der cylindrifchen Laibungsfläche des Gewölbes fich zeigen, welche für jeden Streifen in folgender Weife ermittelt werden.

Eine lothrechte Ebene, deren Grundrifsfpur cf den Winkel zcm halbirt, welchen die Begrenzungen des Raumes an der Ecke c bilden, fchneidet die Laibungsfläche des Gewölbes in der krummen Linie hid. Diefelbe ift nach der Wölblinie der Kappe, alfo hier nach dem Flachbogen ab mit der Pfeilhöhe eb in bekannter Weife beftimmt. Sie ift ein Ellipfenftück. Ermittelt man für einen beliebigen Punkt i derfelben, welcher dem Punkte g des Flachbogens ab entfpricht, nach den Angaben zu Fig. 254 (S. 149) die Normale nik und führt man durch diefelbe eine rechtwinkelig zur Ebene der Curve hid ftehende Ebene, fo fchneidet diefe Normalebene, gehörig erweitert, die Laibungsfläche des Gewölbes in einer krummen Linie, deren Grundrifsprojection die Linie op ift.

Um die Grenzpunkte o, bezw. p zu erhalten, ift durch den Fufspunkt k der Normalen nk in der Kämpferebene cf des Ellipfenftückes cid, bezw. des Gewölbes felbft die wagrechte Spur pkm der Normalebene n gezeichnet.

Die Parallele zu pm durch den Punkt i geführt, liefert die Grundrifsprojection einer wagrechten geraden Linie qil, deren Projection in der Ebene der Wölblinie ab die durch den zu i gehörigen Punkt g gezogene, mit ae parallel laufende Gerade ift. Da nun die lothrechte Projection des Punktes m auf ab in m_1, die lothrechte Projection des Punktes t auf der entfprechend verlängerten wagrechten Geraden vg in l_1 erhalten wird, fo ergiebt fich in der Geraden $m_1 l_1$ die lothrechte Spur der Normalebene in der Ebene des Flachbogens ab. Diefe Spur trifft den Flachbogen ab im Punkte o_1. Die wagrechte Projection des Flachbogens ab ift die Gerade cm; die Grundrifsprojection von o_1 ift alfo der auf cm gelegene Punkt o. Der Grenzpunkt p liegt, wie fofort erfichtlich, in der Kämpferebene; die lothrechte Projection deffelben ift alfo der Punkt a. Soll noch irgend ein zwifchen p und o gelegener Punkt diefer Schnittcurve in feinen Projectionen beftimmt werden, fo führt man parallel mit cm an beliebiger Stelle



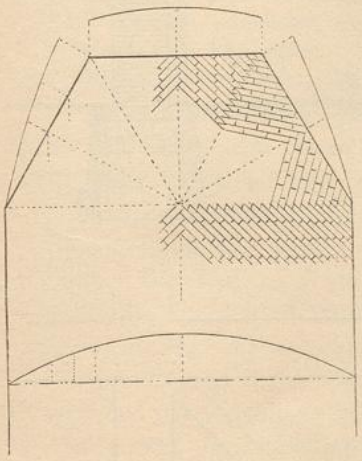


Anlage von Kappengewölben zwischen Gurtbogen.

zwifchen p und o eine lothrechte Ebene, deren Spur rs fein möge. Diefe Spur fchneidet die vorhin gekennzeichneten Geraden pm und ql in den Punkten t und u. Die lothrechten Projectionen derfelben find offenbar w auf der Linie ae und v auf der Geraden $l_1 gv$; mithin würde wa die lothrechte Spur jener in rs parallel zur Ebene abc ftehenden lothrechten Ebene fein und die hier befindliche, der Bogenlinie ab völlig entfprechende Wölblinie im Punkte x durchfchneiden. Die wagrechte Projection von x ift der gefuchte, auf rs gelegene Zwifchenpunkt y. Theilte man nunmehr die Curve cid in Wölbfchichten von der Dicke eines Backfteines ein, fo könnten für jeden Theilpunkt in gleicher Weife die Normalebenen geführt und die zugehörigen Schnittlinien mit der Gewölbfläche in ihren wagrechten Projectionen aufgefucht werden.

Diefe wagrechten Projectionen bilden alsdann die Begrenzungen der einzelnen neben einander liegenden Wölbftreifen, deren Lagerfugenflächen überall in Normalebenen liegen, welche der durch die Ebene cf allgemein erzeugten Schnittlinie mit der Gewölbfläche angehören. Wird cf parallel mit fich felbft fortgerückt, fo können, felbftredend unter Benutzung der fchon beftimmten Linien von den Eigenfchaften der Streifenkanten po, die fämmtlichen Wölbftreifen feft gelegt und in ihrem Verbande geordnet werden.

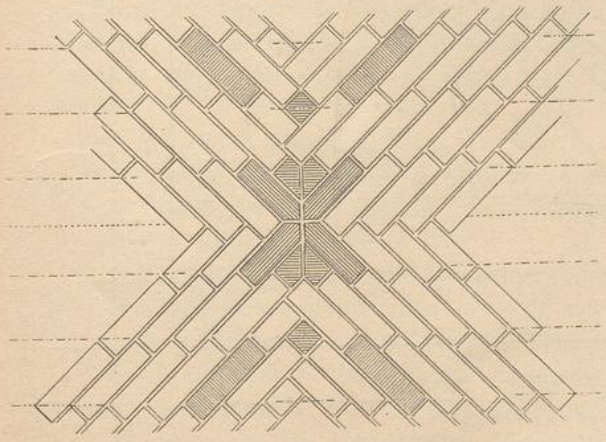
Fig. 380.



Diefe unter dem Namen »Schwalbenfchwanz-Verband« auftretende Wölbungsart wird von den Ecken des Raumes aus begonnen, d. h. allgemein da, wo die Stirnmauern mit den eigentlichen Widerlagsmauern zufammentreffen. Derfelbe eignet fich auch, wie Fig. 380 zeigt, für die Einwölbung polygonal geftalteter Räume.

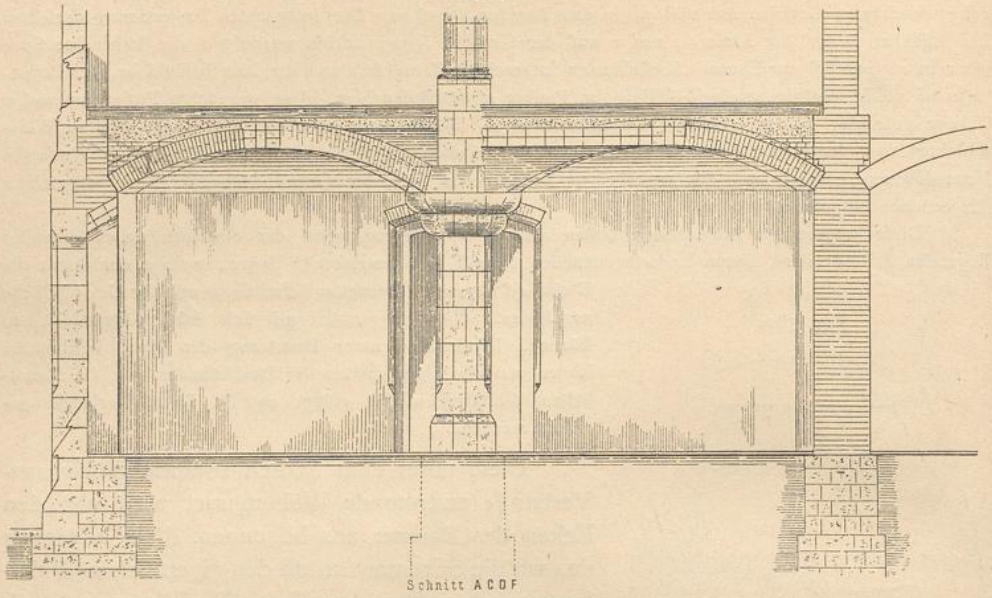
Wie aus dem Grundriffe in *II* auf der neben ftehenden Tafel hervorgeht, treffen fich die einzelnen Wölbftreifen auf der Scheitellinie AB und der Wölblinie S in der Mitte des Gewölbes in zickzackförmigem Verbande, fo dafs zuletzt ein nahezu quadratifcher Schlufsftein übrig bleibt. Beim Zufammentreten der nach entgegengefetzter Richtung verlaufenden Wölbftreifen über AB und S, dem fog. Schnäbeln der Schichten, ift auf eine forgfältige Mauerung und Mörtelung zu achten. Da, wie bei der Stabilitäts-Unterfuchung der Kappengewölbe mit diefem Verbande in Fig. 366 (S. 278) gefunden ift, fämmtliche Umfangsmauern, bezw. die Gurtbogen, welche mit als Widerlager auftreten müffen, Gewölbfchub aufzunehmen haben, fo ift auch für die Stirnmauern ein entfprechender Widerlagsfalz für die hier antretenden Wölbftreifen vorzufehen. In der Regel wird gleich bei der Ausführung der Stirn- oder Schildmauern durch geeignete Ausfparung der Anfchlufsfalz hergeftellt.

Fig. 381.

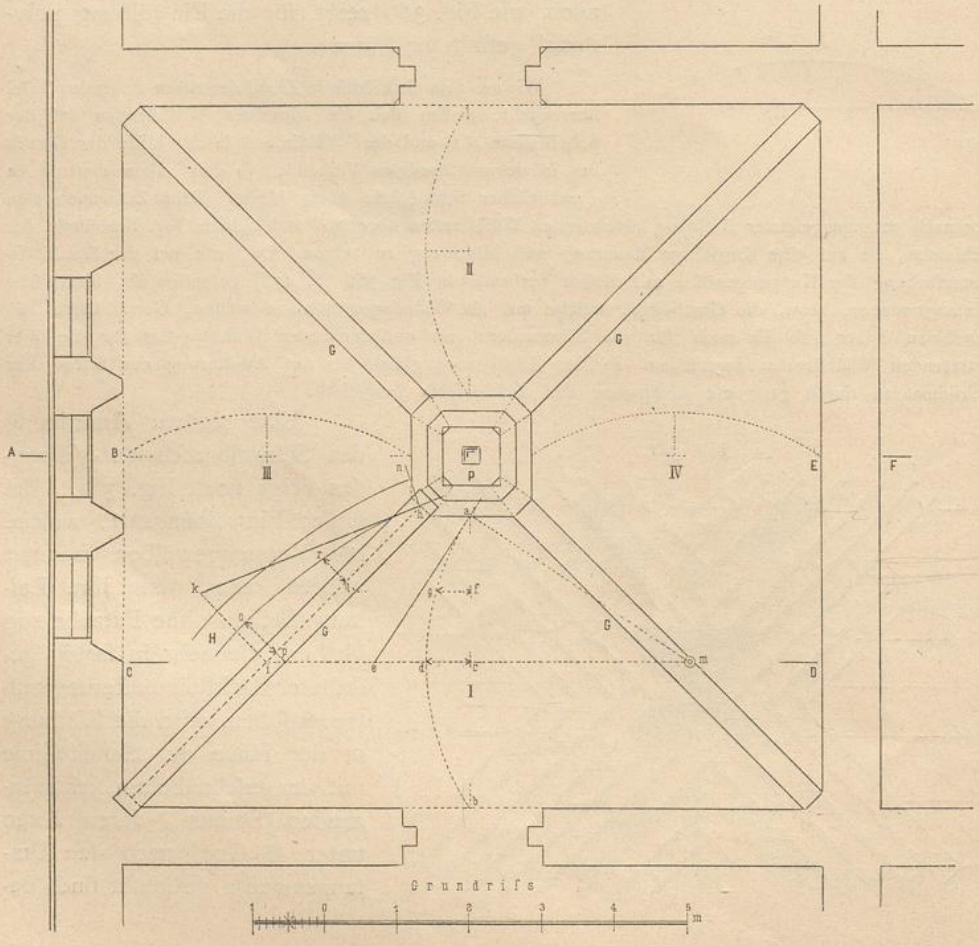


Eine andere Anordnung des Schwalbenfchwanz-Verbandes zeigt noch Fig. 381. Bei diefer Einwölbungsart, welche bei Kappengewölben benutzt werden kann, wenn ihre Laibungsflächen ohne Putzüberzug bleiben, vielmehr in farbig geftalteter Backfteinmufterung auftreten follen, wird die Wölbung in der Mitte der Scheitellinie mit vier gefchnäbelten, fich kreuzenden Steinen, deren Axen unter 45 Grad nach den Umfangsmauern gerichtet find, be-

Fig. 382.



Schnitt ACDF



gonnen. Dieſer Richtung folgend, ſind alsdann alle übrigen Wölbſtreifen in regelrechtem Verbande, auch etwa einem beabſichtigten Muſter gemäſs geordnet, einzufügen.

201. Stichkappen.

Müſſen in Kappengewölben Stichkappen eingelegt werden, ſo gelten für dieſelben die in Art. 164 (S. 235) gegebenen Entwickelungen. Auf der Tafel bei S. 298 iſt bei *E* der Gewölbkappe *I* der Kranz einer Stichkappe nebſt der Aufmauerung *F* für das Ohr derſelben gezeichnet.

Auf derſelben Tafel iſt auch die Stellung *G* der Wölbſcheiben *JH* und deren Unterlagerung durch Keile *K* auf dem Untergerüſt *L* mit deſſen Abſpreizungen *M*, bezw. *N* angegeben. Auch iſt für das Trockenhalten des Raumes und des Fuſsbodens in Bezug auf den höchſten Grundwaſſerſtand *U* durch die Betonſchicht *T*, die Iſolirung der Mauerkörper der Umfangsmauern, bezw. Scheidemauern u. ſ. f., die Untermauerung *V* der Fuſsbodenlager *W*, ſo wie durch Luftbewegung unterhalb des Fuſsbodens das Nöthige dargeſtellt. Aufserdem ergiebt ſich aus dem Schnitte *CD* die Anordnung des Schutzes der Umfangsmauern gegen Feuchtigkeit. *O* iſt eine Thonſchicht; *P* ſind Drainrohre; *E* iſt Steinſchlag, und *Q* iſt eine Kieslage. Die Aufsenſeite der Grundmauer iſt mit einem Anſtrich von Goudron (Theer) verſehen.

In manchen Fällen, namentlich bei quadratiſcher Anlage von Räumen bis zu etwa 8 m Seitenlänge, kann man die Gurtbogen zur Zerlegung der Gewölbekappen auch ganz vermeiden und dieſelben durch einen Pfeiler, bezw. durch eine Säule aus Stein oder Eiſen erſetzen. Eine ſolche Anordnung zeigt Fig. 382, wobei vier Kappengewölbe ſich gegen einen Pfeiler legen, welcher im Inneren ein Rauchrohr *p* enthält. Die Kappen *I* bis *IV* ſchneiden ſich in Gratlinien in der Richtung *hi*, welche die inneren Wölblinien der Grate *G* bilden. Dieſe ſind, wie aus dem Schnitte *ACDF* hervorgeht, um $\frac{1}{2}$ Stein ſtärker ausgeführt, als die Kappengewölbe. Die Ausmittelung dieſer Wölblinie *hH* nach der Wölblinie *ab* der Kappen erfolgt in der aus der Zeichnung zu erſehenden Weiſe. Die Anſatzfläche der Grate *G* am Pfeiler gehört der Normalebene *hn* zum Ellipſenſtücke *hH* an. Die Geſammtanordnung dieſer Decken-Conſtruction iſt aus der Darſtellung ohne Weiteres erkennbar.

Müſſen in Kappengewölben Oeffnungen für Aufzüge, Treppen, Deckenlichter u. ſ. w. gelaſſen werden, ſo ſind dieſelben in geeigneter Weiſe mit Gewölbkränzen, wie in Fig. 383 gezeigt iſt, zu umgeben. Auf dieſe Kränze wird der Gewölbſchub der antretenden Wölbſchichten übertragen. Die Laibungs- und Rückenflächen dieſer Kränze gehören Kegelflächen an. Ihre Durchbildung entſpricht der Anordnung der in Art. 166 (S. 237) gegebenen Kranz-Conſtruction bei kegelförmigen Stichkappen vollſtändig, und es kann deſshalb hier die weitere Beſprechung derſelben unterbleiben. Für kleinere Oeffnungen im Gewölbe kann auch ſtatt des Kranzes ein runder oder quadratiſcher eiſerner Rahmen eingeſetzt werden, welcher, wenn die Oeffnung als Deckenlicht dienen ſoll, gleich als Zarge oder Rahmen für die Verglaſung zu benutzen iſt.

202. Steigende Kappengewölbe.

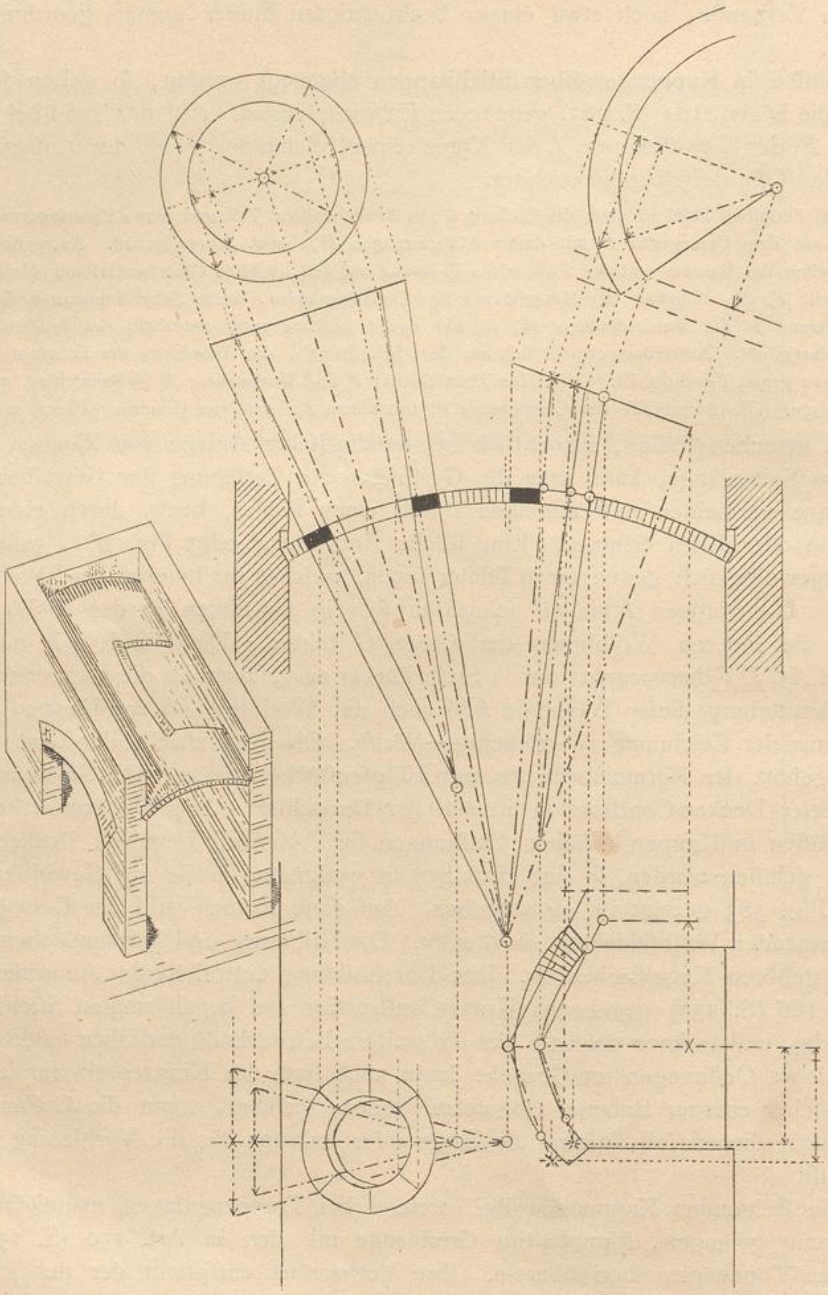
Die ſteigenden Kappengewölbe, welche bei Treppenanlagen mannigfach zur Ausführung gelangen, ſtimmen im Grundzuge mit den in Art. 130 (S. 159) behandelten Tonnengewölben überein. Ihre Verbandart entſpricht der des gewöhnlichen geraden Kappengewölbes.

203. Ueberwölbung gröſserer Räume.

Sollen gröſsere Räume mit Kappengewölben überdeckt werden, ohne daſs Gurtbogenſtellungen benutzt werden, ſo wird ein aus eiſernen Trägern mit Säulenunterſtützung beſtehendes Balkenſyſtem geſchaffen, welches in ſeinen Feldern die Gewölbkappen aufnimmt. Bei ſolchen Anlagen, welche bei Fabriken, landwirthſchaftlichen Bauwerken u. ſ. w. in ausgedehntem Maſse geſchaffen werden, tritt die Eiſen-Conſtruction in den Vordergrund, während die eigentliche gewölbte Decke

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 383.



ganz nach den im Vorhergegangenen gegebenen Vorfchriften entworfen und ausgeführt werden kann.

Die Befprechung von Eifen-Conftructionen, welche für die Bildung von derartigen Decken geeignet find, wird unter C ftattfinden.

11. Kapitel.

Kloftergewölbe und Muldengewölbe.

a) Kloftergewölbe.

1) Geftaltung der Kloftergewölbe.

Das Kloftergewölbe zeigt in feiner Laibungsfläche feitlich neben einander tretende cylindrifche Flächen. Die Erzeugenden derfelben find parallele gerade Linien, wovon die Anfangserzeugende jedesmal eine in der Kämpferebene liegende Seitenlinie der Grundrifsfigur des Gewölbes ift. Ihre Schnittlinien find ebene Curven, jedoch in ihrer Grundrifsprojection gerade Linien, welche von den Ecken der Grundfigur nach einem gemeinfchaftlichen, innerhalb derfelben gelegenen Punkte gezogen werden können. In den meiften Fällen ift diefer Punkt der Schwerpunkt der Grundfigur, immer aber die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes. 204. Form.

Ift für irgend eine der cylindrifchen Flächen des Kloftergewölbes eine ebene Curve als Leitlinie feft gefetzt, fo find hiervon fowohl die Leitlinien aller übrigen Wölbflächen, als auch die fämmtlichen Schnitt- oder Durchdringungslinien derfelben abhängig zu machen.

Diefe für eine beliebige Wölbfläche feft zu fetzende Leitlinie kann ein Flachbogen, ein Viertelkreis, ein fteil auffteigender Kreisbogen, ein elliptifcher Bogen, ein Parabelbogen u. f. w. fein. Der tiefifte Punkt einer folchen Urfprungs-Leitlinie liegt in der Kämpferebene des Gewölbes, während ihr höchfter Punkt mit dem Scheitelpunkt des Gewölbes zufammenfällt.

Die Grundrifsfigur kann als Dreieck, Quadrat, Rechteck oder als regelmäfsiges, bezw. unregelmäfsiges Vieleck gegeben fein. Das Feftlegen der cylindrifchen Wölbflächen erleidet in der angegebenen grundlegenden Bildung keine Aenderung. Am beften eignen fich jedoch für die Anlage von Kloftergewölben regelmäfsig angeordnete Grundrifsformen.

Die Zahl der einzelnen zufammenzufügenden Flächen entfpricht der Seitenzahl der gegebenen Grundrifsfigur. Ift diefe Figur ein gefchloffener Kreis oder eine gefchloffene Ellipfe, fo entfteht eine Laibungsfläche, welche derjenigen der Kuppelgewölbe entfpricht, die alsdann aber, da nunmehr die Schnittlinien der einzelnen cylindrifchen Flächen verfchwinden, in ihrer Conftruction von derjenigen der Kloftergewölbe wefentlich abweicht.

Ift die Leitlinie der als Beftimmungsfläche genommenen Wölbfläche eine fteil auffteigende, gefetzmäfsig gebildete ebene Curve, fo entfteht bei einem Vieleck als Grundrifsfigur ftets ein Kloftergewölbe, welches auch wohl die Namen Haubengewölbe oder Walmkuppel führt, jedoch nicht mit der Bezeichnung Kuppelgewölbe belegt werden follte.

Da die fämmtlichen Wölbflächen des Kloftergewölbes von den Umfangsfeiten des zu überwölbenden Raumes aus beginnen und jede derfelben als ein Theil eines Tonnengewölbes anzufehen ift, welches an diefen Seiten feine Fufsfläche findet, fo treten fämmtliche Umfangsmauern des Raumes als Widerlagsmauern auf. Der Abftand des vorhin bezeichneten, in feiner wagrechten Projection beftimmten Scheitelpunktes von der wagrechten Kämpferebene beftimmt die Pfeilhöhe oder kurz die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

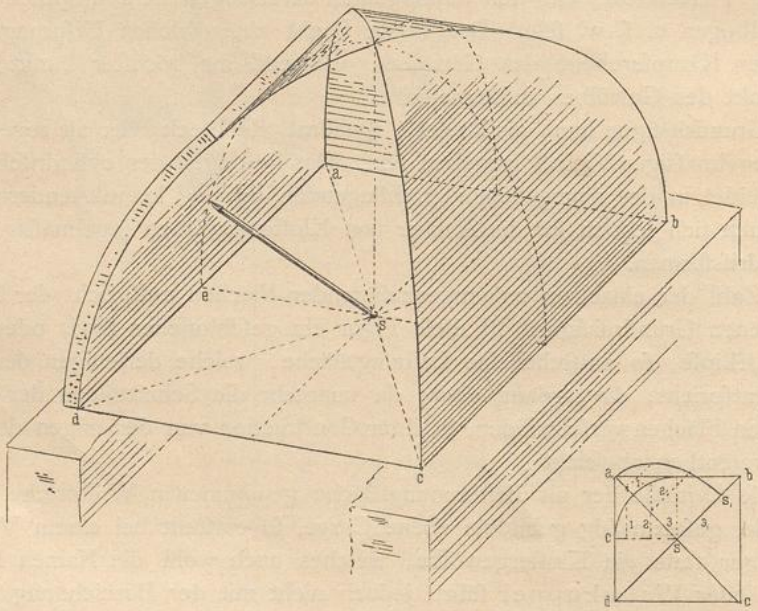
Höhe des Kloſtergewölbes. Dieſelbe kann je nach den für die Durchbildung des Gewölbes zu ſtellenden künſtleriſchen, bezw. ſtatiſchen Anforderungen entſprechend groſs oder klein genommen werden.

Die Schnitt- oder Durchdringungslinien der Wölbflächen heiſsen Gratlinien, Grate oder Gräte.

Die den cylindriſchen Flächen zugehörigen Gewölbkörper nennt man Gewölbkappen oder auch Gewölbwangen. Zwei zuſammentretende Gewölbkappen bilden eine Kehle. Die innere Kehllinie iſt die Gratlinie. Der Winkel einer Kehle entſpricht demjenigen Winkel, welchen die zuſammentreffenden Umfangsmauern bilden, von deren Schnittlinie die Gratlinie der Kehle ausläuft.

Aus den gegebenen allgemeinen Anordnungen eines Kloſtergewölbes iſt zu erkennen, daſs die Geſtaltung deſſelben eine äuſserſt mannigfache, ja ſelbſt in künſtleriſcher Beziehung bei groſs angelegten Verhältniſſen eine reiche und anſprechende ſein kann. Bei den gewöhnlichen einfachen Kloſtergewölben über rechteckigen oder quadratiſchen Räumen mit beſchränkter Conſtructionshöhe iſt allerdings die Wirkung in baukünſtleriſcher Richtung nur äuſserſt mäſsig. Im weiteren Verlaufe der Beſprechung des Kloſtergewölbes wird ſich jedoch zeigen, daſs die Geſtaltung deſſelben in verſchiedener Weiſe zu ſeinen Gunſten zu bewirken iſt, ſo daſs ſich die hier und da auftretende, oft ſtiefmütterlich erſcheinende Behandlung des Kloſtergewölbes vermeiden läſſt.

Fig. 384.



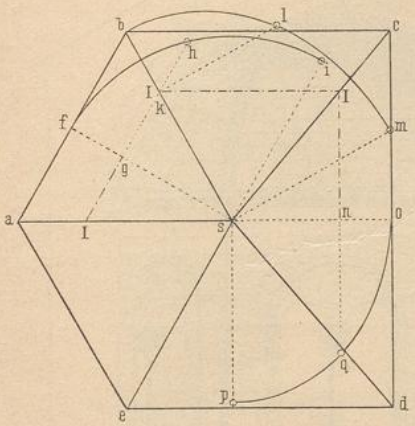
205 Einfache Kloſtergewölbe.

In Fig. 384 iſt die Form eines einfachen Kloſtergewölbes mit quadratiſchem Grundriſs *abcd* gegeben. Die geraden Linien *as*, *bs*, *cs* und *ds* ſind die wagrechten Projectionen der Gratlinien des Gewölbes. Die Urſprungs-Leitlinie der Gewölbkappe über *asd* iſt ein mit dem Halbmeſſer *se*, gleich der Länge der Ordinate *3*, um *s* beſchriebene Viertelkreis. Der Punkt *e* iſt der Mittelpunkt der Seite *ad*. Die Länge der Ordinate *3* beſtimmt die Pfeilhöhe des Kloſtergewölbes. Die wirkliche

Gratlinie as_1, hier eine Viertelellipſe, iſt in bekannter Weiſe mittels der Ordinaten *1*, *2* und *3* feſt gelegt. Für dieſes Gewölbe ſind die Leitlinien aller übrigen Kappen asb, bsc und csd dieſelben Viertelkreiſe, wie für die Kappe asd, und eben ſo ſind alle Gratlinien über bs, cs und ds der Viertelellipſe as_1 gleich. Aus dem Bilde in Fig. 384 ergiebt ſich, in welcher Weiſe die einzelnen Gewölbkappen in den Graten zuſammentreffen und, von den Umfangsmauern aufſteigend, im Scheitelpunkte des Gewölbes gemeinſam endigen.

Für die Geſtaltung der Wölbflächen über einem Vieleck (Fig. 385) erwachſen gleichfalls keine Schwierigkeiten. Hier iſt die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes der Schwerpunkt s des Fünfeckes $abcde$. Gerade Linien, von s nach den Mitten der Seiten, z. B. sf nach dem Mittelpunkte f von ab, so nach dem Mittelpunkte o der Seite cd gezogen, geben die wagrechten Projectionen der Leitlinien der einzelnen Gewölbkappen. Dieſelben ſind hier gleichzeitig Lothe, welche von s auf die Umfangsſeiten gefällt werden können. Bei ganz unregelmäſsiger Grundriſsform bleiben dieſelben meiſtens keine Lothe der Seiten, ſondern laufen am zweckmäſsigſten von s nach den Mittelpunkten derſelben. Die wagrechten Projectionen der Gratlinien ſind wiederum die von s nach den Ecken a, b, c u. ſ. f. gehenden geraden Linien sa, sb, sc u. ſ. f.

Fig. 385.



Wird nun für eine Gewölbkappe, z. B. für abs, eine beliebig gewählte, geſetzmäſsig geformte Curve, hier ein Viertelkreis fi um s mit dem Halbmeſſer sf beſchrieben, als Urſprungs-Leitlinie feſt geſetzt, ſo giebt $si = sf$ als Loth in s auf sf die Pfeilhöhe des Gewölbes. Legt man durch den beliebigen Punkt h der Leitlinie fi eine wagrechte Ebene, ſo laufen die Schnittlinien *II*, *II* u. ſ. w. dieſer Ebene auf den ſämmtlichen Gewölbflächen, die gleichfalls in einer wagrechten Kämpferebene beginnen, parallel mit den zugehörigen Kämpferlinien der Gewölbkappen, d. h. parallel mit den Seiten der Grundriſsfigur. Gerade Linien mit den Eigenſchaften der Geraden *II* ſind Erzeugende der Gewölbkappen.

Soll nun ein Punkt l einer Gratlinie, z. B. derjenigen über bs, gefunden werden, ſo iſt offenbar nur im Schnittpunkte k der Linie *II* mit bs das Loth kl auf bs zu errichten, deſſen Länge gleich iſt dem Lothe gh, errichtet im Schnittpunkte g der Linie *II* mit der wagrechten Projection fs der Hauptleitlinie fi der Gewölbkappe asb; denn gh iſt die Ordinate dieſer Leitlinie für die Erzeugende *II*. In gleicher Weiſe iſt auch die Leitlinie op der beliebig genommenen Gewölbkappe csd beſtimmt. Für dieſelbe muſs das Loth nq auf so gleich $gh = kl$ ſein.

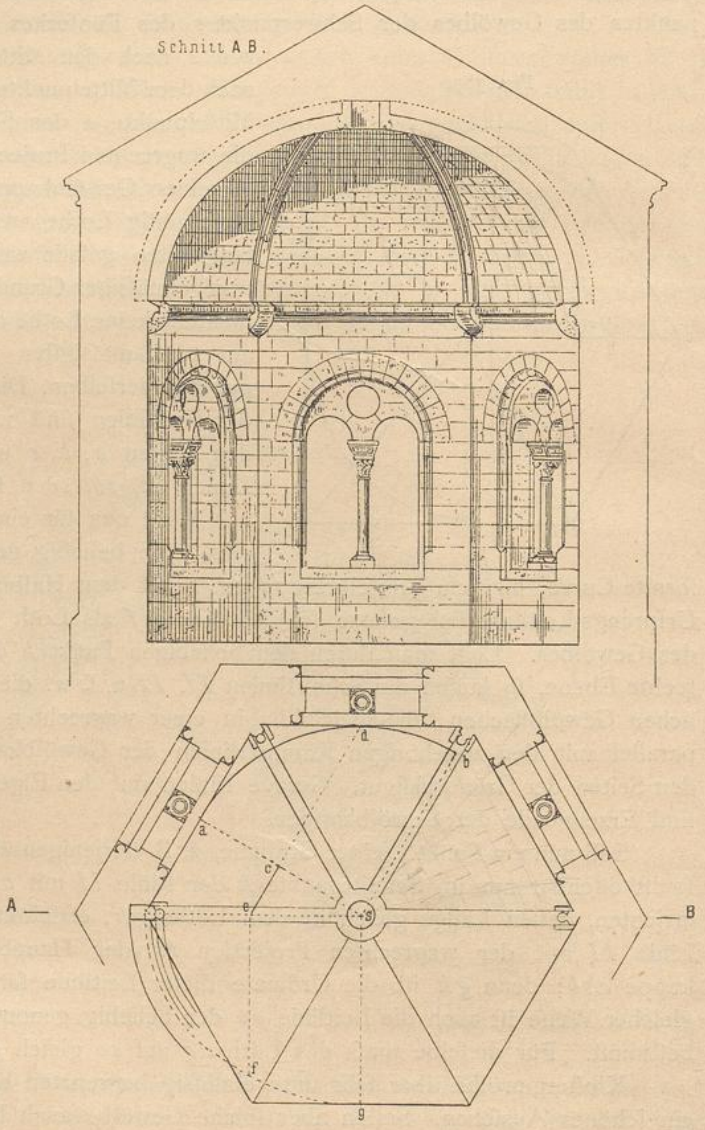
Kloſtergewölbe über ſehr unregelmäſsig begrenzten Räumen gewähren niemals ein ſchönes Ausſehen. Sollen aber ſolche Gewölbe auch bei dieſen Räumen durchaus in Anwendung kommen, ſo erfolgt die Ausmittelung der Wölbflächen genau ſo, wie ſoeben für Fig. 385 angegeben iſt.

Eben ſo gut nun, wie nach Annahme einer Hauptleitlinie für eine Gewölbkappe die Geſtaltung des Kloſtergewölbes vorgenommen iſt, kann umgekehrt auch

nach Feſtlegen einer gewählten Kehl- oder Gratlinie die Geſtalt der Leitlinien ſämmtlicher Kappen und der übrigen Gratlinien beſtimmt werden, ohne am Grundgedanken Aenderungen eintreten zu laſſen. Von dieſer Freiheit wird ſpäter noch ausgiebiger Gebrauch zu machen ſein.

Betrachtet man die Gratlinien für ſich wieder als Wölblinien ſchmaler Tonnengewölbe, ſo laſſen ſich dieſe als beſondere Gewölbkörper zu ſog. Gratbogen geſtalten, gegen welche ſich die einzelnen Wangen des Kloſtergewölbes legen. Dieſe Gratbogen, entſprechend mit Widerlagsflächen für die Kappen verſehen, treten dann zweckmäſsig in den Kehlen vor und erhalten hier eine mehr oder weniger reiche Gliederung. Durch ſolche Anordnung iſt neben einem Gewinn an architektoniſcher und unter Umſtänden auch an conſtructiver Durchbildung ein Beleben der immerhin ernſt erſcheinenden Gewölbkappen möglich.

Fig. 386.



In Fig. 386 iſt ein derartiges Beiſpiel für ein Kloſtergewölbe über einem regelmäſsig ſechseckigen Raume gegeben. Die Ausmittelung eines Gratbogens iſt unter Berückſichtigung des hierüber bereits Geſagten vorgenommen. Die Gratbogen ſind im Scheitel gemeinſchaftlich gegen einen gewölbten Kranz oder Ring geſetzt, welcher gleichſam als der mit einer Oeffnung verſehene Schluſsſtein des Gewölbes auftritt.

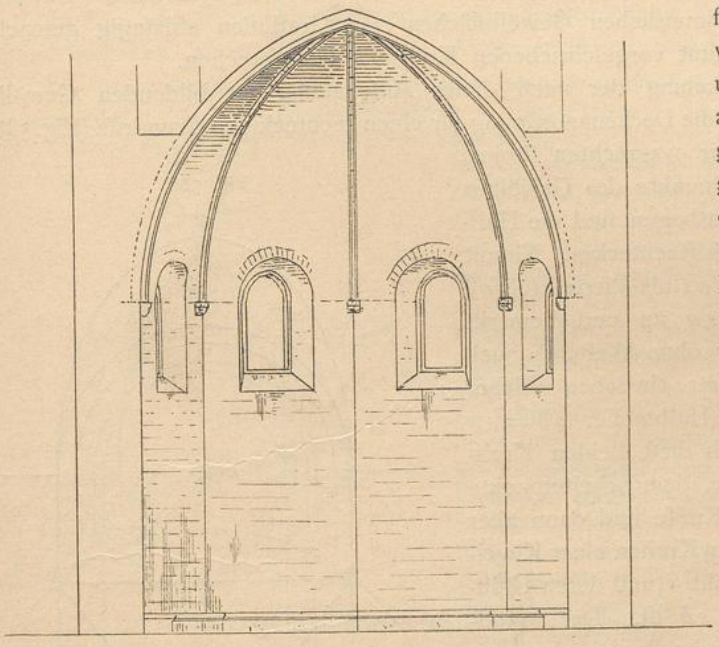
206. Kloſtergewölbe mit Stichkappen.

Sind die oberen Abſchlüſſe von Thür- oder Lichtöffnungen der Umfangsmauern der Kloſtergewölbe höher zu legen als die Kämpferebene deſſelben, ſo ſind, wie für die Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) erwähnt, auch die Kloſtergewölbe in ihren

Wangen, welche von jenen Oeffnungen in Mitleidenfchaft gezogen werden, mit Stichkappen zu verfehen. Die Anlagen von Stichkappen oder Lunetten können für fämmtliche Gewölbkappen, felbft dann, wenn in den zugehörigen Widerlagsmauern gar keine Oeffnungen vorhanden find, ftattfinden. Hierdurch erfahren die Kloftergewölbe ein leichteres und freieres Ausfehen, als folches bei einem gewöhnlichen Kloftergewölbe ohne Lunetten der Fall ift.

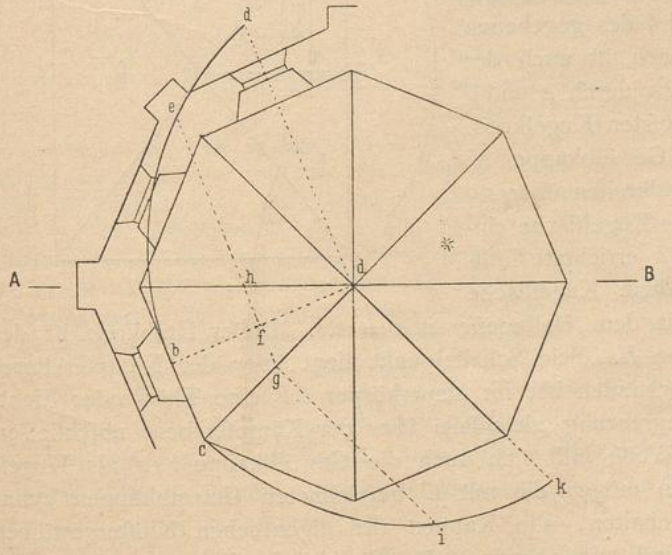
Fig. 387.

Schnitt AB.



Für die Form und Durchbildung folcher Stichkappen gilt das hierüber in Art. 164 (S. 235) bereits Mitgetheilte.

In Fig. 387 ift ein Kloftergewölbe mit kleineren Stichkappenanordnungen und Graten, welche an den Kehllinien vortreten, gegeben.



Die Urfprungs-Leitlinie ab der Gewölbkappen ift ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer gröfser ift, als das Loth db auf bc. Die Gratbogen ck find Ellipfenftücke, welche alsdann fpitzbogenartig über dem achteckigen Raume zufammentreten. Irgend ein Punkt i des Gratbogens ift zu beftimmen, indem man z. B. die gerade Erzeugende gh parallel zu bc zieht, im Schnitte f derfelben mit dem Lothe db, d. h. der wagrechten Projection der Leitlinie bd, das Loth fe auf db errichtet und das in g auf dc, d. h. der wagrechten Projection des Gratbogens, errichtete Loth $gi = fe$ abträgt.

Durch dieles Feftftellen der Gewölbform nimmt das Kloftergewölbe die Geftaltung eines Haubengewölbes oder einer Walmkuppel an.

Man kann jedoch ohne Benutzung der eigentlichen Stichkappen in einfacher

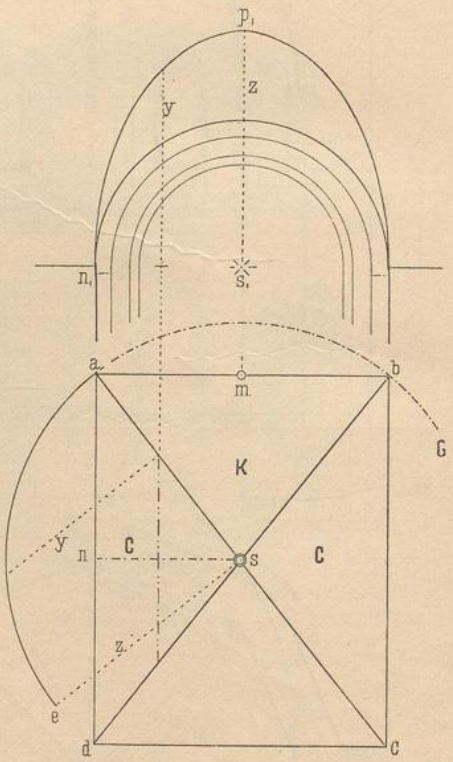
Weiſe, namentlich bei einer Deckenbildung durch Kloſtergewölbe über regelmäſsig begrenzten Grundriſſen, einzelne Umfangsmauern mit gröſseren Thür-, bezw. Fenſteröffnungen verſehen, ſobald eine weitere beſondere Umgeſtaltung des eigentlichen Kloſtergewölbes in Betracht gezogen wird.

207. Kloſtergewölbe mit ſphäriſchen Kappentheilen.

Die Grundlage für dieſe Geſtaltung der Kloſtergewölbe beſteht in der Vereinigung der eigentlichen cylindriſchen Gewölbwangen mit ſphäriſchen Gewölbkappen, wobei die ſämmtlichen Gewölbflächen von Gratlinien abhängig gemacht werden, welche beſtimmt vorgeſchriebenen Kreisbogen entſprechen.

Für die Entwickelung der nach dieſer Anſchauung zu bildenden Gewölbflächen möge zunächſt die Deckenanordnung für einen rechteckigen Grundriſs (Fig. 388) behandelt werden. Die wagrechten Projectionen der im Scheitelpunkte des Gewölbes zuſammentretenden Gratbogen ſind die Hälften der Diagonalen des Rechteckes. Nimmt man die Gratlinie über $a s$ als Viertelkreis $a e$ mit dem Halbmeſſer $s a$ an und bemerkt man ferner, daſs hier ohne Weiteres auch der Gratbogen über $b s$ ein eben ſolcher Viertelkreis mit dem Halbmeſſer $s b = s a$ wird, ſo ſchneiden ſich dieſe beiden Kreisbogen in einem Punkte, dem Scheitelpunkte des Gewölbes. Beide Kreiſe ſind dann aber Theile von zwei gröſsten Kreiſen einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt s und deren Halbmeſſer ebenfalls $s a = s b$ iſt. Der Mittelpunkt s dieſer Kugelfläche liegt in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes, welche auch die Eckpunkte a und b des gegebenen Rechteckes enthält. Danach iſt auch der um s mit dem Halbmeſſer $s a$ durch a und b gehende Kreis G ein gröſster Kugelkreis. Die Laibungsfläche der Gewölbkappe K, welche zwiſchen den Kugelkreiſen über $s a$ und $s b$ liegt, kann alſo als Kugelfläche eingefügt werden. Die in $a b$ errichtete lothrechte Ebene ſchneidet dieſe Kugelfläche nach einem Halbkreiſe mit dem Halbmeſſer $m a = m b$. Dieſer Halbkreis iſt der Stirnbogen der Kugelkappe K. Sein Scheitelpunkt liegt über der Kämpferebene, ſo daſs die Möglichkeit vorhanden iſt, im Mauerkörper $a b$ eine Thür- oder Lichtöffnung mit der oberen Begrenzung gleichfalls über der Kämpferebene abſchlieſsen zu können. In gleicher Weiſe läſst ſich auch die Gewölbkappe $c s d$ als Kugelkappe einführen. Dagegen mögen die mit C bezeichneten Gewölbkappen cylindriſche Laibungsflächen behalten, alſo Kappen des eigentlichen Kloſtergewölbes bleiben. Ihre Leitlinien ſind nun aber von den für die Gratlinien $a s$, bezw. $b s$ angenommenen Kreisbogen abhängig zu machen. Dieſe Leitlinien werden hier Viertelellipſen, welche in bekannter Weiſe, z. B. über $n s$ vermittels der Ordinaten y, z u. ſ. w., als $n_1 p_1$ zu beſtimmen ſind.

Fig. 388.



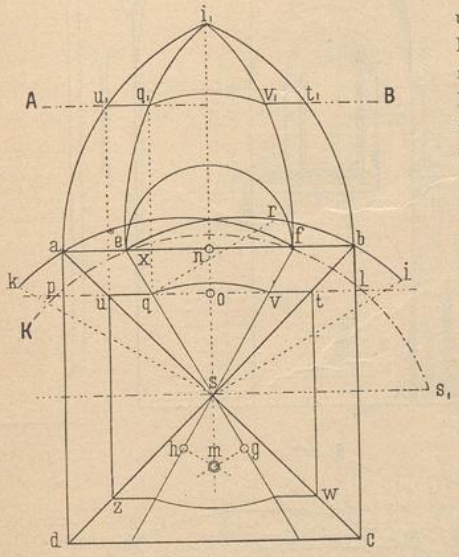
Würden dieſelben Maſsnahmen für eine quadratiſche Plananlage getroffen, ſo entſtänden auch hierbei keine Aenderungen in den grundlegenden Beſtimmungen für die Ausmittelung der Gewölbflächen.

Man braucht aber auch nicht eine einzelne Gewölbkappe in ihrer Geſammtheit als Kugelkappe anzuordnen, ſondern kann nur einen Theil derſelben in geeigneter Lage innerhalb der Wange des Kloſtergewölbes als Kugelkappe einreihen.

In Fig. 389 iſt dieſe Geſtaltung für ein Kloſtergewölbe über einem quadratiſchen Raume gegeben. Das Stück esf der Wange asb ſoll eine Kugelkappe werden.

Die ſymmetriſch zur Gewölbaxe sn gelegenen Schnittlinien der Kugelkappe mit der Wange des Kloſtergewölbes ſind in ihren Grundriſs-Projectionen die geraden Linien es und fs. Die Schnittlinien ſelbſt ſollen gegebene Kreisbogen ei, bezw. fk ſein, deren Mittelpunkte g, bezw. h hier in der Kämpferebene und auf den verlängerten Geraden es, bezw. fs liegen. Dieſe beiden Kreisbogen beſtimmen eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt m im Schnittpunkte der in g auf es und in h auf fs errichteten Lothe liegen muſs. Der Halbmeſſer dieſer Kugelfläche iſt $me = mf$. Der um m mit dieſem Halbmeſſer geſchlagene Kreis K iſt ein größter Kreis derſelben. Die in ab aufgeſtellte lothrechte Ebene ſchneidet die Kugelfläche in einem um n mit $ne = ef$ beſchriebenen Halbkreiſe, welcher zugleich die Stirnlinie der Kugelkappe über esf bildet. Die lothrechte Ebene in ns ſchneidet die Kugelfläche nach dem Kreisbogen fs_1, welcher der Scheitellinie der Kugelkappe entſpricht. Die ſeitlich von den Schnittlinien es und fs der Kugelkappe befindlichen Gewölbſtücke ase und bsf ſind Wangenſtücke der cylindriſchen Kappe des Kloſtergewölbes. Da die Erzeugenden dieſer Kappe gerade wagrechte Linien ſind, welche parallel zu den Kämpferlinien ae, bezw. bf bleiben, ſo wird die Gratlinie as, bezw. bs von den Kreisbogen ei, bezw. fk abhängig gemacht; man erhält hierfür Ellipſenſtücke, worin z. B. die Punkte u, und t, dieſelbe lothrechte Höhe $xq_1 = qr$ über der Kämpferebene beſitzen, wie die Punkte q, und v, der Schnittlinien über es, bezw. fs. Die in op parallel zu ab ſtehende lothrechte Ebene ſchneidet die Wangenſtücke ase und bsf in geraden Linien, deren wagrechte Projectionen in uq und vt, deren lothrechte Projectionen in u_1q_1 und v_1t_1 erhalten werden. Die wagrechte Projection des Schnittes dieſer Ebene mit der Kugelkappe esf würde die gerade Linie qv ſein, während die lothrechte Projection deſſelben der um n beſchriebene Kreisbogen q_1v_1 iſt. Der Halbmeſſer nq_1 dieſes Kreisbogens iſt gleich der Länge der geraden Linie op, d. h. gleich der halben Länge der Sehne pl des größten Kreiſes K in der Spur op jener Ebene. Eine durch die Punkte u_1t_1 gelegte wagrechte Ebene AB ſchneidet die Laibungsflächen des Wölbſyſtems in der Grundriſsprojection im Linienzuge $uqvtwz$, wovon z. B. der Kreisbogen qv wiederum, als zur Kugelkappe gehörend auf der Kugelfläche liegt, deren Mittelpunkt m iſt. Derſelbe iſt ein Theil eines Parallelkreiſes dieſer Kugelfläche. Sein Halbmeſſer iſt $mq = mv$. Die geradlinigen Theile des bezeichneten Linienzuges ſind Erzeugende der ihnen zukommenden cylindriſchen Flächen des eigentlichen Kloſtergewölbes.

Fig. 389.



Nach dieſen Grundlagen können auch bei einem Haubengewölbe Kugelkappen mit Wangen des eigentlichen Kloſtergewölbes abwechſelnd in Verbindung gebracht werden. Die hierfür erforderliche Ausmittelung der Gewölbflächen iſt ohne Weiteres aus Fig. 390 zu entnehmen.

Sollen in einer Wange der hier betrachteten Gewölbe mehrere neben einander liegende Kugelkappen zur weiteren Gliederung der Wangenfläche angebracht werden, ſo tritt nur eine wiederholte Anwendung des angegebenen Verfahrens ein.

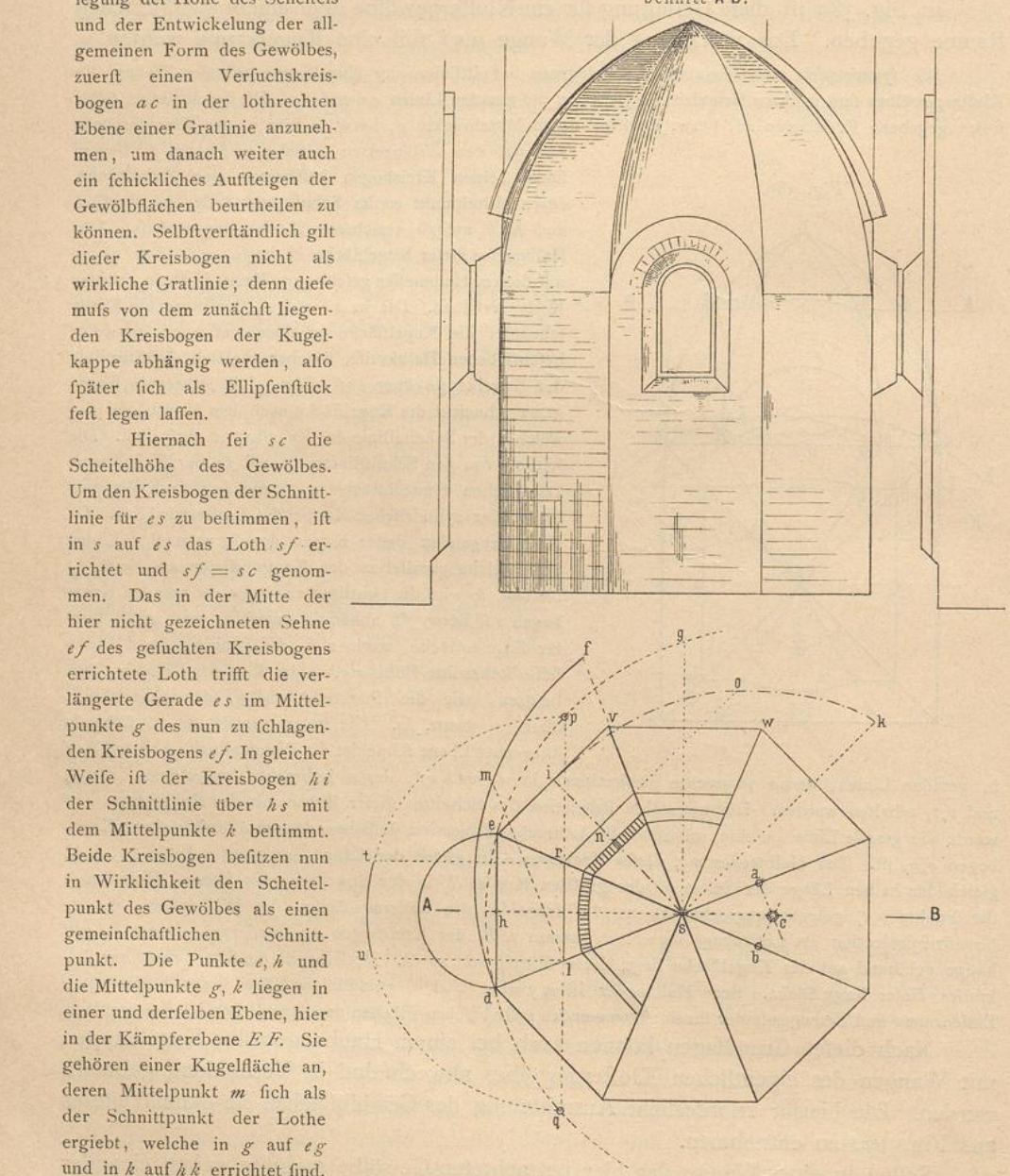
In Fig. 391 ſind für die Wange asb eines Kloſtergewölbes drei Kugelkappen eingeſchaltet, deren

Schnittlinien in der Grundrifsprojection die vom Scheitelpunkte s auslaufenden Geraden se, sh u. f. f. find, deren wirkliche Form aber beftimmten Kreisbogen entfpricht, welche von e, h u. f. f. auffteigen und fämmtlich einen einzigen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt befitzen, und zwar hier den Scheitel des ganzen Gewölbes.

Wenngleich vorweg einer diefer Bogen mit feinem in der Kämpferebene und auf der unter Umftänden weit über s hinaus zu verlängernden Geraden es, bezw. hs gelegenen Mittelpunkte beliebig gewählt werden kann, fo empfiehlt es fich doch zur Feftlegung der Höhe des Scheitels und der Entwickelung der allgemeinen Form des Gewölbes, zuerft einen Verfuchskreisbogen ac in der lothrechten Ebene einer Gratlinie anzunehmen, um danach weiter auch ein fchickliches Auffteigen der Gewölbflächen beurtheilen zu können. Selbftverftändlich gilt diefer Kreisbogen nicht als wirkliche Gratlinie; denn diefe mufs von dem zunächft liegenden Kreisbogen der Kugelkappe abhängig werden, alfo fpäter fich als Ellipfenftück feft legen laffen.

Fig. 390.

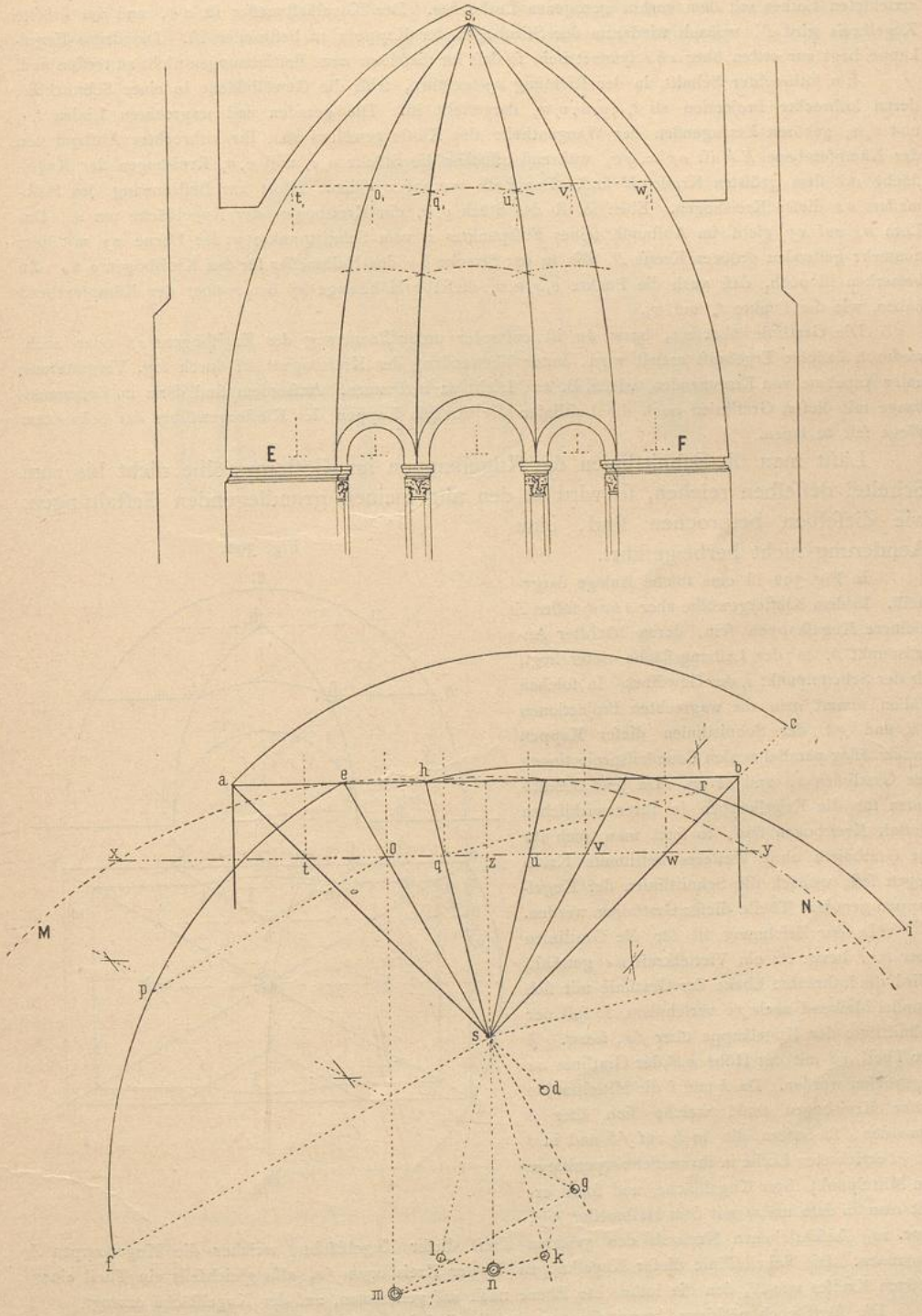
Schnitt A B.



Hiernach fei sc die Scheitelhöhe des Gewölbes. Um den Kreisbogen der Schnittlinie für es zu beftimmen, ift in s auf es das Loth sf errichtet und $sf = sc$ genommen. Das in der Mitte der hier nicht gezeichneten Sehne ef des gefuchten Kreisbogens errichtete Loth trifft die verlängerte Gerade es im Mittelpunkte g des nun zu fchlagenden Kreisbogens ef. In gleicher Weife ift der Kreisbogen hi der Schnittlinie über hs mit dem Mittelpunkte k beftimmt. Beide Kreisbogen befitzen nun in Wirklichkeit den Scheitelpunkt des Gewölbes als einen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt. Die Punkte e, h und die Mittelpunkte g, k liegen in einer und derfelben Ebene, hier in der Kämpferebene EF. Sie gehören einer Kugelfläche an, deren Mittelpunkt m fich als der Schnittpunkt der Lothe ergiebt, welche in g auf eg und in k auf hk errichtet find. Der Halbmeffer diefer Kugelfläche ift $me = mh$. Befchreibt man um m mit diefem Halbmeffer einen Kreis M, fo erhält man in demfelben den gröfsten Kreis der Kugelfläche, welche die Laibungsfläche der Kappe esh bildet. Die in eh ftehende lothrechte Ebene fchneidet diefe Fläche in einem Halbkreife mit dem Durchmeffer eh, giebt alfo den Stirnbogen der Kugelkappe esh.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 391.



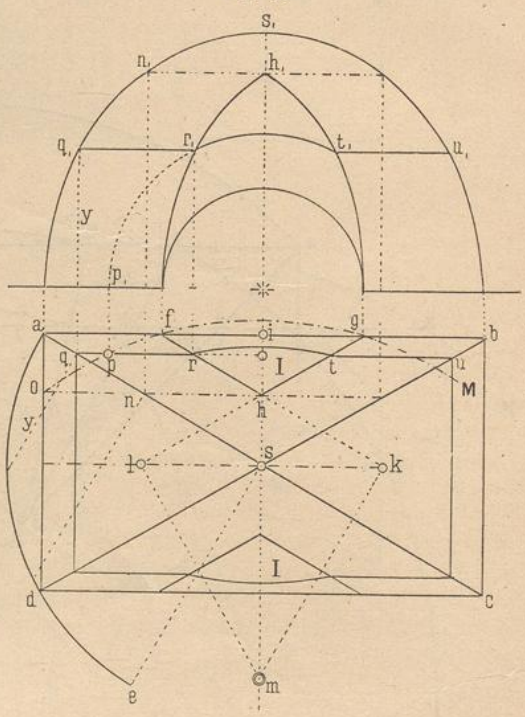
Für die mittlere Kugelkappe z entſprechen beide begrenzenden Schnittlinien demſelben Kreisbogen hi. Erweitert man us und nimmt man $sl = sk$, ſo ſind l und k die Mittelpunkte der Kreisbogen, welche der Kugelfläche dieſer Kappe angehören. Der Kugelmittelpunkt n iſt der Schnittpunkt des in l auf sl errichteten Lothes mit dem vorhin gezogenen Lothe km. Der Kugelhalbmeſſer iſt nh, und der gröſste Kugelkreis wird N, wonach wiederum der Stirnbogen der Kappe z zu beſtimmen iſt. Die dritte Kugelkappe liegt zur erſten über ehs ſymmetriſch, ſo daſs für dieſelben neue Beſtimmungen nicht zu treffen ſind.

Ein lothrechter Schnitt, in der Richtung xy geführt, trifft die Gewölbfläche in einer Schnittlinie, deren lothrechte Projection als $t,o,q,w,v,w,$ dargeſtellt iſt. Die geraden und wagrechten Linien $t,o,$ und $v,w,$ gehören Erzeugenden der Wangentheile des Kloſtergewölbes an. Ihr lothrechter Abſtand von der Kämpferebene EF iſt $op = qr$, während offenbar die Stücke $o,q,$ und $v,u,$ Kreisbogen der Kugelfläche mit dem gröſsten Kreiſe M ſind. Das Loth mo auf xy dient ſofort zur Beſtimmung des Halbmeſſers ox dieſer Kreisbogen. Eben ſo iſt das Stück $q,u,$ ein Kreisbogen der Kugelfläche um n. Das Loth nz auf xy giebt im Abſtande ſeines Fuſspunktes z vom Schnittpunkte y der Ebene xy mit dem nunmehr geltenden gröſsten Kreiſe N, alſo in der Strecke zy den Halbmeſſer für den Kreisbogen $q,u,$. Zu bemerken iſt noch, daſs auch die Punkte $o,q,u,v,$ dieſelbe Höhenlage $op = qr$ über der Kämpferebene haben, wie die Punkte $t,$ und $w,$.

Die Gratlinie über as, bezw. bs iſt entweder unter Benutzung des Kreisbogens ef oder auch, wodurch daſſelbe Ergebniſs erzielt wird, unter Verwendung des Kreisbogens hi durch ſog. Vergatterung unter Annahme von Erzeugenden, wie z. B. tw, leicht zu beſtimmen. Aufserdem ſind dann im Zuſammenhange mit dieſen Gratlinien noch die Leitlinien der übrigen Kappen des Kloſtergewölbes auf bekanntem Wege feſt zu legen.

Läſſt man die Schnittlinien der Kugelkappen im Kloſtergewölbe nicht bis zum Scheitel deſſelben reichen, ſo wird in den allgemeinen grundlegenden Geſtaltungen, wie dieſelben beſprochen ſind, eine Aenderung nicht herbeigeführt.

Fig. 392.



In Fig. 392 iſt eine ſolche Anlage dargeſtellt. In dem Kloſtergewölbe über $abcd$ ſollen I kleinere Kugelkappen ſein, deren höchſter Anfallspunkt $h,$ in der Laibungsfläche tiefer liegt, als der Scheitelpunkt $s,$ des Gewölbes. In ſolchen Fällen nimmt man die wagrechten Projectionen fh und gh der Schnittlinien dieſer Kappen zweckmäſsig parallel zu den Grundriſsprojectionen der Gratlinien sa und sb an. Da jene Schnittlinien für die Kugelkappen in ihrer wirklichen Geſtalt Kreisbogen ſind, ſo ſetzt man auch für die Gratbogen ohne Weiteres beſtimmte Kreisbogen feſt, wonach die Schnittlinien der Kugelkappen geradezu Theile dieſer Gratbogen werden.

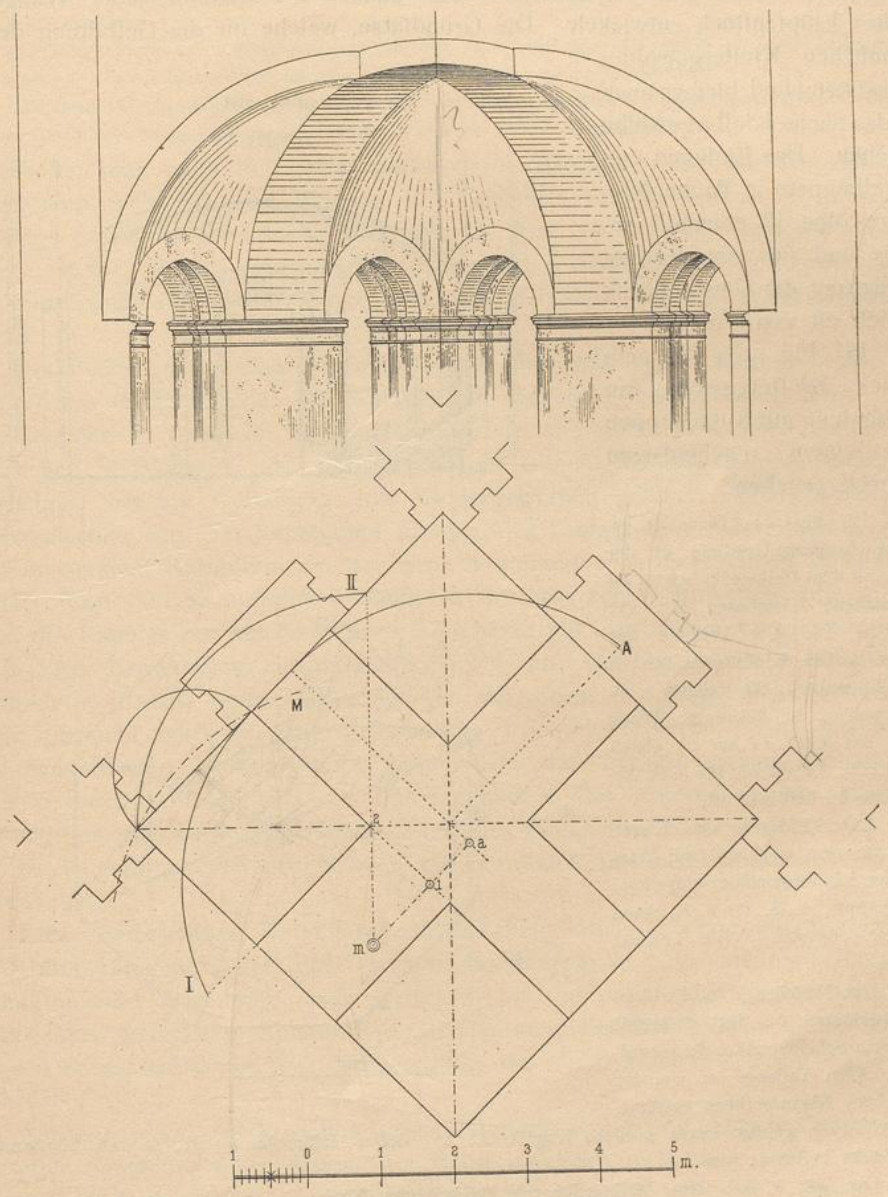
In der Zeichnung iſt für die Gratlinien über as, bezw. bs ein Viertelkreis ae gewählt. Wird die lothrechte Ebene der Gratlinie mit ſich parallel bleibend nach fk verſchoben, ſo ſoll der Schnittlinie der Kugelkappe über fh, bezw. gh der Theil ad mit der Höhe nd der Gratlinie ae zugewieſen werden. Da k und l die Mittelpunkte dieſer Kreisbogen ſind, welche ſich über h ſchneiden, ſo liefern die in k auf fk und in l auf gl errichteten Lothe in ihrem Schnittpunkte m den Mittelpunkt ihrer Kugelfläche, und ſomit erhält man in dem um m mit dem Halbmeſſer mf, bezw. mg beſchriebenen Kreis M den gröſsten Kreis dieſer Kugelfläche, welcher die Kugelkappen I zukommen. Die Scheitellinie dieſer Kugelkappen iſt der Kreisbogen fo, alſo gleichfalls ein Theil eines gröſsten Kreiſes wie M, den die lothrechte Ebene nach mi genommen, auf der Kugelfläche erzeugt.

Die ſonſt noch nöthigen Ausmittelungen für die Geſtaltung der ganzen Gewölbfläche ergeben ſich nach dem bereits Vorgetragenen. Bemerkt ſei noch, daſs die in qu aufgeſtellte lothrechte Ebene eine

Schnittlinie mit der Aufrifsprojection $q, r, t u$, giebt, während eine wagrechte Ebene, durch q, u, gelegt, die in der Grundrifsprojection gezeichnete Schnittlinie $v q r t u$ liefert. Das Feftlegen derartiger Schnittlinien ift ohne Weiteres aus der Zeichnung erfichtlich.

Sollen, wie in Fig. 393, zwei benachbarte Kugelkappen an jeder Ecke eines mit einem Kloftergewölbe überdeckten Raumes angebracht werden, wonach alsdann

Fig. 393.



einzelne fich kreuzende verhältnifsmäfsig fchmale Theile des eigentlichen Kloftergewölbes übrig bleiben, fo ift die Geftaltung der Gewölbfläche nach den angegebenen Regeln und nach den aus der Zeichnung leicht zu erkennenden Ausmittelungen zu befchaffen. Aehnliche Gewölbanordnungen finden fich bei Bauwerken, welche im Zopf-, bezw. im fog. Jefuitenftil errichtet find.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

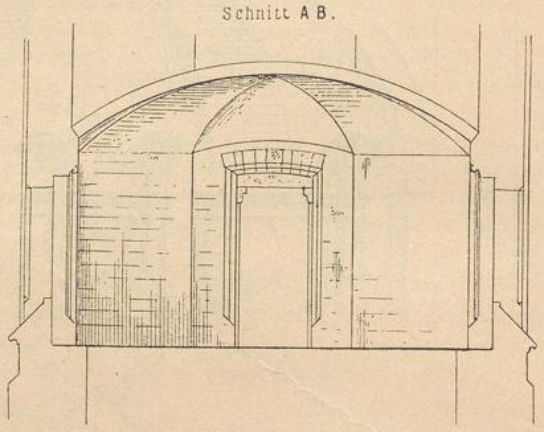
208. Flache Kloftergewölbe.

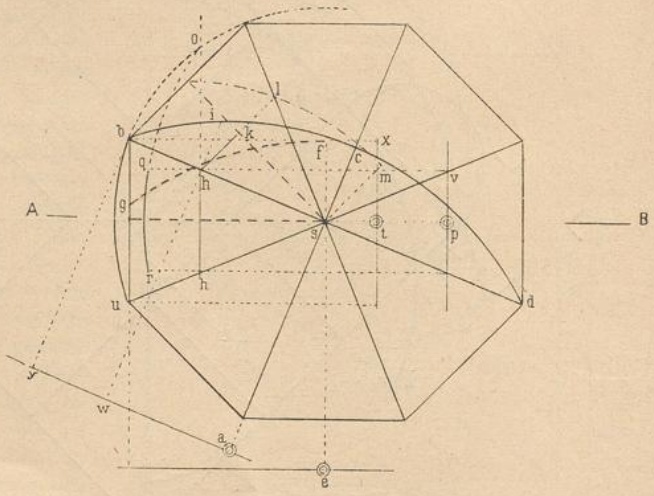
Ift die Ausgangs-Leitlinie der Wangen eines Kloftergewölbes eine gefetzmäfsig krumme Linie von nur geringer Pfeilhöhe, fo entfteht ein fog. flaches oder flachbogiges Kloftergewölbe. Der Scheitelpunkt deffelben liegt in mäfsiger Entfernung über der wagrechten Kämpferebene. In der Regel wird für die erwähnte Ausgangs-Leitlinie ein flacher Kreisbogen gewählt, oder es wird auch eine Ausgangs-Gratlinie als flacher Kreisbogen angenommen und danach die Leitlinie jeder Wange als flaches Ellipfenftück entwickelt. Die Grundfätze, welche für die Geftaltung des gewöhnlichen Kloftergewölbes mafsgebend find, bleiben auch für das flache Kloftergewölbe beftehen. Das Einfügen von Kugelkappen in flache Kloftergewölbe ift ebenfalls zuläffig und für eine weitere Gliederung der Gewölbfläche an fich oft von Vortheil.

In Fig. 394 ift ein flaches Kloftergewölbe in Verbindung mit Kugelkappen über einem regelmäfsigen Achteck gegeben.

Fig. 394.

Schnitt A B.





Die über bs, bezw. ds gewählte Ausgangs-Gratlinie ift der um a mit dem Halbmeffer $ab = ad$ befchriebene Kreisbogen mit der Pfeilhöhe sc. Die Leitlinie der Wange k des Kloftergewölbes ift ein Ellipfenftück, für welches z. B. ein Punkt l in bekannter Weife durch das Loth kl auf sk gleich dem Lothe hi auf sb für eine Erzeugende hl beftimmt ift.

Das Feftlegen der Kugelfläche für eine zwifchen zwei Wangen des Kloftergewölbes eingefügte Kugelkappe, z. B. für bsu, kann in der folgenden Weife bewirkt werden.

Der Mittelpunkt a der Ausgangs-Gratlinie bc liegt lothrecht unter dem Scheitelpunkte des Gewölbes in einem Abftande sa von der wagrechten Kämpferebene entfernt. Diefe Gratlinie gehört einem gröfsten Kugelkreife an, deffen Halbmeffer ac ift, fo dafs hierdurch die Kugelfläche beftimmt wird.

Der um a mit dem Halbmeffer sb befchriebene Kreis bo, welcher durch die Ecken des Raumes gehen würde, ift ein Parallelkreis der Kugelfläche. Derfelbe liegt in der wagrechten Kämpferebene.

Um den Stirnbogen über bu für die Kugelkappe auszutragen, ift bx lothrecht zu bu gezogen und bx gleich dem vorhin erwähnten Abftande sa genommen. Diefer Abftand sa ift, wie aus der Zeichnung zu erfehen, auch gleich dem Lothe by, welches auf der zu sb parallelen wagrechten Spur ay der Mittelpunktsebene der Kugel gefällt wurde. Zieht man xm parallel bu, fo giebt das von dem Halbirungs-

punkte der Seite bu auf die erweiterte Gerade xm gefällte und durch s ziehende Loth im Punkte t den Mittelpunkt für den im Grundriſs niedergelegten Stirnbogen bu.

Nimmt man hh parallel zu bu, ſo ſchneidet die in hh ſtehende lothrechte Ebene die Kugelfläche nach einem Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte p und dem Halbmeſſer wi. Der Punkt p liegt im Schnittpunkte einer zur Linie hh parallelen Geraden, für welche $hv = hw = sa$ iſt, mit dem erweiterten Lothe st auf bu. Würde man die Gerade hh bis zum Schnittpunkte o mit dem Parallelkreiſe bo der Kugelfläche verlängern, ſo geht auch der entſprechend fortgeführte, um p beſchriebene Kreis rq durch dieſen Punkt o.

Die Scheitellinie der Kugelkappe bsu iſt der um e mit dem Halbmeſſer $ef = ac$ beſchriebene Kreisbogen gf. Der Punkt e liegt offenbar auf dem Lothe se zu sp im Abſtande $se = sa$.

Läſſt man auf eine Kloſtergewölbwange ſtets der Reihe nach eine Kugelkappe folgen, ſo ergiebt ſich eine Gewölbanordnung, welche im Schnitte AB noch näher verdeutlicht iſt.

Wollte man auch bei einem flachbogigen Kloſtergewölbe mit Kugelkappen die letzteren nicht bis zum Scheitel des Gewölbes reichen laſſen, ſo iſt in der Grundlage für ſolche Anordnung nach dem in Art. 207 (S. 213) Geſagten zu verfahren. Hierbei iſt nur, wie bei Fig. 394 ſoeben gezeigt, immer der Abſtand des Kugelmittelpunktes von der wagrechten Kämpferebene gehörig in Rückſicht zu nehmen.

209. Kloſtergewölbe mit Abſtumpfungen.

Das Beſtreben, in den Umfangsmauern eines mit einem Kloſtergewölbe abgeſchloſſenen Raumes, über die Kämpferlinie deſſelben hinausgehend, Thür- oder Lichtöffnungen in thunlichſt ungehinderter Weiſe anbringen zu können, ohne von eigentlichen Stichkappen oder von beſonderen eingefügten Kugelkappen Gebrauch zu machen, hat zur Geſtaltung von Kloſtergewölben geführt, deren cylindriſche Laibungsflächen von den lothrechten Ebenen der Umfangsſeiten des Raumes nicht mehr in geraden Kämpferlinien, ſondern in aufſteigenden Bogenlinien geſchnitten werden. Von den Kämpferlinien bleibt in der wagrechten Kämpferebene an den Ecken des Raumes nur ein Punkt übrig; die benutzten Gewölbflächen gehören gleichſam in ihrer Erweiterung einem Kloſtergewölbe an, welches für einen beſonderen, eingebildeten Raum, deſſen Grundriſs von der Form des gegebenen Raumes abhängig gemacht wird, in ſeiner Geſtaltung feſt gelegt wurde. Aus dieſem zu Hilfe genommenen Kloſtergewölbe bildet man das zur Anwendung kommende Gewölbe durch Abſtumpfung der Laibungsflächen des erſteren, indem man das Urſprungsgewölbe von den Umfangsſeiten des gegebenen Raumes ſchneiden läſſt und die ſo entſtandenen Schnittlinien als Stirnlinien für das eigentliche Gewölbe verwendet.

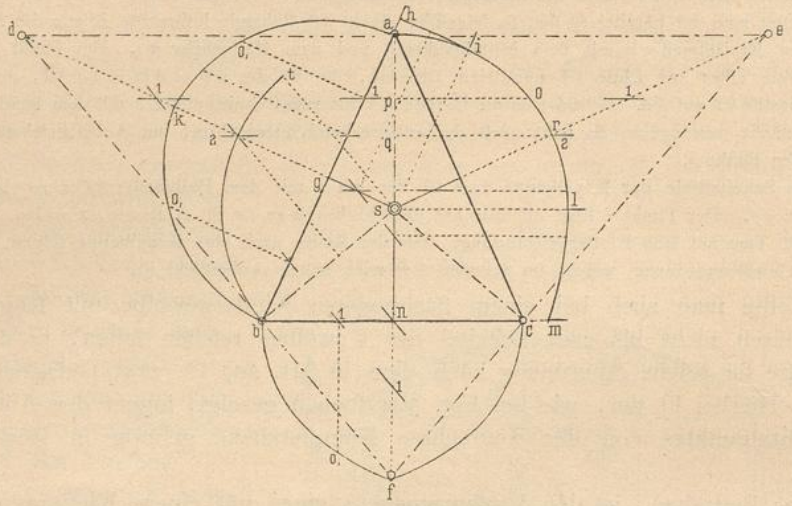
Unter Beibehaltung dieſer Grundentwickelung laſſen ſich die »Kloſtergewölbe mit Abſtumpfungen« oder die »offenen Kloſtergewölbe« in mannigfachſter, in architektoniſcher Beziehung auch günſtiger und anſprechender Weiſe ausbilden. Ueber einem dreieckigen Raume iſt z. B. eine zu dieſer Gruppe von Gewölben gehörige Deckenconſtruction des Sanctuariums der *Nôtre-Dame*-Kirche in Paris ausgeführt [176]).

Zunächſt möge die Erzeugung eines Kloſtergewölbes mit Abſtumpfungen auch hier unter Benutzung eines dreieckigen Raumes gezeigt werden.

Das Dreieck abc (Fig. 395) ſei die gegebene Grundriſsform. Vom Schwerpunkt s deſſelben gehen nach den Ecken a, b, c des Dreieckes die wagrechten Projectionen der Leitlinien des eigentlichen zu erzeugenden Kloſtergewölbes. Zieht man von s die gehörig erweiterten Lothe sd, se, sf, ſo läſſt ſich dem Dreiecke abc das Dreieck def umſchreiben. Betrachtet man dieſes Dreieck def als Grundriſs eines

176) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raiſonné de l'architecture françaiſe etc.* Band 9. Paris 1868. S. 512.

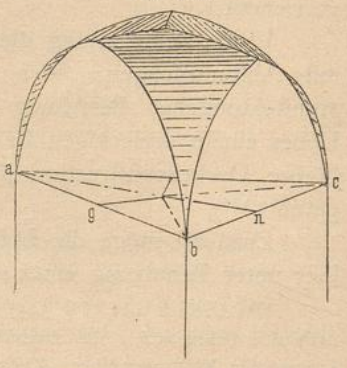
Fig. 395.



Kloſtergewölbes, aus welchem durch Abſtumpfung nach den ſchneidenden lothrechten Ebenen ab, bc, ca das wirkliche Kloſtergewölbe über abc entſtehen ſoll, ſo ſind sd, se, sf die wagrechten Projectionen der Gratlinien dieſes Hilfsgewölbes und dse, esf, fsd die Grundriſsprojectionen der cylindriſchen Wangen deſſelben. Setzt man für eine Wange, z. B. für fsd, ihre Leitlinie über sb als eine geſetzmäſsig gebildete krumme Linie, hier als einen Viertelkreis bt feſt, ſo können, nachdem die Ausmittelung der Gratlinien und übrigen Leitlinien ganz entſprechend derjenigen bei einem gewöhnlichen Kloſtergewölbe für einen Raum def vorgenommen iſt, die für das wirkliche Kloſtergewölbe über abc erforderlichen Maſsnahmen getroffen werden. Mit Hilfe von Erzeugenden 11, 22 ganz im Sinne von dem in Art. 205 (S. 305) Geſagten geführt, ergeben ſich unter ſteter Benutzung der Urſprungs-Leitlinie bt in leichter und aus der Zeichnung zu erſehender Weiſe die Stirnlinien akb, bfc u. ſ. f. als Ellipſenſtücke, welche ſpitzbogenartig zuſammentreffen; eben ſo z. B. die Leitlinie aol über as der Kappe asc und endlich die Scheitellinien der einzelnen Kappen wie hi über gs, lm über sn u. ſ. f., welche offenbar Theile der Gratlinien des Kloſtergewölbes über dem Ergänzungsraume def ſind.

Wie das Bild in Fig. 396 ergiebt, ſind durch ein derart geſchaffenes, abgeſtumpftes Kloſtergewölbe reichlich groſse Oeffnungen in den Umfangsmauern des Raumes möglich. Das Gewölbe ſelbſt ſteigt von den Ecken deſſelben aus in leichter Form auf. Seine Laibungsflächen ſind cylindriſche Flächen, welche ſich in den Scheitellinien der Kappen ſchneiden.

Fig. 396.

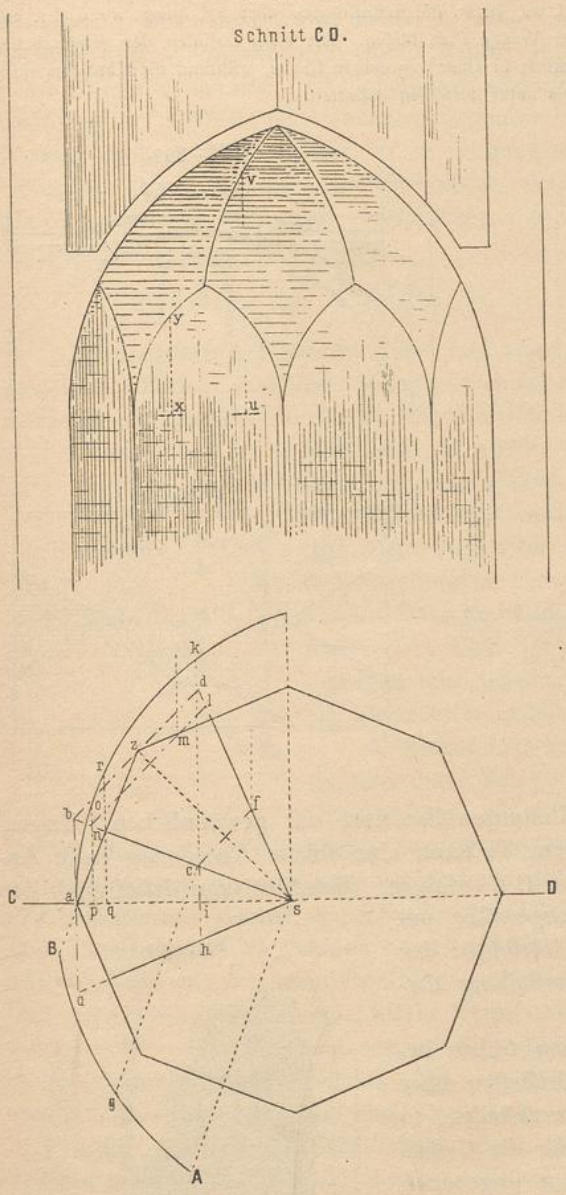


Iſt die Grundriſsfigur eines abgeſtumpften oder offenen Kloſtergewölbes ein regelmäſsiges Vieleck, ſo erfolgt das Feſtlegen der Gewölbflächen im Allgemeinen nach denſelben Grundſätzen, wie ſolche für das Dreieck angegeben ſind.

In Fig. 397 iſt ein regelmäſsiges Achteck als Grundriſsprojection eines abgeſtumpften Haubengewölbes angenommen. Wird dieſem Grundriſs ein neues Achteck umſchrieben, ſo iſt z. B. das Dreieck bsd die Grundriſsprojection einer Gewölbwange des ergänzenden Kloſtergewölbes, welches durch die in az geführte lothrechte Ebene des gegebenen Grundriſſes abgeſtumpft wird.

Die über sz oder, da sz gleich sa iſt, auch über sa ſtehende Leitlinie einer derartigen maſsgebenden Wange ſei der beliebig gewählte, in a beginnende Kreisbogen k.

Fig. 397.



Nach demſelben laſſen ſich ohne Weiteres die Gratlinien, z. B. über sn, als AB, und ferner die hier elliptiſchen Spitzbogen entſprechenden Formen der Stirnbogen in bekannter Weiſe ermitteln, ſo weit dieſelben für das wirkliche Kloſter-, bezw. Haubengewölbe nothwendig werden. Wie aus der Zeichnung zu entnehmen, iſt im Schnitte CD das Loth $uv = ik = cg$, ferner $xy = po$, während der Scheitel der Stirnbogen in einer Höhe gleich qr über der wagrechten Kämpferebene liegen muſs. Die Laibungen des Haubengewölbes gehören hier durchweg cylindriſchen Flächen an, deren Leitlinien durch einen und denſelben Grundbogen k beſtimmt ſind.

Liegen mehrere gleiche Raumabtheilungen neben einander, welche durch Säulen- oder Pfeilerſtellungen mit unter ſich verbundenen Gurtbogen einem Geſammtraume angehören, ſo ſind für jede Abtheilung gleichfalls offene Kloſtergewölbe ohne Schwierigkeit herzurichten. Solche in Gewölbjochen neben einander liegende, offene oder abgeſtumpfte Kloſtergewölbe zeigen in ihrer Geſammtheit groſse Aehnlichkeit mit den ſpäter noch zu erwähnenden Trichtergewölben.

Verbindet man bei einem Kloſtergewölbe abgeſtumpfte Wangen mit Wölbflächen nicht abgeſtumpfter Wangen, ſo entſpringt wiederum eine beſondere Geſtaltung für eine maſſive Decke. Fig. 398 zeigt die Anordnung derſelben als umgeſtaltetes, flachbogiges Kloſtergewölbe für einen rechteckigen Raum.

Zieht man von der wagrechten Projection s des Scheitels des Gewölbes in geſetzmäſsiger Folge und Anordnung gerade Linien wie se, sf u. ſ. f., ſo können dieſelben als die Grundriſsprojectionen von Gratlinien des zu ſchaffenden Gewölbes angenommen werden. Behandelt man nun die Stücke, welche dem Theile $seaf$ entſprechen, als abgeſtumpfte Kloſtergewölbe, während die antretenden Theile wie t, i, v u. ſ. f. als gewöhnliche Kloſtergewölbwangen mit wagrechter Kämpferlinie beſtehen bleiben, ſo erhält man das bezeichnete Gewölbe.

Nimmt man ef als wagrechte Projection einer Erzeugenden der Wange über $afse$ an, zieht darauf cd parallel zu ef, damit das Dreieck csd entſteht, ſo gilt dieſes als Grundriſs für das ergänzende Kloſtergewölbe jener Wange. Die Leitlinie iſt der über as liegende, um m beſchriebene flache Kreisbogen ab.

Nach dieſem Grundbogen ergiebt ſich unter Anwendung der wagrechten Projectionen zugehöriger Erzeugenden wie ef und fp; i, n und k; q und t ſofort die Leitlinie der Wange t als elliptiſcher Bogen pv.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für denfelben ift $op = gh$, $tu = qr$ und $sv = sb$. Auf gleichem Wege find, wie Fig. 398 kenntlich macht, auch die Gratlinien über fs u. f. w., bezw. die Schnittlinien über af, bezw. ae u. f. f. und endlich auch Punkte wie i, der Leitlinie der Wange i zu finden. Die Kämpferlinien der gewöhnlichen Kloftergewölbwangen i, t u. f. f. liegen fämmtlich in einer wagrechten Ebene, während die Kämpferpunkte der abgeftumpften Wangen um eine Höhe gh unter derfelben auftreten.

Fig. 398.

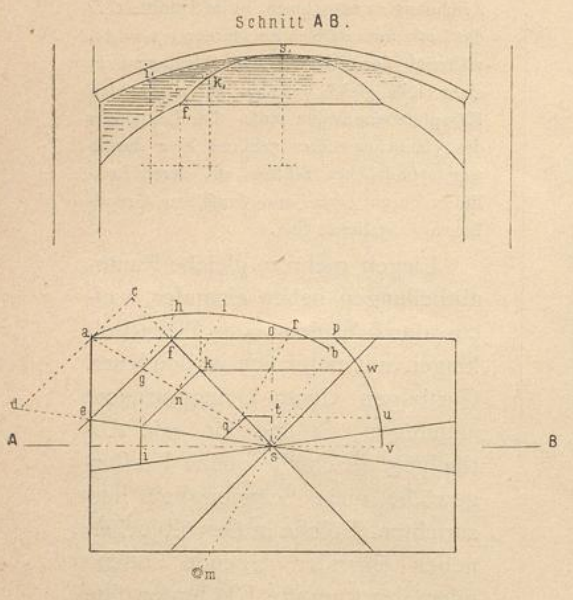
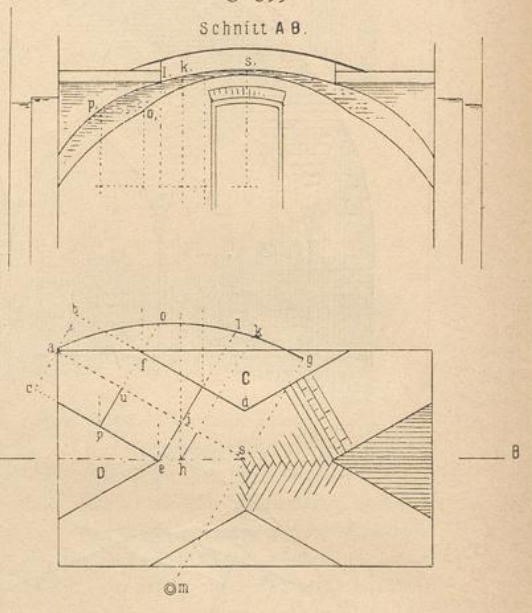
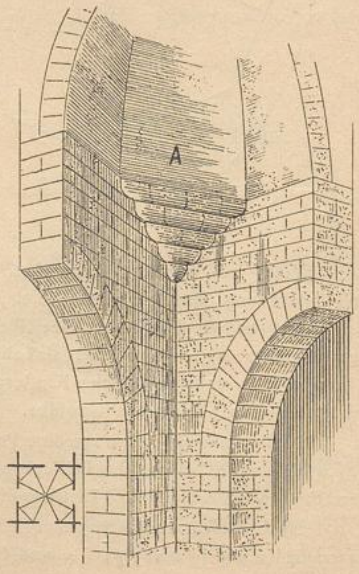


Fig. 399.



Wünfcht man abgeftumpfte Kloftergewölbe ftatt mit gewöhnlichen Wangentheilen mit Stichkappen zu verbinden, fo kann eine folche Anordnung nach Anleitung von Fig. 399 wie bei C, D u. f. f. erfolgen. Beachtet man dabei noch das in Art. 133 (S. 164) für das Tonnengewölbe mit Stichkappen Gefagte, fo geht beim Verfolgen der Zeichnung alles Nöthige für die Darftellung derartiger Gewölbanlagen hervor.

Fig. 400.



210. Eck-überführungen etc.

Sind Kloftergewölbe, wie fchon früher bemerkt, im Allgemeinen am vortheilhafteften über regelmäfsig geftalteten Grundriffen herzuftellen, fo laffen fich unter Beobachtung der für die Geftaltung von folchen Gewölben überhaupt gegebenen Entwickelungen auch bei diefen oder jenen gewählten Umformungen felbft Räume mit unregelmäfsig angelegtem Grundrifs ohne erhebliche Hinderniffe mit derartigen Decken verfehen. Bei durchdachtem Zufammenfügen der einzelnen Wangen oder Kappen derfelben kann felbft eine folche Decke in angenehmer Weife in die Erfcheinung treten.

Ift die Grundrifsform ein regelmäfsiges Vieleck von n Seiten und foll für diefelbe ein Kloftergewölbe mit $2n$-Wangen angelegt werden, fo ift

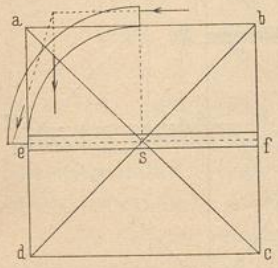
für die Kämpferlinien dieſes Gewölbes dem gegebenen n-Eck ein $2n$-Eck einzuſchreiben. In ſolchem Falle haben n Seiten des eingeſchriebenen Vieleckes ohne Weiteres keine unmittelbare Unterſtützung durch lothrecht aufgeführte Umfangs-, bezw. Widerlagsmauern. Dieſelben ſind alsdann, wie Fig. 400 bei einer Wange A zeigt, durch Tragſteine oder Ueberkragungen zu ſchaffen. Statt dieſer Ueberkragungen können auch in beſſerer und oft in wirkungsvollerer Weiſe beſondere kleine Gewölbe als ſog. Eck- oder Niſchengewölbe, wovon bei der Ausführung der Kloſtergewölbe (unter 3) noch weiter geſprochen werden ſoll, in Anwendung kommen.

2) Stärke der Kloſtergewölbe und ihrer Widerlager.

211. Gewölbſtärke.

Beim einfachen Kloſtergewölbe ſind die Gewölbwangen Theile eines Tonnengewölbes. Zerlegt man jede Wange in einzelne Streifen, deren Begrenzungsebenen lothrecht und parallel zur Ebene der Scheitellinie der cylindriſchen Wölbkappen geführt ſind, ſo könnte jeder Streifen für ſich als ein Theil eines Tonnengewölbes betrachtet und dem entſprechend ſtatiſch unterſucht werden. Der Elementarſtreifen se, bezw. sf (Fig. 401), deſſen lothrechte Kräfteebene die Scheitellinien der zugehörigen Gewölbwangen enthält, iſt offenbar ein Hauptſtreifen, in welchem der gröſste Gewölbſchub herrſcht, während in allen Nachbarſtreifen, wenn von einer unzweckmäſsigen oder übertriebenen Ueberlaſtung abgeſehen wird, ein kleinerer Gewölbſchub auftreten muſs.

Fig. 401.



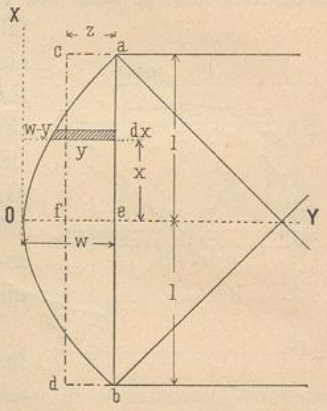
Beſtimmt man die Stabilität und die Stärke des Hauptſtreifens unter der üblichen Annahme, daſs die Breite desſelben gleich einer Längeneinheit ſei, ganz nach den für die Beſtimmung der Stärke der Tonnengewölbe in Kap. 9 (unter b) gegebenen Entwickelungen, ſo giebt man aus praktiſchen Gründen den ſämmtlichen Wölbſtreifen der betreffenden Wange die gefundene Stärke. Würden bei einem Kloſtergewölbe über rechteckigen, vieleckigen oder auch über unregelmäſsigen Räumen ſich ſolche Hauptſtreifen von verſchiedener Spannweite ergeben, ſo wird im Allgemeinen für das ganze Gewölbe diejenige Stärke beibehalten, welche der gröſste Hauptſtreifen beanſprucht. Die auf Kuf gemauert gedachten Gewölbwangen legen ſich über ihren Gratlinien gegen einander. Ihr Gewölbſchub flieſst in dem Gewölbkörper bis zum Widerlager fort, ohne daſs die Ebene der Grate dadurch mit Gewichten belaſtet wird. Tritt an die Stelle dieſer Ebene ein ſelbſtändiger Gratbogenkörper, was zuweilen der Fall, aber nicht durchaus nöthig iſt, ſo bildet derſelbe für ſich ein beſonderes Tonnengewölbe, nur beeinflufſt durch ſein Eigengewicht, bezw. durch ſeine etwa vorhandene Ueberlaſt. Hiernach würde alſo die Stärke ſolcher Gratbogen eben ſo zu berechnen ſein, wie bei einem derart angeordneten, frei ſtehenden Tonnengewölbe. Werden die Gewölbwangen auf Schwalbenſchwanzverband ausgeführt, ſo entſprechen die Stabilitätsunterſuchungen der dann entſtehenden Elementarſtreifen dem in Art. 181 (S. 277) Vorgetragenen. Auch bei dieſem Verbande, welcher wohl bei flachen Kloſtergewölben, ſeltener oder gar nicht bei Gewölben mit entſprechend groſser Pfeilhöhe in Anwendung kommt, können die Schichten entweder ſtumpf in der Ebene der Grate zuſammenſtoſsen oder beſſer über der Gratlinie auf Stich gegen einander treten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

212. Widerlagsſtärke.

Da die Gewölbſtreifen, ſelbſt wenn dieſelben, wie es der Fall iſt, ſämmtlich eine gleiche Stärke erhalten, vermöge ihrer verſchieden groſsen Spannweite, welche von Null bis zur Weite eines Hauptſtreifens in einer Gewölbkappe wächſt, auf ihr Widerlager einen verſchieden groſsen Druck ausüben, ſo folgt, daſs die ſonſt ganz im Sinne des in Art. 143 (S. 197) geführte Beſtimmung der Widerlagsſtärke für jeden Elementarſtreifen ein anderes Maſs ergeben wird. Dieſes Maſs würde gleichfalls von Null bis zur gröſsten Widerlagsſtärke, welche der Hauptſtreifen der zugehörigen Kappe nöthig macht, zunehmen. Trägt man die den einzelnen Streifen zukommenden Widerlagsſtärken als Ordinaten der äuſseren Begrenzungslinie des betreffenden Widerlagers auf, ſo erhält man eine krumme Linie und danach eine beſtimmte Grundfläche des Widerlagskörpers. Für die praktiſche Ausführung eignet ſich jedoch ein ſolches Widerlager nicht. Statt deſſelben iſt beſſer ein Widerlagskörper mit rechteckiger Grundfläche anzuordnen. Derſelbe muſs aber das gleiche Maſs der Stabilität beſitzen, wie das theoretiſch ermittelte, nach auſsen krummlinig begrenzte Widerlager.

Fig. 402.



Die krumme Linie $a\,O\,b$ in Fig. 402, welche als äuſsere Begrenzung des Widerlagers einer Gewölbkappe gefunden iſt, kann mit hinreichender Genauigkeit als eine Parabel mit dem Scheitel in O angeſehen werden. Der Hauptſtreifen möge die Widerlagsſtärke w erfordern, ſo daſs w die Pfeilhöhe jener Parabel iſt. Dieſe Linie w ſcheidet die Parabelfläche in zwei gleiche, ſymmetriſch liegende Theile. Das Rechteck $a\,b\,c\,d$, bezw. die Hälfte deſſelben $a\,e\,f\,c$ ſoll dieſelbe Stabilität beſitzen, wie die Parabelfläche $a\,b\,O$, bezw. wie die Hälfte $a\,e\,O$ derſelben.

Die noch unbekannte Breite dieſer Rechtecksfläche ſei z. Unter Benutzung der Bezeichnungen in Fig. 402 erhält man zunächſt das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}$ der Fläche $a\,e\,f\,c$ in Bezug auf die Drehkante $f\,c$ als

$$\mathfrak{M} = l\,z\,\frac{z}{2} = \frac{l}{2}\,z^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 222.$$

Für einen Elementarſtreifen von der Breite y und der Länge dx im Abſtande x von der Linie w der Parabelfläche $a\,e\,O$ iſt das Stabilitätsmoment $d\mathfrak{M}$, in Bezug auf die Auſsenkante

$$d\mathfrak{M}, = y\,.\,dx\,\frac{y}{2} = \frac{y^2}{2}\,dx,$$

woraus durch Integration das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}$, der Parabelfläche $a\,e\,O$ folgt als

$$\mathfrak{M}, = \frac{1}{2}\int_{x=o}^{x=l} y^2\,.\,dx \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 223.$$

Nun iſt aber für die Parabel $O\,a$, deren Axe mit der Geraden w zuſammenfällt,

$$\frac{w-y}{w} = \frac{x^2}{l^2}, \text{ d. h. } y = \frac{w}{l^2}\,(l^2 - x^2).$$

Setzt man dieſen Werth in Gleichung 223, ſo ergiebt ſich

$$\mathfrak{M}, = \frac{w^2}{2\,l^4}\int_{x=o}^{x=l} (l^2 - x^2)^2\,dx \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 224.$$

Da nun $\mathfrak{M} = \mathfrak{M},$ ſein ſoll, ſo wird den Gleichungen 222 u. 224 zufolge

$$z^2 = \frac{w^2}{l^5}\int_{x=o}^{x=l} (l^2 - x^2)^2\,dx,$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

woraus nach Ausführung der Integration

$$z^2 = \frac{8}{15} w^2$$

oder fchliefslich

$$z = w \sqrt{\frac{8}{15}} = 0{,}7303\, w \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 225.$$

zu beftimmen ift.

Hiernach erfcheint die Breite z nahezu gleich $\frac{3}{4} w$, d. h. die Stärke des Widerlagers eines Kloftergewölbes beträgt etwa drei Viertel der Stärke des Widerlagers eines Tonnengewölbes von gleicher Leitlinie, Gewölbftärke und Belaftung, wie daffelbe durch den Hauptftreifen in der Gewölbwange gegeben ift. Daffelbe Ergebnifs ift bereits von *Rondelet* durch Verfuche an Modellen feft geftellt.

Treten bei Kloftergewölben Vereinigungen cylindrifcher Wangen mit Kugelkappen auf, fo find letztere einer befonderen Stabilitäts-Unterfuchung zu unterziehen. Wie der Weg zur Prüfung derartiger Kappen einzufchlagen ift, wird fpäter bei der Befprechung der Stärke der Kuppelgewölbe erörtert werden.

213. Empirifche Regeln für die Gewölbftärke.

Da die Wangen eines Kloftergewölbes einem Tonnengewölbe angehören, fo laffen fich die in Art. 140 (S. 193) für das Tonnengewölbe angegebenen empirifchen Regeln auch für das Kloftergewölbe im Allgemeinen verwenden. Als mafsgebendes Gewölbftück ift der Hauptftreifen, deffen lothrechte Ebene die Scheitellinie der am weiteften gefpannten Gewölbwangen enthält, in Betracht zu ziehen und die hierfür empirifch ermittelte Gewölbftärke in der Regel für die Stärke fämmtlicher Wangen entweder ohne Weiteres oder unter befonderen Verhältniffen nur als Anhalt für eine ftrengere ftatifche Unterfuchung zu Grunde zu legen.

214. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Ift für den erwähnten Hauptftreifen, bezw. für die Hauptftreifen jeder einzelnen Wange nach den in Art. 145 (S. 208) für Tonnengewölbe mitgetheilten empirifchen Regeln die Widerlagsftärke berechnet, fo werden für die mit rechteckiger Grundfläche angeordnete Widerlagsmauer der zugeordneten Gewölbwange drei Viertel diefer Stärke angenommen. Bei quadratifchen Räumen mit einer Seitenabmeffung bis zu 6 m kann die Stärke der Widerlagsmauern bei forgfältiger Ausführung bis auf zwei Drittel der Widerlagsftärke eines dem Hauptftreifen gleichen Tonnengewölbes herabgefetzt werden.

Kloftergewölbe mit grofser Pfeilhöhe, befonders die Haubengewölbe, erhalten, abgefehen von etwaigen Ausmauerungen der Zwickel über befonders angelegten Gratbogen, in den meiften Fällen keine befondere Ueberlaft, weder durch darauf ruhende Balkenlagen, noch durch hierauf angebrachte Fufsböden. Flache Kloftergewölbe dagegen können ähnliche Belaftungen, wie Kappengewölbe, erfahren. Alsdann find nach den in Art. 177 (S. 264) gemachten Angaben die Abmeffungen der Widerlagsftärken bei diefen Kloftergewölben am beften ohne Herabminderung gleich folchen bei Kappengewölben zu wählen.

3) Ausführung der Kloftergewölbe.

215. Allgemeines.

Die Geftaltung der Kloftergewölbe weist fchon darauf hin, dafs diefelben, als vorzugsweife in ihren Wangen von Tonnengewölben herrührend, auch in ihrer Ausführung fich nach derjenigen der Tonnengewölbe zu richten haben. Sämmtliche Hauptregeln, welche in diefer Beziehung in Kap. 9 (unter c) für das Tonnengewölbe gegeben find, behalten auch für das Kloftergewölbe ihre Geltung. Aus-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

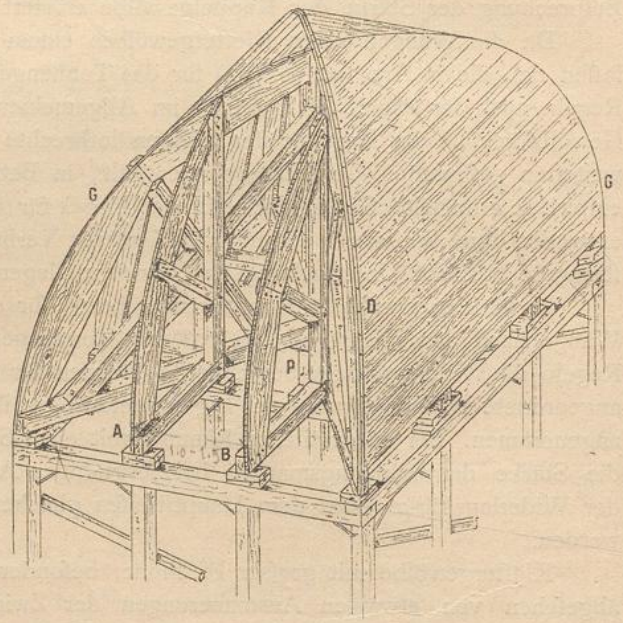
nahmen hiervon treten nur bei den in die Kloftergewölbkörper eingefügten Kugelkappen ein. Solche Kappen unterliegen im Allgemeinen der Ausführungsweife von Kuppelgewölben, worüber fpäter entfprechende Mittheilungen gemacht werden follen.

Die Hauptbauftoffe für Kloftergewölbe find wiederum Backftein, Quader oder dünnfchichtige, lagerhafte Bruchfteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein, und das hierüber beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Gefagte ift bei Kloftergewölben gleichfalls zu beachten.

216. Lehrgerüfte.

Das gewöhnliche Kloftergewölbe wird auf einer Unterfchalung, welche auf dem Lehrgerüfte ruht, ausgeführt. Die Lehrbogen diefes Gerüftes find jedoch in Rückficht auf die in den Graten zufammentreffenden Gewölbwangen in anderer Weife aufzuftellen, als beim geraden Tonnengewölbe. Nach Fig. 403 find die fog. Gratbogen oder Diagonalbogen G, bezw. D von den fog. Schift- oder Wangenbogen A, B zu unterfcheiden. Die Gratbogen treten im Scheitellothe des Gewölbes kreuzförmig zufammen. Liegen die Gratlinien des Gewölbes in einer und derfelben lothrechten Ebene, fo folgt ein ganzer, für fich beftehender Diagonalbogen D diefer Ebene, während die übrigen Gratbogen G, ihrer Durchkreuzung mit dem Hauptlehrbogen halber, aus zwei Hälften des Hauptlehrbogens beftehen. Der Kreuzungspunkt diefer Lehrbogen ift durch einen kräftigen Pfoften oder Mäkler P zu unterftützen; auch ift für eine Sicherung der Mittelpfoften der eigentlichen Lehrbogen gegen Ausweichen oder Drehen durch Eifenklammern, fog. Stichklammern, zu forgen, welche nach der Ausführung des Gewölbes wieder leicht befeitigt werden können.

Fig. 403.



Die Schiftbogen A, bezw. B legen fich vom Gewölbkämpfer aus gegen die Gratlehrbogen; ihre obere Begrenzungslinie ift nach der Urfprungs-Leitlinie, welche der Geftaltung des Kloftergewölbes zu Grunde gelegt war, leicht feft zu legen. Für jede Wange ift die Zahl diefer Schiftbogen fo zu beftimmen, dafs die freie Länge der darüber angebrachten Schalbretter 1,0 bis 1,5 m beträgt. Die Auflagerung der fämmtlichen Lehrbogen an den Endpunkten ihrer Sohle oder Schwelle erfolgt in gleicher Weife, wie bei den Ausrüftungsvorrichtungen der Tonnengewölbe (fiehe Art. 155, S. 224). In der Zeichnung find Doppelkeile als Lagerungen angenommen.

Die Schalung befteht meiftens aus einem Bretterbelag von 3 bis 5 cm Stärke; die einzelnen Bretter treten über den Gratbogen, nach der Gratlinie gefugt, ftumpf zufammen. Ueber den Grat- und Schiftbogen findet ein Heften der Bretter mit

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Drahtftiften ftatt, um auch hierdurch die unverrückbare Stellung der betreffenden Bogen in gewiffem Grade mit zu ſichern.

Für flache Kloftergewölbe benutzt man zu den Gratbogen und Schiftbogen einfache Wölbſcheiben, wie ſolche bei Kappengewölben gebräuchlich ſind.

Kloftergewölbe mit Kugelkappen erhalten nur eine Schalung der Lehrgerüfte, ſo weit die eigentlichen Gewölbwangen in Frage kommen. Die Kugelkappen werden dazwiſchen aus freier Hand eingewölbt unter etwaiger Benutzung einer Lehre oder einzelner dünner Wölbſcheiben, deren obere Begrenzung der Kugelfläche entſprechend geſchnitten iſt.

Abgeſtumpfte oder offene Kloftergewölbe, deren Wangen, wie in Art. 209 (S. 315) gezeigt iſt, cylindriſche Laibungsflächen beſitzen, erhalten zweckmäſsig eine geſchloſſene Unterſchalung.

217. Kloftergewölbe aus Backſteinen.

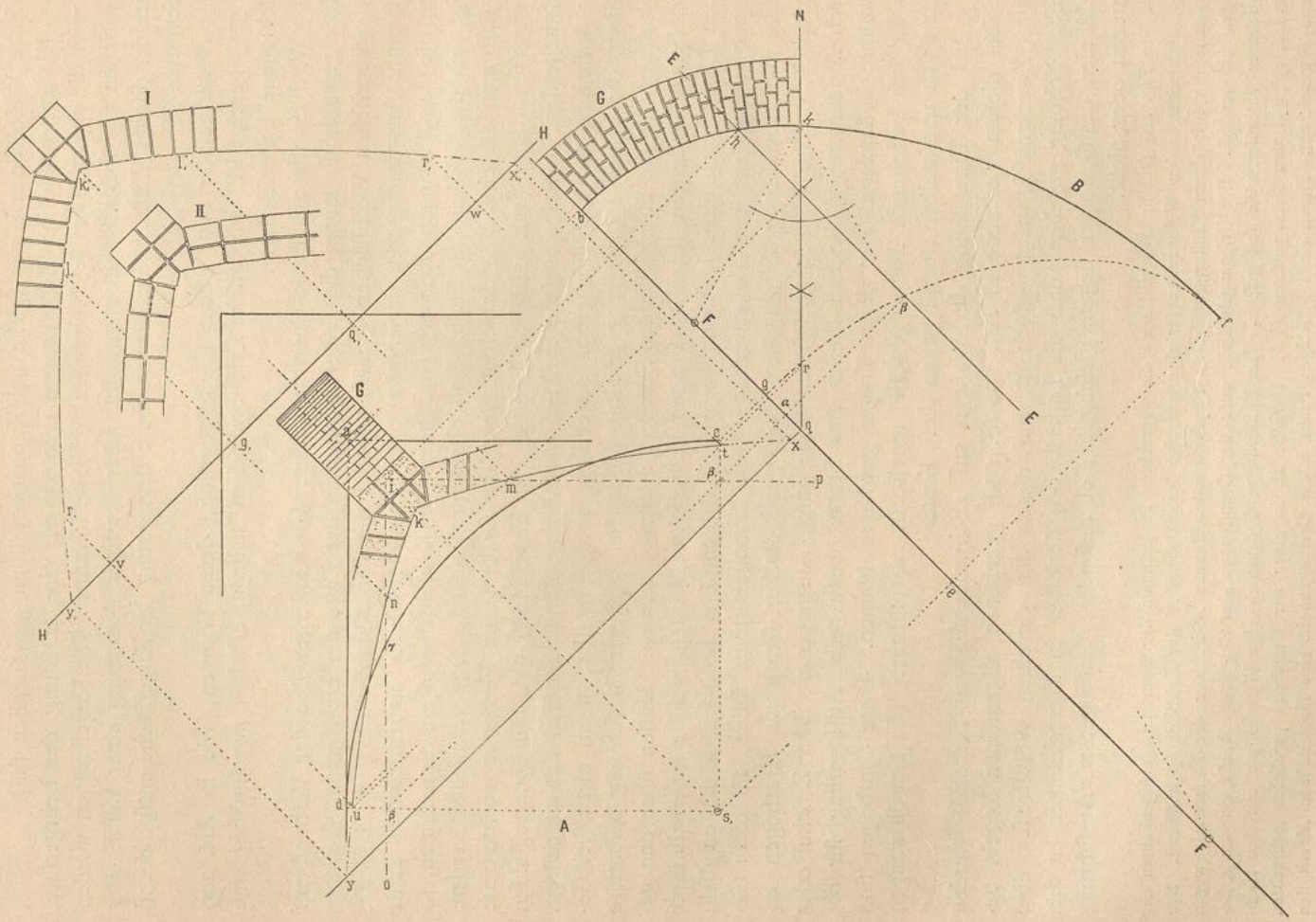
Wird für die aus Backſteinen auszuführenden Kloftergewölbe der Verband auf »Kuf« gewählt, ſo laufen die Lagerfugenkanten der Lage der erzeugenden Geraden der cylindriſchen Wölbflächen gemäſs parallel mit den Kämpferlinien, ſo daſs die geſammte Anordnung mit derjenigen eines Tonnengewölbes übereinſtimmt. Läſft man die Gewölbwangen über den Gratlinien oder Kehlen ſtumpf zuſammentreten, ſo zeigt ſich die Kehllinie als Fuge. Soll dieſe durchlaufende Fuge vermieden werden, ſo läſft man die einzelnen Schichten über der Gratlinie im Verbande wechſelweiſe übergreifen. Hierdurch entſteht allerdings der Uebelſtand, daſs die übergreifenden Eckttheile der Backſteine, welche zwei ſich durchdringenden Cylinderſchalen angehören, zur Aufnahme der Kehllinie etwas zugehauen werden müſſen, wenn nicht bei Gewölben, die keinen Putzüberzug erhalten ſollen, bei reicherer Ausführung beſondere Formſteine für die übergreifenden Stücke genommen werden. Müſſen über den gewöhnlichen Kloftergewölben Balkenlagen hergerichtet werden, welche innerhalb ihrer freien Länge noch einer Unterſtützung durch Balkenträger bedürfen, ſo iſt, da dieſe Träger niemals auf dem Mauerwerk der Gewölbwangen ruhen ſollen, für dieſe Gewölbe die Ausführung ſelbſtändiger, genügend ſtarker Grate als Gratbogen erforderlich, welche dann in geeigneter Weiſe durch Ausmauerung ihrer Zwickel oder durch Aufmauerung einzelner Pfeiler eine Stütze, bezw. eine Auflagerung für die erwähnte Balkenlage oder deren Träger gewähren können. Dieſe Gratbogen ſind als für ſich beſtehende Tonnengewölbe regelrecht auszuführen. Die Gewölbwangen ſetzen ſich unmittelbar ſtumpf gegen dieſe Grate.

Bei der Einwölbung der Wangen auf »Schwalbenſchwanz-Verband« werden die bei dieſem Verbande in Art. 200 (S. 298) gegebenen allgemeinen Regeln befolgt. Zweckmäſsig wird jedoch im Beſonderen den einzelnen Wölbſtreifen eine ſolche Richtung gegeben, daſs die Lagerflächen derſelben in Normalebenen zu den Kehllinien des Gewölbes liegen, gleichgiltig, ob beſondere Gratbogen zur Ausführung kommen oder nicht.

In Fig. 404 ſind in tmk und unk die wagrechten Projectionen der inneren Lagerfugenkanten der in k zuſammentretenden Wölbſtreifen für eine beliebige Normalebene N der Kehllinie bf beſtimmt. Der Grundriſs des mit einem Kloftergewölbe zu überſpannenden Raumes A iſt hier der Einfachheit wegen quadratiſch gewählt. Die Urſprungsleitlinie oder der Grundbogen des Gewölbes iſt als ein um s, beſchriebener Viertelkreis cd feſt geſetzt. Die Kehllinie wird demnach eine Viertelellipſe mit den Halbaxen eb, ef und den Brennpunkten F, F. Dieſelbe iſt in einer zur Gratebene parallelen lothrechten Ebene B gezeichnet. Durch einen beliebigen Punkt k des Gratbogens iſt eine Normalebene N mit den Spuren kq und qy geführt.

Dieſe Normalebene ſchneidet die lothrechte Projection gf des Grundbogens cd im Punkte r, alſo in einem Grenzpunkte der nach k führenden Lagerkante eines Wölbſtreifens. Die wagrechte Projection

Fig. 404.



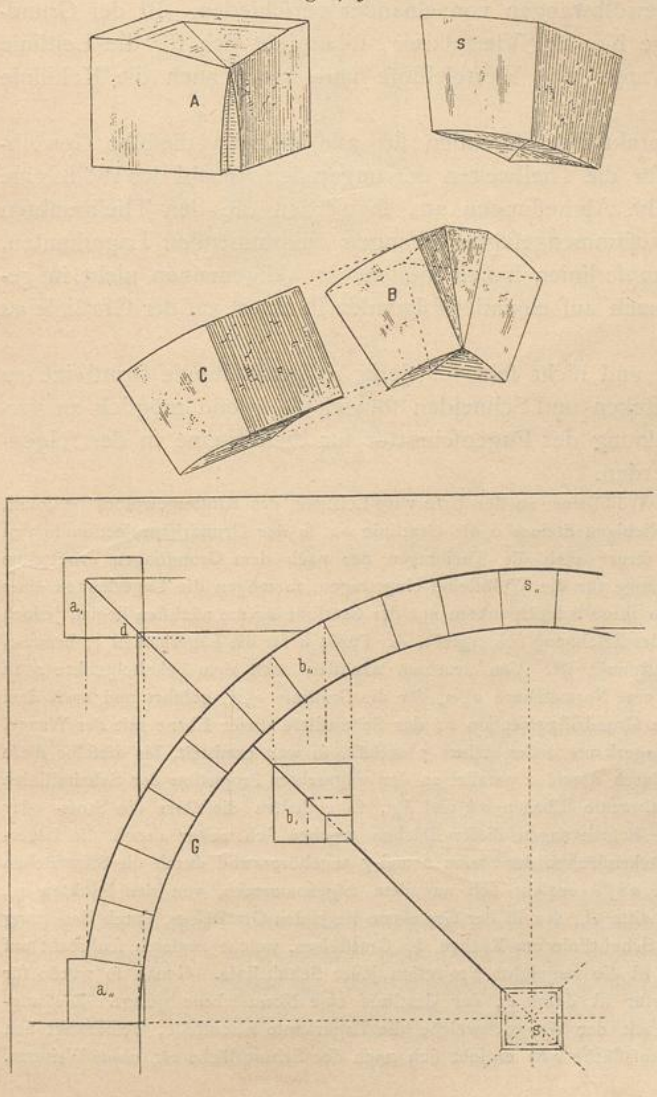
dieſes Punktes iſt der auf der Grundriſsprojection s, c der Leitlinie $c\,d$ gelegene Punkt t. Führt man durch die Ebene B und rechtwinkelig hierzu eine beliebige, zwiſchen den Grenzpunkten r und k gelegene wagrechte Ebene $E\,E$, ſo ſchneidet dieſelbe die Normalebene in dem durch l gehenden Lothe auf der Ebene B und die Gewölbwangen in geraden Erzeugenden derſelben, welche, wie aus der Zeichnung zu entnehmen, als $i\,p$, bezw. $i\,o$ mittels der Punkte β, in ihrer Grundriſsprojection leicht angegeben werden können.

Die wagrechten Projectionen m und n der Durchſtoſspunkte des in l befindlichen Lothes auf B mit den Gewölbwangen liegen auf dieſen Erzeugenden und ergeben ſich ſomit wiederum als Punkte der geſuchten wagrechten Projection der Lagerkante, welche dem Normalſchnitte N angehört.

Vervollſtändigt man nach dieſen Anleitungen die Linienzüge $t\,m\,k$, bezw. $u\,n\,k$, ſo erhält man die geſuchten Lagerfugenkanten eines Wölbſtreifens für eine Normalebene N. Wird dieſes Verfahren wiederholt für alle Wangen in Anwendung gebracht, ſo ergiebt ſich die Anordnung der Wölbſtreifen für den Schwalbenſchwanz-Verband.

Nachdem die Projectionen der Lagerkanten der inneren Wölbfläche für eine Schicht ermittelt ſind, läſſt ſich nach der Darſtellung I die wirkliche Geſtalt x, k, y, derſelben finden, wobei z. B. q, l_1, bezw. g, l, gleich $q\,l$ ſein muſs. Sollen Gratbogen eingeführt werden, ſo zeigen die beiden Schichtenanordnungen I und II den anzuwendenden Backſteinverband. Die Wölbſtreifen ſetzen ſich hierbei mit ſenkrecht zu k, l, gerichteten Fugen an.

Fig. 405.



218. Kloſtergewölbe aus Bruchſteinen.

Dienen Bruchſteine als Wölbmaterial für Kloſtergewölbe, ſo iſt unter Beobachtung des Verbandes auf »Kuf« wie bei Backſteinmaterial zu wölben. Im Uebrigen iſt das in Art. 169 (S. 245) für Tonnengewölbe aus Bruchſteinen Vorgetragene auch hier zu berückſichtigen.

219. Kloſtergewölbe aus Quadern.

Bei Kloſtergewölben aus Quadern wird der Fugenſchnitt für die Lager- und Stoſsfugenflächen der einzelnen Wölbſteine dem Verbande auf »Kuf« zugeordnet. Die Wölbquader der Wangen ſind einfache Tonnengewölbſteine. Beſondere Geſtaltung erfordern die Anfänger an den Ecken des Gewölbes, die Gratſteine und der Schluſsſtein deſſelben.

In Fig. 405 iſt für eine quadratiſche Grundfläche der Steinfugenſchnitt für ein Kloſtergewölbe mit einem Viertelkreis G als Grundbogen gegeben. Die Ermittelungen der Begrenzungsflächen der einzelnen angeführten Steine laſſen ſich

durch einfache Anwendungen der darftellenden Geometrie bewirken. Diefelben gehen aus der Zeichnung genügend hervor.

A, gebildet nach feinen Projectionen $a_{,}$, $a_{,,}$, ift der Anfänger; *B*, ermittelt nach den Projectionen $b_{,}$, $b_{,,}$, ift ein Gratftein. Bei demfelben find fortlaufende Anfätze, welche noch weiter in die Gewölbkappe reichen würden, abfichtlich fortgelaffen und dieferhalb die Stofsfugenflächen einfach entfprechend den Lagerfugenflächen abgegrenzt, wie folche bei $b_{,,}$ durch die Theilung der Gewölbwangen entftehen. Etwa weiter in die Wangen fortgeführte Anfätze liefern einen hakenförmigen Stein von meiftens bedeutenden Abmeffungen. Bei der Bearbeitung diefer Werkftücke mufs zur Bildung des Hakens ein erheblicher Theil des Materials als überflüffig fortgenommen werden, was bei dem hier gegebenen Fugenfchnitt vermieden wird. *C* ift ein gewöhnlicher Wölbftein der Wange und *S* endlich der Schlufsftein, deffen Projectionen in $s_{,}$ und $s_{,,}$ vorhanden find.

Für ein Kloftergewölbe aus Schnittfteinen über einem rechteckigen Raume gelten in den Hauptzügen diefelben Anordnungen für den Fugenfchnitt, wie bei dem vorhin behandelten Gewölbe. Die Gratfteine bedürfen jedoch einer befonderen Aufmerkfamkeit.

Bei einem rechteckigen Raume (Fig. 406) find die Leitlinien der unmittelbar neben einander ftehenden Gewölbwangen von einander verfchieden. Ift der Grundbogen der fchmaleren Wange hier ein Viertelkreis, fo ergiebt fich für die Leitlinie der antretenden breiteren Wange eine Viertelellipfe und weiter auch die Kehllinie als die Viertelellipfe $o_{,,} s_{,,}$.

Nimmt man nun aus praktifchen Gründen für alle Wangen diefelbe Gewölbftärke und aufserdem auch für die Theilweiten der ungeraden Anzahl der Wölbfteine jeder Wange möglichft gleiche Abmeffungen an, fo werden die den Theilpunkten der Wölblinie von je zwei zufammengefügten Wangen zukommenden Lagerkanten, welche parallel mit den Kämpferlinien laufen müffen, im Allgemeinen nicht in gemeinfchaftlichen, der Reihe nach auf einander folgenden Punkten auf der Gratlinie *o s* zufammentreffen.

Um dennoch geeignete und nicht fehr fchwierig zu bearbeitende Gratfteine zu erhalten, an welchen fpitze Ecken und Schneiden fo viel als irgend möglich zu vermeiden find, kann die Anordnung des Fugenfchnittes für diefe Steine in der folgenden Weife vorgenommen werden.

Sind die Theilungen für die Wölbfteine an der Urfprungs-Leitlinie des Kloftergewölbes beftimmt, fo mögen die Lagerkanten eines beliebigen Steines *6* die Gratlinie *o s* in der Grundrifsprojection in den Punkten *a* und *c* fchneiden. Sind ferner auch die Theilungen der nach dem Grundbogen ermittelten Wölblinie der antretenden Gewölbwange für die Wölbfteine eingetragen, fo mögen die Lagerkanten eines Steines *7* denjenigen des Steines *6* in ihren Schnittpunkten auf der Gratlinie *o s* am nächften liegen, jedoch ganz abgefehen davon, dafs, wie in der Zeichnung fich ergiebt, der Punkt *c* für die Lagerkanten *c*, bezw. c_0 bereits ein gemeinfchaftlicher Schnittpunkt ift. Von dem am nächften nach dem Scheitelpunkte *s* zu liegenden Schnittpunkte *a* aus wird eine Normalebene $a_{,,} n_{,,}$ für die Gratlinie $o_{,,} s_{,,}$ geführt und nach dem bei Fig. 404 gezeigten Verfahren die Grundrifsprojection *a b* der Schnittlinie diefer Ebene mit der Wange, welche die nach *o* zurückliegende Lagerkante *b* des Steines *7* enthält, fo weit ermittelt, bis diefelbe diefe Lagerkante in *b* trifft. Führt man durch *a* und *b* parallel zu der wagrechten Projection der Scheitellinien der zufammentreffenden Wangen lothrechte Ebenen *a k* und *b g*, fo enthalten diefelben die Stofs- oder Stirnflächen des Gratfteines *A*. Die Begrenzungen diefer Flächen ergeben fich weiter durch die Lagerkanten *k i*, bezw. *g h*, welche den Rückenflächen der Steine *6* und *7* angehören und durch die Stirnflächen diefer Steine felbft. Die Stofsfläche *a b f e* ergiebt fich aus dem angenommenen, von den Punkten $a_{,,,}$ bezw. $c_{,,}$ abhängigen lothrechten Schnitte $A_{,,}$ des in der Gratebene liegenden Gratfteines, durch Benutzung der durch $n_{,,}$ gehenden wagrechten Schnittlinie am Rücken des Gratfteines, welche zugleich fenkrecht auf der Gratebene fteht. Die Linie *e f* ift die wagrechte Projection jener Schnittlinie. Genau fo würde für den Punkt *c* vorzugehen fein. Hierfür ift durch $c_{,,}$ der Gratlinie eine Normalebene gelegt. Die wagrechte Projection ihrer Schnittlinie mit der Wange, welche die Lagerkante c_0 enthält, befchränkt fich hier nur auf einen Punkt *c*. Die Stofsfläche *c h i* ergiebt fich nach der Schnittfläche $A_{,,}$ ohne Weiteres.

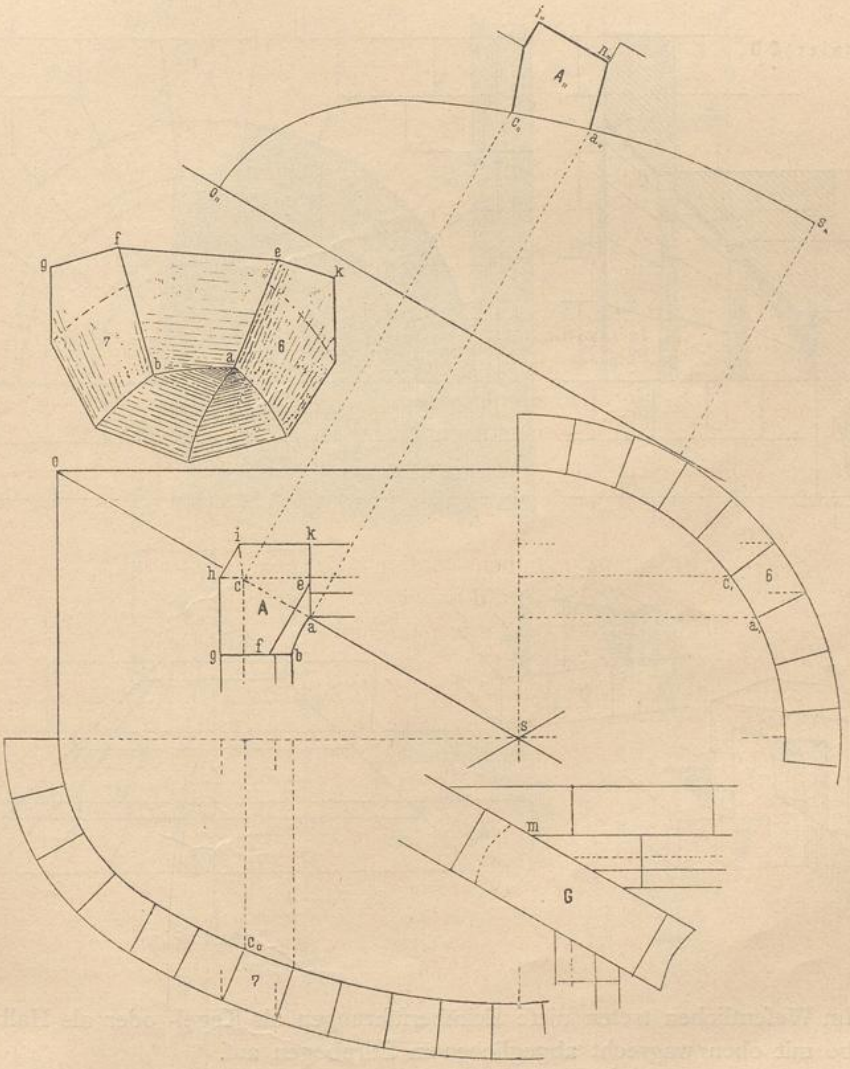
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hätte der Schnittpunkt der Lagerkante von c_0 mit der Gratlinie $o\,s$ eine nähere Lage nach s zu aufgewiefen, als der Schnittpunkt c der Lagerkante c_1, fo würde die wagrechte Projection der Schnittlinie der Normalebene, welche nun dem Gratpunkt, der von c_0 geliefert wäre, angehören müfste, für die Beftimmung des betreffenden Fugenfchnittes mafsgebend geworden fein.

Im Bilde ift die Form des Gratfteines A noch weiter verdeutlicht; auch find in demfelben die Stofsflächen der Wölbfchichten 6 und 7 angegeben. Ein Fugenfchnitt, wie bei m und G ift zu verwerfen.

Tritt der Fall ein, dafs gegen einen und denfelben Gratftein von einer Seite allein oder gar von zwei Seiten zwei Wölbfchichten geführt werden müffen, fo werden

Fig. 406.



dadurch die grundlegenden Beftimmungen für den Fugenfchnitt nicht geändert. Die gekennzeichneten Normalfchnitte find alsdann nur jedesmal für die beiden äufserften Lagerkanten der antretenden Wölbfchichten in Anwendung zu bringen.

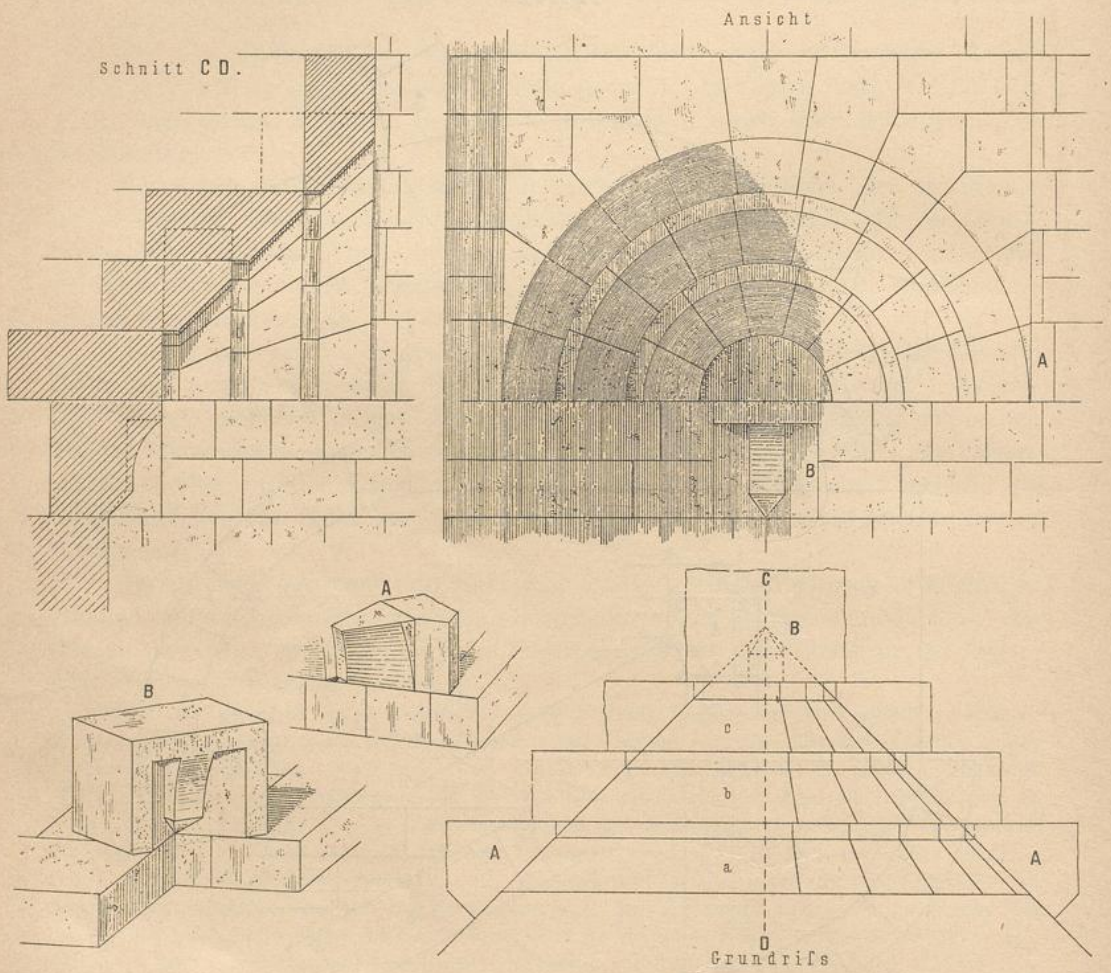
Für das Verfetzen der Quader, die Mörtelung und die fonftigen Handhabungen, welche fich dabei geltend machen, kann auf Art. 170 (S. 246) verwiefen werden.

220. Eck-überführungen.

Sind für einzelne Wangen eines Kloftergewölbes die in Art. 210 (S. 318) erwähnten Ecküberführungen nothwendig, fo werden diefelben aufser der in Fig. 400 (S. 318) angegebenen Anordnung aus über einander lagernden kräftigen Tragfteinen oft weit zweckmäfsiger durch befondere Eck- oder Nifchengewölbe gebildet.

Am zweckmäfsigften wird für diefe Gewölbe Quadermaterial unter Anwendung eines geeigneten Fugenfchnittes benutzt.

Fig. 407.



Im Wefentlichen treten diefe Ecküberführungen als Kegel- oder als Halbkugelgewölbe mit oben wagrecht abgeglichenem Stirnbogen auf.

Das aus einzelnen Gewölbzonen oder Quarten hergerichtete einfache kegelförmige Nifchengewölbe ift in Fig. 407 dargeftellt und hieraus in feiner Anlage und in feinem Fugenfchnitte deutlich zu erkennen. Von Wichtigkeit ift eine geeignete Durchbildung des Anfängers oder des fog. Auges *B*, von welchem aus die Ecküberführung zu beginnen hat. Für diefes Auge wird ftets ein hinlänglich grofses Werkftück benutzt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das an ſich weniger einfache, vollſtändige Kegelgewölbe iſt als Niſchengewölbe in ſeinem Steinverbande nach Fig. 408 anzuordnen. Die Lagerfugenflächen, welche von der Theilung des Stirnbogens abhängig gemacht werden, laufen gegen das Auge *D*. Sie gehören Ebenen an, welche erweitert ſich ſämmtlich auf der Kegel-

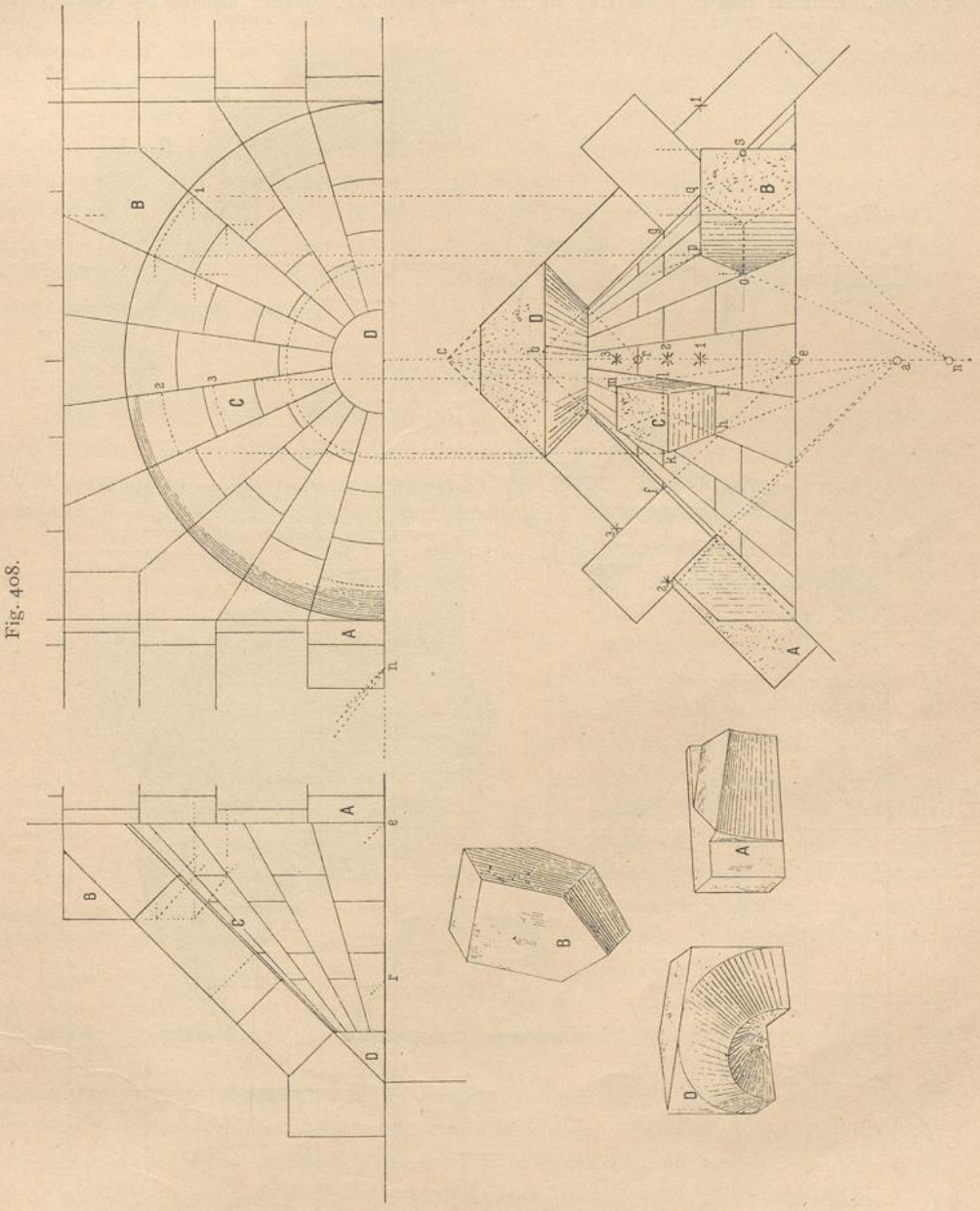


Fig. 408.

axe ſchneiden. Die Stoſsfugenflächen dagegen gehören beſonderen Kegelflächen an, deren Leitlinien Schnittlinien ſind, welche durch Ebenen, parallel zur Stirnlinie des Niſchengewölbes geführt, auf der Laibungsfläche dieſes Gewölbes hervorgerufen werden und deren Erzeugende gerade Linien ſein ſollen, welche ſenkrecht zur Kegelfläche des Niſchengewölbes ſtehen.

Beſitzt das Gewölbe eine gleichmäſsige Stärke und ſind b und c die Spitzen der Kegelflächen der inneren Laibung und des Rückens, ſo ſind bs und $c1$ parallele Erzeugende in der Kämpferebene des Kegelgewölbes. Der Abſtand $s1$ dieſer Erzeugenden iſt der Gewölbſtärke gleich. Soll nun z. B. die Stoſsfugenfläche opq für die durch o ziehende Stoſsfugenkante beſtimmt werden, ſo führt man durch o parallel zur Stirnebene in der Richtung os einen lothrechten Schnitt; alsdann enthält dieſer die Stoſsfugenkante. Errichtet man in s das Loth auf der Erzeugenden bs, ſo trifft daſſelbe die Kegelaxe im

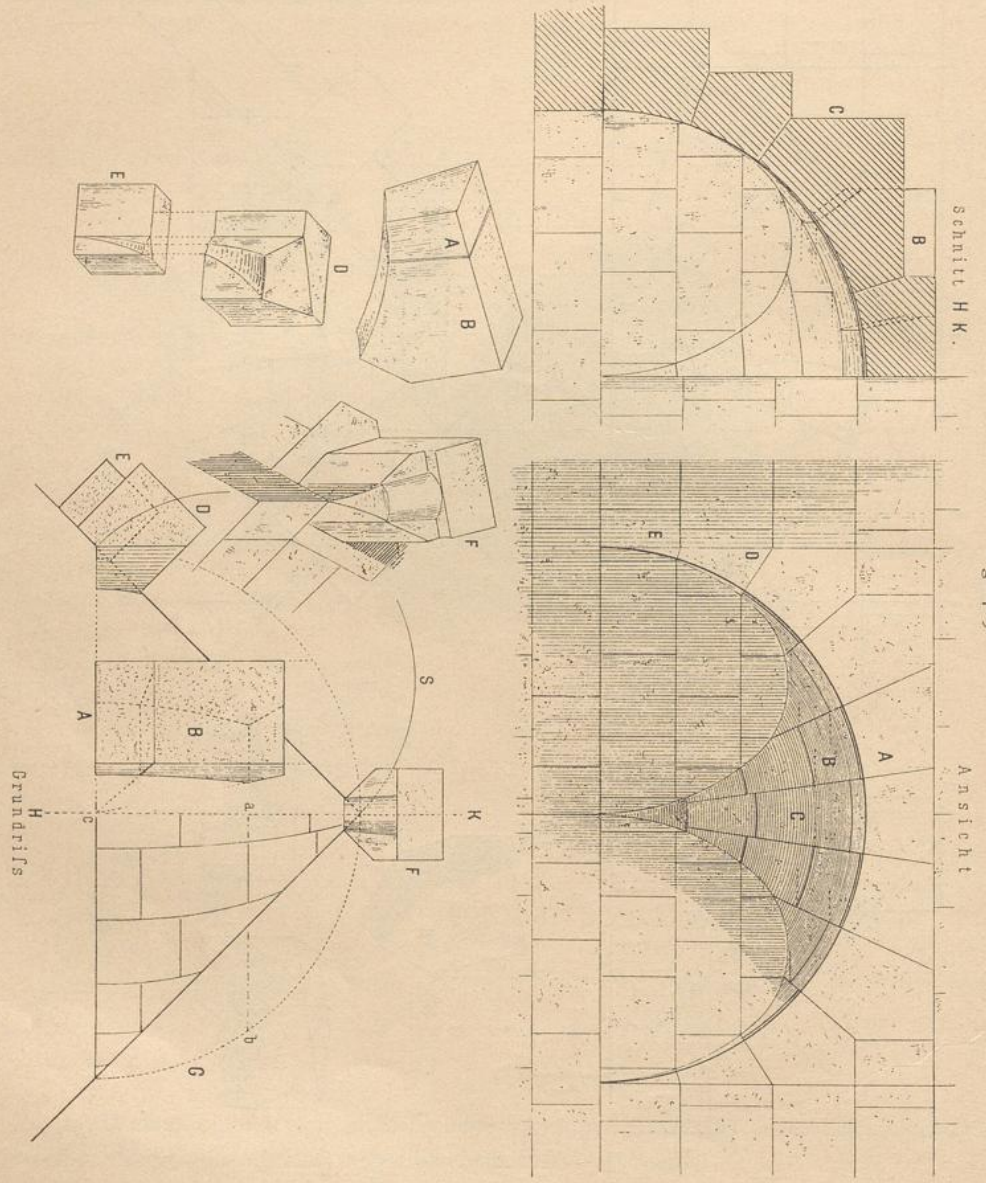


Fig. 409.

Punkte n. Erweitert man ns bis 1 der Erzeugenden $c1$ der Rückenfläche, legt man durch 1 wieder eine parallele Ebene zur Stirnebene e des Gewölbes, ſo giebt 11 die Lage der Stoſsfugenkante auf der Rückenfläche in der Grundriſsprojection an. Da der Punkt q mit Hilfe des Kreisbogens vom Halbmeſſer 11 und der Aufriſsprojection entſprechend zu finden iſt, ſo bleibt nur noch übrig, durch n und o, bezw. durch n und q gerade Linien zu ziehen, um die Grundriſsprojection der Stoſsfugenfläche opq zu erhalten. Aufriſs und Seitenprojection ergeben ſich auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege. Nach dem-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

felben Verfahren ſind die Punkte *a* für die Stoſsfugenfläche *h i k*, *e* für die Stoſsfugenfläche *l m* des Steines *C* und endlich *r* für die kegelförmige Stoſsfugenfläche des Auges *D* ermittelt. Die im Bilde vorgeführten Steine *A*, *B* und *D* laſſen die ihnen zu gebende Form noch näher erkennen.

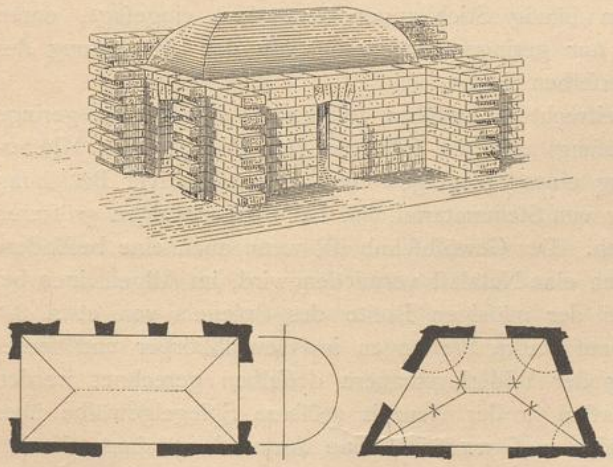
Das halbkugelförmige Niſchengewölbe mit abgeſchnittenen Seiten iſt in Fig. 409 vorgeführt. Bei demſelben iſt *G* der gröſste Kreis einer Kugelfläche, welcher das Niſchengewölbe in ſeiner Laibungsfläche entnommen iſt. Der Seitenbogen *S* iſt ein Halbkreis mit dem Durchmeſſer gleich der ſchrägen Länge der Eckübertragung. Der Steinfugenſchnitt hat den Bedingungen zu entſprechen, daſs die ſämmtlichen Lagerfugenflächen Meridianſchnitte der Halbkugel ſind, während die Stoſsfugenflächen Kegelflächen werden ſollen, die ſämmtlich den Mittelpunkt *c* der Kugelfläche zur Spitze haben. Die Leitlinien dieſer Kegelflächen ſind Parallelkreiſe, welche, wie in der Grundriſsprojection z. B. als *a b*, die Stoſsfugenkanten enthalten. Nach dieſen einfachen Forderungen iſt an der Hand von Fig. 409 die Geſtaltung der einzelnen Wölbſteine, wovon die wichtigſten beſonders noch perſpectiviſch gezeichnet ſind, ohne Schwierigkeiten möglich.

b) Muldengewölbe.

221. Geſtalt.

Das Muldengewölbe iſt ein längeres Tonnengewölbe mit an den Stirnſeiten vorgelegten Wangen eines Kloſtergewölbes. Daſſelbe entſteht, wie Fig. 410 angiebt, durch eine einfache Verbindung der beiden genannten Gewölbformen. Ein gemeinſchaftlicher Anfallspunkt der beiden Stirnwangen oder Walme fehlt. Statt eines Scheitelpunktes, wie beim Kloſtergewölbe, tritt eine mehr oder weniger lange Scheitellinie des eigentlichen Tonnengewölbes auf. Die Anſchluſspunkte der Kehl- oder Gratlinien der Stirnwalme ſind ſtets die Endpunkte dieſer Scheitellinie, gleichgiltig, ob die ſchmalen Stirnſeiten rechtwinkelig oder ſchiefwinkelig zu den längeren, einander parallelen Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes ſtehen.

Fig. 410.



Je nach der für die Stirnwalme gewählten Weite ſind dieſe Anſchluſspunkte feſt zu legen. Die Grundriſsprojectionen der Kehllinien ſind gerade Linien, welche von den Ecken der Kämpferlinien nach den Anſchluſs- oder Anfallspunkten der Scheitellinie gezogen werden. Meiſtens ſind bei einem Rechteck und auch bei einem Trapez als Grundriſs die wagrechten Projectionen der Kehllinien Halbirungsſtrahlen der Winkel an den Ecken des Raumes. Sämmtliche Umfangsmauern treten als Widerlager auf.

Alles, was hinſichtlich der Ausmittelung der Leitlinie für die Gewölbwangen und für die Beſtimmung der Kehllinien derſelben beim einfachen Kloſtergewölbe geſagt wurde, findet auch unmittelbar wieder Anwendung beim Muldengewölbe.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Daſſelbe wird bei Feſtungsbauten zur Ueberwölbung von Caſematten häufig benutzt. In Folge der hohen Erdüberſchüttung, welche bei derartigen Bauwerken über dem Gewölbe angebracht wird, iſt daſſelbe meiſtens ſehr ſtark herzurichten.

222. Ausführung.

Die Stabilitäts-Unterſuchung im Allgemeinen und die Ausführung der Muldengewölbe im Beſonderen erfolgt nach den für das Tonnengewölbe und das einfache Kloſtergewölbe gemachten Mittheilungen.

In architektoniſcher Beziehung nimmt das Muldengewölbe, ſelbſt wenn dasſelbe in ſeinen Laibungsflächen durch Einfügen von Stichkappen bewegter geſtaltet werden ſollte, nur einen mehr untergeordneten Rang ein.

12. Kapitel.

Spiegelgewölbe.

a) Geſtaltung der Spiegelgewölbe.

223. Geſtalt.

Das Spiegelgewölbe iſt ein Kloſtergewölbe, welches zwiſchen der Kämpferebene und dem Scheitelpunkt durch eine wagrechte Ebene abgeſchnitten und in der dadurch gebildeten Oeffnung durch ein wagrechtes oder ſcheitrechtes Gewölbe wieder geſchloſſen wird. Die Laibungsfläche dieſes wagrechten Gewölbes wird Spiegel genannt. Wird die Oeffnung zum Anbringen eines Deckenlichtes benutzt, ſo entſteht ein Spiegelgewölbe mit Deckenlicht.

Zur weiteren Gliederung des Gewölbes werden in die als Theile von Kloſtergewölben auftretenden Wangen häufig Stichkappen (Lunetten) eingefügt, deren Spitzen oder Anfallspunkte in nur geringer Entfernung von der Umrahmung des Spiegels oder unmittelbar in derſelben liegen.

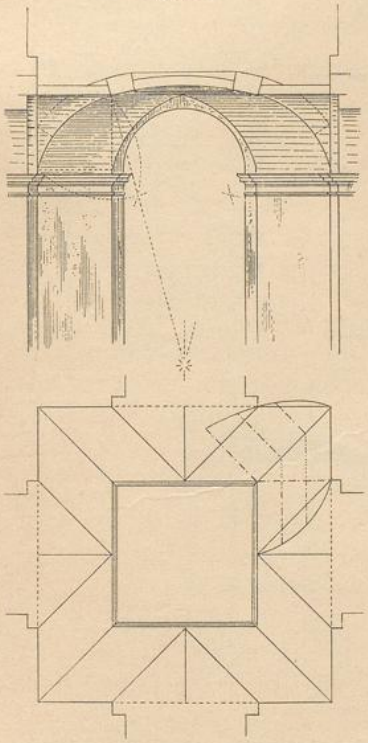
Die Vereinigung eines ſcheitrechten Gewölbes, ſelbſt wenn daſſelbe eine geringe Pfeilhöhe (Stich, Stechung, Buſung) erhalten ſoll, mit den Wangen des Kloſtergewölbes iſt für die Herſtellung eines Spiegelgewölbes in conſtructiver Beziehung bei ausſchlieſslicher Verwendung von Steinmaterial und bei einer etwaigen gröſseren Deckenbildung immerhin miſslich. Der Gewölbſchub iſt, wenn auch eine beſondere Beſchwerung des Gewölbes durch eine Nutzlaſt vermieden wird, im Allgemeinen bei derartigen Gewölben ſchon bei der mäſsigen Breite des Spiegels von etwa 3 m ziemlich beträchtlich, ſo daſs auf ſtarke Preſſungen im Gewölbkörper und ferner auch auf kräftige Durchbildung der Widerlagsmauern deſſelben gerechnet werden muſs. Aus dieſem Grunde werden in der Neuzeit gröſsere Spiegelgewölbe über Vorhallen, Treppenhäuſern, Sälen u. ſ. w. nicht ohne Anwendung eines eiſernen Stütz- und Tragſyſtems ausgeführt, welches in ſeinem Gerippe die Gewölbtheile aufnimmt.

In architektoniſcher Beziehung hat das Spiegelgewölbe jedoch eine nicht zu unterſchätzende Bedeutung. Erſcheint daſſelbe vermöge der durch Lunetten unterbrochenen, vom Widerlager aufſteigenden Hohlkehlen ſeiner Wangen ſchon als eine leicht ſich erhebende, mit der Theilung der Umfangswände in harmoniſcher Uebereinſtimmung ſtehende Deckenbildung, ſo kann die Wirkung der ganzen Anlage durch Ausſchmückung der hierfür äuſserſt günſtigen Gewölbflächen mit Ornamenten, Gemälden u. ſ. w. eine Steigerung erfahren, welche den höchſten Anforderungen zu entſprechen vermag, die an Reichthum und Pracht in der Ausſtattung der Spiegel-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gewölbe geſtellt werden. Beiſpiele derartiger in der Ausſchmückung üppiger Deckenbildungen, welche gleichſam als beſondere Schauſtücke zu betrachten ſind, bieten vielfach hervorragende Bauwerke, welche dem Bauſtil der Renaiſſance, dem Barock- und dem Rococo-Stil angehören. Iſt auch die wirkliche Conſtruction derartiger Decken oft durch ein Blendwerk von Holzverbindungen mit Putzüberzug gebildet und daher entfernt ſtehend von einem eigentlichen Gewölbebau, ſo iſt doch ein Studium derſelben um ſo mehr zu empfehlen, als in der Jetztzeit Spiegelgewölbe, conſtruirt als gemiſchtes Syſtem aus Eiſen und Stein, mannigfach in Anwendung kommen.

Fig. 411.

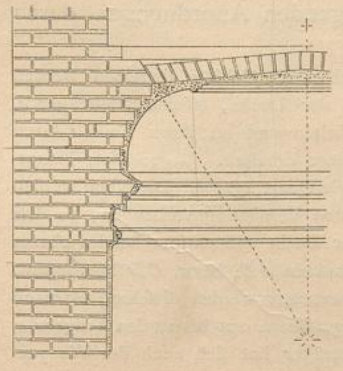


224. Einfache Spiegelgewölbe.

Das einfache Spiegelgewölbe (Fig. 411) kann über quadratiſchen, rechteckigen oder auch über anderen, im Grundriſs regelmäſsig angeordneten Räumen ausgeführt werden. Unregelmäſsige Grundformen ſind dabei als für dieſe Deckenbildung unſchön auszuſchlieſsen. Würde man in beſonderen Fällen und bei untergeordneten Anlagen die Wangen des Gewölbes fortlaſſen, ſo würde an die Stelle des einfachen Spiegelgewölbes ein ſcheitrechtes Gewölbe treten. Dieſe ſollten aber nur bis zu einer Spannweite von höchſtens 3,5 m in Anwendung kommen und niemals ganz wagrecht, ſondern immer mit einem Stich von etwa 1 cm auf 1 m Spannweite in vorzüglichem Verbande und mit ſehr gut bindendem Mörtel ausgeführt werden. Eine beſondere Ueberlaſt ſoll auf dieſen Gewölben, wenn dieſelben bei *Moller*'ſchem Verbande in ihren von Widerlager zu Widerlager ziehenden Fugen nicht etwa durchgehende, hochkantig geſtellte Flacheiſen (Bandeiſen) als Armirung erhalten, nicht ruhen. Sollte dem mit Stich behafteten ſcheitrechten Gewölbe eine wagrechte Laibungsfläche gegeben werden, ſo iſt dieſelbe durch entſprechend ſtarken Putz zu erzielen.

Will man dem ſcheitrechten Gewölbe das Ausſehen eines Spiegelgewölbes gewähren, ſo läſſt man nach Fig. 412 ringsum an den Widerlagsmauern des Raumes mehrere Mauerſchichten wagrecht mit Auskragung anſetzen. Dieſe ſtaffelartig gebildeten Widerlager des mit mäſsigem Stich verſehenen ſcheitrechten Gewölbes werden durch Putzüberzug zu einer Hohlkehle ausgebildet, welche durch eine gleichfalls aus Putz angefertigte Umrahmung der Spiegelfläche begrenzt wird. Bei gröſserer Ausladung der vorgekragten Widerlager können zweckmäſsig zur Sicherung und Unterſtützung derſelben kleine ⊥-förmige Profileiſen unter Benutzung von Cementmörtel mit eingemauert werden. Dieſe Eiſen greifen auſserdem noch mit entſprechender Länge in das Mauerwerk der Umfangsmauern ein.

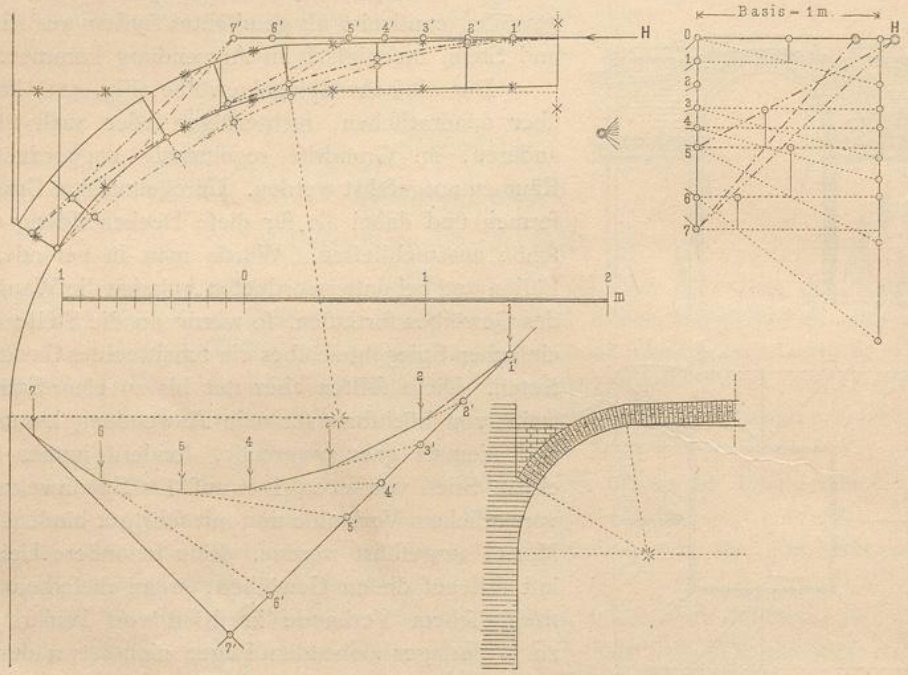
Fig. 412.



Aber auch dann, wenn die Anſätze des Spiegel-

gewölbes als Wangentheile eines Kloftergewölbes auszuführen find, werden fachgemäfs die unteren Schichten derfelben, fo weit thunlich ift, vorgekragt (Fig. 413), um hierdurch die Weite der eigentlichen Wölbung möglichft zu vermindern. Die in der Abbildung für einen Gewölbftreifen von der Tiefe gleich der Längeneinheit eingetragene Mittellinie des Druckes mit dem möglichft kleinften Gewölbfchub H giebt über die ftatifchen Verhältniffe des Gewölbkörpers näheren Aufichlufs.

Fig. 413.



225. Spiegelgewölbe mit Stützwerk aus Eifen.

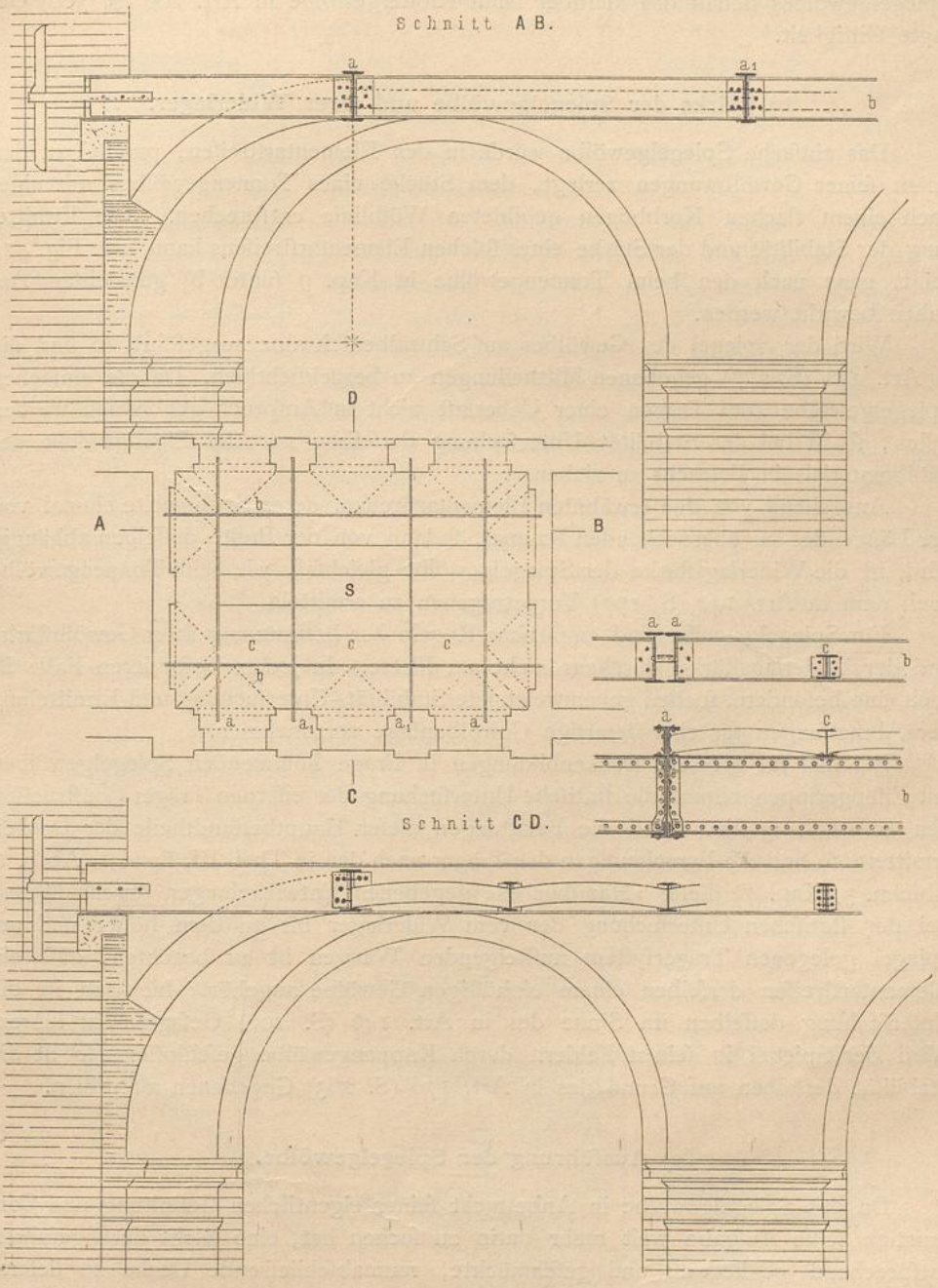
Gehen die Raumabmeffungen für Decken als Spiegelgewölbe über 3,5 m hinaus, fo verläfft man am beften die einfache Gewölbebildung und geftaltet die Decke durch Einfügen eines Gerippes aus Eifenträgern zu einem gemifchten Syftem von Eifen und Stein. In folchen Fällen wird die angeordnete Eifen-Conftruction als Trag- und Stützfyftem der wefentlichfte Beftandtheil der Decke, während die zwifchen dem eifernen Rippenwerk eingefügten gewölbten Theile derfelben mehr als Füllwerk zur Herftellung der Form des Spiegelgewölbes auftreten.

Die Geftaltung diefer Decken ift in den grundlegenden Anordnungen durch Fig. 414 näher angegeben.

Mit der Begrenzung des Spiegels S zufammenfallend und zuweilen im Gebiete deffelben werden Walzeifen- oder, bei bedeutender Weite und erheblichem Gewichte der Decke, eiferne Nietträger a, bezw. a, verlegt, welche ihre Auflager auf den Umfangsmauern erhalten und an ihren Enden durch forgfame Ummauerung, bezw. durch eine Verankerung die geficherte Lage erhalten. Gegen diefe Hauptträger a, a, fetzen fich in der weiteren Begrenzung des Spiegels liegende Querträger b. Diefelben werden mit den Hauptträgern durch Winkeleifen unter Anwendung einer guten Vernietung verbunden, fo dafs hierdurch ein eiferner Rahmen entfteht, welcher als Hauptgerippe der Decke ein entfprechendes oberes Widerlager für die unteren Wangen des Spiegels bietet, wie aus den Schnitten AB, bezw. CD hervorgeht. Zur weiteren Sicherung der mit einander verbundenen Haupt- und Querträger werden diefelben oft noch durch befondere Confoleträger unterftützt, welche von den feften Umfangsmauern aus bis zu den Trägern a, bezw. b geführt werden. Die untere Begrenzungslinie diefer Confoleträger hat fich nach der Wangen-

linie, bezw. nach der Kehllinie des Gewölbes zu richten. Für die Einwölbung des Spiegels *S* werden noch in Entfernungen von etwa 1 m von einander kleine Nebenträger *c* eingebracht. Diefelben werden unter Beobachtung ihrer geringften Längenausdehnung in geeigneter Weife entweder mit den Querträgern *b*

Fig. 414.



oder mit den Hauptträgern *a* durch Winkeleifen und Nietung, bezw. Verfchraubung verbunden. Die durch Einfchaltung diefer Nebenträger entftehenden, fehr fchmalen Gewölbfelder des Spiegels werden mit ganz flachen Kappengewölben, bezw. fcheitrechten Gewölben gefchloffen, welchen nur etwa 2 cm Stich gegeben wird.

Soll die Oeffnung im Trägergerippe *a*, *b* für ein Deckenlicht benutzt werden, ſo bleiben die Nebenträger *c* fort. Das Rahmenwerk des Gerippes dient alsdann zur Aufnahme der Conſtructionstheile des Deckenlichtes.

Für die Geſtaltung der Lunetten (Stichkappen) in den Gewölbwangen des Spiegelgewölbes behält das hierüber beim Kloſtergewölbe in Art. 206 (S. 306) Geſagte Giltigkeit.

b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager.

226. Gewölbſtärke.

Das einfache Spiegelgewölbe würde in den Elementarſtreifen, parallel zu den Axen ſeiner Gewölbwangen zerlegt, dem Stücke eines Tonnengewölbes mit einer nach einem flachen Korbbogen gebildeten Wölblinie entſprechen. Die Ermittelung der Stabilität und der Stärke eines ſolchen Elementarſtreifens kann, wie Fig. 413 zeigt, ganz nach den beim Tonnengewölbe in Kap. 9 (unter b) gemachten Angaben bewirkt werden.

Wird der Spiegel des Gewölbes auf Schwalbenſchwanz ausgeführt, ſo ſind die in Art. 181 (S. 277) gegebenen Mittheilungen zu berückſichtigen. Da die einfachen Spiegelgewölbe zum Tragen einer Ueberlaſt nicht in Anſpruch genommen werden ſollen, ſo iſt bei der Stabilitäts-Unterſuchung derſelben nur das Eigengewicht des Wölbmaterials in Betracht zu ziehen.

227. Widerlagsſtärke.

Ausgehend von den erwähnten Elementarſtreifen, deren Spannweite einmal von der Länge des zu überdeckenden Raumes, ſodann von der Breite deſſelben abhängig wird, iſt die Widerlagsſtärke der Spiegelgewölbe gleichfalls wie beim Tonnengewölbe nach dem in Art. 142 (S. 197) Vorgetragenen zu ermitteln.

228. Empiriſche Regeln.

Für Spiegelgewölbe ſind empiriſche Regeln zur Beſtimmung ihrer Gewölbſtärke und der Widerlagsſtärke durchaus nicht am Platze. In jedem beſonderen Falle iſt auch eine beſondere, ſoeben gekennzeichnete Stabilitäts-Unterſuchung und Ermittelung der Abmeſſungen für eine derartige Gewölbanlage vorzunehmen.

229. Spiegelgewölbe mit Eiſengerippe.

Bei den für gröſsere Deckenbildungen in Frage kommenden Spiegelgewölben mit Eiſengerippen nimmt die ſtatiſche Unterſuchung der eiſernen Träger-Conſtruction den erſten Rang ein. Sind die Belaſtungen dieſer Hauptbeſtandtheile der Decken ermittelt, ſo ſind die Berechnungen der Träger nach den in Theil III, Band 1 (Abth. 1, Abſchn. 3, Kap. 7) dieſes »Handbuches« gegebenen Entwickelungen durchzuführen. Bei der ſtatiſchen Unterſuchung der vom Widerlager bis zu dem höher und am Spiegel gelegenen Trägerſyſtem aufſteigenden Wangen iſt zu beachten, daſs ein Elementarſtreifen derſelben einem einhüftigen Gewölbe angehört; hiernach iſt die Unterſuchung deſſelben im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Geſagten zu führen. Wird der Spiegel in ſeinen Feldern durch Kappengewölbe geſchloſſen, ſo iſt die Stabilität derſelben auf Grund des in Art. 176 (S. 263) Gegebenen zu prüfen.

c) Ausführung der Spiegelgewölbe.

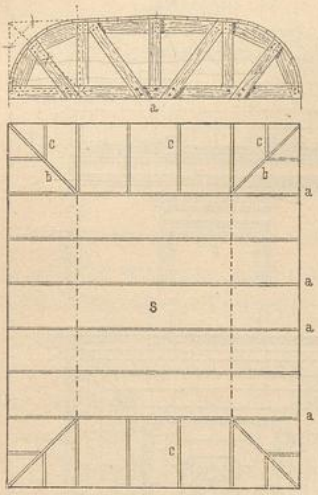
230. Allgemeines.

Da das Spiegelgewölbe in Anbetracht ſeiner eigentlichen Geſtaltung und Conſtruction ſeine Aufgabe weit mehr darin zu ſuchen hat, eine leicht durchgeführte, entſprechend gegliederte und geſchmückte, raumabſchlieſsende Decke zu liefern, als noch auſserdem fremde Laſten zu tragen, ſo iſt dem entſprechend bei der Ausführung der Spiegelgewölbe namentlich bezüglich des zu verwendenden Wölbmaterials und Bindemittels gebührende Rückſicht zu nehmen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Aus diefem Grunde treten als Hauptbauftoffe für Spiegelgewölbe Backfteine, die gewöhnlichen Lochfteine oder hinreichend feſte poröſe Barnſteine in den Vordergrund. Bruchfteine find im Allgemeinen auszufchliefsen, während Quader bei verhältnifsmäfsig gering gefpannten Spiegelgewölben benutzt werden können. Bei Verwendung von Backftein ift ferner eine vorzügliche Verkittung der Wölbfteine geboten und defshalb ein ausgezeichneter Cementmörtel, bezw. verlängerter Cementmörtel als Bindemittel in jeder Beziehung für den geficherten Beftand der Spiegelgewölbe anzurathen.

Fig. 415.

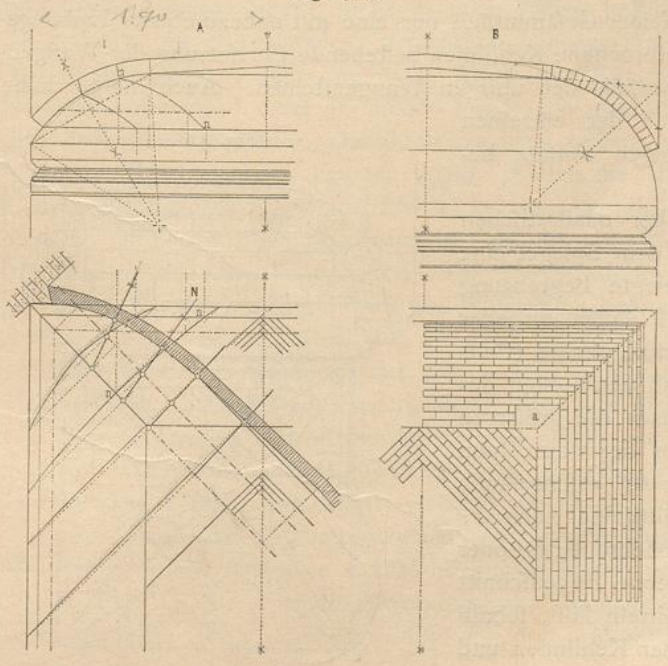


231. Lehrgerüfte.

Für die Ausführung der Spiegelgewölbe wird eine vollftändige auf Lehrbogen, bezw. Wölbfcheiben lagernde Unterfchalung hergerichtet. So weit der Spiegel *S* reicht, werden nach Fig. 415 die Hauptlehrbogen *a* in Entfernungen von 1,0 bis 1,5 m aufgeftellt. Gegen diefelben legen fich Lehrbogen *b*, welche für die Kehllinien der Wangen in bekannter Weife auszumitteln find, und die Schiftlehrbogen *c* von je zwei einander gegenüber liegenden Wangen. Im Uebrigen gilt das beim Tonnengewölbe in Art. 152 (S. 220) hinfichtlich der weiteren Behandlung der Gewölbgerüfte Gefagte.

Bei Spiegelgewölben zwifchen Eifengerippe erhalten die einzelnen Gewölbtheile gleichfalls eine Unterfchalung. Die Lehrbogen oder die in vielen Fällen für die Wangen zu benutzenden einfachen Wölbfcheiben reichen alsdann nur vom Kämpfer bis zu den Rändern des Spiegels, während letzterer für fich, falls ein gefchloffener Spiegel ausgeführt werden foll, eine Unterfchalung erhält, wie folche bei flachen Kappengewölben üblich ift.

Fig. 416.

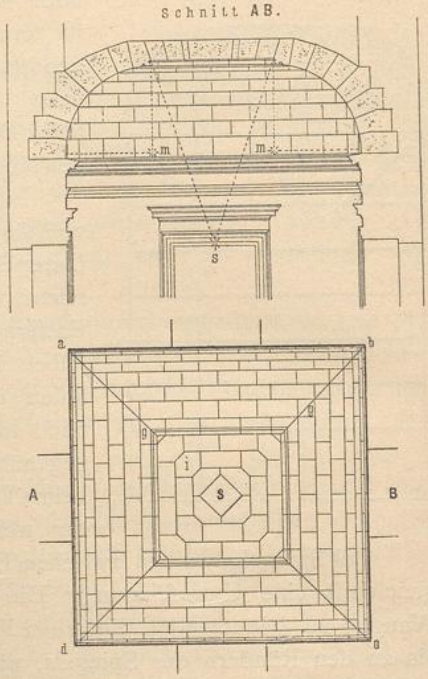


232. Spiegelgewölbe aus Backftein.

Bei den einfachen Spiegelgewölben aus Backftein kann, wenn die Wangen Hohlkehlen bilden, deren Wölblinie ein flacher Kreisbogen ift, der Verband auf Kuf, bezw. auf Schwalbenfchwanz durchweg für Wangen und Spiegel beibehalten werden. Wird dagegen die Wölblinie der Wangen ein Viertelkreis, fo wählt man für diefelben den Verband auf Kuf, während der Spiegel dann allein meiftens im Schwalbenfchwanzverband eingewölbt wird.

Beide Anordnungen ſind in Fig. 416 bei *A*, bezw. *B* dargeſtellt. Bei der in *B* gegebenen Einwölbung iſt zur Erzielung eines zweckmäſsigen Anſatzes der in Schwalbenſchwanzverband antretenden Wölbung das Einfügen beſonderer Werkſtücke *a* an den Ecken des Spiegels zu empfehlen.

Fig. 417.
Schnitt AB.



Die Wangen der Spiegelgewölbe mit eiſernem Rippenſyſtem werden auf Kuf eingewölbt, während die Kappen des Spiegels in demſelben Verbande oder auf Schwalbenſchwanz herzurichten ſind.

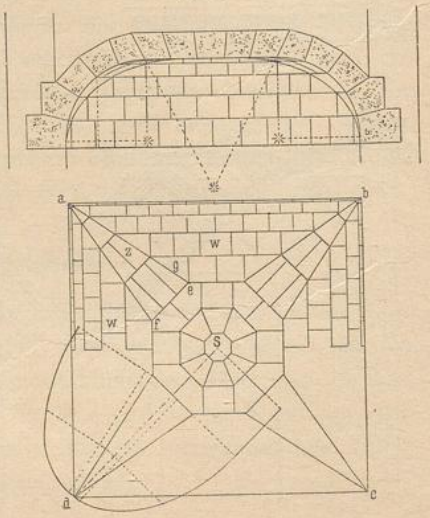
Soll der Spiegel Caſſetten erhalten, ſo iſt der in Art. 162 (S. 233) mitgetheilte Verband anzuwenden.

233. Spiegelgewölbe aus Quadern.

Für Spiegelgewölbe über Räumen von etwa 4,0 m gröſster Seitenabmeſſung können bei genügend ſtarken Umfangsmauern und bei mäſsiger Belaſtung der Decke von oben auch Quader als Wölbſteine zur Anwendung kommen. Der Steinfugenſchnitt derſelben iſt im Allgemeinen dem Verbande auf Kuf entſprechend zu ordnen.

Im Beſonderen iſt für die Grat- oder Kehlſteine, um eine hakenförmige Geſtalt derſelben zu vermeiden, die Anordnung *g* (Fig. 417) nach den beim Kloſtergewölbe in Art. 219 (S. 325) gegebenen Darſtellungen vorzunehmen, während die übrigen Wangenſteine als gewöhnliche Tonnengewölbſteine zu laſſen ſind. Die Formen der Wölbſteine des Spiegels *S*, welcher in ſeiner Geſammtheit nur eine mit nahezu ebener Laibungsfläche behaftete, ohne ausgeſprochene Kehllinien beſtehende Fortſetzung der Wangenflächen iſt, entſprechen ebenfalls den übrigen Wangenſteinen. Auch hierbei kann die Bildung der Eckſteine *i* der einzelnen Schichten ohne hakenförmigen Anſatz bewirkt werden.

Fig. 418.



Soll bei Gewölben über quadratiſchen oder rechteckigen Räumen dem Spiegel eine nach dem Achteck feſt gelegte Begrenzung gegeben werden (Fig. 418), ſo laufen an jeder Ecke des Raumes vom Kämpferpunkte *a* aus zwei Kehllinien *ae*, *af* nach den Ecken des Spiegels. Dieſelben begrenzen die gröſseren Wangen *w* und kleinere, in der wagrechten Projection als Dreiecke *a e f* erſcheinende Wangen *z*. Für die Schnittlinien nach *ae* und *af* ſind wiederum beſondere Grat- oder Kehlſteine zu ſchaffen, deren Fugenſchnitt ſich ohne Schwierigkeit ermitteln läſst, ſobald das Feſtlegen der Geſtalt der Kehllinien und

Wölblinien der Dreieckswangen z nach dem gewählten Grundbogen einer Wange w vorgenommen ist. Aus der Zeichnung geht die allgemeine Anordnung der Lager- und Stofsfugenkanten für die Wangen und den Spiegel S auf der wagrechten Projection der Laibungsfläche des Gewölbes hervor.

Hinsichtlich des Versetzens der Quader, des Mörtels u. s. f. ist auf Art. 170 (S. 246) zu verweisen.

---

13. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Allgemeinen.

234. Systembildung.

Das Bestreben und auch das Bedürfnifs, bei der Grundrifsentwickelung eines Bauwerkes mehrere neben einander liegende Räume, welche mit dem wohl bekannten halbkreisförmigen Tonnengewölbe überdeckt werden konnten, in höherem Mafse in Verbindung zu bringen, als solches an sich durch die in den Stirnmauern solcher Gewölbe leicht zu schaffenden Oeffnungen möglich war, mufste naturgemäfs dazu führen, auch in den eigentlichen Widerlagskörpern dieser Decken Oeffnungen anzulegen und nach oben durch kleinere Tonnengewölbe, d. h. durch besondere Bogen, abzuschliefsen. Mochte diese Bogenanlage auch anfänglich in ihren Scheitelpunkten noch in gröfserem oder geringerem Abstande unter dem Fufse des Tonnengewölbes befindlich sein, immerhin war die Auflösung der Masse des Widerlagskörpers in einzelne mehr oder weniger breite Pfeiler erreicht. Konnte man nun die Bogen der Widerlagsöffnungen mit einer gröfseren Länge behaften und durch rechtwinkelig zu den geschaffenen Pfeilern stehende, an den Hauptraum tretende neue Widerlagskörper stützen, so entstand ein Zusammenhang von mit Tonnengewölben überdeckten Räumen, welche jedoch in Rücksicht auf das Hauptgewölbe eine tiefere Kämpferlage besafsen. Eine solche Anlage konnte nicht in allen Fällen befriedigen, und wenn auch bei den Römern des Abendlandes, namentlich bei der Anwendung von Quadern als Wölbmaterial, die verschieden hohe Lage der Kämpfer auf einander tretender Tonnengewölbe noch nicht vermieden wurde, so machten sich doch, vom Morgenlande ausgehend, Einflüsse geltend, welche eine bessere Vereinigung der zusammentreffenden Tonnengewölbe erzielen liefsen. Fielen die Kämpferlinien dieser Gewölbe in eine und dieselbe wagrechte Ebene, waren aber die Durchmesser derselben verschieden, so setzten sich die kleineren Gewölbe als »Stichkappen« in das gröfsere Tonnengewölbe; waren dagegen die Durchmesser derselben gleich grofs, so durchkreuzten sich beide Tonnengewölbe und bildeten als besondere Gewölbart das »Kreuzgewölbe«. In beiden Fällen war an allen Seiten des Raumes die Anlage entsprechend grofser Oeffnungen und damit eine Auflösung der Widerlagsmauern in einzelne, das Gewölbsystem ausschliefslich stützende Pfeiler möglich, so dafs eine Reihe von derartigen Gewölbanordnungen für einen ausgedehnten Grundplan Platz greifen konnte. Durch die Einführung dieser zusammengesetzten Tonnengewölbe ist ein bedeutender Fortschritt im Gewölbebau überhaupt angebahnt.

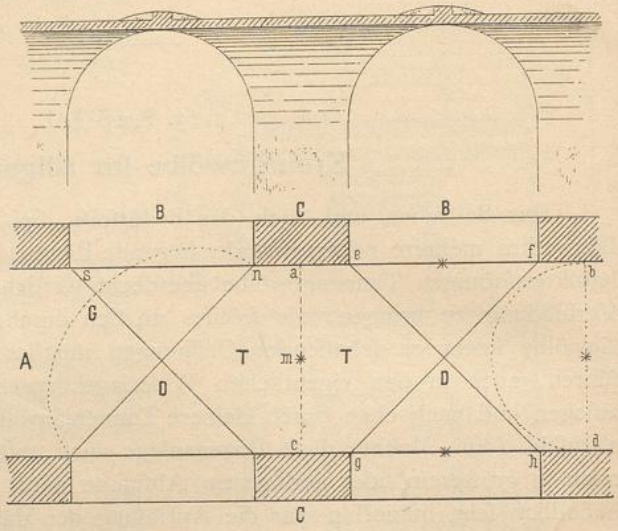
235. Römisches Kreuzgewölbe.

Die Grundlagen des besprochenen Wölbsystems, welches dem römischen Kreuzgewölbe entspricht, sollen an der Hand der Zeichnung noch näher erläutert werden.

In Fig. 419 ist A ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe vom Durchmesser $b\,d$. Gegen dasselbe treten Tonnengewölbe B, deren Wölblinien gleichfalls Halbkreise

ſind vom Durchmeſſer ef, bezw. ns, gleich dem Durchmeſſer der Wölblinie des Tonnengewölbes A. Die Axen beider Gewölbgruppen liegen in einer und derſelben wagrechten Kämpferebene und ſchneiden ſich rechtwinkelig. Die Stücke D der Gewölbe B ſtecken gleichſam als Stichkappen im Hauptgewölbe A; ſie beſitzen in der Laibungsfläche der zuſammengefügten Gewölbe einen gemeinſchaftlichen Anfallspunkt als Schnittpunkt der ſich rechtwinkelig treffenden wagrechten Scheitellinien beider Gewölbe A und B, d. h. den Scheitelpunkt derſelben. Ueber $efgh$ liegen die Schnittlinien dieſer Gewölbe als beſondere Diagonalbogen. Bei den gleichen Durchmeſſern der Gewölbe ſind dieſe Diagonalbogen in ihrer wagrechten Projection gerade Linien, in ihrer wirklichen Geſtalt aber halbe Ellipſen, deren groſse Axe der Länge der Diagonalen eh, bezw. fg, deren halbe kleine Axe dem Halbmeſſer $ma = mc$, alſo dem Halbmeſſer der Wölblinien der Gewölbe A, bezw. B entſpricht.

Fig. 419.



Das Gewölbe oberhalb $efgh$ iſt ein Kreuzgewölbe. Mit demſelben ſteht jedoch noch ein Stück T des Tonnengewölbes A im Zuſammenhange, ſo daſs die der Reihe nach folgenden Kreuzgewölbe um eine Länge en von einander abgerückt erſcheinen. Dieſer Länge en gehören die für beide Gewölbe A und B, bezw. für die Kreuzgewölbe entſtehenden Widerlagskörper in Geſtalt eines Mauerpfeilers an. Von den Ecken e und n, bezw. g und h ſteigen die Diagonalbogen der Kreuzgewölbe empor.

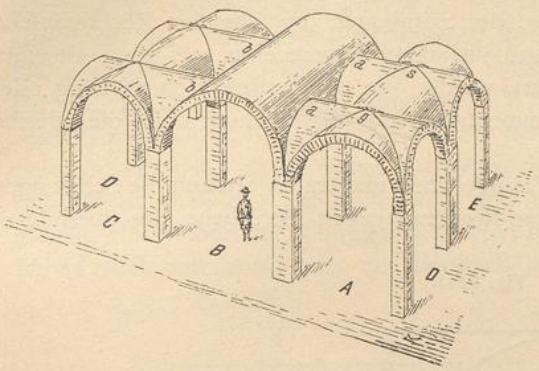
Dieſe grundſätzlich getroffene Anordnung an einander gereihter Kreuzgewölbe, zwiſchen denen noch kurze Theile eines geraden Tonnengewölbes beſtehen bleiben, war den Römern ſchon hinlänglich bekannt geworden; auch heute noch wird dieſelbe vielfach in Anwendung gebracht.

Geſtattet dieſe Anordnung die Ueberdeckung eines einzelnen rechteckigen längeren Raumes mit Kreuzgewölben, ſo folgt auch bei dem Innehalten des grundlegenden Weſens derſelben ohne groſse Umſtände die Möglichkeit des Zuſammenfügens von Kreuzgewölben über ausgedehnteren Grundriſſen ſowohl der Länge, als auch der Breite des Raumes nach.

Ein derartiges Gewölbſyſtem zeigt Fig. 420. Hierbei iſt jedoch B noch theilweiſe als ein Haupttonnengewölbe belaſſen, während für die Abtheilungen A und C, bezw. D und E Kreuzgewölbe in ihrer Vollſtändigkeit vorhanden ſind. Die Wölblinien der ſich durchſchneidenden Tonnengewölbe A mit D und E, bezw. C mit D und E haben einen gleichen Durchmeſſer; das Tonnengewölbe B dagegen beſitzt einen Halbkreis als Wölblinie mit gröſserem Durchmeſſer. In Folge hiervon treten bei dieſem Gewölbſyſtem die Stücke a und b der Kreuzgewölbe als gewöhnliche Stichkappen für das Tonnengewölbe B auf; ihre höchſten Anfallspunkte vereinigen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 420.



ſich nicht in einem gemeinſchaftlichen Schnittpunkte auf der Scheitellinie des Gewölbes *B*, ſondern liegen tiefer als dieſe Linie. Aus dieſem Grunde iſt das Gewölbe *B* nur ein Tonnengewölbe mit Stichkappen, kein eigentliches Kreuzgewölbe.

Die Stützen der geſammten Gewölbanlage beſtehen aus einzelnen Pfeilern an den Ecken der zuſammengefügten Gewölbſtücke. Die Stellung der Pfeiler veranlaſſt die Gliederung des Raumes in einzelne innig zuſammenhängende Abtheilungen; dieſelbe iſt durch die geſetzmäſsige Bildung der gewölbten Decke bedingt.

Giebt man dem Gewölbe *B* denſelben Halbkreis als Wölblinie, wie den Gewölbzügen *A* und *C*, bezw. *D*, ſo geht das ganze Wölbſyſtem in Kreuzgewölbe über, welche ſich der Länge und Breite nach für den in Frage kommenden Raum an einander reihen.

Mag auch vorläufig davon abgeſehen werden, in welcher Weiſe die Römer die Ausführung ihrer Kreuzgewölbe nach dem hier beſchriebenen Wölbſyſteme bewirkten: das Ziel war erreicht, bisher räumlich von einander getrennte Bautheile in innigen Zuſammenhang zu bringen und bei der Raumtheilung und der Deckenbildung zu einem organiſchen Ganzen zu geſtalten.

Der Einfluſs, welchen dieſes Wölbſyſtem im Gefolge haben muſſte, war bedeutend, und wenn auch für die Anwendung deſſelben vorweg bei der Grundriſsbildung der einzelnen, mit Kreuzgewölben zu überſpannenden Raumabtheilungen nur eine quadratiſche Planlage innegehalten werden konnte, ſo zeigt ſich doch, daſs allmählich auch für rechteckige Plantheilungen das geſchaffene Syſtem unter Einführung von Umgeſtaltungen, die jedoch den eigentlichen Kern der Form des Kreuzgewölbes nicht ſchädigten, zur weiteren Benutzung fähig war.

236. Romaniſches Kreuzgewölbe.

Die romaniſche Baukunſt übernahm das Kreuzgewölbe, und zwar zunächſt über quadratiſchen oder annähernd quadratiſchen Grundriſstheilungen. Für die beiden bei ſolchen Kreuzgewölben zuſammenſchneidenden Tonnengewölbe konnte die Halbkreisform mit gleichem Durchmeſſer als Wölblinie beibehalten werden. Das Einwölben ſelbſt erfolgte aller Wahrſcheinlichkeit nach in der Weiſe, daſs zunächſt das eine Tonnengewölbe vollſtändige Unterſchalung erhielt, auf welche alsdann, wie ſolches noch heute beim Anbringen von Stichkappen in Tonnengewölben üblich iſt, ſich die Schalungen für die quer antretenden Tonnengewölbſtücke legten. In den Schnittlinien dieſer Schalungen mit derjenigen des erſten Gewölbes ergab ſich ſofort die Geſtalt der Diagonalbogen des Kreuzgewölbes von ſelbſt.

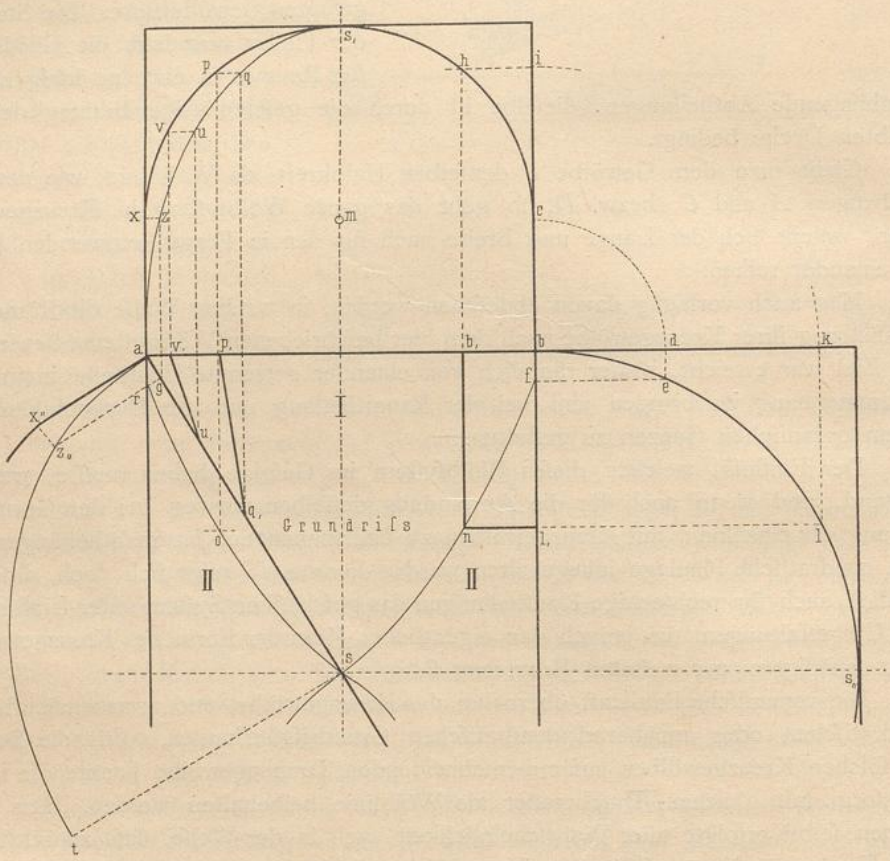
So einfach ſich hierdurch die Beſtimmungsſtücke eines Kreuzgewölbes bei quadratiſchem Gewölbfelde ergaben, ſo bedenklich wurde die Geſtaltung der Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Felde, ſobald die Scheitellinien der zuſammentretenden Gewölbſtücke oder Gewölbkappen in gleicher Höhe über der Kämpferebene liegen und die Wölblinien der Kappen ſich im Ganzen der Halbkreisform möglichſt anſchlieſsen ſollten. In ſolchen Fällen lag die in Fig. 421 gekennzeichnete

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Geſtaltung des Gewölbes nahe, wonach für die lange Seite des Rechteckes ein Stirnbogen als voller Halbkreis beibehalten, der Stirnbogen der ſchmalen Rechtecksſeite ebenfalls als Halbkreis mit entſprechend kleinerem Durchmeſſer ab, aber mit einer Ueberhöhung ax, bezw. bc eingeführt wurde, um durch dieſe Ueberhöhung oder Stelzung die Scheitellinien der zuſammentretenden Gewölbkappen in die gleiche Höhe zu bringen.

Wurde nunmehr das Gewölbe *II* eingeſchalt und traten alsdann die Schalungen der Gewölbkappen *I* in rechtwinkeliger Richtung gegen die Ebene des überhöhten

Fig. 421.

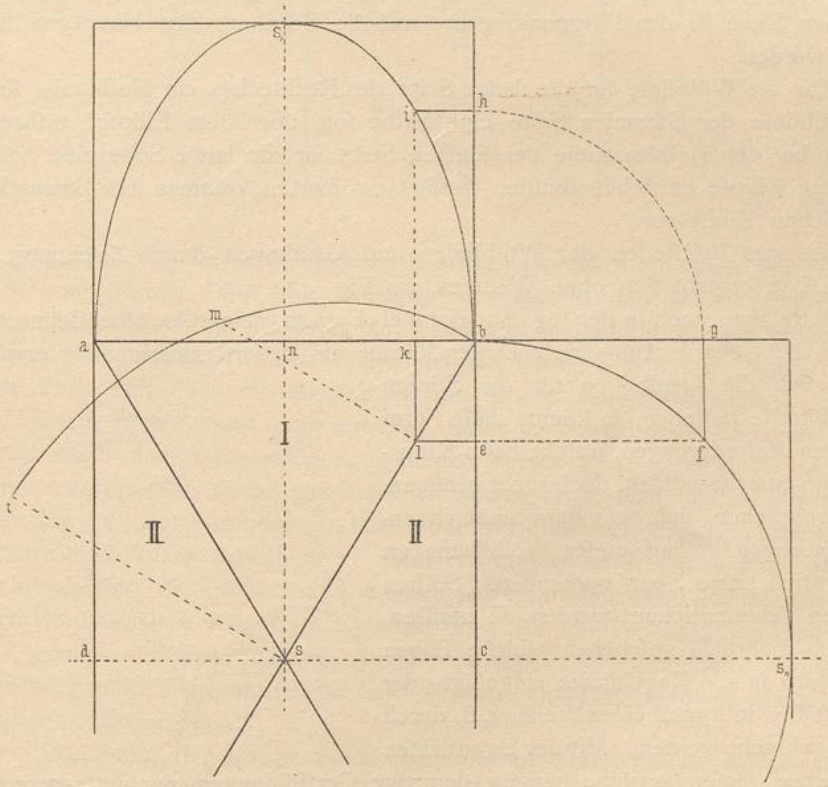


Stirnbogens ab, z. B. nach $b_1 n$, ſo ergaben ſich danach Schnittlinien fns, bezw. ros der Gewölbkappen, welche in ihrer Grundriſsprojection nicht den Richtungen der Diagonalen des Rechteckes folgten, ſondern als krumme Linien auftraten. Auſserdem beginnen dieſe Schnitt- oder Gratlinien erſt in der Höhe bd, bezw. bc über der Kämpferebene, und in Folge hiervon entſpringt an den langen Stirnſeiten des Raumes ein Stück einer lothrechten Wand bed, entſprechend dem Ohr für eine Stichkappe *I*. Kommen auch derart geſtaltete Kreuzgewölbe mit doppelt gekrümmten Gratlinien vor, ſo ſind dieſelben doch weder in techniſcher Beziehung, noch in Rückſicht auf architektoniſche Anforderungen als beſonders beachtenswerth hinzuſtellen.

Behält man im Auge, daſs die Ausmittelung der Diagonalbogen in früheſter

Zeit nicht durch beſonderes Aufzeichnen, ſondern gleich praktiſch bei der Herrichtung der Unterſchalung der Gewölbkappen erfolgt ſein wird, ſo lieſse ſich unter der Bedingung, daſs dieſe Gratbogen in ihrer Richtung den Diagonalen des Rechteckes folgen ſollen, zunächſt auf der Schalung des gröſseren Tonnengewölbes *II* dieſe Richtung, z. B. als as, vorreiſsen. Würde man nunmehr ſchmale Schalbretter oder Wölblatten, z. B. $q_1 p_1, u_1 v_1$, von der Schnürlinie as für den Diagonalbogen nach dem aufgeſtellten, überhöhten Stirnbogen der Seite ab in der Weiſe treten laſſen, daſs die Endpunkte q und p, bezw. u und v der einzelnen Schallatten für ſich eine gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, ſo divergiren wohl dieſe Latten und ſtehen auch mit Ausnahme der Scheitellatte nicht mehr rechtwinkelig zur Stirn-

Fig. 422.



ebene ab; aber die Ausführung der Wölbung der Kappen *I* auf dieſer Schalung, welche zwiſchen ihren Endauflagern noch irgend eine einfache, jedoch hinreichend ſtarke Unterſtützung erhalten konnte, iſt möglich. Unterhalb der Linie xz, bezw. ag würden alle Schallatten in die Ebene des Diagonalbogens as fallen; mithin muſs in dieſer Ebene eine lothrechte Wand $ax_1 z_1$ entſtehen. Auch derartige Anordnungen ſind bei Kreuzgewölben, aus Bruchſtein- oder Backſteinmaterial hergerichtet, anzutreffen.

Wie die Ausmittelung der Hauptſtücke ſolcher Kreuzgewölbe im Sinne der darſtellenden Geometrie zu erfolgen hätte, iſt aus der Abbildung zu entnehmen.

Bei verhältniſsmäſsig ſchmaler rechteckiger Grundfläche muſſte die dann bedeutende Ueberhöhung des halbkreisförmigen kleineren Stirn- oder Randbogens bei

dieſer Durchbildung der Kreuzgewölbe jedoch in Verbindung mit dem bezeichneten lothrechten Wandſtücke in der Ebene des Grat- oder Diagonalbogens ſich unangenehm geltend machen ſowohl bei der Ausführung der Gewölbe, als auch in Rückſicht auf die architektoniſche Wirkung derſelben.

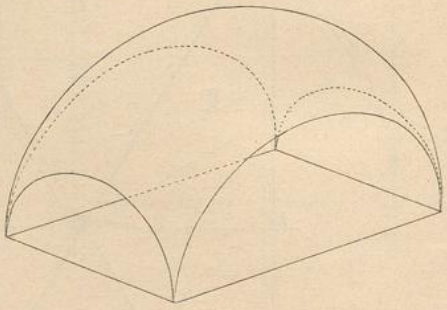
Um dieſe Uebelſtände zu beſeitigen, konnte nur eine Umformung der Randbogen der in das halbkreisförmige Haupttonnengewölbe tretenden Gewölbkappen vorgenommen werden. Unter Beibehaltung gleich hoch liegender Scheitellinien der Gewölbkappen und der Richtung der Gratbogen, entſprechend den Diagonalen des Rechteckes, entſtand alsdann für die vom Halbkreiſe des Hauptgewölbes abhängige Wölblinie der eingefügten Gewölbkappen eine halbe Ellipſe. Dieſelbe ergab ſich wiederum durch entſprechendes Auflagern von Schalbrettern, welche, wie *lk* in Fig. 422, rechtwinkelig zur Stirnſeite *ab* und in wagrechter Lage nach der vorgeriſſenen Linie *bs* des Diagonalbogens, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht wurden.

War die Wölblinie für die lange Seite des Rechteckes ein Halbkreis, ſo wurde die Wölblinie der ſchmalen Seite eine halbe ſog. überhöhte Ellipſe, während umgekehrt bei der Halbkreislinie der kleinen Seite für die lange Seite eine halbe ſog. gedrückte Ellipſe entſtehen mußte. Beide Gewölbarten kommen bei Bauwerken der romaniſchen Kunſt vor.

Wie das Feſtſtellen der Wölblinien und Gratbogen durch Zeichnung zu geſchehen hat, ergiebt ſich ohne Weiteres aus Fig. 422.

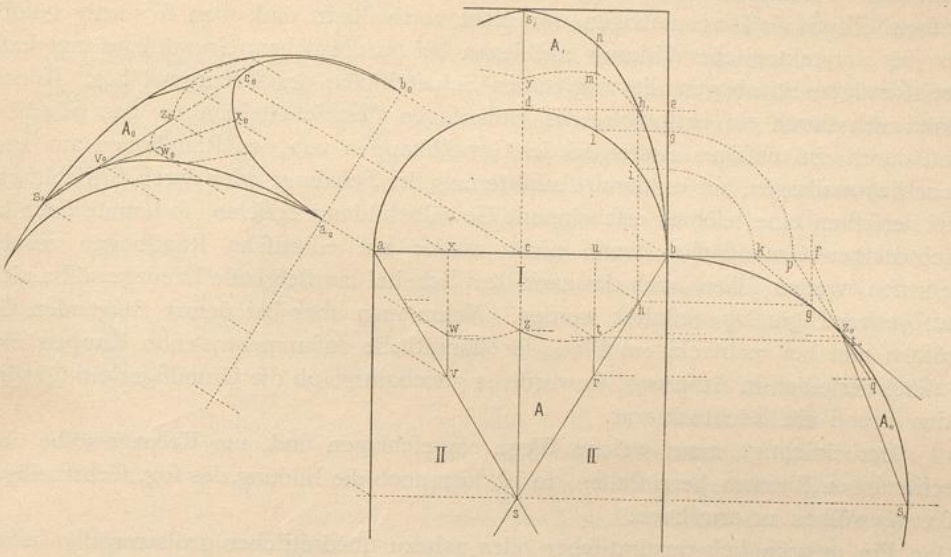
Hatte man auch in der ſog. Stutzkuppel (Fig. 423) eine Gewölbebildung, welche ſich für die Ueberdeckung rechteckiger Räume als äußerſt zweckmäßig erwies und wobei auch die Randbogen für die Stirnen als Halbkreiſe beſtehen, ſo konnte dieſe Form allein den Anforderungen, welche beim Kreuzgewölbe gemacht wurden, doch nicht genügen. Von eigentlichen, ſich beſonders auszeichnenden Gratbogen iſt auf dieſer Wölbfläche an und für ſich keine Spur vorhanden. Sollten dieſelben gekennzeichnet werden, ſo mußten, wie auch mehrfach geſchehen, ſolche Bogen als Zierrath in die Kugelfläche eingefügt oder auf derſelben in irgend einer Weiſe, z. B. durch Putz angebracht werden. Mit der eigentlichen Conſtruction dieſer Gewölbe hängen derartige Gratbildungen nur untergeordnet zuſammen.

Fig. 423.



Der überhöhte Halbkreis und die Form der ſog. überhöhten oder der gedrückten halben Ellipſe als Stirnbogen, bezw. als Wölblinien von Kappen der Kreuzgewölbe und endlich die Anwendung der Stutzkuppel für rechteckige Räume entſprachen noch immer nicht den Wünſchen, welche man bei der Anwendung von Kreuzgewölben hegte, oder befriedigten auch die beſonderen baulichen Bedürfniſſe nicht. Beim Feſthalten des Halbkreiſes an ſich für die Wölblinien der Kappen des Kreuzgewölbes ergab ſich, daſs die Scheitellinie der Wölbkappen der kleineren Rechtecksſeiten überall keine gerade wagrechte Linie bleiben konnte, welche unmittelbar, wie Fig. 424 in $fs_{,,}$ zeigt, ohne das mit wagrechter Scheitellinie belaſſene Hauptgewölbe *II* zu durchſtoſsen, vom Scheitelpunkte *d* des Randbogens der Ge-

Fig. 424.



wölbkappe *I* nach dem Scheitelpunkte $s_{,,}$ des Kreuzgewölbes zu führen wäre. Eben ſo würde eine gerade Linie *pq*, welche einer zur Stirnebene *ab* rechtwinkelig ſtehenden Ebene angehört, ſo lange um *p* nach oben gedreht werden müſſen, bis der Endpunkt *q* derſelben in den Diagonalbogen über *bs*, bezw. *as* gelangt. Die lothrechte Projection dieſes Gratbogens in der Ebene des Stirnbogens $bs_{,,}$ deckt ſich mit dieſem Bogen, und man erkennt, daſs, ſo lange irgend eine vom Randbogen *adb* nach dem Diagonalbogen geführte gerade Linie, welche in einer zugehörigen, rechtwinkelig zu *ab* genommenen Ebene liegt, nicht als Berührende an der Projection $bs_{,,}$ des Gratbogens, bezw. der Stirnlinie der langen Rechtecksſeite auftritt, ein Durchſtoſsen derſelben mit dem Hauptgewölbe *II* ſtattfinden muſs. In der Zeichnung ſind die Projectionen mehrerer Durchſtoſspunkte und der ſie verbindenden Durchſtoſslinie eingetragen. Sollte der Lage und Richtung der Linien $fs_{,,}$, *pq* u. ſ. f. gemäſs die Unterſchalung der Gewölbkappe *I* vorgenommen werden, ſo würden ſich danach auch praktiſch die bezeichneten Durchſtoſslinien auf der Schalung des Hauptgewölbes ergeben.

Die Einwölbung der Kappe *I* auf einer ſolchen Unterſchalung würde äuſserſt bedenklich ſein und ein häſsliches Anſehen gewähren. Würde aber die Oberfläche dieſer Schalung in eine kugelförmige (ſphäroidiſche) Fläche durch beſonders hergerichtete Unterlagerung oder durch eine Erdſchüttung, wie bereits in Art. 167 (S. 240) erwähnt, umgeſtaltet werden, ſo würde die Gewölbkappe *I* als eine ſphäroidiſche Stichkappe mit den cylindriſchen Gewölbkappen zu vereinigen und auszuführen ſein. Dieſe kugelförmige Gewölbkappe *I* tritt dann als eine ſog. »Kappe mit Buſen« oder als »buſige Kappe« auf. Sie nähert ſich dem Stücke der Oberfläche einer Stutzkuppel. Sie würde eine Kugelſtichkappe ſein, wenn, wie ſchon beim Kloſtergewölbe in Art. 207 (S. 308) näher gezeigt iſt, auch die mit dem Halbkreiſe *adb*, dem Stirnbogen dieſer Kappe, in *a* und *b* zuſammentretenden Diagonalbogen ſtatt in der Form der Halbellipſen als Halbkreiſe auftreten würden.

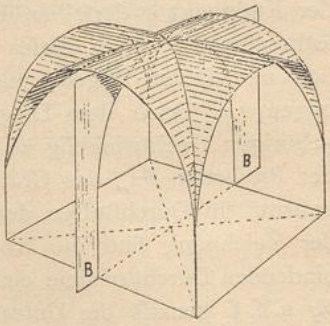
Durch die Einführung der buſigen Kappen bei den Kreuzgewölben iſt ein be-

deutſamer Fortſchritt in der Geſtaltung derſelben eingeleitet. Schon die Form der halben Ellipſe als Diagonalbogen war nicht vortheilhaft, und eben ſo wenig günſtig für die architektoniſche Wirkung erſchienen bei quadratiſchem Grundplane und halbkreisförmigen Stirnbogen die wagrechten Scheitellinien des Kreuzgewölbes. Konnte man auch durch ein entſprechendes Höherlegen des Scheitelpunktes des Gewölbes und durch ein mäſsiges Anſteigen der Gewölbkappen von den Randbogen aus nach den Diagonalbogen, ſei es durch Auffütterung der Schalung oder durch Erdſchüttung auf derſelben eine leichter erſcheinende Gewölbebildung erzielen, ſo konnte doch bei rechteckiger Grundfläche, wenn nicht wieder auf elliptiſche Randbogen zurückgegriffen werden ſollte, auch das nach dem Scheitel hin ſteigende Kreuzgewölbe nicht entſprechend günſtig geſtaltet werden. Nahm man aber bei derart ſteigenden Gewölben nun bei rechteckigem Plane für ſämmtliche zuſammentretende Kappen eine Buſung derſelben in Anſpruch, ſo wurde es gleichgiltig, ob die Grundfigur ein Quadrat oder irgend ein Rechteck war.

Berückſichtigt man, welche Wege eingeſchlagen ſind, um Kreuzgewölbe über rechteckigen Räumen herzuſtellen, ſo iſt hier noch die Bildung des ſog. ſechstheiligen Kreuzgewölbes zu erwähnen.

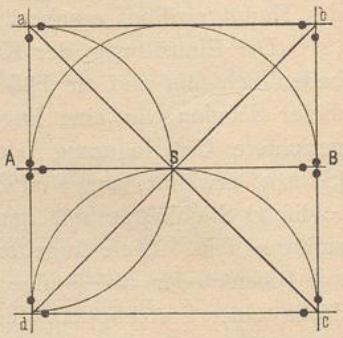
Ein urſprünglich quadratiſcher oder nahezu quadratiſcher gröſserer Plan *abcd* (Fig. 425) wurde in ſeiner Mitte nach der Richtung *AB* nochmals durch einen Bogen geſchieden, deſſen Form den Randbogen über *ab*, bezw. *cd* entſprach. Derſelbe wurde bis zur Scheitellinie des Kreuzgewölbes übermauert und ſollte ſcheinbar als Stütze der elliptiſchen Diagonalbogen *ac* und *bd* dienen.

Fig. 425.



Durch das Einfügen des ſelbſtändigen Bogens *AB* entſtand aber eine Härte in der Erſcheinung des Gewölbes, welche ſeine Beſeitigung, da derſelbe ohnehin als Stütze ſich ziemlich unbrauchbar erweiſen muſſte, wünſchenswerth machte.

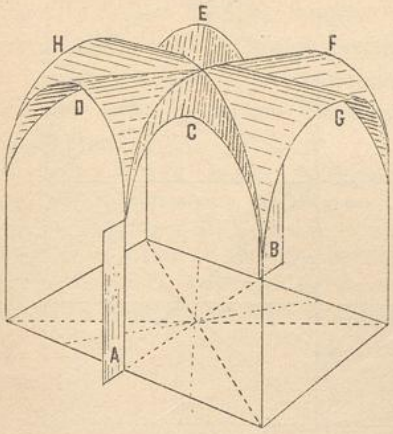
Legte man daher nach Fig. 426 in die Hauptkappen *G* und *H* des über *abcd* ſich erſtreckenden Kreuzgewölbes, von den langen Rechtecksſeiten ausgehend, je zwei Nebenkappen, welche die in der Gewölbfläche nicht als beſondere Bogen-Conſtruction ausgeführte Wölblinie über *AB* als gemeinſchaftlichen Randbogen enthielten, ſo ergab ſich hierdurch die Geſtaltung des Kreuzgewölbes mit ſechs Gewölbkappen oder das ſog. ſechstheilige Kreuzgewölbe.

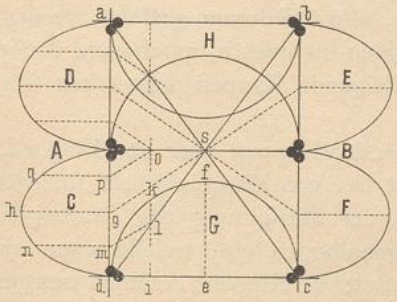


Die hierbei eingefügten Nebenkappen erhielten bei den einfacheren Anlagen elliptiſche Randbogen. Wie dieſelben etwa mit Hilfe von Schallatten *op* und *lm* feſt gelegt werden konnten, ergiebt ſich aus der Zeichnung. So muſſte z. B. *pq*, bezw. *mn* gleich *ik* genommen werden.

Wenngleich die ſechstheiligen Kreuzgewölbe durch Umformung der Diagonal- und Randbogen, ſo wie durch Einführung von buſigen Kappen noch bei manchen Bauwerken zur Verwendung gelangten, ſo war dieſe Gewölbebildung doch weit weniger grundlegend für die Weiterentwickelung

Fig. 426.





der Geſtaltung von Kreuzgewölben über rechteckigen Räumen, als das eigentliche viertheilige Gewölbe mit buſigen Kappen.

Zwar ergab ſich zunächſt auch hierbei, daſs man, wenn alle Randbogen Halbkreiſe bleiben ſollten und wenn ferner an die Stelle der weniger erwünſchten Halbellipſe als Diagonalbogen der zweckmäſsigere Halbkreis gewählt wurde, um dadurch eine erhöhtere Lage des Scheitelpunktes des Gewölbes herbeizuführen, wieder im Allgemeinen auf die Form einer gewöhnlichen Stutzkuppel kam.

Hierbei verſchwanden alsdann aber die am Gewölbe ſonſt in charakteriſtiſcher Weiſe eine Ecke bildenden Gratbogen. Durch eine mehr oder weniger ſtark eingeführte Buſung der einzelnen Gewölbkappen ſtatt der Fläche der Stutzkuppel war aber ein Mittel geboten, den mit als weſentlich erſcheinenden Charakter des Kreuzgewölbes, eine Eckbildung der zuſammenſchneidenden Gewölbkappen an den Diagonalbogen zu zeigen, aufrecht zu halten.

Die Einſchalung der Gewölbe mit buſigen Kappen war läſtig; eben ſo war die Herſtellung der buſigen Gewölbkappen aus gewöhnlichem Bruchſteinmaterial mühſam. Bei dieſem Material iſt längere Zeit hindurch ſtets eine Unterſchalung in Anwendung gekommen. Wenngleich das bei Herrichtung von Kuppelgewölben angezeigte freihändige Mauern ohne Benutzung einer Unterſchalung in ringförmigen Schichten nicht unbekannt geblieben ſein konnte, ſo war dieſe Wölbungsart doch nur in ſolchen Gegenden angezeigt, in welchen Backſteinmaterial oder ein geeigneter, leicht zu bearbeitender Kalkſtein oder Tuffſtein in ausreichender Weiſe vorhanden war. Für Bruchſteinmaterial muſſte die Buſung der Kappen in den Hintergrund treten. Um aber die Diagonalbogen in ihrer Halbkreisform zu belaſſen, muſſten die Randbogen wieder als überhöhte Halbkreiſe oder als Halbellipſen eintreten. Dadurch blieben aber die früher erwähnten Uebelſtände bei der Geſtaltung der Kreuzgewölbe beſtehen, und um dieſe zu beſeitigen, dürfte die Einführung des bereits bekannten Spitzbogens als Randbogen ſtatt der geſtelzten Halbkreiſe oder der halben Ellipſen eine Folge geweſen ſein.

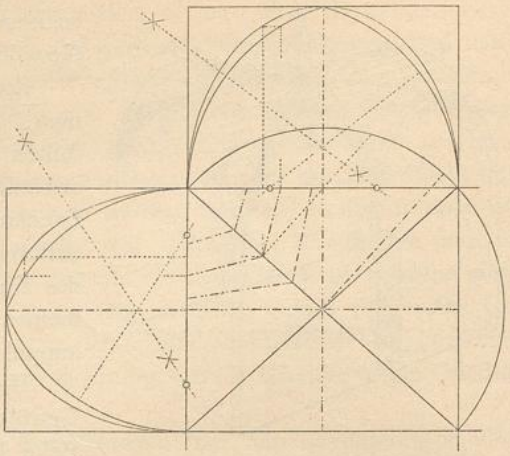
Bei quadratiſchem oder nahezu quadratiſchem Grundriſſe bleiben die Randbogen, deren Scheitel mit dem Scheitelpunkt der halbkreisförmigen Diagonalbogen in gleicher Höhe liegen, nach Fig. 427 noch ziemlich ſtumpfe Spitzbogen.

Wurden in der Richtung der Diagonalen ſtützende Lehrgerüſte aufgeſtellt, wurde gleichfalls für die Gewölbkappen unter weiterer Heranziehung der Unterſtützung der Randbogen, ſo wie einiger einfacher Zwiſchengerüſte eine genügend unterlagerte Schalung geſchaffen, ſo konnten auch aus Bruchſtein herzuſtellende Kappen leicht ausgeführt werden. Zunächſt fehlte dieſen Gewölben die Buſung. In

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſtatiſcher Beziehung übertrafen dieſelben jedoch die Kreuzgewölbe, deren Randbogen geſtelzte Halbkreiſe oder Halbellipſen waren, da bei der Spitzbogenform der Stirnbogen eine Verminderung des Seitenſchubes zum Vortheil der ſtützenden Eckpfeiler des Gewölbes entſtand.

Fig. 427.



Bei rechteckiger Grundform von mäſsiger Breite wurde der Spitzbogen der ſchmalen Seite reichlich ſteil, ſobald ſein Scheitel eine gleiche Höhenlage mit dem Gewölbſcheitel erhalten ſollte.

Um dieſe lanzettartige Form eines ſolchen Spitzbogens im Allgemeinen nicht eintreten zu laſſen, muſſte entweder ein entſprechend ſtumpfer gewählter Spitzbogen in ſeinen Fuſspunkten lothrecht gehoben, alſo wiederum geſtelzt werden, oder die Gewölbkappen muſſten bei einem feſt geſetzten ſtumpferen Spitzbogen, deſſen Scheitel tiefer blieb als der Gewölbſcheitel, als ſteigende Kappen angeordnet ſein, bezw. wieder mit Buſung ausgeführt werden.

Da der Verband der aus Bruchſtein zu wölbenden Kappen über den Diagonalbogen nur ein wenig inniger ſein konnte und nicht frei von Mängeln blieb, ſo legte man zur Beſeitigung der Unvollkommenheiten in der Ausführung des Gratbogenverbandes beſondere Hauſteinſtücke für die Diagonalbogen ein, welche dann als weſentliche Factoren des Kreuzgewölbes in der Geſtalt von Rippen, Anfangs weniger reich, ſpäter mannigfaltiger, an ihrem vorſpringenden Theile gegliedert auftreten.

Durch die Aufnahme derartiger Rippen an Stelle der einfachen Randbogen, als ſelbſtändige Beſtandtheile des Kreuzgewölbes oder als ſeitliche Begrenzungen zuſammengereihter Kreuzgewölbe, wobei alsdann die Rippen der Randbogen als Scheide- oder Gurtbogen durchgebildet werden konnten, trat in Vereinigung mit den Diagonalrippen ein vollſtändiger Umſchwung in der Formbildung und Geſtaltung der Kreuzgewölbe ein.

Das Rippenſyſtem iſt zum vorwiegenden Beſtandtheil des Kreuzgewölbes erhoben. Daſſelbe bildet die Trag- und Stütz-Conſtruction für die dazwiſchen liegenden Kappen, während die geſammte Belaſtung der Ueberdeckung auf einzelne beſtimmte Punkte, d. h. auf Pfeiler- oder Säulengebilde übertragen wird.

Dieſe erweiterte Ausbildung des älteren romaniſchen Kreuzgewölbes führte zur Entwickelung des gothiſchen Kreuzgewölbes.

237. Gothiſches Kreuzgewölbe.

Mit der Einführung des Rippenſyſtems ging Hand in Hand die Vervollkommnung der Ausmauerung der von den Rippen begrenzten und getragenen Kappen, ſo wie der Technik der Wölbungskunſt überhaupt. Die Rippen konnten als die eigentlichen Träger des Gewölbes für ſich hergeſtellt werden. War der günſtige Spitzbogen für die Rippen der Randbogen einmal in Aufnahme gekommen, ſo konnte derſelbe auch für die Diagonal- oder Kreuzrippen mit mehr oder weniger gehobenem Scheitelpunkte ſtatt ihrer früheren Halbkreisform Benutzung finden. Die Kappenwölbung konnte zwiſchen dieſen Rippen eine weit geringere Stärke erhalten, als bei

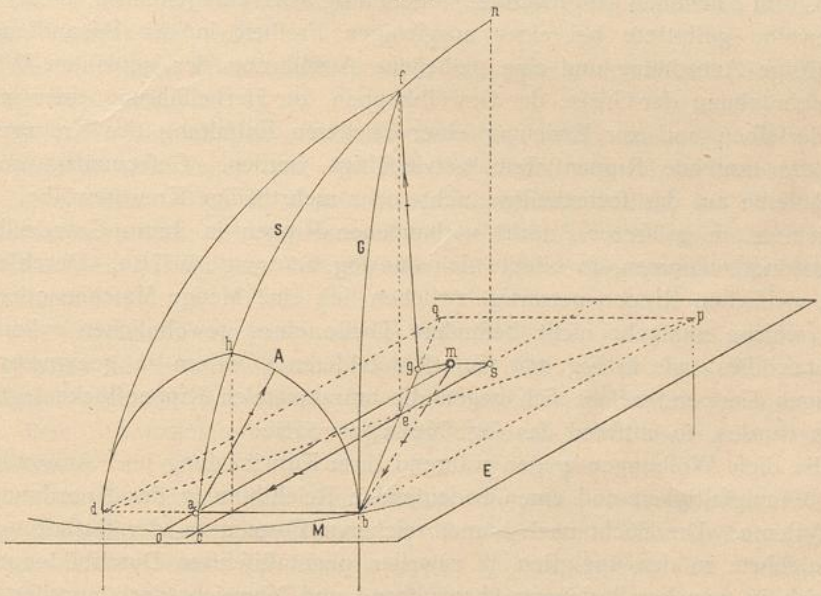
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den früheren Wölbungsarten. Die Schichtenlagen, anfänglich wohl noch der Längsaxe der Kappe folgend, konnten rechtwinkelig zur Diagonalrippe geführt und dabei, mit entſprechender Buſung verſehen, als einzelne Gewölbſtreifen eingefügt werden.

Im letzteren Falle konnten dieſe buſigen Kappen reinen Kugelflächen oder, wie bei etwa geſtelzten Stirnbogenrippen, kugelförmigen (ſphäroidiſchen) Flächen angehören.

Iſt z. B. $bdqp$ in Fig. 428 die rechteckige Grundfläche eines Kreuzgewölbes, deſſen Scheitelpunkt f über dem Schnittpunkte e der Diagonalen bq und dp liegt, ſo möge bhd der aus zwei Kreisbogen beſtehende Spitzbogen der Seite bd, ſo wie bf der halbe, gleichfalls nach einem Kreisbogen gebildete Diagonalbogen über be ſein. Die beiden Kreisbogen bh als A und bf als G erheben ſich vom gemeinſchaftlichen Punkte b aus über der wagrechten Kämpferebene E. Die Mittelpunkte a für A und g für G ſind in bd, bezw. bq gleichfalls in dieſer Ebene E gelegen. Beide Kreisbogen gehören einer Kugelfläche

Fig. 428.



an, deren Mittelpunkt m in der Ebene E enthalten iſt, und von welcher ein größter Kreis M durch den gemeinſchaftlichen Schnittpunkt b der Kreisbogen A und G gehen muſs. Um den Mittelpunkt m zu beſtimmen, ſind in g auf bq und in a auf bd in der Ebene E Lothe zu errichten. Dieſelben ſchneiden ſich im geſuchten Punkt m. Die Gerade mb liefert den Halbmeſſer der Kugelfläche, welcher die Bogen A und G angehören. Der um m mit mb beſchriebene Kreis M iſt ein größter Kreis dieſer Kugelfläche. Hätte man in ganz ähnlicher Weiſe auch für die beiden Kreisbogen dh und df die Kugelfläche beſtimmt, welche im vorliegenden Falle denſelben Halbmeſſer, wie die erſte Kugelfläche, und ferner einen durch d gehenden größten Kreis beſitzt, ſo ſchnitten ſich beide Kugelflächen in der Scheitellinie hf der Gewölbkappe bfd. Dieſe Scheitellinie hf gehört als Schnittlinie der gleichen und ſymmetriſch gelegenen Kugelflächen einem Kreisbogen S an, welcher durch den Scheitelpunkt h des Spitzbogens bhd und den Scheitelpunkt f des Gewölbes geht. Die lothrechte Ebene dieſes Kreisbogens trifft die Ebene E in der Geraden ce, d. h. in der wagrechten Projection der Scheitellinie der Gewölbkappe bfd. Auf dieſer erweitert genommenen Geraden iſt der Mittelpunkt s für den Kreisbogen S als Schnittpunkt des von m auf cs gefällten Lothes zu beſtimmen. Der Schnittpunkt c der Linie cs mit dem größten Kreiſe M iſt der Endpunkt des Halbmeſſers sc des Kreisbogens S. Dem angegebenen Wege folgend, hätte man auch beim Feſtlegen der Spitzbogen der Seiten bp und dq, bezw. pq die Ausmittelung der zugehörigen Kugelflächen vornehmen können.

Die Ausführung der einzelnen Kappen in ringförmigen Streifen der ihnen angewieſenen Kugelflächen iſt leicht zu bewirken und kann freihändig ohne eine

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Unterſchalung erfolgen. Jede Kappe erhält dann ohne Weiteres eine den ermittelten Kugelflächen entſprechende Buſung. Sind die Randbogen geſtelzt, während die Diagonalbogen nicht geſtelzt ſind, ſo liegen die Mittelpunkte der benutzten Kreisbogen in verſchiedenen Ebenen. Die Gewölbkappen erhalten dann als Laibungsflächen nicht mehr die reinen Kugelflächen, ſondern kugelförmige Flächen, welche aber bei nicht zu bedeutender Stelzung der Randbogen doch nicht ſehr erheblich von der Kugelfläche abweichen.

Das Rippenſyſtem mit ſeinen buſigen Kappen und die Verwerthung des Spitzbogens bei der Formgeſtaltung der Rippen beſeitigte alle Einengungen in der Bildung der Kreuzgewölbe, welche beim römiſchen und beim romaniſchen Kreuzgewölbe ſich noch geltend gemacht hatten.

Wie auch die zu überdeckenden Raumabtheilungen oder Gewölbfelder in ihrer Grundriſsform beſchaffen ſein mochten, regelmäſsig oder unregelmäſsig, das gothiſche Kreuzgewölbe geſtattete bei einer ausgiebigen Freiheit in der Behandlung eine zweckmäſsige Anordnung und eine gediegene Ausführung der geplanten Wölbung. Zur Einſchränkung der Gröſse der Gewölbkappen, zur Herbeiführung einer mäſsigen Stärke derſelben und zur Erzielung einer reicheren Entfaltung des Kreuzgewölbes konnte das tragende Rippenſyſtem vervielfältigt werden. Geſetzmäſsig geordnet, führte daſſelbe auf das ſechstheilige, acht- oder mehrtheilige Kreuzgewölbe. Traten die einzelnen, in gröſserer Anzahl vorhandenen Rippen in ihrem Grundriſſe ſternartig geordnet zuſammen, ſo bildete ſich das ſog. Sterngewölbe. Durchſchnitten ſich die vielfachen Rippen netzartig, zwiſchen ſich eine Menge Maſchen oder Zellen laſſend, welche nunmehr nicht beſondere Theile eines gewöhnlichen cylindriſchen Tonnengewölbes, wie in Fig. 277 (S. 164), bildeten, ſondern in geeigneter Weiſe mit buſigen Kappen, welche ſich gegen die umrahmenden Rippenſtücke legten, geſchloſſen wurden, ſo entſtand das ſog. Netzgewölbe.

Alle dieſe Wölbungen zeigen während ihrer Entwickelung und Anwendung die gröſste Mannigfaltigkeit und einen bedeutenden Reichthum in der Anordnung ihrer Rippenſyſteme. Die Sucht nach immer reicheren Formen in der Geſtaltung dieſer Gewölbe führte zu den üppigſten, ja zuweilen phantaſtiſchſten Durchbildungen, die, wenn auch in mancher Beziehung überraſchend und lehrreich, doch zuweilen äuſserſt willkürlich erſcheinen muſsten.

Trotz des Aufwandes von vielem Fleiſs und groſser Kunſtfertigkeit wurde die Harmonie derartiger Gewölbanlagen, welche der Spätzeit der Gothik angehören, doch ſtark beeinträchtigt.

Die Kreuzgewölbe, dieſe wichtigen und hervorragenden Gewölbbildungen des romaniſchen und des gothiſchen Bauſtils, laſſen ſich nach dem Vorhergegangenen, um für die in der Jetztzeit zu ſchaffenden Kreuzgewölbe die Conſtructionen überſichtlich beſprechen zu können, in zwei Hauptgruppen zerlegen:

1) in Kreuzgewölbe mit vorwiegend cylindriſchen Gewölbkappen oder die cylindriſchen Kreuzgewölbe, wie ſolche bei dem römiſchen und dem älteren romaniſchen Gewölbe vorhanden waren, und

2) in Kreuzgewölbe mit Rippenſyſtem und dazwiſchen gewölbten Kappen, welche das eigentliche gothiſche Kreuzgewölbe bilden.

Beide Gewölbarten ſollen in ihrer beſonderen Conſtruction in Folgendem näher behandelt werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

14. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Beſonderen.

a) Cylindriſche Kreuzgewölbe.

1) Geſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

238. Geſtaltung.

Die Geſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe iſt in den allgemeinen Grundzügen in Art. 235 (S. 339), bezw. Art. 236 (S. 341) beſprochen und in Fig. 419 bis 422 veranſchaulicht worden.

Bei dieſen Gewölben iſt im Beſonderen, ſo weit eine einfachere Geſtaltung derſelben berückſichtigt wird, zu bemerken, daſs

α) die Anzahl der Gewölbkappen der Seitenzahl des Grundriſſes des zu überwölbenden Raumes entſpricht;

β) die Stirnbogen oder Leitlinien dieſer Kappen in der Regel ſämmtlich eine gleiche Pfeilhöhe erhalten;

γ) die Axen der Kappen gerade Linien ſind, welche ſämmtlich in der wagrechten Kämpferebene liegen und, von den Mitten der wagrechten Projectionen der Stirnbogen auslaufend, ſich in einem gemeinſchaftlichen Punkte der Grundriſsfigur des Gewölbes ſchneiden; dieſer gemeinſchaftliche Punkt iſt die wagrechte Projection des Gewölbeſcheitels; meiſtens fällt derſelbe mit dem Schwerpunkte der Grundriſsfigur zuſammen;

δ) die wagrechten Projectionen der Schnitt- oder Durchdringungslinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen gerade Linien ſind, welche von den Ecken der Grundriſsfigur nach der wagrechten Projection des Gewölbeſcheitels gezogen werden können; dieſe Schnittlinien liefern die Diagonalbogen, Gratlinien oder Grate des Kreuzgewölbes;

ε) die an den Ecken der Grundriſsfigur zuſammentretenden Stirn- und Gratlinien des Gewölbes ihren Gewölbefuſs in der wagrechten Kämpferebene erhalten;

ζ) die Scheitellinien der Gewölbkappen gerade Linien ſind, welche vom Scheitelpunkte der Stirnbogen nach dem Scheitelpunkte des ganzen Gewölbes zu ziehen ſind; dieſe geraden Linien ſind entweder wagrecht oder nach dem Gewölbeſcheitel aufſteigend; im letzteren Falle iſt derſelbe höher liegend angenommen, als die Scheitelpunkte der Stirnbogen, ſo daſs hierdurch das cylindriſche Kreuzgewölbe mit »Stechung« oder mit »Stich« entſteht.

Die Grundriſsfigur eines cylindriſchen Kreuzgewölbes kann irgend eine ebene geradlinige, unter Umſtänden auch eine gemiſchtlinige, alſo hierbei eine von geraden und krummen Linien begrenzte Figur ſein.

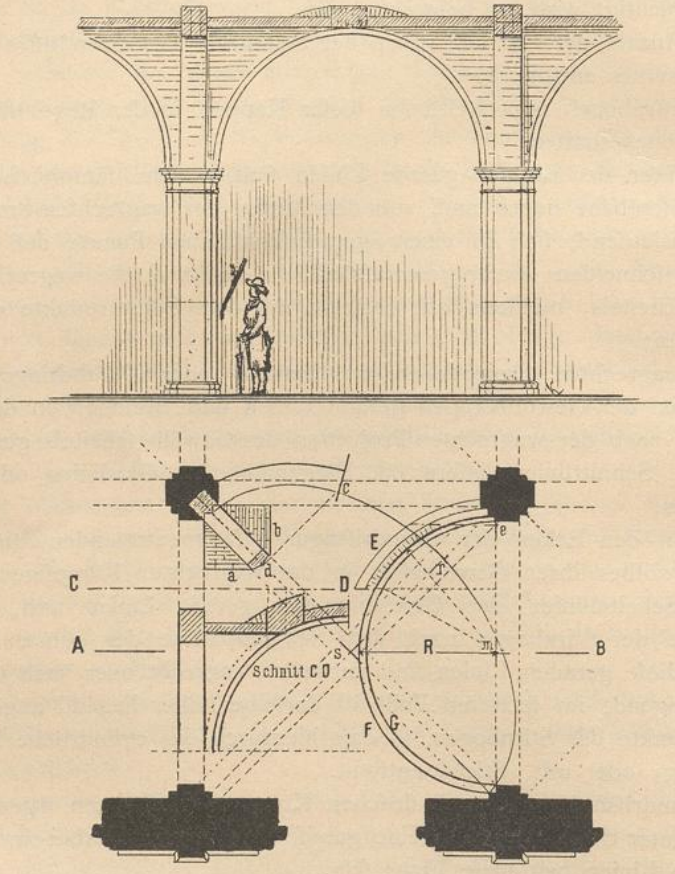
Je nachdem die Grundriſsfigur des Kreuzgewölbes regelmäſsig oder unregelmäſsig gebildet iſt, unterſcheidet man auch regelmäſsige und unregelmäſsige Kreuzgewölbe.

Werden die Umfangsmauern des Raumes, welche ſämmtlich als Stirnmauern des Kreuzgewölbes auftreten, den Rand- oder Stirnbogen entſprechend durch Gurtbogen offen gehalten, welche ihr Widerlager an beſonderen Eckpfeilern des Raumes erhalten, ſo entſteht das offene Kreuzgewölbe. Sind die Stirnmauern, abgeſehen von darin befindlichen Thür- oder Lichtöffnungen, als eigentliche Umfangsmauern angeordnet, ſo erhält man das geſchloſſene Kreuzgewölbe.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Iſt die Kämpferebene eines Kreuzgewölbes, z. B. bei Treppenanlagen, eine geneigte Ebene, ſo entſteht das anſteigende Kreuzgewölbe. Sind die Wölblinien der Gewölbkappen flache, geſetzmäſsig gebildete ebene krumme Linien, ſo entwickelt ſich das flachbogige oder flache Kreuzgewölbe, auch Kreuzkappengewölbe genannt. So mannigfach die Geſtaltung des Kreuzgewölbes im Zuſammenhange mit der Form ſeines Grundriſſes und den grundlegenden Wölblinien der cylindriſchen Gewölbkappen auch vorgenommen werden kann, ſo bleibt doch immerhin die eigentliche Ausmittelung der Hauptbeſtandtheile des Kreuzgewölbes, d. h. der Stirnlinien und der Gratlinien, verhältniſsmäſsig einfach.

Fig. 429.

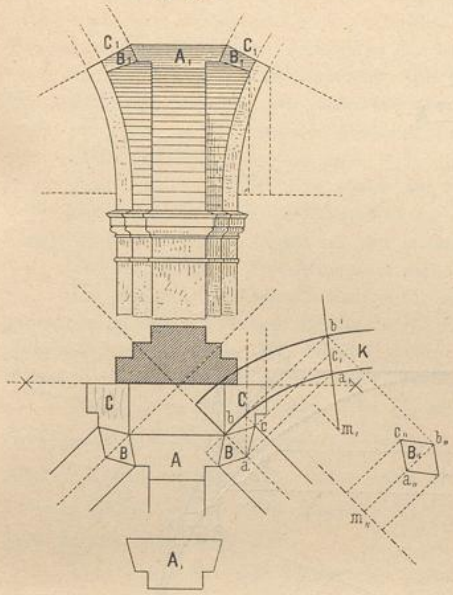


239. Darſtellung des Kreuzgewölbes.

Am leichteſten ſind dieſe Ausmittelungen bei einem cylindriſchen Kreuzgewölbe über einem quadratiſchen Raume zu ſchaffen. Ein derartiges Kreuzgewölbe zeigt Fig. 429.

Die Stirnlinien, bezw. die Wölblinien der vier zuſammenſchneidenden Gewölbkappen mit ſich rechtwinkelig in s, dem Schnittpunkte der Diagonalen des quadratiſchen Grundriſſes, kreuzenden Axen, ſind durch den mit R um m beſchriebenen Halbkreis F beſtimmt. Bei der wagrechten Lage der Scheitellinien der ſämmtlichen Gewölbkappen ergiebt ſich die Form der Gratlinien über den Diagonalen des Raumes ohne Schwierigkeit je als eine halbe Ellipſe E mit der groſsen Axe gleich der wagrechten Projection der Gratlinie und der halben kleinen Axe gleich dem Halbmeſſer R der Stirnlinien. Die Gurtbogen des hier gegebenen offenen Kreuzgewölbes ſind ebenfalls Halbkreiſe. Dieſelben ſind mit dem

Fig. 430.



Halbmeſſer me beſchrieben, welcher um ſo viel kleiner als R genommen iſt, wie ſolches der Vorſprung der Vorlage innerhalb der Gurtbogenweite an den Widerlagspfeilern des Kreuzgewölbes bedingt.

Nach Feſtlegen dieſer Beſtimmungsſtücke laſſen ſich, wie aus der Zeichnung hervorgeht, noch die Anſätze a, b der Gewölbkappe am Gratkörper d und eben ſo die Darſtellungen der Schnitte nach AB, bezw. CD leicht ermitteln.

Auch die Anordnung des Anſatzes der Körper der Gurt-, bezw. Stirnbogen und der Gratbogen am Widerlagspfeiler ergiebt ſich nach Fig. 430 unter Anwendung einfachſter Sätze der darſtellenden Geometrie ohne Schwierigkeit. Die Anſatzflächen A, C der Gurt- und Stirnbogen, ſo wie B des Grates gehören Normalebenen an. Für den Grat K iſt eine ſolche Ebene durch die Spur m, b, gekennzeichnet. Für die Gurt- und Stirnbogen iſt die zugehörige Normalebene ſo geführt, daſs die Schnittlinie derſelben am Rücken dieſer Bogen für die Flächen C, wie aus der Anſicht bei C, hervorgeht, dieſelbe Höhenlage wie der Punkt b, am Gratbogen erhält. Wird das ganze Anſatzſtück als ein beſonderes Werkſtück angefertigt, ſo ergiebt ſich ein ſog. Anfänger des Kreuzgewölbes. Die Brettungen $A_{,,}$, $B_{,,}$ für die Anſätze der vom Anfänger ausgehenden Gurtbogen, bezw. Gratbogen laſſen ſich nach den Angaben der Zeichnung austragen.

Hätte der zu überwölbende Raum einen rechteckigen Grundriſs erhalten, ſo müſſte die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach Fig. 422 (S. 343) erfolgen.

Wählt man bei quadratiſchen oder rechteckigen Grundriſſen von vornherein halbe Ellipſen als Stirnbogen, deren Pfeilhöhen gleich ſind, ſo ergeben ſich für die Gewölbkappen elliptiſche Cylinderflächen als Laibungsflächen. Die Gratlinie iſt, wie Fig. 431 ergiebt, wiederum eine halbe Ellipſe.

Fig. 431.

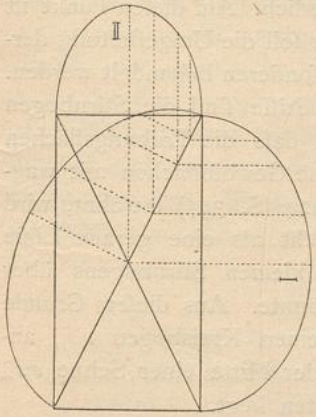
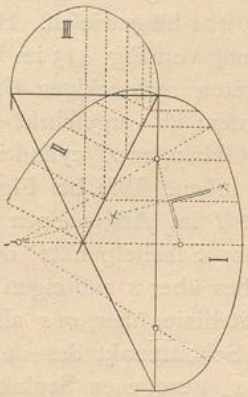


Fig. 432.

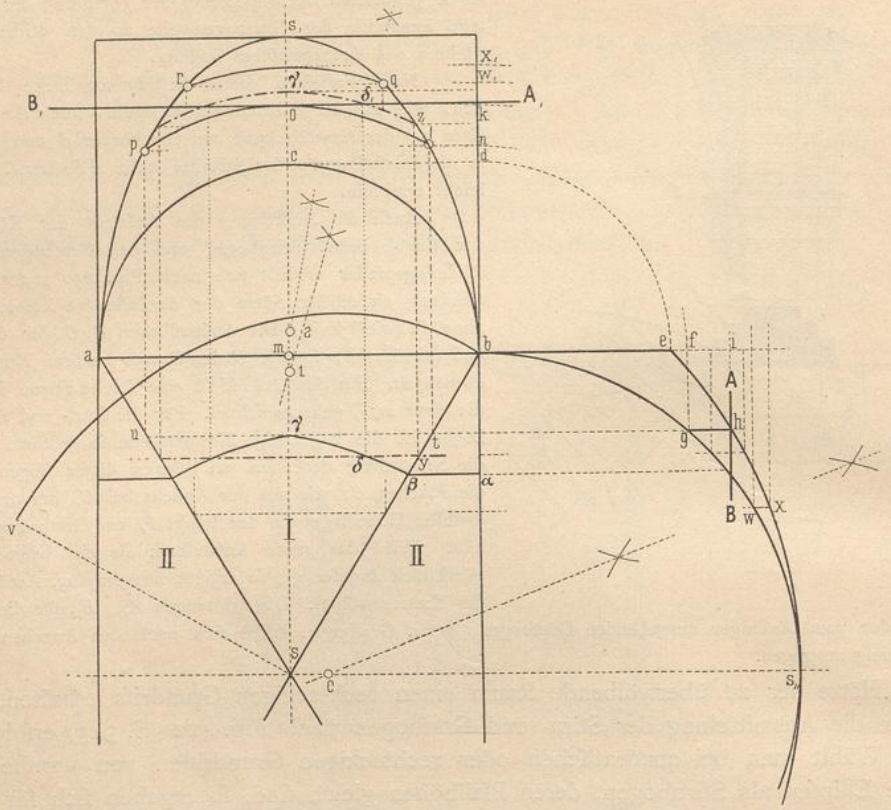


In ganz ähnlicher Weiſe würde man auch irgend eine andere geſetzmäſsig gebildete Curve, z. B. einen Korbbogen I (Fig. 432), als Stirnbogen für eine Seite der Grundfigur annehmen können und, unter Benutzung deſſelben als Grundbogen, den Stirnbogen III und den Gratbogen II auszutragen haben. In allen dieſen Fällen bleiben die Gewölbflächen allgemein immer cylindriſche Flächen, deren höchſte Erzeugende als Scheitellinien des Gewölbes gerade und wagrechte Linien ſind.

Kann bei quadratiſchem Grundriſs jeder Stirnbogen als Halbkreis auftreten und iſt danach beim ganzen Gewölbe die Durchführung gleicher cylindriſcher Gewölbflächen möglich, ſo iſt bei einem rechteckigen Grundriſſe jedoch, ſobald aus architektoniſchen

240. Umgeſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

Fig. 433.



Gründen die Forderung geſtellt wird, daſs bei Stirnbogen für die lange Seite des Rechteckes ſowohl, als auch für die ſchmale Seite deſſelben ein Halbkreis verbleiben ſoll, eine Umgeſtaltung des cylindriſchen Kreuzgewölbes erforderlich. Auf dieſen Punkt iſt bereits in Art. 236 (S. 345) bei Fig. 424 hingewieſen. Hier ſoll die Umgeſtaltung derartiger Kreuzgewölbe unter Benutzung von Fig. 433 im Beſonderen behandelt werden.

Bei dem zur Hälfte gezeichneten rechteckigen Grundriſſe ſind die Stirnbogen als Halbkreiſe feſt gelegt. Auſserdem iſt vorgeſchrieben, daſs die Laibungsflächen der am weiteſten geſpannten Gewölbkappen *II* cylindriſche Gewölbflächen mit wagrecht liegenden Scheitellinien ſein ſollen. Wie bei Fig. 424 (S. 345) erwähnt, wird die Scheitellinie der Gewölbkappe *I* im Allgemeinen nicht als eine gerade Linie auftreten, welche unmittelbar vom Scheitelpunkte des kleinen Stirnbogens über $a\,b$ nach dem Scheitel des Gewölbes über s auffteigen könnte. Aus dieſem Grunde kann man zweckmäſsig die Scheitellinie über $m\,s$ als einen Kreisbogen $e\,s_{,,}$ annehmen, deſſen Mittelpunkt c im Schnittpunkt des auf der Mitte einer Sehne $e\,s_{,,}$ errichteten Lothes mit der durch $s_{,,}$ gezogenen Senkrechten liegt.

Wie aus der Zeichnung zu erſehen, iſt $b\,e$ die lothrechte Projection der Pfeilhöhe des kleinen Randbogens, $s_{,,}$ die Projection des Scheitelpunktes des groſsen Stirnbogens und zugleich des Scheitelpunktes des Gewölbes ſelbſt. Der Gratbogen $b\,v$ über $b\,s$, bezw. über $a\,s$ wird unmittelbar nach dem Grundbogen $b\,s_{,,}$ als Viertelellipſe gefunden. In der lothrechten Projection $b\,s_{,,}$ decken ſich Randbogen und Gratbogen als einer und derſelben vorhin beſtimmten cylindriſchen Fläche angehörend. Für die Erzeugung der Laibungsfläche der Gewölbkappe *I* kann nunmehr der folgende Weg eingeſchlagen werden.

Schneidet man die Gewölbfläche *I* durch eine lothrechte, parallel zu $a\,b$ ſtehende Ebene $u\,t$, ſo

wird die lothrechte Projection $bs_{,,}$ der Gratbogen bs und as in g und die lothrechte Projection $es_{,,}$ der Scheitellinie in h von diefer Ebene gefchnitten. Die hier gewonnene Schnittlinie gh fei die lothrechte Projection eines Kreisbogens, welcher in der Ebene ut als Erzeugende der Gewölbfläche I auftreten foll. Zieht man durch g und h die wagrechten Linien gf, bezw. hi, trägt man $bn = bf$ und $bk = bi$ in der lothrechten Projection des Gewölbes über der Seite ab ab, fo fchneidet eine durch n geführte wagrechte Linie die lothrechten Projectionen $as_{,}$ und $bs_{,}$ der Gratbogen in den Punkten p und l, während eine durch k geführte wagrechte Linie $A,B,$ die lothrechte Projection $cs_{,}$ der Scheitellinie der Gewölbkappe I im Punkte o trifft. Der durch die erhaltenen drei Punkte p, l und o beftimmte Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in 1 auf der lothrechten $s,1$ liegt, ift eine Erzeugende der Gewölbfläche I. In gleicher Weife ift auch für eine Ebene wx der erzeugende Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte 2 gefunden.

Die Gewölbfläche I wird hiernach eine kugelförmige (fphäroidifche) Fläche.

Ein wagrecht geführter Schnitt AB, bezw. $A,B,$ liefert die Schnittlinie $\alpha\beta\gamma$ u. f. f. Hiervon gehört die gerade Strecke $\alpha\beta$ der geraden Cylinderfläche II an, während die Curve $\beta\gamma$ der fphäroidifchen Gewölbfläche I zukommt. Ein Punkt δ diefer Curve liegt im Durchftofspunkte eines erzeugenden Kreisbogens z mit der Geraden $A,B,$, wobei gleichzeitig diefer Kreisbogen der lothrechten Ebene y angehört.

241. Kreuzgewölbe mit Stechung.

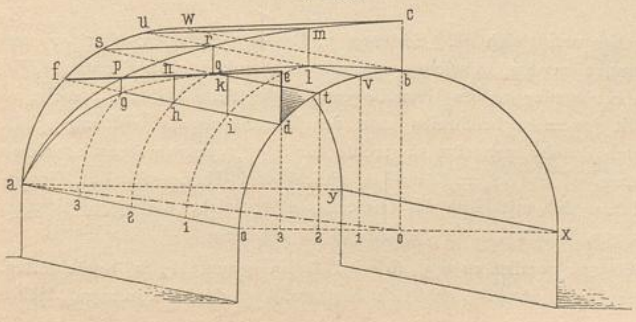
Bei diefer Anordnung der Gewölbflächen ift der Scheitelpunkt des Gewölbes in Bezug auf den höchften Punkt des Randbogens der Gewölbkappen I um ein Mafs $cs_{,}$ höher gelegt. Man bezeichnet diefes Anfteigen der Gewölbkappen, wie bereits gefagt, mit dem Namen Stechung oder Stich. Für die Kappen II tritt hier keine Stechung auf.

Das Mafs für die Höhe der Stechung kann nach Wunfch mehr oder weniger bedeutend genommen werden, je nachdem der Scheitel des Kreuzgewölbes in Bezug auf die Scheitelpunkte der Stirnbogen deffelben mehr oder weniger gehoben erfcheinen foll.

Ein ungefähres Mafs diefer Stichhöhe ift $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}$ der ganzen Weite des gröfsten Gratbogens.

Bei den einfachen cylindrifchen Kreuzgewölben, gleichgiltig, welche Grundrifsform dabei vorliegt, kann man aber jeder Gewölbkappe eine Stechung geben. Dabei nimmt man in der Regel, ausgehend von einem einzigen Stirnbogen, die Pfeilhöhen fämmtlicher Stirnbogen gleich und geftaltet diefe Stirnbogen vollftändig abhängig vom gewählten Grundbogen. Die Erzeugenden der Gewölbflächen find von den Stirnbogen aus anfteigende gerade Linien, welche von entfprechend liegenden Punkten der Stirnbogen auslaufen. Diefe Linien liegen in lothrechten Ebenen, welche für jede Kappe parallel der Kappenaxe ftehen. Sie fchneiden fich in entfprechenden Punkten der Gratbogen von je zwei zufammentreffenden Kappen. Die höchften diefer erzeugenden Linien find die anfteigenden Scheitellinien der Kappen. Sie endigen fämmtlich im Scheitelpunkte des nunmehr durchweg mit Stechung verfehenen Kreuzgewölbes. Bei diefer Umformung der Gewölbflächen bleibt bei der beftimmt vorgefchriebenen Abhängigkeit der Stirnbogen und weiter auch der Gratbogen das Wefen der cylindrifchen Kreuzgewölbe noch gewahrt.

Fig. 434.

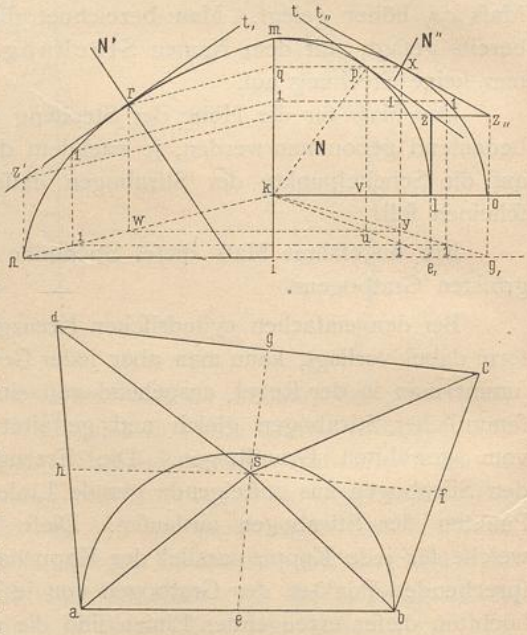


Ift $oayx$ in Fig. 434 der Grundrifs der halbkreisförmigen geraden Cylinderfläche mit dem Stirnbogen awy, bezw. obx und fchneidet man diefe Fläche durch die lothrechte Ebene aob, fo ergiebt

ſich als Schnittlinie die Viertelellipſe $agqlb$. Dieſelbe kann als Gratlinie an einer halbkreisförmigen Kappe eines Kreuzgewölbes ohne Stechung angeſehen werden.

Die höchſte Erzeugende oder die Scheitellinie dieſer Kappe würde die wagrechte Linie wb ſein. Soll nun der Punkt b um eine Höhe bc gehoben werden, ſo nimmt die Scheitellinie die Lage wc an. Theilt man den Halbmeſſer oo in beliebig viele gleiche Theile, z. B. hier in vier Strecken, ein und legt man durch dieſe Theilpunkte 1, 2, 3 lothrechte, zu oa, bezw. zur Axe der Cylinderfläche parallele Ebenen, ſo erhält man die wagrechten Erzeugenden uv, st, fd als Schnittlinien auf der Cylinderfläche. Läſſt man nun wiederum jede dieſer Erzeugenden, z. B. fd, für den Punkt d um die Höhe de gleich der für wb feſt geſetzten Höhe bc heben, ſo iſt fe eine Erzeugende der mit Stechung behafteten neuen Cylinderfläche. Die Ebene aob ſchneidet, gehörig erweitert, dieſe neue Cylinderfläche in einem Ellipſenſtücke $aprmc$. Einzelne Punkte dieſer Curve laſſen ſich leicht beſtimmen. Theilt man oa ebenfalls in ſo viele gleiche Theile ein, als für oo genommen waren, alſo hier in vier Strecken, und legt man durch dieſe Theilpunkte lothrechte, mit der Stirnebene obx parallel ſtehende Ebenen, ſo wird die urſprüngliche Cylinderfläche nach Halbkreiſen geſchnitten, welche die Viertelellipſe ab der Reihe nach in den Punkten g, q und l treffen, während die Halbkreiſe 3, 2 und 1 z. B. die Erzeugende fd in den Punkten g, h und i ſchneiden. Entſprechend der anſteigenden Erzeugenden fe, bezw. wc der neuen Cylinderfläche muſs der Punkt g der Ebenen 3 und 3 um gp, der Punkt q der Ebenen 2 und 2 um $qr = hn$ und der Punkt l der Ebenen 1 und 1 um $lm = ik$ gehoben werden, um den proportionalen Theilungen der Strecken oo und oa entſprechend auch proportionale Höhen des Stechungsmaſses de, bezw. bc für die neue Schnittlinie ac, bezw. für die Erzeugenden der neuen Cylinderflächen zu erhalten. Derartige Erzeugende ſind fp, sr, um und wc.

Fig. 435.



Bei cylindriſchen Kreuzgewölben mit Stechung über einem unregelmäſsigen Grundriſs erfolgt die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach dem gewählten Grundbogen gleichfalls in der eben beſchriebenen Weiſe. Man kann ſich dabei des in Fig. 435 benutzten Verfahrens bedienen.

Das unregelmäſsige Viereck $abcd$ ſei der Grundriſs eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Stechung. Der Schwerpunkt s des Viereckes iſt die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes. Die von s nach den Ecken a, b, c und d gezogenen geraden Linien ſind die wagrechten Projectionen der Gratbogen. Für eine Seite ab, deren Länge etwa der durchſchnittlichen Länge von allen vier Seiten entſpricht, iſt der Grundbogen des Kreuzgewölbes als Halbkreis angenommen. Die Axen der Gewölbkappen se, sf, sg und sh ſind gerade Linien, welche von s nach den Mitten der Seiten gezogen wurden.

Das Maſs der Stechung ſei gegeben und gleich ik. Soll nun z. B. der Gratbogen über cs und ein Stirnbogen für die Seite cd ausgetragen werden, ſo zeichne man das rechtwinkelige Axenkreuz mi, ko, wobei die Lothrechte mk gleich dem Halbmeſſer ea des Grundbogens für die Seite ab, die Strecke ki gleich der gegebenen Stechung iſt. Mit $km = ea$ beſchreibe man den Viertelkreis ml; alsdann erhält man die Hälfte des Grundbogens. Durch i ziehe man eine wagrechte Linie ng_1, nehme $in = sc$ gleich der Weite des geſuchten Gratbogens über cs, und $ie_1 = kl = km$ gleich dem Halbmeſſer des Grundbogens. Zieht man ke_1 und kn, ſo laſſen ſich mit Hilfe des Dreieckes nke_1 leicht die proportionalen Theilungen für den Grund- und Gratbogen, ſo wie für die Stechungshöhe ermitteln.

Zieht man ganz beliebig die Linie wu parallel zu ne_1, ſo wird kn in w und ke_1 in u geſchnitten. Führt man durch dieſe Punkte parallele Linien zu km, ſo trifft der Strahl up den hier nur zur Hälfte

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gezeichneten Grundbogen ml im Punkte p. Führt man durch p die Gerade pq parallel zu ne, und durch den auf km gelegenen Punkt q eine Parallele qr zu kn, fo ift der Schnitt r diefes Strahles mit wr ein Gratbogenpunkt.

Ein in gleicher Weife geführter Linienzug $1 \ldots 1$ liefert den Gratbogenpunkt 1 u. f. f.

Nach der Zeichnung ift $vp = wr$. Wäre keine Stechung vorhanden, fo würde der Punkt r nur um das Mafs wr, bezw. vp über der wagrechten Linie (Kämpferlinie) ni liegen. Beim Vorhandenfein der Stechung ift aber die Strecke wr um daffelbe Mafs zu vermehren, als die wagrechte Linie wu, von welcher der Punkt r abhängig ift, über der Linie ni fich erhebt. Im Punkte n ift die Stechungshöhe gleich Null; im Punkte i ift diefelbe gleich ik. Proportionale Theilungen der Strecken kn und ke, durch die Strahlen wu, 11 u. f. f. liefern auch proportionale Stechungshöhen.

Für den Stirnbogen der Seite cd ift nur die Austragung feiner Hälfte nothwendig, da hiernach die andere Hälfte deffelben leicht hinzugefügt werden kann. Da für diefen Bogen keine Stechung, fondern nur eine proportionale Theilung feiner Weite in Frage kommt, fo wird zunächft $ko = ig, = cg$ abgetragen und die Linie kg, gezogen. Der verlängerte Strahl wu fchneidet kg, in y. Die Lothrechte yx wird von der verlängerten Geraden qp, wobei p dem Schnitt der Geraden wu mit ke, entfpricht, im Punkte x des gefuchten halben Stirnbogens mo getroffen. In gleicher Weife ift für den Punkt 1 u. f. f. diefes Stirnbogens zu verfahren. Will man für die Punkte r und x, welche vom Punkte p des Grundbogens abhängig find, die Normale $N_,$, bezw. $N_{,,}$ feft legen, fo führt man in p die Tangente tz an den Bogen ml. Diefe Tangente trifft das in l auf kl errichtete Loth in der Höhe lz. Trägt man auf den Lothrechten nz, und $oz_{,,}$ diefe Höhe ab, fo dafs $nz, = oz_{,,} = lz$ ift, zieht man alsdann die Strahlen $z,t,$ durch r und $z_{,,}t_{,,}$ durch x, fo find diefelben Tangenten in den Elementen r und x der zugehörigen Grat-, bezw. Stirnlinie. Die in r und x auf $z,t,$, bezw. $z_{,,}t_{,,}$ errichteten Lothe find die gefuchten Normalen in diefen Elementen. Nach diefen Angaben find in einem und demfelben Plane fämmtliche Grat- und Stirnbogen eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung ohne Schwierigkeit zufammenzutragen.

Bemerkt fei noch, dafs beim Halbkreife als Grundbogen der hiervon abhängig gemachte Gratbogen einer Ellipfe angehört, wofür bei der gewählten Stechung ik die Geraden kn und km halbe conjugirte Durchmeffer find. Die reellen Axen diefer Ellipfe können nach dem in Art. 135 (S. 176) Mitgetheilten ermittelt werden. Der Stirnbogen für cd wird hier eine Halbellipfe mit der halben grofsen Axe ko und der halben kleinen Axe km.

Wird ftatt der geraden Stechungslinie eine Bogenlinie in Anwendung gebracht, fo entftehen Kreuzgewölbe mit »Bogenftich«. Die Gewölbflächen werden alsdann fphäroidifch.

Die Ausmittelung der Grat- und Stirnbogen könnte, wie in Fig. 433 für die Gewölbkappe I gezeigt ift, für alle Kappen durchgeführt werden, oder diefelbe wird, wie Fig. 436 angiebt, vorgenommen. In derfelben ift gef eine Ecke irgend eines unregelmäfsigen Kreuzgewölbes. Für die Seite ef fei ein Halbkreis als Grundbogen für das Kreuzgewölbe gewählt. Die Scheitellinie der Gewölbkappe esf fei die beliebig angenommene Bogenlinie ik; diefelbe beftimmt den Bogenftich.

Um irgend einen Punkt o des Gratbogens C über t auf es zu beftimmen, zieht man durch t die Gerade tr parallel zur Axe si der Grundbogenkappe. Diefelbe ift die wagrechte Projection einer Erzeugenden diefer Kappe. Ihr Endpunkt am Stirnbogen befitzt die lothrechte Entfernung $r2 = b$ über der Kämpferebene, während ihr Endpunkt am Gratbogen eine Höhe $to = b + y$ über diefer Ebene annimmt. Der Zuwachs y von b entfpricht dem für den Gratpunkt o entftehenden Mafse des Bogenftiches. Um diefes Mafs zu erhalten, ift parallel zu ef eine lothrechte Ebene tw zu führen, welche für die Stechungslinie in Bezug auf is die Ordinate y liefert. Für den Stirnbogen B ergiebt fich unter Benutzung der von t parallel zu sm angegebenen Erzeugenden tv fofort die Höhenlage des Punktes 2 als $v2 = b$ über der Kämpferebene.

Unter Beobachtung der Bezeichnungen in Fig. 436 läfft fich die Beftimmung einer gröfseren Anzahl von Punkten des Gratbogens C, des Stirnbogens B und auch der Scheitellinie ml der zweiten Gewölbkappe esg ohne Weiteres treffen. Wäre hier ftatt der Bogenftichlinie ik eine gerade Stechungslinie gegeben, fo hätte das Austragen der Grat- und Stirnlinien unter Benutzung diefer Stechungslinie nach

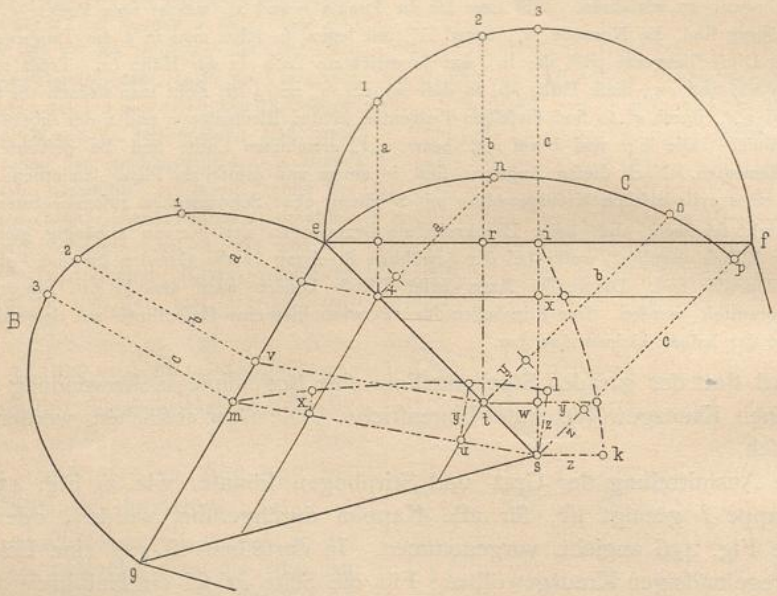
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einem gleichen Verfahren ſtattfinden können. Daſſelbe entſpricht der bereits in Art. 135 (S. 174) erwähnten ſog. Vergatterung.

242. Kreuzkappengewölbe.

Iſt der Grundbogen irgend ein Flachbogen, ſo iſt das Feſtlegen der Gratbogen, Stirnlinien, Scheitellinien u. ſ. f. für ein nun entſtehendes flaches Kreuzgewölbe oder Kreuzkappengewölbe mit oder ohne Stechung unter Benutzung einer geraden oder einer bogenförmigen Stechungslinie nach dem Vorgetragenen gleichfalls zu bewirken. Bei ſehr flachen cylindriſchen Kreuzkappengewölben treten die Grate mit nur geringer Ausprägung vor den Wölbflächen auf, wenn nicht vorweg eine groſse Stechungshöhe angenommen wird. Aus dieſem Grunde wählt man für derartige Gewölbe zweckmäſsig einen Bogenſtich, um dann ſphäroidiſche Gewölbkappen zu ſchaffen, welche die Form des Kreuzgewölbes zum ſchärferen Ausdruck bringen, als die cylindriſchen

Fig. 436.



Kappen. Für den Grundbogen dieſer Gewölbe kann man paſſend $^1/_3$ bis $^1/_4$ ſeiner Spannweite zur Pfeilhöhe annehmen.

243. Steigende Kreuzgewölbe.

Die ſteigenden Kreuzgewölbe finden bei Treppenanlagen mehrfach Anwendung. Ihre Geſtaltung richtet ſich vollſtändig, obgleich ihre Kämpferebene eine ſchiefe Ebene iſt, nach den für das Kreuzgewölbe mit wagrechter Ebene angeführten grundlegenden Ausmittelungen.

In Fig. 437 iſt die Entwickelung der Hauptſtücke für ein cylindriſches ſteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Grundriſs mit einem Halbkreiſe als Randbogen für die kleinen Rechtecksſeiten ac und bd und einer Stichhöhe ik unter Benutzung der ſog. Vergatterung vollſtändig gegeben. Aus der Zeichnung ſind ohne Weiteres die Beſtimmungen der Gratbogen in C, der Stirnbogen über ab und cd in B, ſo wie die Anhaltspunkte für die Darſtellung der Projection der Gewölbflächen in D zu entnehmen.

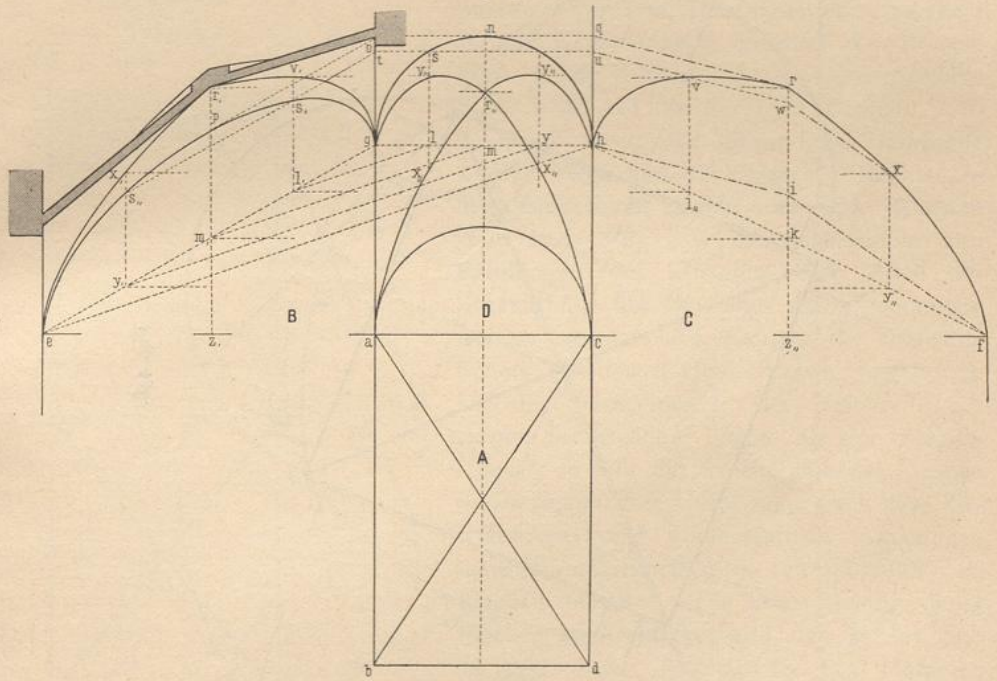
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Steigende Kreuzgewölbe können gleichfalls eine Geſtaltung als flache ſteigende Kreuzkappen erhalten. Dann ſind jedoch hierfür wieder paſſender, ſtatt cylindriſcher Kappen, ſolche mit Bogenſtich anzuwenden. Daſſelbe gilt auch für ſteigende Kreuzgewölbe mit verhältniſsmäſsig groſser Längenausdehnung, damit alsdann bei dieſen Gewölben die Gratlinien ſcharf ausgeprägt erſcheinen.

244. Kegelförmige Kreuzgewölbe.

Bei Kreuzgewölben über quadratiſchen Grundriſſen ſind beim Feſtſtellen der ſämmtlichen Stirnbogen als gleiche Halbkreiſe die Laibungsflächen der Gewölbkappen oft zweckmäſsig je für ſich als Flächen eines geraden Kegels mit wagrechter, in der Kämpferebene liegender Axe einzuführen. Dieſe Ueberleitung der cylindriſchen Gewölbflächen in Kegelflächen bietet einige Vortheile. Die Gratbogen treten mehr ſpitzbogenartig auf und erſcheinen freier gehoben, als die Gratbogen der ſelbſt mit

Fig. 437.



Stechung behafteten cylindriſchen Kreuzgewölbe über quadratiſcher Grundfläche. In Folge hiervon iſt auch das Emporſteigen der Kappenflächen ausdrucksvoller.

In Fig. 438 iſt die Geſtaltung eines ſolchen Kreuzgewölbes für den quadratiſchen Grundriſs *abcd* entwickelt.

Der durch die Ecken *abd* des Grundriſſes gelegte Halbkreis mit dem Halbmeſſer *sa* ſoll für die zu erzeugenden Kegelflächen maſsgebend werden. Die Kegelaxe *X* geht durch *s*, d. i. durch die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes, und ſteht rechtwinkelig auf der Seite *ac*. Das in *s* auf der Axe *X* errichtete Loth trifft den bezeichneten Halbkreis in *e*. Die durch *e* und *a* bis *m* auf *X* geführte Gerade iſt eine in der Kämpferlinie liegende äuſserſte Seitenlinie; der Punkt *m* iſt die Spitze des Kegels und die von *m* durch *c* bis *v* gezogene gerade Linie eine zweite äuſserſte Seitenlinie deſſelben.

Da aufserdem durch jede rechtwinkelig zur Kegelaxe geführte Ebene der Kegel nach einem Kreiſe, bezw. die Kegelhälfte nach einem Halbkreiſe geſchnitten werden ſoll, welcher für die Ebene *ac* der Stirnbogen des Gewölbes wird, ſo iſt nunmehr die in Benutzung zu nehmende Kegelfläche vollſtändig beſtimmt. Schneidet man dieſe Kegelfläche nach *av* in der Richtung der Gratebene, ſo wird die Schnittlinie eine

Ellipſe mit der halben groſsen Axe $a o = o v$ und der halben kleinen Axe $o p$. Letztere ergiebt ſich mit Hilfe des Kegelſchnittes der Ebene $r t$, wie aus der Abbildung zu erſehen, als das Loth $q o$ auf $t o$.

Das Stück $a n b$ dieſer Ellipſe iſt der Gratbogen über $a s$. Dieſem Ellipſenſtücke entſprechen auch

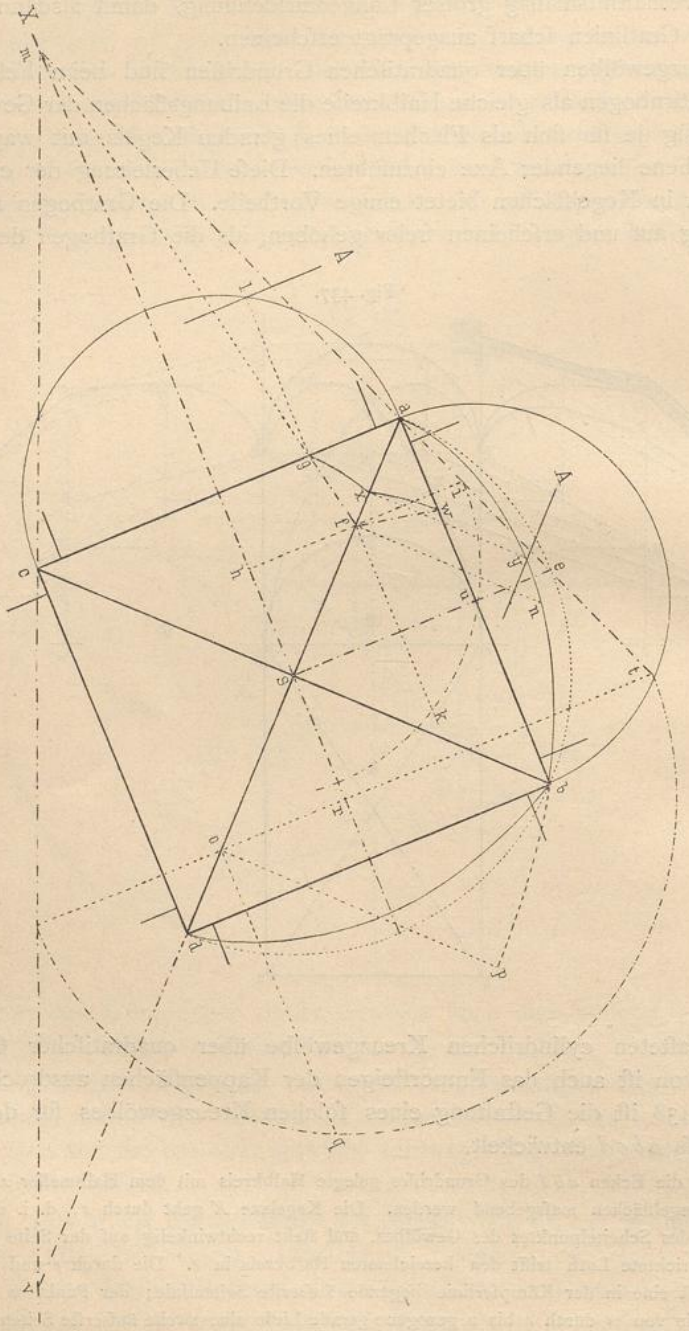


Fig. 438.

die Gratbogen über $d s$, $b s$ und $e s$. Zwiſchen denſelben liegen die Kegelflächen, welche ebenfalls der Kegelfläche über $a s c$ entſprechen, für welche die Ausmittelung vorgenommen wurde. Eine wagrechte Ebene A würde eine Schnittlinie mit der wagrechten Projection $g x w$ liefern. Dieſelbe iſt, wie aus der Zeichnung hervorgeht, mit Hilfe der Projectionen der Erzeugenden $m f$, bezw. $f w$ der ſich durchdringenden

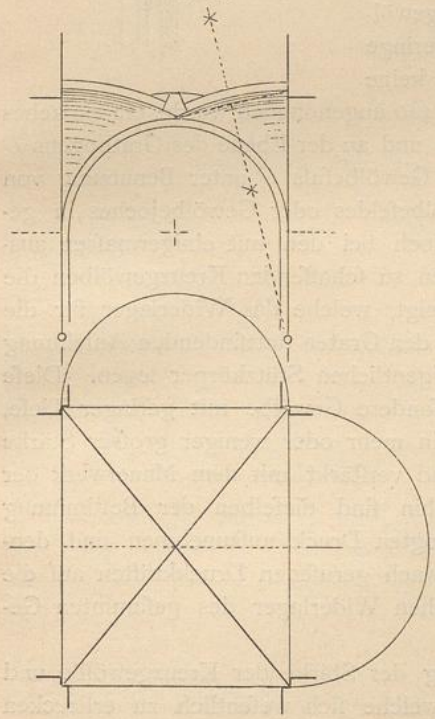
Kegelflächen leicht zu beſtimmen. Bei der Gleichheit dieſer Kegelflächen iſt $ag = aw$. Noch ſei bemerkt, daſs auch $fn = fk$ iſt. Die Scheitellinien der Wölbflächen ſind offenbar Theile höchſter Seitenlinien der Kegelflächen, und danach iſt die Stechungshöhe ue auch ohne Weiteres mittels der äuſseren Seitenlinie ae zu erhalten.

Will man bei rechteckigen oder auch bei unregelmäſsigen Grundriſſen kegelförmige Kappen mit cylindriſchen oder ſphäroidiſchen Gewölbflächen vereinigen, ſo betrachtet man die Kegelfläche einer einzelnen Kappe als Ausgangsfläche und bringt alle übrigen Gewölbflächen davon in Abhängigkeit. Hierbei hat man nur wiederholt das im Vorhergehenden Geſagte in Anwendung zu bringen, ſo daſs beſondere Erörterungen hierzu nicht nöthig werden.

245. Kreuzgewölbe mit geſenktem Scheitel.

Den Gegenſatz zu den Kreuzgewölben mit Stechung, bezw. mit wagrecht liegenden Scheitellinien bilden die Kreuzgewölbe mit geſenktem Scheitelpunkte. Dieſer Punkt liegt alsdann entweder tiefer als die Scheitelpunkte ſämmtlicher Stirnbogen, oder nur tiefer als die Scheitelpunkte einzelner Randbogen. Eine ſolche Geſtaltung der Kreuzgewölbe kann wohl bei rechteckigen Räumen vorkommen, wenn alle Stirnbogen Halbkreiſe werden ſollen und die Länge des Rechteckes ſeine Breite nicht zu ſehr überwiegt. Alsdann kann nach Fig. 439 die Scheitelhöhe des Randbogens der ſchmalen Seite gleich der Scheitelhöhe des Gewölbes ſelbſt genommen werden, ſo daſs die Kappen der ſchmalen Seiten geraden Cylinderflächen angehören. Da die Scheitelpunkte der Halbkreiſe der langen Seiten höher liegen, als der Gewölbſcheitel, ſo fällt die Scheitellinie der Kappen dieſer Seiten vom Stirnbogen nach dem Gewölbſcheitel ab. Dieſe Kappen werden alsdann am zweckmäſsigſten mit ſphäroidiſchen Flächen behaftet. Die Ausmittelung dieſer Flächen kann entſprechend den in Art. 236 (S. 345), bezw. Art. 240 (S. 353) Geſagten erfolgen. Im Allgemeinen iſt die Anordnung von cylindriſchen Kreuzgewölben mit geſenktem Scheitel von weniger günſtigem Eindrucke begleitet, als diejenige, wobei den Gewölbkappen eine entſprechende Stechung gegeben iſt.

Fig. 439.



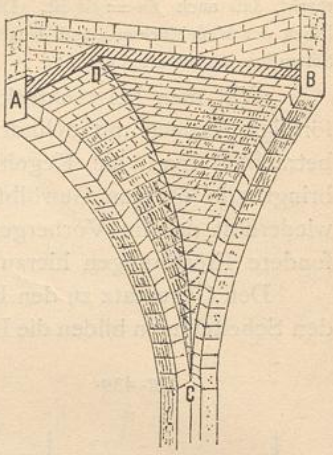
2) Stärke der cylindriſchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

246. Grundlagen.

Die Gewölbkappen der cylindriſchen Kreuzgewölbe ſind Theile eines Tonnengewölbes, welche in der Ebene der Grate in Verbindung, bezw. in einer Schnittfläche zuſammentreten oder beſſer an einem ſelbſtändig ausgeführten Gratkörper ihr Widerlager finden. Wie das Zuſammenfügen der Gewölbkappen auch vorgenommen wird, immer wird im Weſentlichen die Summe der im Gewölbſyſtem eines Kreuzgewölbes durch ſein Eigengewicht und ſeine Belaſtung wach gerufenen Kräfte auf den in der Kämpferebene gelegenen Fuſs der Gewölbkappen übertragen. Da für

die zuſammengefügten Kappen die Fuſsflächen ſich ſtreng genommen auf eine gerade Linie herabmindern würden, ſo folgt, daſs bei den Kreuzgewölben in der Ausführung für den Gewölbefuſs nicht eine Linie, bezw. eine Schneide, ſondern eine wirkliche Widerlagsfläche mit darunter befindlichem Stützkörper zu ſchaffen iſt. Dieſe Stützkörper, welche immer am Fuſse der zuſammentretenden Stirn- und Gratbogen, alſo, der Geſtaltung des Kreuzgewölbes gemäſs, an den Ecken der mit Kreuzgewölben zu überdeckenden Räume oder an den Ecken der einzelnen Raumabtheilungen gröſserer Räume anzulegen ſind, bilden die Widerlager der Gewölb-Conſtruction.

Fig. 440.



Wenn nun auch bei untergeordneten Kreuzgewölben, d. h. ſolchen Gewölben, welchen nur eine geringe Spannweite und auſser ihrem Eigengewichte keine weitere Belaſtung zugewieſen wird, wie nach Fig. 440 angenommen wurde, ein einfaches Zuſammenfügen der Gewölbkappen *A* und *B* in und an der Ebene des Gratbogens *D* möglich iſt und hiernach ein Stützkörper am Gewölbefuſs *C* unter Benutzung von beſonderen Gurt- oder Scheidebogen des Gewölbefeldes oder Gewölbejoches in geeigneter Weiſe gebildet werden kann, ſo iſt doch bei den mit einigermaſsen ausgedehnteren Spannweiten in gewöhnlichen Fällen zu ſchaffenden Kreuzgewölben die Herſtellung von beſonderen Gratkörpern angezeigt, welche das Widerlager für die Gewölbkörper auf der ganzen Strecke ihrer an den Graten ſtattfindenden Anlehnung bieten und in ihren Fuſsflächen ſich auf den eigentlichen Stützkörper legen. Dieſe Körper der Grate werden zweckmäſsig als beſondere Gewölbe mit geringer Tiefe, gleichſam als Träger der Kreuzgewölbkappen, in mehr oder weniger groſser Stärke ſelbſtändig für ſich ausgeführt oder entſprechend verſtärkt mit dem Mauerwerk der Kappen in Zuſammenhang gebracht. Immerhin ſind dieſelben der Beſtimmung unterworfen, den von den Gewölbkappen erzeugten Druck aufzunehmen und denſelben in Verbindung mit den in ihnen ſelbſt wach gerufenen Druckkräften auf die vorhin bezeichneten Stützkörper oder eigentlichen Widerlager des geſammten Gewölbſyſtems zu übertragen.

Aus dieſen Gründen ſind zur Ermittelung der Stärke der Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager Unterſuchungen anzuſtellen, welche ſich weſentlich zu erſtrecken haben auf die Stabilität:

α) der Gewölbkappen,

β) der Gratbogen und

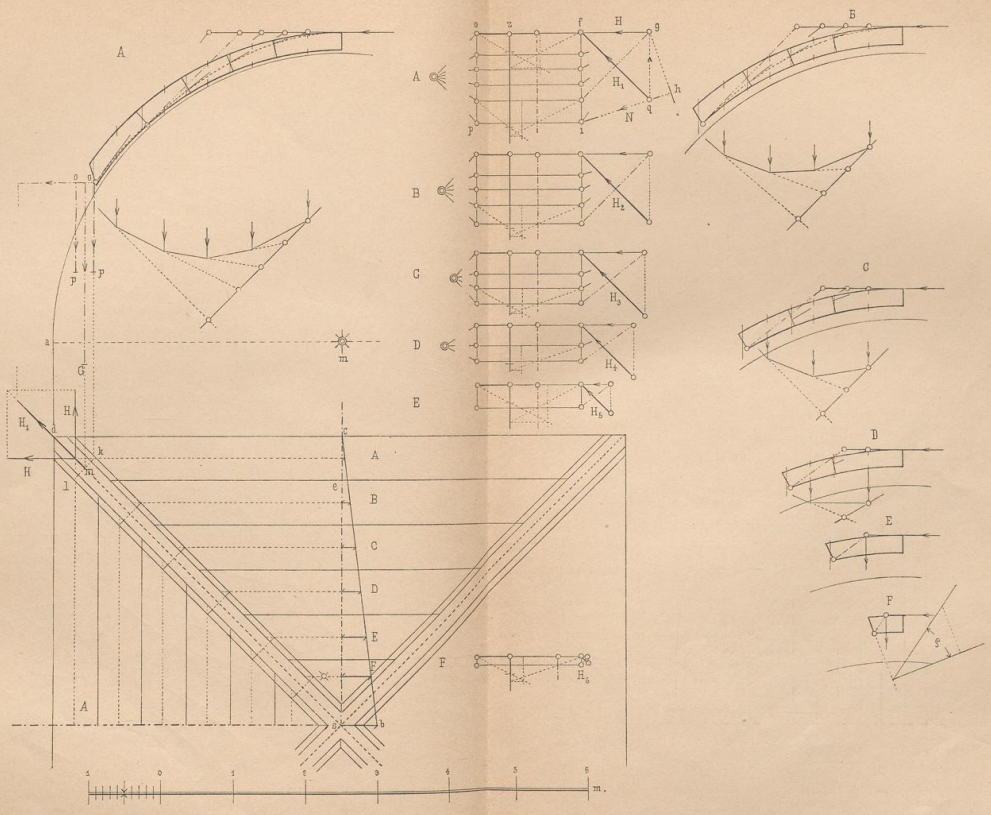
γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

Hierzu kommt noch bei der beſonderen Einwölbungsart der cylindriſchen Kreuzgewölbe auf Schwalbenſchwanz-Verband die Unterſuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

247. Verfahren.

Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einſchlieſslich ihrer Belaſtung, durch lothrechte und parallel zu ihrer Stirnmauer geſtellte Ebenen in einzelne ſchmale Elementarſtreifen. Dieſelben bilden kleine



Stabilitäts-Unterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes über quadratiſchem Grundriſs.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Tonnengewölbe, die ihr Widerlager an den Gratbogen finden, welche die Kappen von einander ſcheiden. Die ſtatiſche Unterſuchung jedes einzelnen Elementarſtreifens kann alſo ganz in derſelben Weiſe, wie beim Tonnengewölbe in Art. 136 (S. 181) gezeigt wurde, erfolgen.

Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanz-Verband zerlegt man jede derſelben, einſchliefslich ihrer Belaſtung, in Elementarſtreifen, welche durch lothrechte und rechtwinkelig zum Grat geſtellte Ebenen begrenzt ſind und ſich auf der Scheitellinie jeder Kappe an einander lehnen. Jeder Elementarſtreifen iſt alsdann im Allgemeinen ein ſchmales einhüftiges Gewölbe, deſſen Stabilität nach dem in Art. 146 (S. 208) Geſagten geprüft werden kann.

Die beſondere Unterſuchung der Gewölbkappen ſoll nach dieſen allgemeinen Grundlagen an einzelnen Beiſpielen gezeigt werden. 248. Beiſpiel 1.

Beiſpiel 1. Der Grundriſs eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Stechung (ſiehe die neben ſtehende Tafel) ſei ein Quadrat von 8 m Seitenlänge. Die Stirnbogen ſind für alle vier Seiten Halbkreiſe mit dem Halbmeſſer ma. Die Stechungshöhe des Gewölbes iſt sb. Die Einwölbung erfolge mit Backſteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 auf Kufverband. Die Breite der ſelbſtändig aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 ausgeführten Gratbogen ds ſei zu 0,40 m gewählt. Von einer beſonderen fremden Belaſtung des Gewölbes iſt Abſtand genommen. Iſt ſolche vorhanden, ſo wird das Weſen der Unterſuchung an ſich nicht geändert. Die Elementarſtreifen A, $B \ldots F$ der einzelnen Kappen mögen eine ſonſt beliebig genommene Breite beſitzen; hier iſt denſelben eine gleiche Breite ce gegeben.

249. Rauminhalt prismatiſcher Körper.

Um von vornherein die für die einzelnen Elementarſtreifen bei den auf graphiſchem Wege zu beſtimmenden Gewichtsſtrecken noch durch genau und deutlich darzuſtellende Linien zu erhalten, ſelbſt wenn die Breiten dieſer Streifen von einander abweichen oder an ſich ziemlich ſchmal genommen ſind, oder wenn ſelbſt das Eigengewicht der Streifen verſchieden wäre, kann ein einfaches Zuſammenfügen einzelner graphiſcher Conſtructionen in Anwendung gebracht werden. Da dieſe Conſtructionen auch ſpäter bei der ſtatiſchen Unterſuchung von Kuppelgewölben, bezw. von Kreuzgewölben mit buſigen Kappen benutzt werden, ſo ſoll hier gleich eine allgemeine Behandlung der für die vorliegenden Zwecke erforderlichen graphiſchen Ausmittelung der Linienwerthe für den Inhalt prismatiſcher Körper, bezw. der Gewichtswerthe derſelben eintreten.

Ein prismatiſcher Körper von der Breite b Met., der Höhe h Met. und der Dicke gleich 1 m beſitzt den körperlichen Inhalt

$$V = b \,.\, h \,.\, 1 \text{ Cub.-Met.} \quad \ldots \quad 226.$$

Soll dieſer Werth von V dargeſtellt werden durch die Maſszahl einer Linie x, multiplicirt mit einer beliebig gewählten Maſszahl B (Baſiszahl, bezw. Baſis) einer anderen Linie, ſo muſs

$$b \,.\, h \,.\, 1 = Bx, \quad \ldots \quad 227.$$

oder

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{B} \quad \ldots \quad 228.$$

ſein. Wie in Art. 143 (S. 197) angegeben, kann hiernach x bei gegebener Baſis B in bekannter Weiſe conſtruirt werden. Beſitzt nun ein prismatiſcher Körper K (Fig. 441) eine Breite b Met., eine Höhe h Met. und eine mittlere Dicke d Met., ſo iſt ſein Inhalt

$$v = b\,h\,d \text{ Cub.-Met.} \quad \ldots \quad 229.$$

Soll nunmehr dieſer Werth durch die Maſszahl einer Linie w, multiplicirt mit der feſt geſetzten Baſiszahl B, dargeſtellt werden, ſo iſt

$$v = b\,h\,d = B\,w \quad \ldots \quad 230.$$

zu ſetzen. Da aber nach Gleichung 227: $b\,h = \frac{Bx}{1}$ iſt, ſo wird auch

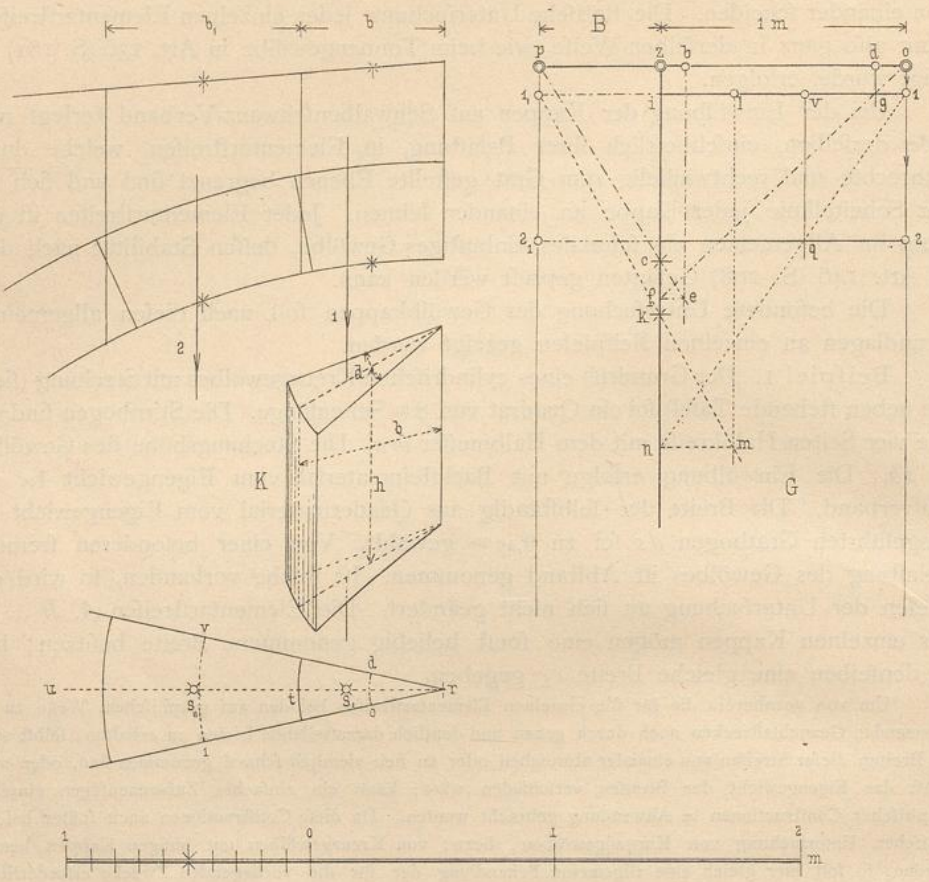
$$\frac{Bx}{1}\,d = Bw, \quad \ldots \quad 231.$$

woraus

$$\frac{x}{1} = \frac{w}{d} \quad \ldots \quad 232.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 441.



folgt. Sobald x gezeichnet ift, kann hiernach w gleichfalls durch Zeichnung gefunden werden. Beachtet man, dafs, je kleiner die Bafis B genommen wird, die Länge x und danach auch die Länge w defto gröfser erhalten wird, fo kann in jedem Falle ein entfprechend deutlicher Plan für jene Linienwerthe angefertigt werden. Ift weiter γ Tonnen das Gewicht von 1 Cub.-Met. des betrachteten Körpers, deffen Inhalt durch Bw ausgedrückt wird, fo ift fein Gewicht

$$G = Bw\gamma \text{ Tonnen} \quad \ldots \quad 233.$$

In der Zeichnung ift die Bafis $B = pz = 0{,}5$ m. Die Strecke zo ift gleich 1 m zu nehmen.

Durch p, z und o werden lothrechte Linien gezogen. Trägt man auf der Linie po die Breite $b = pb$ des Körpers ab, zieht man alsdann die Lothrechte be, fchneidet man auf der z-Linie die Strecke zc gleich der Höhe h des Körpers ab und zieht man durch p und c einen Strahl, bis derfelbe gehörig verlängert die durch b geführte Lothrechte in e fchneidet, fo ift be gleich dem Werthe x der Gleichung 228. Nimmt man nunmehr auf der z-Linie die Strecke $zf = be = x$, trägt man die mittlere Dicke d des Körpers auf der Linie po von o aus als $od = d$ ab und zieht man durch den Punkt d die Lothrechte, fo erhält man nach Führung des Strahles of fofort auf diefer Lothrechten den Schnitt g und in der Strecke dg den Linienwerth w. Denn es ift

$$\frac{zf}{1} = \frac{dg}{od}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

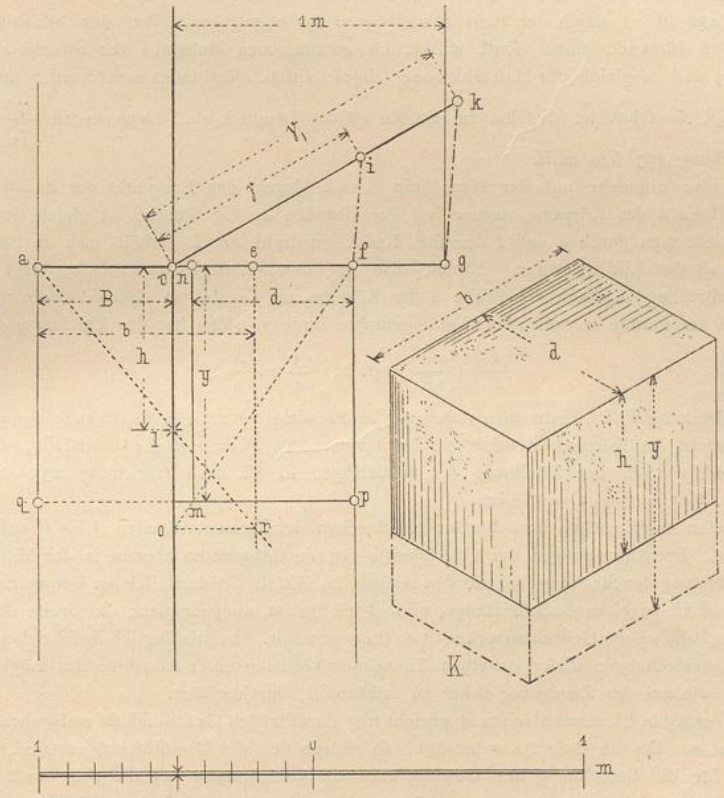
entfprechend der Gleichung 232. Zieht man durch g die Parallele $11'$ zu po, fo ift auch $o1 = p1' = w$.

Fährt man unter Benutzung der Linie 11, in gleicher Weife, wie aus der Zeichnung erfichtlich, zur Beftimmung des Linienwerthes $w = vq = 12 = 1{,}2$, für einen zweiten Körper fort, fo erhält man die Aneinanderreihung der für den Inhalt der Körper mafsgebenden Strecken.

Nach der Zeichnung ist $o\,r = w = 0{,}11$ m. Da $B = 0{,}5$ m, so ist nach Gleichung 230 $v = 0{,}5 \,.\, 0{,}11 = 0{,}055$ cbm. Wiegt 1 cbm $1{,}6$ t, so ist nach Gleichung 233: $G = 0{,}055 \,.\, 1{,}6 = 0{,}088$ t $= 88$ kg. Hiernach ist der Plan G auch ohne Weiteres als Gewichtsplan, bezw. als Kräfteplan zu verwerthen.

Sind die Inhalte, bezw. die Gewichte von einer Reihe nach einander zusammengefügter Körper, welche verschiedene Eigengewichte besitzen, in einem Gewichtsplane zusammenzutragen, so sind die einzelnen Gewichtsstrecken auf ein und dasselbe Eigengewicht, welches irgend einem einzigen gewählten Körper angehört, zurückzuführen. Dann kann die Bestimmung der Gewichtsstrecken nach Fig. 442 in folgender Weise geschehen.

Fig. 442.



Der Körper K, dessen Inhalt $V = b\,h\,d$ Cub.-Met. ist, besitze ein Gewicht γ_1 Tonnen für 1 cbm. Alsdann ist das Gewicht desselben

$$G = b\,h\,d\,\gamma_1 \text{ Tonnen} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 234.$$

Ist nun das zu Grunde zu legende Gewicht, welches für alle Körper bei der Ermittelung der Gewichtsstrecken eingeführt werden soll, gleich γ Tonnen für 1 cbm, ist ferner der gesuchte Linienwerth y von einer solchen Grösse, dass der Körper, welchem diese Strecke y zukommt, unter Multiplication mit der fest gesetzten Basiszahl B in seinem Inhalte v, entsprechend der Gleichung 230, durch $B\,y$ ausgedrückt erscheint, so ist sein Gewicht G_1 zu berechnen als

$$G_1 = B\,y\,\gamma \text{ Tonnen} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 235.$$

Soll nun G_1 dieselbe Grösse wie G darstellen, so muss nach den Gleichungen 234 u. 235

$$b\,h\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$$

werden. Da nach Gleichung 227: $b\,h = B\,x$ zu setzen ist, so folgt auch $B\,x\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$ oder

$$x\,d\,\gamma_1 = y\,\gamma.$$

Hieraus entspringt der Ausdruck

$$\frac{x\,d}{y} = \frac{\gamma}{\gamma_1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 236.$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Setzt man $\frac{\gamma}{\gamma_1} = \lambda$, d. h. auch

$$\frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{\lambda}{1}, \quad \ldots \quad 237.$$

so läfst sich λ construiren.

Nachdem λ bestimmt ist, ergiebt sich nach Gleichung 236: $\frac{x\,d}{y} = \lambda$ nunmehr der Ausdruck

$$\frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda}, \quad \ldots \quad 238.$$

wonach die gesuchte Strecke y durch Zeichnung ermittelt werden kann.

In Fig. 442 ist ac gleich der Basis B und $cg = 1^{\,m}$ abgetragen. Auf der beliebig durch c gezogenen Linie ck ist nach einem sonst willkürlich genommenen Mafsstabe die Strecke ck gleich der Mafszahl von γ_1 und ci gleich der Mafszahl von γ abgeschnitten. Verbindet man k mit g und zieht zu kg die Parallele if, so schneidet dieselbe im Stücke cf die Länge λ ab. Denn es ist $\frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{cf}{1} = \frac{\lambda}{1}$, wie nach Gleichung 237 sein mufs.

Nimmt man nunmehr auf der Hauptlinie c, die durch den Endpunkt der Basisstrecke B geht, cl gleich der Höhe h des Körpers, ferner auf der Geraden ag die Strecke ae gleich der Breite b des Körpers, und zieht man durch a und l den sog. Reductionsstrahl ar, so erhält man in bekannter Weise die Länge er als den Linienwerth x. Nimmt man auf der c-Linie $co = er = x$, trägt sodann aber von f aus die Strecke fn gleich der Dicke d des Körpers auf fa ab, so schneidet ein Strahl fo die Lothrechte in n im Punkte m, und nm ist die gesuchte Linie y. Man hat der Zeichnung gemäfs

$$\frac{y}{d} = \frac{co}{cf}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda},$$

entsprechend Gleichung 238. Zieht man durch m die Parallele pq zu ag, so ist auch $aq = fp = y$.

Das Gewicht des Körpers ist sofort zu bestimmen. Da $ci = \gamma = 1{,}6^{\,t}$ darstellt, $B = 0{,}5^{\,m}$ genommen ist und y nach der Zeichnung $0{,}86^{\,m}$ beträgt, so ist nach Gleichung 235 dieses Gewicht $G_1 = 0{,}5 \,.\, 0{,}86 \,.\, 1{,}6^{\,t} = 0{,}688^{\,t} = 688^{\,kg}$.

250. Beispiel 1, Fortsetzung.

Nach diesen Ausführungen sind die Gewichtsstrecken der Elementarstreifen A bis F auf der Tafel bei S. 363 bestimmt. Die Austragungen der Querschnitte für die lothrechten Ebenen in der Mitte der Streifen unter Berücksichtigung der Stechung sind mit den einfachsten Mitteln der darstellenden Geometrie zu bewirken. Die Gewölbstärke ist zu einer Backsteinlänge, also gleich $0{,}25^{\,m}$, angenommen; die Breite der Streifen beträgt $0{,}6^{\,m}$. Die Basis oz der Gewichtsstrecken ist zu $0{,}5^{\,m}$ gewählt. In hinlänglich beschriebener Weise sind die Stabilitäts-Untersuchungen dieser einzelnen Tonnengewölbstücke unter Annahme des möglichst kleinsten Gewölbschubes, wie aus der Zeichnung näher zu ersehen ist, durchgeführt.

Für den gröfsten Elementarstreifen A ergiebt sich der für den Gewölbschub mafsgebende Werth der Linie gf zu $0{,}95^{\,m}$. Da die Basis $0{,}5^{\,m}$ beträgt, so würde sich der Gewölbschub zu $0{,}95 \,.\, 0{,}5 = 0{,}475^{\,qm}$ ergeben. Um für die Berechnung der Gewölbstärke die Gleichungen 145 (S. 186) und 150 (S. 187), bezw. die Tabelle auf Seite 202 benutzen zu können, ist zu beachten, dafs jene Gleichungen, bezw. jene Tabelle unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit (gleich $1^{\,m}$) aufgestellt sind. Würde also der Streifen A statt einer Breite von $0{,}6^{\,m}$ eine solche von $1^{\,m}$ besitzen, so würde sich der Gewölbschub ergeben zu

$$H = \frac{1}{0{,}6} \,.\, 0{,}475 = 0{,}79 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

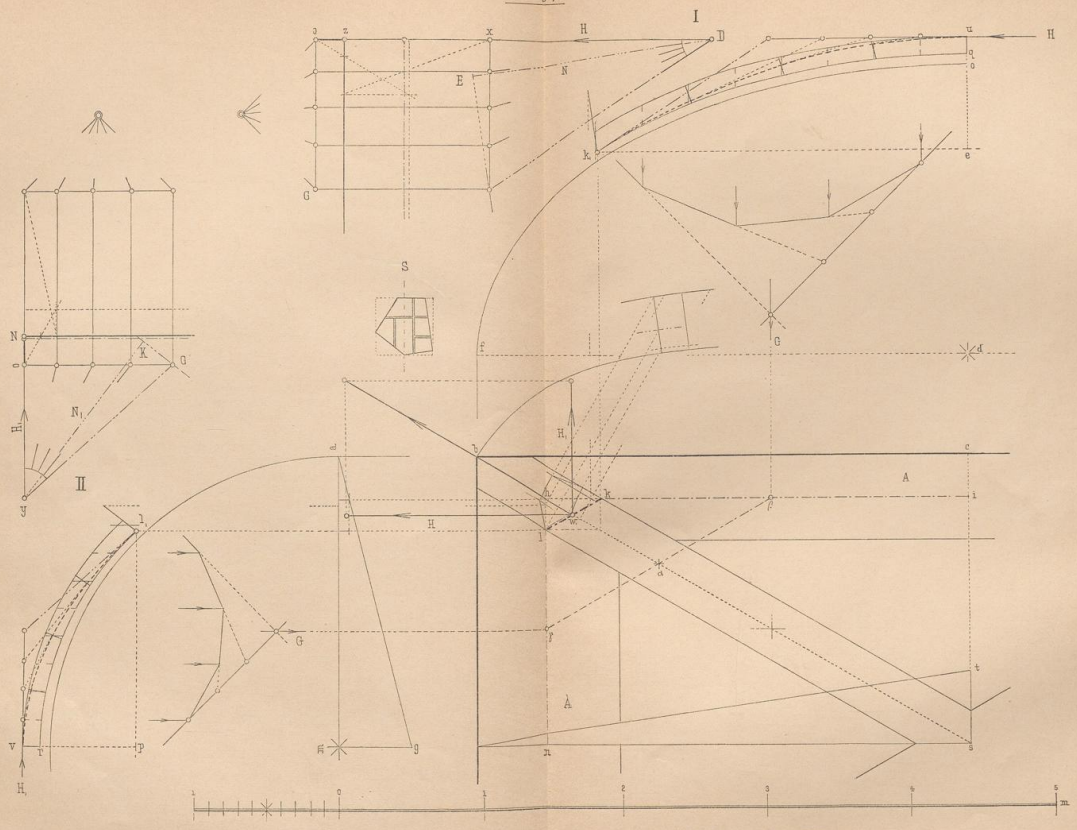
Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert dieser Gewölbschub nicht ganz eine Backsteinlänge als Gewölbstärke.

In gleicher Art findet man den Normaldruck des Streifens A für die Widerlagsfuge unter Verwerthung der Linie $hi = 1{,}4^{\,m}$ zu

$$N = \frac{1}{0{,}6} \,.\, 1{,}4 \,.\, 0{,}5 = 1{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Auch für diese Zahl giebt die Tabelle auf Seite 202 keine über $0{,}25^{\,m}$ gehende Gewölbstärke. Die für die Kappen angenommene Gewölbstärke ist also ausreichend. Da alle übrigen Gewölbstreifen kleineren Gewölbschüben unterliegen, die Prüfung der sämmtlichen Streifen den Gleichgewichtszustand gegen Drehen und gegen Gleiten (Reibungswinkel ϱ bei F) bekundet, so können die Gewölbkappen als stabil gelten. Der Einfluss, welcher von den Gewölbstreifen durch ihre Gewichte und ihre Gewölbschübe auf den Grat aus-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrifchen Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundrifs.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

geübt wird, ist ohne Weiteres für den Streifen A bei m zu erkennen. Gegen den Grat treten die beiden hier gleichen Streifen A mit einem Gewölbschube $g\,i$ des Gewichtsplanes A. Die Angriffspunkte k und l derselben liegen am Grat in einer wagrechten Linie $k\,l$. Zerlegt man die in k und l angreifenden Gewölbschübe $g\,i$ in ihren lothrechten Kräfteebenen je in eine wagrechte Seitenkraft $H = gf = q\,g$ und in eine lothrechte Seitenkraft $f\,i = o\,p$, so lassen sich zunächst H und H zu einer wagrechten Mittelkraft H, zusammensetzen, welche nunmehr in der lothrechten Mittelebene $d\,s$ des Gratbogens liegt und deren Angriffspunkt nach m in der wagrechten Linie $k\,l$ zu legen ist. Dieses Zusammensetzen der Kräfte H ist im Gewichtsplane durch das Kräftedreieck $q\,g\,f$ vorgenommen. Sodann lassen sich auch die lothrechten in k und l wirkenden Kräfte $o\,p$ zu einer einzigen Mittelkraft G, hier gleich $2\,o\,p$, zusammensetzen, deren Richtung gleichfalls durch m geht, so dafs nunmehr der Gratbogen aufser seinem Eigengewichte vor allen Dingen im Punkte m, dessen Lage in jedem Falle leicht ermittelt werden kann, vom Streifen A durch die Kräfte H, und G beansprucht wird. Auf demselben Wege sind, wie in den Kräfte- oder Gewichtsplänen der einzelnen Streifen angegeben, auch alle von den Elementarstreifen herrührenden und für den Gratbogen in Rechnung tretenden Kräfte aufzufinden. Von diesen Kräften wird bei der Bestimmung der Stärke der Gratbogen unter β Gebrauch gemacht werden.

251. Beispiel 2.

Beispiel 2. Der Grundrifs eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung (siehe die neben stehende Tafel) sei ein Rechteck von 4,0 m Breite und 6,9 m Länge. Die Stirnbogen der schmalen Seite sind Halbkreise mit dem Halbmesser $m\,a$; diejenigen der langen Seite hingegen, da sämmtliche Randbogen eine gleich grofse Pfeilhöhe erhalten sollen, sind Halbellipsen mit der halben grofsen Axe $b\,c$, bezw. $f\,d$ und der halben kleinen Axe $d\,e = m\,a$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ist $m\,g = s\,t = 0{,}5$ m. Die Einwölbung soll auf Kufverband mit Backsteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 erfolgen. Die Grate sind gleichfalls aus Backstein von $1\,^1/_2$ Stein Breite und $1\,^1/_2$ Stein Höhe mit entsprechenden Widerlagsflächen für die Gewölbkappen herzurichten.

Da es für die Bestimmung der Gewölbstärke ausreichend ist, die am weitesten gespannten Elementarstreifen von je zwei an einem Gratbogen zusammentretenden Kappen statisch zu untersuchen, so sind hier die beiden Elementarstreifen A und A_1, welche unmittelbar an den Stirnbogen der Seiten des Rechteckes liegen, in Betracht gezogen. Die lothrechten Mittelebenen, welche zugleich Kräfteebenen der Streifen sind, stehen parallel zu den Stirnebenen. Sie schneiden sich in einer lothrechten Linie, welche die Gratlinie über $b\,s$ in einem Punkte trifft, dessen wagrechte Projection h wird. Bei dieser Bestimmung der Kräfteebenen, welche durch die von einander abhängige Zerlegung der Kappen in ihre Elementarstreifen bedingt ist, entstehen bei einem rechteckigen Grundrisse stets zwei am Grat zusammenlaufende Streifen von verschiedener Breite, wobei aber das Verhältnifs der Breite b des schmalen Streifens A zur Breite B des anliegenden Streifens A_1 stets durch

$$\frac{b}{B} = \frac{c\,s}{b\,c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 239.$$

auszudrücken ist. Auch für die Weite der Elementarstreifen ergiebt sich ein Zusammenhang, indem aus leicht ersichtlichen Gründen

$$\frac{k\,i}{l\,n} = \frac{b\,c}{c\,s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 240.$$

wird. Da nun aufserdem vermöge der Gestaltung der Laibungsflächen der cylindrischen Kappen auch beim Vorhandensein einer Stechung die Anschlufspunkte k_1, bezw. l, der mittleren Wölblinien solcher Streifen A und A_1 an der Widerlagsfläche am Grat eine gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhalten, so ist die gerade Verbindungslinie dieser Punkte, deren wagrechte Projection $k\,l$ ist, auch eine wagrechte Linie. Ferner ist zu beachten, dafs die Pfeilhöhen $o\,q$ und $p\,r$ in Folge der regelrechten Ausmittelung der mittleren Wölblinie der Streifen A und A_1, wie solche nach der grundlegenden Gestaltung (siehe Art. 241, S. 355) der Gewölbflächen zu geschehen hat, einander gleich werden. Ist nun die Stärke beider Elementarstreifen, wie bei der Ausführung der Fall, wiederum dieselbe, so ist auch $o\,u = p\,v$, d. h. die höchsten Punkte einer gedachten Scheitelfuge der symmetrisch gebildeten kleinen Tonnengewölbe, welche für die Elementarstreifen nur zur Hälfte berücksichtigt zu werden brauchen, liegen in einer wagrechten Ebene. Weiter ist zu berücksichtigen, dafs, wenn F die Gröfse der mittleren Schnittfläche des längeren Streifens A und f diejenige der mittleren Schnittfläche des kürzeren Streifens A_1 ist, auch in Abhängigkeit von der Gestaltung des Gewölbes

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

$$\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \quad 241.$$

wird. Bei gleicher Stärke d der Elementarftreifen wird der Inhalt V des Körpers A von der Breite b gleich bF und der Inhalt V_1 des Körpers A_1 von der Breite B gleich Bf; mithin ift

$$\frac{V}{V_1} = \frac{bF}{Bf},$$

d. h. unter Anwendung der Gleichungen 239 u. 241

$$\frac{V}{V_1} = \frac{cs}{bc} \cdot \frac{bc}{cs} = 1$$

oder

$$V = V_1 \quad \ldots \quad 242.$$

Demnach find bei gleichem Wölbmaterial auch die Gewichte G der beiden Gewölbftreifen A und A_1 einander gleich. Hieran würde auch nichts geändert, wenn beide Gewölbftreifen A und A_1 eine das Verhältnifs $\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs}$ nicht umgeftaltende fremde Belaftung über dem Rücken aufzunehmen hätten. Das Gewicht G wirkt im Abftande βk vom Widerlagspunkte k, der Mittellinie des Streifens A, während das gleiche Gewicht G des Streifens A_1 im Abftande γl vom Widerlagspunkte l, der Mittellinie des Streifens A_1, angreift. Wieder ift zu beachten, dafs

$$\frac{\beta k}{\gamma l} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \quad 243.$$

ift. Entfprechend Gleichung 135 (S. 183) ergiebt fich der Gewölbfchub H des Streifens A als

$$H = G \frac{\beta k}{ou} \quad \ldots \quad 244.$$

und der Gewölbfchub H_1 des Streifens A_1 als

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{pv},$$

oder da, wie vorhin angegeben, $pv = ou$ ift,

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{ou} \quad \ldots \quad 245.$$

Aus den Gleichungen 244 u. 245 erhält man fofort $\frac{H}{H_1} = \frac{\beta k}{\gamma l}$, d. h. nach Gleichung 243

$$\frac{H}{H_1} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \quad 246.$$

Die auf die Widerlagsflächen der Streifen am Gratbogen treffenden Gewölbfchübe zerlegen fich für den Streifen A im Punkte k_1, bezw. k in die lothrechte Seitenkraft G und in die wagrechte Kraft H, eben fo für den Streifen A_1 im Punkte l_1, bezw. l in eine lothrechte Seitenkraft ebenfalls gleich G und in die wagrechte Kraft H_1. Die aus G und G entfpringende Mittelkraft gleich $2G$ geht durch den Halbirungspunkt w der wagrechten Geraden kl. Der Punkt w ift aber ein Punkt der lothrechten Gratebene bs, welche die Bogenlinie des Grates enthält. Setzt man die durch k_1 und l_1, bezw. k und l gehenden wagrechten Kräfte H und H_1 im Verfolg ihrer Lage in h zu einer Mittelkraft zufammen, fo fällt vermöge der Beziehung 246 diefe Mittelkraft gleichfalls in diefe Richtungsebene bs des Gratbogens. Da fchliefslich h die gleiche Höhe über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes wie der Punkt w befitzt, fo folgt, weil der Angriffspunkt der Mittelkraft aus H und H_1 in ihrer Richtung von h nach w verlegt werden darf, dafs der Gratbogen in vortheilhafter Weife in feiner Richtungsebene bs, welche zugleich Kräfteebene des Grates fein foll, in dem ermittelten Punkte w durch die lothrechte Mittelkraft $2G$ und die wagrechte Mittelkraft aus H und H_1, welche von den Gewölbdrücken der Elementarftreifen A und A_1 herrühren, beanfprucht wird. Würde man in gleicher Weife für alle entfprechend geordneten Elementarftreifen der an einem Grat zufammentretenden Gewölbkappen die Ermittelung der Kräfte durchführen, fo würde auch hieraus eine Beanfpruchung des Grates in feiner Kräfteebene bs fich kennzeichnen.

Diefes für die Conftruction, bezw. für die Geftaltung und praktifche Ausführung der cylindrifchen Kreuzgewölbe über rechteckigen Grundriffen äufserft wichtige Ergebnifs, deffen Erzielung bei der Durchführung derartiger Gewölbe eigentlich zur Forderung erhoben werden mufs, hat fich in einem anderen Gewande auch durch die in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 485, S. 453 [177]) diefes »Handbuches« geführten Unterfuchungen herausgeftellt.

---

[177]) 2. Aufl.: Art. 279, S. 263.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die auf üblichem Wege angeſtellte ſtatiſche Unterſuchung der Gewölbſtreifen A und A_1 unter Berückſichtigung des möglichſt kleinſten Horizontalſchubes iſt aus den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 zu erſehen.

Nach der Zeichnung erhält man für die Strecke Dx im Plane I die Länge von $1{,}60$ m, für die Strecke yo im Plane II die Länge von $0{,}93$ m. Hiernach iſt $\frac{Dx}{yo} = \frac{1{,}60}{0{,}93} = 1{,}72$.

Da nun bc als halbe Rechteckſeite gleich $\frac{6{,}9}{2} = 3{,}45$ m und $cs = \frac{4}{2} = 2$ m iſt, ſo würde $\frac{bc}{cs} = \frac{3{,}45}{2} = 1{,}725$ ſein; folglich ſind die gemeſſenen Strecken Dx und yo in recht guter Uebereinſtimmung erhalten.

Die Breite des Streifens A iſt zu $0{,}60$ m angenommen, und ſomit ergiebt ſich die Breite des Streifens A_1 in Uebereinſtimmung mit der Zeichnung nach Gleichung 239 zu $B = 0{,}60 \cdot \frac{3{,}45}{2} = 1{,}035$ m. Da die Dicke der Wölbſtreifen $qu = rv$ für beide Stücke dieſelbe iſt, ſo erhält man auch die Gewichtsſtrecken, bezw. Flächenwerthe oder Körperinhalte in beiden Plänen I und II als oG in der Zeichnung von gleicher Gröſse trotz verſchiedener Breite der Lamellen der einzelnen Gewölbflächen, wie es nach der Rechnung, entſprechend Gleichung 242, ſein ſoll. Der Horizontalſchub H ergiebt ſich für den Streifen A, da die Baſis oz zur Reducirung der Kräfte (Gewichte) gleich $0{,}2$ m gewählt wurde, als $H = 1{,}6 \cdot 0{,}2 = 0{,}32$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met., während der Horizontalſchub des Streifens A_1 ſich zu $H_1 = 0{,}93 \cdot 0{,}2 = 0{,}186$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. beſtimmt.

Um die Gewölbſtärke berechnen zu können, iſt, wie im Beiſpiel 1, der Horizontalſchub der Streifen wiederum bei jedem derſelben für eine Tiefe gleich der Längeneinheit, alſo gleich 1 m, zu ermitteln. Hiernach wird der für den Streifen A von der Breite $0{,}60$ m zu beachtende Gewölbſchub

$$\mathfrak{H} = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}32 = 0{,}533 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

und der für den Streifen A_1 geltende Gewölbſchub

$$\mathfrak{H}_1 = \frac{1}{1{,}72} \cdot 0{,}186 = 0{,}108 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert der Gewölbſchub $\mathfrak{H}$ des Hauptſtreifens der weiteſten Kappe eine Stärke, welche zwiſchen $\frac{1}{2}$ Stein und 1 Stein als Durchſchnittswerth liegt, während für einen Hauptſtreifen der ſchmalen Kappe, dem Gewölbſchube $\mathfrak{H}_1$ entſprechend, eine Gewölbſtärke von $\frac{1}{2}$ Stein völlig genügt.

Für den Normaldruck $\mathfrak{N}$, bezogen auf die Tiefe gleich 1 m, wird für die Widerlagsfuge des Hauptſtreifens der weiteſten Kappe am Grat, da DE im Plan I gleich $1{,}74$ m, alſo $N = 1{,}74$. Baſiszahl $= 1{,}74 \cdot 0{,}2 = 0{,}348$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. iſt,

$$\mathfrak{N} = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}348 = 0{,}58 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert dieſer Druck eine Gewölbſtärke von nicht ganz $\frac{1}{2}$ Stein. Läſſt man, da der wagrechte Schub $\mathfrak{H}$ dieſes Streifens eine etwas gröſsere Gewölbſtärke erfordert, als der Normaldruck $\mathfrak{N}$, bei ſehr gutem Backſteinmaterial eine etwas ſtärkere Preſſung hier als zuläſſig gelten, ſo kann auch die $6{,}9$ m weite Kappe des unterſuchten Gewölbes mit $\frac{1}{2}$ Stein Stärke, wie in der Zeichnung angenommen iſt, beibehalten werden.

Der Normaldruck $\mathfrak{N}_1$, der ſchmalen Kappe wird, da yK im Plane II zu $1{,}38$ m gefunden iſt, berechnet als

$$\mathfrak{N}_1 = \frac{1}{1{,}72} \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}2 = 0{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Da dieſer Werth nach der Tabelle auf Seite 202 keine gröſsere Dicke als $\frac{1}{2}$ Stein beanſprucht, ſo bleibt dieſe ſchon für $\mathfrak{H}_1$ feſt geſetzte Stärke der ſchmalen Kappe giltig. Der Verlauf der eingezeichneten Mittellinien des Druckes in den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 ergiebt Gleichgewichtszuſtand gegen Drehung und, da die reſultirenden Preſſungen in den einzelnen Theilfugen der Streifen mit der Senkrechten zu dieſen Fugen ſtets Winkel einſchlieſsen, welche kleiner bleiben als der Reibungswinkel ϱ des Materials ($\operatorname{tg} \varrho$ etwa $= 0{,}7$), auch Gleichgewichtszuſtand gegen Gleiten. Auf den letzteren Punkt iſt namentlich hinſichtlich der Widerlagsfugen am Grat zu achten, da, falls ſich hier beim Auffinden der Mittellinie des Druckes ein Gleiten bekunden ſollte, die Neigung der Anſatzfläche der Wölbſtreifen am Grat S ſo weit abzuändern iſt, daſs alsdann kein Gleiten mehr möglich wird.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hätte man den Hauptſtreifen der weiteſten Kappe 1 Stein ſtark ausführen wollen, während der zugehörige Hauptſtreifen der antretenden ſchmalen Kappe nur $^1/_2$ Stein ſtark verbliebe, ſo hätte eine Uebermauerung dieſes letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müſſen, daſs die Gewichte, bezw. Flächen oder Inhalte der Streifen das mehrfach erwähnte, in Gleichung 241 ausgeſprochene Verhältniſs beibehalten konnten. Im anderen Falle würde der Gratbogen durch die Gewölbdrücke nicht in ſeiner Richtungsebene bs in der oben geforderten günſtigen Weiſe beeinflufſt, ſondern leicht Verſchiebungen, bezw. Verdrehungen ausgeſetzt werden können.

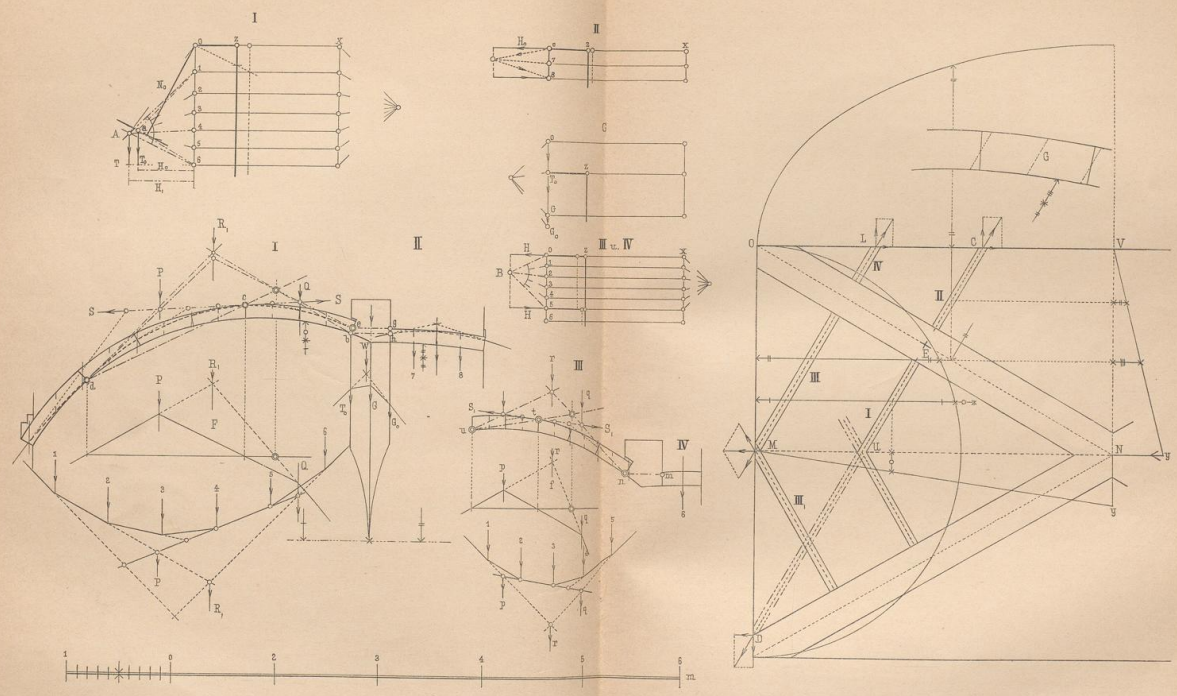
252. Beiſpiel 3.

Cylindriſche Kreuzgewölbe mit oder ohne Stechung werden ſehr häufig auf Schwalbenſchwanz-Verband eingewölbt. Hierbei ſollen, wie bei der Ausführung der Kreuzgewölbe (unter 3) noch näher gezeigt werden wird, die einzelnen Wölbſtreifen oder Zonenlagen in ihren Stirnflächen Normalebenen des Gratbogens angehören. Die wagrechten Projectionen der Wölblinien dieſer Zonen treten als Schnittlinien jener Ebenen mit den cylindriſchen Kappenflächen im Allgemeinen als elliptiſche Linien auf, welche in ihrem Anfangselemente an der wagrechten Projection der Gratlinie eine Tangente beſitzen, deren wagrechte Projection keine Senkrechte zur Grundriſslinie des Gratbogens iſt. Aufserdem treffen ſich, wie in Art. 181 (S. 277) bei den Kappengewölben angeführt iſt, die einzelnen einander zugehörigen Streifen, ſobald die Scheitellinie einer Kappe erreicht wird, in einer ſog. Schnäbelung über dieſer Linie. Wie die auf Schwalbenſchwanz-Verband eingewölbten gewöhnlichen Kappengewölbe in den einzelnen Wölbſtreifen ihren Gewölbſchub ſowohl auf die Widerlagsmauern als auch auf die Stirnmauern übertragen, ſo wird auch bei den nach dieſem Verbande gewölbten cylindriſchen Kreuzgewölben von den einzelnen Wölbzonen nunmehr ein Gewölbſchub auf die Gratbogen und auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern des Gewölbes überführt, ſo daſs Gratbogen und Randbogen, bezw. Stirnmauern in erſter Linie als Widerlager dieſer Kappen auftreten. Die ſtatiſche Unterſuchung, welche in einigen weſentlichen Geſichtspunkten ſich der in Fig. 366 (S. 278) für ein gewöhnliches Kappengewölbe durchgeführten Behandlung anſchlieſst, ſoll im Nachſtehenden vorgenommen werden.

Beiſpiel 3. Der Grundriſs eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Stechung (ſiehe die neben ſtehende Tafel) ſei wiederum ein Rechteck von 6,9 m Länge und 4,0 m Breite. Die Stirnbogen der kurzen Seiten ſind Halbkreiſe vom Halbmeſſer $MO = MD$. Die Randbogen der langen Seiten ſind Halbellipſen mit einer halben groſsen Axe gleich VO und einer halben kleinen Axe gleich MO. Die Stechungshöhe iſt $Ny = 0{,}5$ m. Die Grate ſind aus Backſtein $1^1/_2$ Stein breit und $1^1/_2$ Stein ſtark ſelbſtändig auszuführen; die Kappen ſind $^1/_2$ Stein ſtark im Schwalbenſchwanz-Verband zu wölben.

Wenn gleich für die Beſtimmung der Richtung der einzelnen Wölbſchichten die Annahme der oben bezeichneten Normalebenen zum Gratbogen G maſsgebend ſein würde, ſo kann man doch, um die Stabilitäts-Unterſuchung der Gewölbkappen nicht zu verwickelt zu geſtalten, mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit annehmen, daſs die einzelnen dünnen Wölbſtreifen durch ſenkrechte Ebenen begrenzt ſind, welche rechtwinkelig zur lothrechten Richtungsebene ON des Gratbogens ſtehen. Die einzelnen Gewölbſtreifen bilden alsdann wiederum, wie beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278), einhüftige Gewölbe, welche ihr Widerlager am Grat und an den Randbogen oder Stirnmauern des Kreuzgewölbes finden. Somit tritt der Fall ein, daſs ſich zwei im Allgemeinen verſchieden geſtaltete und belaſtete Gewölbſtücke gegen ein beſonderes Gewölbe, den Gratbogen, legen, welcher für dieſelben ein gemeinſchaftliches Widerlager abgiebt, während das andere Widerlager an einem

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Stabilitäts-Unterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Schwalbenſchwanz-Verband.

befonderen Baukörper auftritt, mag derfelbe nun gefchloffen oder unter den Stirnbogen des Gewölbes offen gehalten fein. Für den Grat werden fich demnach ähnliche Beziehungen geltend machen müffen, wie bei dem in Art. 198 (S. 294) behandelten Gurtbogen zwifchen Kappengewölben. Aber auch für den Gewölbfchub, welcher auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern von den einzelnen Wölbftreifen übertragen wird, werden die Vorausfetzungen, welche beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278) zur Sprache gebracht wurden, hier wiederum zu machen fein. Dies gilt hauptfächlich von der Fortpflanzung des Gewölbfchubes der über der Scheitellinie der Kappen zufammentretenden, gefchnäbelten Schichten. Hierfür eine Summirung der in der Scheitellinie durch Zerlegen der Schübe zu bildenden wagrechten Kräfte vorzunehmen, erfcheint eben fo unftatthaft, wie bei jenem gewöhnlichen Kappengewölbe. Denn fchliefslich ift die Kappe des Kreuzgewölbes auch nur ein gewöhnliches Kappengewölbe. Dächte man fich die Widerlager, welche durch die Gratbogen als Begrenzung einer folchen Kappe gebildet werden, als ftabile Bogenftellung äufserft lang fortgeführt, fo gelangt man wiederum zu dem berechtigten Schluffe, dafs die einfache Summirung jener der Scheitellinie zugewiefenen wagrechten Kräfte einen Schub für den Randbogen von äufserft bedenklicher Gröfse liefern müffte, was in Rückficht auf das in Art. 181 (S. 277) Gefagte als unzuläffig angefehen werden darf. Aber auch fchon bei Kreuzgewölben von üblichen und durchaus nicht aufsergewöhnlichen Weiten würde durch die erwähnte Summirung jener Preffungen in der Scheitellinie eine Beanfpruchung der Randbogen in ihrer höchften Stelle wach gerufen, welche für die Durchbildung derfelben als felbftändige oder offene, nicht etwa noch übermäfsig durch Uebermauerung belaftete Stirn- oder Schildbogen (Gurtbogen) fo nachtheilig würde, dafs die Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanz-Verband beim Kreuzgewölbe ohne Weiteres als vollftändig verwerflich hingeftellt werden müffte. Der Erfahrung nach ift jedoch die gefchilderte Beanfpruchung der als Gurtbogen durchgeführten Randbogen bei diefem Wölbverbande gar nicht fo gewaltig, dafs ihre Breite im Vergleich mit den übrigen Gewölbtheilen unverhältnifsmäfsig grofs genommen werden müffte. In Folge hiervon fcheinen die mehrfach erwähnten, zu Fig. 366 (S. 278) gegebenen Erörterungen auch hier bei der Stabilitäts-Unterfuchung des Kreuzgewölbes am Platze zu fein.

Dem gemäfs ift zunächft ein von der Ecke D rechtwinkelig auf ON ftehender Wölbftreifen mit einer lothrechten Mittelebene CED in Betracht gezogen. Die Wölblinie des Streifens in diefer Mittelebene nebft dem lothrechten Schnitte des Gratbogens ift im Plane I und II unter Beachtung der Stechung, wie aus der Zeichnung zu erfehen, ausgetragen. Der Streifen ED überfchreitet die Scheitellinie MN der fchmalen Gewölbkappe in U. Wie in Art. 181 (S. 283) angegeben, foll der Theil UD auch hier als Nebentheil des Haupttheiles EU angefehen und wiederum angenommen werden, dafs diefem Nebentheile die Aufgabe zu Theil wird, den Gewölbfchub des Streifens in feiner Gefammtheit von E nach D innerhalb der Gewölbkappe zu übertragen. (Vergl. den Plan II in Fig. 366, S. 278.)

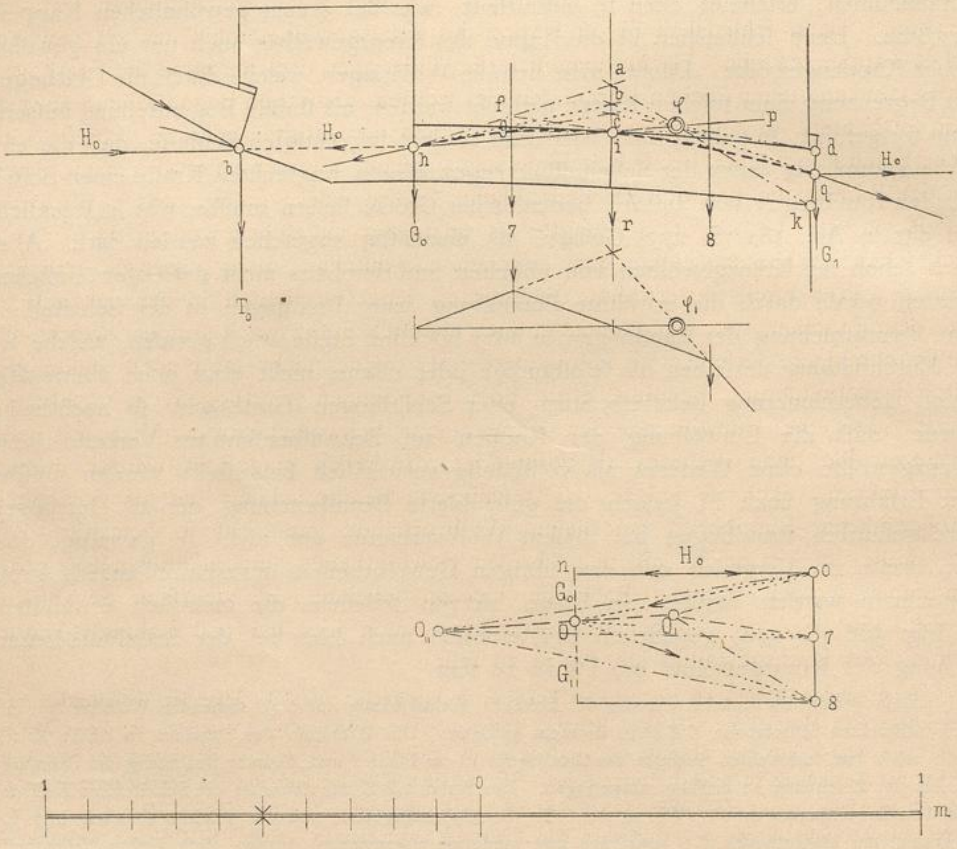
Die Stärke des Gewölbftreifens ift gleich $0{,}12^{\,m}$. Die Breite deffelben könnte beliebig gewählt werden. Da jedoch fpäter zur Beftimmung der Gewölbdicke ein Gewölbfchub für die Tiefe des Streifens gleich $1^{\,m}$ in Frage kommt, fo foll, da in Wirklichkeit eine Zone ED nur eine Backfteindicke gleich $0{,}065^{\,m}$ befitzt, zunächft für die Tiefe gleich $1^{\,m}$ die ftatifche Unterfuchung angeftellt und danach die Gröfse der auf die Widerlager am Grat-, bezw. am Randbogen kommenden Gewölbfchübe für die Tiefe gleich $0{,}065^{\,m}$ diefer Zone berechnet werden. Dem entfprechend find die Flächen-, bezw. Gewichtswerthe für I und II fo beftimmt, dafs die Bafis $oz = 0{,}4^{\,m}$ gewählt und die Strecke zx in den zugehörigen Gewichtsplänen gleich $1^{\,m}$ beibehalten ift.

Bei den beiden fich gemeinfchaftlich gegen den Gratbogen legenden einhüftigen Gewölbftücken I und II wird das gröfsere Stück I im Allgemeinen einen gröfseren Gewölbfchub auf den Gratbogen ausüben, als das kleinere Stück II. Letzteres wird alfo die Rolle eines Strebe- oder Abfteifungsbogens für

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den Gratbogen übernehmen müſſen, um ſchlieſslich einen von ſeinem Eigengewicht und der ihm vom gröſseren Stücke *I* zugefügten Preſſung erzeugten Druck auf ſein Widerlager am Randbogen fortzupflanzen. Die zur Prüfung des Gleichgewichtszuſtandes des ganzen Streifenſyſtems erforderliche Unterſuchung wird durch diejenige des Stückes *I* eingeleitet. Eine im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Geſagten angeſtellte Vorunterſuchung des einhüftigen Gewölbſtückes *I* giebt eine durch die Punkte *b*, *c* und *d* gehende, hier nicht weiter eingetragene Minimal-Drucklinie, welche unterhalb *d* noch eben in der Gewölbfläche verbleibt. Der Gewölbdruck in *b* iſt bei dieſer Drucklinie gleich *a b* des Gewichtsplanes *I*. Die lothrechte Seitenkraft dieſes Druckes iſt gleich T_0 und die wagrechte Seitenkraft deſſelben iſt H_0. Die lothrechte Kraft, bezw. das Gewicht T_0, belaſtet in *b* den Gratbogen. Derſelbe tritt alſo mit als Träger dieſer Laſt auf. Die wagrechte Seitenkraft H_0 ſucht den Gratbogen ſeitlich zu verſchieben. Dieſem Verſchieben hat das

Fig. 443.



Gewölbſtück *II* nebſt dem Widerlager am Randbogen Widerſtand zu leiſten. In ihrer Richtung fortgeſetzt, trifft ſie die Widerlagsfläche, bezw. Widerlagsfuge des Stückes *II* am Gratbogen im Punkte *h*. Dieſes Stück *II* iſt vermöge ſeiner Geſtaltung, da daſſelbe im Allgemeinen nicht aus zwei ſymmetriſchen Hälften mit ſymmetriſcher Belaſtung beſteht, wiederum ein einhüftiges Gewölbe. Für die ſtatiſche Unterſuchung deſſelben ſind, auſser ſeiner Form, das Eigengewicht und die wagrechte Seitenkraft H_0 eines in *h* wirkſamen Gewölbſchubes maſsgebend, welcher für den Gleichgewichtszuſtand eine Mittellinie des Druckes hervorrufen muſs, die innerhalb der Gewölbfläche verbleibt.

Um die Lage und Gröſse, bezw. Richtung dieſes in *b* thätigen Schubes zu finden, iſt, dem allgemeinen Wege entſprechend, welcher bei der ſtatiſchen Unterſuchung einhüftiger Gewölbe einzuſchlagen iſt, zunächſt eine Mittellinie des Druckes (Fig. 443) ermittelt, welche durch den Punkt *h*, einen Punkt *i* der Rückenlinie, d. h. einen Bruchfugenpunkt, welcher durch eine Vorunterſuchung feſt gelegt iſt und durch den tiefſten Punkt *k* der Widerlagsfuge am Randbogen geht. Hierbei iſt der durch *h* und *i*

geführte Strahl hp als Polaraxe mit dem in bekannter Weife zu findenden Fixpunkte φ benutzt. Die äufserften Seiten ah und ak gehören einem Seilpolygon für die Gewichte 7 und $\mathcal{S}$ mit der Refultirenden r an, welches durch die drei Punkte h, i und k geht. Zieht man im Gewichtsplane oO_1 parallel zu ah und $\mathcal{S}O_1$ parallel zu ak, fo wird O_1 Schnittpunkt, fo dafs man in oO_1 Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in h und in $O_1\mathcal{S}$ Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in k erhält. Die mit Hilfe des Poles O_1 zu conftruirende Mittellinie des Druckes mit den Punkten h, i und k bliebe zwar innerhalb der Gewölbfläche; die wagrechten Seitenkräfte von oO_1, bezw. $O_1\mathcal{S}$ find aber kleiner, als die vom Stücke I einwirkende wagrechte Kraft H_0, fo dafs beim Vorhandenfein der Gewölbdrücke oO_1 und $O_1\mathcal{S}$ im Stücke II das letztere nicht im Stande fein würde, dem Gewölbfchube des Stückes I zu widerftehen. Das Stück II mufs fähig erfcheinen, einen gröfseren Gewölbfchub aufzunehmen. Nimmt man zum Feftlegen eines gröfseren Gewölbfchubes den höchften Punkt d der Widerlagsfuge dk des Stückes II unter Beibehaltung der Punkte h und i und der Polaraxe hp zur Ermittelung einer neuen Mittellinie des Druckes an, welche nun durch die Punkte h, i und d gehen foll, fo erhält man in bekannter Weife, da bei diefer Ermittelung der Fixpunkt φ feine Lage nicht ändert, die Lage der gefuchten Gewölbfchübe in db und bh. Zieht man jetzt im Gewichtsplane oO_{11} parallel zu bh und $\mathcal{S}O_{11}$ parallel zu db, fo wird O_{11} der Pol für ein durch die Punkte h, i und d für die Gewichte 7 und $\mathcal{S}$ zu legendes Seilpolygon, und man erhält in oO_{11} die Gröfse, bezw. den Sinn des Gewölbdruckes in h und in $O_{11}\mathcal{S}$ den Gewölbdruck in d. Ob die Mittellinie des Druckes für diefe Gewölbdrücke innerhalb der Gewölbfläche bleibt oder diefelbe verläfft, ift hier gleichgiltig, weil der Zeichnung nach die wagrechten Seitenkräfte von oO_{11} und $O_{11}\mathcal{S}$ fchon viel gröfser als H_0 erfcheinen. Derart grofse Gewölbfchübe für das Stück II erfordert aber der Gleichgewichtszuftand des ganzen Syftems nicht, weil diefelben nur folche Gröfse befitzen follen und auch nur nöthig haben, bis ihre wagrechten Seitenkräfte genau der Kraft H_0 entfprechen.

Diefe noch unbekannten Gewölbfchübe findet man unter Anwendung eines bekannten Satzes der graphifchen Statik, wonach für die beiden Seilpolygone, welche in hfi und hgi in ihren erften beiden Seiten hf, fi, bezw. hg, gi durch die feften Punkte h und i gehen, die Verbindungslinie O_1O_{11} der Pole O_1 und O_{11} ihrer zugehörigen und gleichen Kräftepolygone, hier die Gewichtsftrecke $O\mathcal{S}$, eine Parallele zu der durch h und i gelegten Polaraxe hp fein mufs. Zieht man O_1O_{11}, fo ift diefelbe thatfächlich parallel zu hp. Trägt man die wagrechte Linie $on = H_0$ ab, fo fchneidet die durch n parallel zu $o\mathcal{S}$ geführte Gerade die Linie O_1O_{11} in O, und diefer Schnitt liefert den Pol eines dritten Seilpolygons, welches ebenfalls in feinen erften beiden Seiten durch die Punkte h und i gehen mufs, in feiner dritten Seite aber auch durch den Fixpunkt φ geht. Hiernach findet man nun ohne Weiteres in oO den gefuchten Gewölbfchub in h und in $O\mathcal{S}$ den Gewölbfchub, welcher für das Widerlager am Randbogen des Stückes II in Frage kommt.

Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl O_1O_{11} parallel der Polaraxe hp bereits ziehen können, nachdem die Polftrahlen oO_1 und $O_1\mathcal{S}$ für das durch h, i und k gehende erfte Seilpolygon den Pol O_1 feft gelegt hatten, fo dafs die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für die Punkte h, i und d, bezw. die zugehörigen Polftrahlen oO_{11} und $O_{11}\mathcal{S}$ erfpart werden konnte.

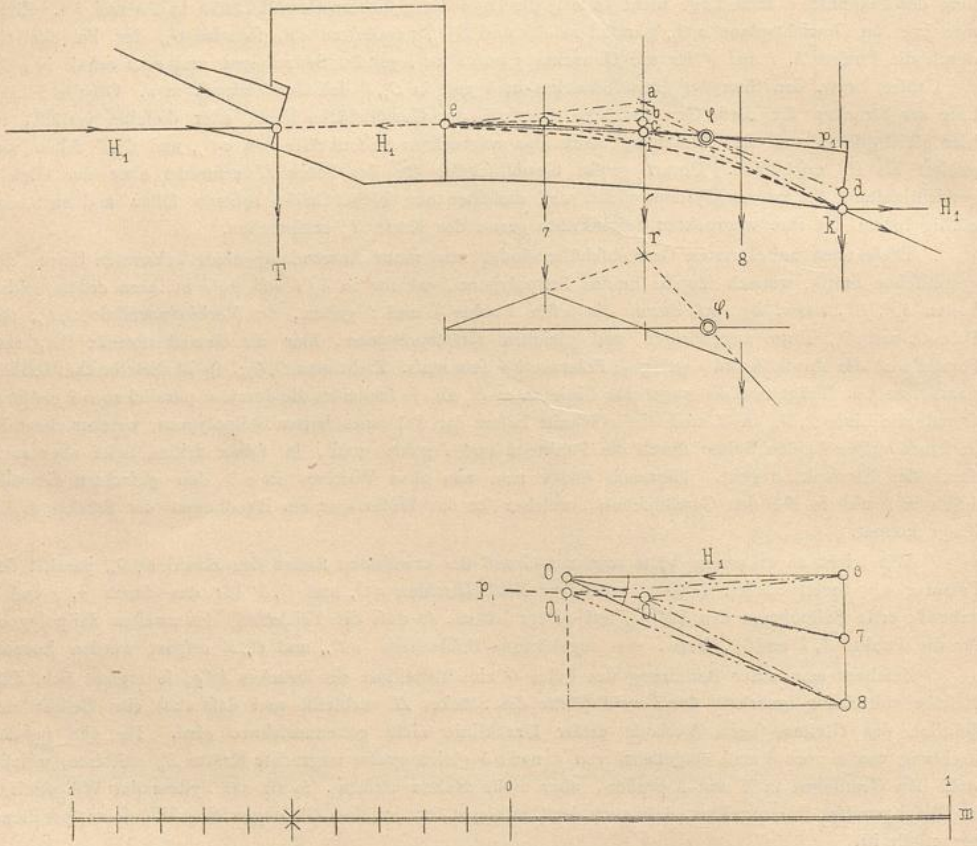
Zeichnet man unter Benutzung des Poles O eine Mittellinie des Druckes hiq, fo ergiebt fich, dafs diefelbe vollftändig innerhalb der Gewölbfläche des Stückes II verbleibt und dafs auch eine Gefahr hinfichtlich des Gleitens beim Verlaufe diefer Drucklinie nicht gekennzeichnet wird. Da nun in der Richtung von b nach h und umgekehrt von h nach b gleich grofse wagrechte Kräfte H_0 auftreten, welche wohl den Gratbogen in h und b preffen, aber nicht drehen können, fo ift das Syftem der Wölbftreifen im Gleichgewicht, vorausgefetzt, dafs auch der Gratbogen für fich dem Gleichgewichtszuftande entfprechend hergeftellt ift.

Sollte bei der ftatifchen Unterfuchung des gröfseren Gewölbftückes I, wie zuweilen der Fall, fich eine Mittellinie des Druckes ergeben haben, welche nach der Tafel bei S. 370 mit einem Gewölbfchube in e übereinftimmt, deffen wagrechte Seitenkraft die Gröfse H befitzt und, durch die Punkte e, c und d gehend, in e einen Punkt im Widerlager am Gratbogen enthält, welcher in einer Wagrechten ge liegt, die durch den höchften Punkt g der Widerlagsfuge des Stückes II im Querfchnitte des Grates geführt werden kann, fo find offenbar g und e, wie auch b und h, Grenzpunkte für die Lage der Angriffspunkte von Gewölbfchüben, deren wagrechte Seitenkräfte von gleicher Gröfse in einer folchen wagrechten Linie in einander entgegengefetzter Richtung wirken und fomit für fich eine feitliche Ausweichung oder eine Drehung des Gratbogens nicht hervorrufen können. Sind diefe Grenzpunkte e und g einmal in Betracht zu ziehen, fo kann nach Fig. 444 die ftatifche Unterfuchung des Gewölbftückes II nach demfelben Verfahren, wie bei Fig. 443 befchrieben, vorgenommen werden. Hat man auch hierbei zunächft die neue Polaraxe ep, durch einen angenommenen Bruchfugenpunkt c geführt, fo ergiebt fich meiftens fchon bei der Zeichnung eines erften Seilpolygons

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mit den äuſserſten Strahlen ea und ak die Erkenntniſs, daſs die mit dieſem Seilpolygon in Abhängigkeit ſtehende Mittellinie des Druckes eine Bruchfuge anzeigt, welche nicht nach c, ſondern oft und ſo auch hier äuſserſt nahe an den Punkt e fällt, ſo daſs die im vorliegenden Plane ſchon faſt wagrechte Polaraxe ep, und eben ſo der faſt wagrechte äuſserſte Strahl eb eines zweiten Seilpolygons ebd, welchem als Gewölbſchub in e die vorgeſchriebene wagrechte Seitenkraft H_1 zukommt, ſich überhaupt der wagrechten Richtung ſehr ſtark nähern. Alsdann kann man mit hinreichender Genauigkeit die Mittellinie des Druckes unter Benutzung eines in e ausſchlieſslich wagrecht liegenden Gewölbſchubes $H_1 = O6$ zeichnen und prüfen, ob dieſelbe dem geforderten Gleichgewichtszuſtande entſpricht. In Fig. 444 erfüllt dieſelbe als ek dieſe Forderung. Wäre ſolches nicht der Fall, ſo muſs die Geſtaltung der Wölbſtreifen durch Abänderung der Stechungshöhe, bezw. der Stärke der Wölbſtreifen oder der Belaſtung derſelben einer neuen Anordnung unterzogen werden.

Fig. 444.



Genau ſo, wie die auf der Tafel bei S. 370 in der Richtung CD genommenen Wölbſtreifen I und II unterſucht ſind, werden auch alle übrigen Gewölbſtreifen auf ihre Stabilität geprüft. In der Zeichnung iſt noch der Streifen III näher berückſichtigt und das Erforderliche ſofort zu erkennen. Für den Streifen IV treten ähnliche Beziehungen auf, wie ſolche für den Streifen II ſich geltend machten.

Für die Berechnung der Gewölbſtärke wird ſelbſtredend derjenige Elementarſtreifen benutzt, deſſen Gewölbſchub die gröſste wagrechte Seitenkraft liefert. Auf der Tafel iſt der Streifen I als ſolcher anzuſehen. Für denſelben iſt $H_0 = 0{,}53$ m gefunden. Da die Baſis $oz = 0{,}4$ m gewählt, die Tiefe des Gewölbſtreifens für die ſtatiſche Unterſuchung gleich 1 m angenommen war, ſo ergiebt ſich der für die Gewölbſtärke maſsgebende Werth zu

$$H_0 = 0{,}53 \cdot 0{,}4 = 0{,}212 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 iſt für $H = 0{,}2$ eine Gewölbſtärke von $^1/_2$ Stein gleich $0{,}12$ cm erforder-

lich. Diese Stärke kann nun auch für $H_0 = 0{,}212$ hier beibehalten werden. Der Normaldruck für die Widerlagsfuge am Randbogen bei D ergiebt sich, da N_0 nach dem Gewichtsplane I gleich 1 m ist, als

$$N_0 = 1 \cdot 0{,}4 = 0{,}4 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Für diesen Werth reicht also nach jener Tabelle die Gewölbstärke von $^1/_2$ Stein ebenfalls aus.

Um die Kräfte zu bestimmen, welche bei den auf Schwalbenschwanz-Verband eingewölbten Kreuzgewölben auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern kommen, hat man wie bei den gewöhnlichen Kappengewölben nach den Angaben zu Fig. 366 (S. 278) zu verfahren. Hier wäre z. B. die wagrechte Seitenkraft der bei M zusammentretenden Wölbschichten *III* und *III*, nach dem Gewichtsplane *III* und *IV* auf der Tafel für die Tiefe gleich 1 m dieser Streifen, da H zu 0,35 m gemessen ist,

$$H = 0{,}35 \cdot 0{,}4 \cdot 1 = 0{,}14 \text{ cbm}.$$

Da 1 cbm Backsteinwölbung 1600 kg wiegt, so ist $H = 324$ kg. Der Elementarstreifen *III* ist aber nur 0,065 m (Backsteindicke) breit; mithin kommt für denselben ein wagrechter Schub von $324 \cdot 0{,}065 = \backsim 21$ kg in Rechnung. Derselbe Schub wird vom Streifen *III*, nach M gebracht. Beide setzen sich, wie in der Zeichnung angegeben, zu einer wagrechten Mittelkraft zusammen, deren Gröfse im vorliegenden Falle, da der Winkel $OML = 30$ Grad ist, ebenfalls 21 kg betragen würde. Bestimmt man, wie schon früher in Art. 181 (S. 277) in ausreichender Weise erörtert, die auf die Randbogen kommenden, aus den Elementarstreifen resultirenden Kräfte, ermittelt die Höhenlagen ihrer Angriffspunkte über der Kämpferebene mit Hilfe der fest gelegten Stirnlinien des Kreuzgewölbes, so kann man sich leicht ein Bild von der Beanspruchung der Randbogen derartiger, auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführter Gewölbe verschaffen, so weit solches für die Praxis erforderlich ist. Die Beanspruchungen der Gratbogen durch die lothrechten und wagrechten Seitenkräfte der Gewölbschübe der einzelnen Streifen werden unmittelbar bei den statischen Untersuchungen, wie aus den Gewichtsplänen auf der Tafel bei S. 370 zu erkennen ist, mit klar gelegt.

β) Stärke der Gratbogen.

253. Kreuzgewölbe mit Kufverband.

Die Stabilitäts-Untersuchung der Gratbogen der cylindrischen Kreuzgewölbe, mögen dieselben auf Kuf- oder auf Schwalbenschwanz-Verband zu wölben sein, lässt sich immer unter Benutzung der Grundlagen ausführen, welche für die statische Untersuchung der Tonnengewölbe maſsgebend waren.

Sind die von den Kappen auf die Gratbogen überführten Gewölbdrücke bekannt geworden, ist das Eigengewicht der Gratbogen, einschliefslich einer etwa vorhandenen Belastung durch Uebermauerung oder durch Einzellasten u. s. w., bestimmt, so lässt sich, diesen äufseren, die Gratbogen angreifenden Kräften entsprechend, ein den Gleichgewichtszustand bewirkendes System von inneren wach gerufenen Kräften ermitteln und danach die Stärke, bezw. der Querschnitt der Gratbogen fest stellen.

Bei den auf Kuf gewölbten Kappen werden die auf die Gratbogen ausgeübten Gewölbdrücke nach gehöriger Vereinigung und dann nach entsprechender Zerlegung bei regelrechter Gestaltung des Gewölbes im Allgemeinen lothrechte und wagrechte Kräfte liefern, welche, wie in Art. 248 u. 249 angeführten Beispielen 1 u. 2 gezeigt ist, in der lothrechten Richtungs- oder Kräfteebene des zugehörigen Gratbogens liegen.

Bei den auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführten Kreuzgewölben sind die wagrechten Seitenkräfte jener Gewölbdrücke, wie aus dem in Art. 252 gegebenen Beispiele 3 zu entnehmen ist, bei einer sachgemäfsen Anordnung der cylindrischen Laibungsflächen für sich im Gleichgewicht, so dafs für den Gratbogen alsdann nur die lothrechten Seitenkräfte seiner Gewölbdrücke in Betracht zu ziehen sind.

Für das in Art. 248 (S. 363) bezeichnete Kreuzgewölbe mit Kufverband ist in der umstehenden Tafel die Stabilitäts-Untersuchung für den aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 t für 1 cbm herzustellenden Gratbogen G auf graphischem Wege vorgenommen. Derselbe bildet die Hälfte eines symmetrisch gestalteten und

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſymmetriſch durch lothrechte und wagrechte Kräfte beanſpruchten Diagonalbogens, tritt alſo als die Hälfte eines einfachen, ſchmalen Tonnengewölbes auf, deſſen Gewölbſchub in einer angenommenen Scheitelfuge eine wagrechte Lage in der Kräfteebene beſitzt.

Zunächſt iſt nach Ausmittelung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreiſes und der angenommenen Stechungshöhe, ſo wie nach Beſtimmung der Normalſchnitte α, β, γ, deren wagrechte Projectionen α_0, β_0, γ_0 ſind, das Gewicht der einzelnen Theilſtücke des Grates im Plane A graphiſch dargeſtellt.

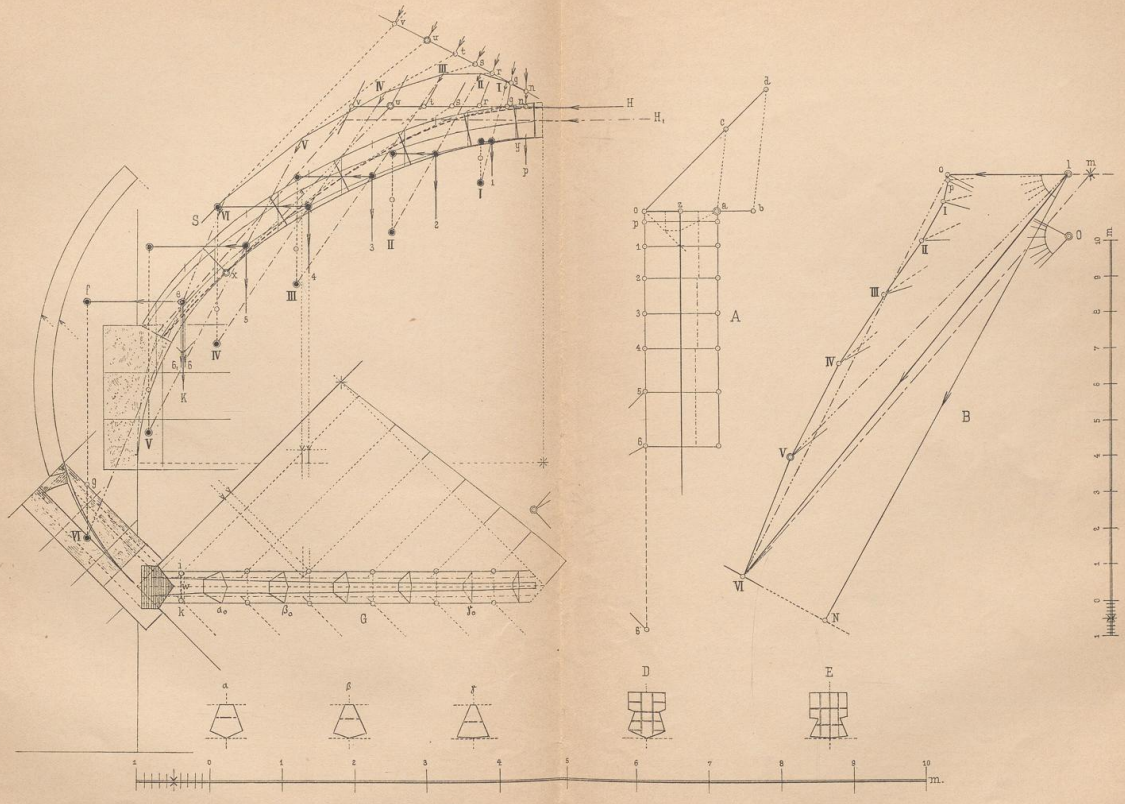
Für dieſe Darſtellung ſind die Theilſtreifen im Anſchluſſe an die Zerlegung der am Grat zuſammentreffenden beiden Gewölbkappen in ihre Elementarſtreifen entſprechend begrenzt genommen. Dieſe Eintheilung in Lamellen iſt aus dem Grund- und Aufriſs des Gratbogens zu erſehen. Sie beſtimmt im Abſtande ihrer Theillinien die Breite der Gratſtücke, wonach die mittlere Höhe derſelben in bekannter Weiſe aus dem Aufriſs zu entnehmen iſt. Die Gratbogenſtücke ſind ſeitlich durch die Widerlagsflächen der Elementarſtreifen der Kappen begrenzt. Die geraden Erzeugenden dieſer Flächen gehören den verſchiedenen Normalebenen des Gratbogens an; ſie beſitzen verſchiedene Neigungen zur Wagrechten, und in Folge hiervon iſt die mittlere Dicke der Gratbogenſtücke gleichfalls von einander abweichend. Die Normalſchnitte α, β, γ u. ſ. f. dienen zur Ausmeſſung der einzelnen mittleren Dicken. Da endlich das Eigengewicht des Grates $2{,}4$, das Eigengewicht des Wölbmaterials aber $1{,}6$ beträgt, ſo iſt auch das Gewicht der Theilſtücke des Grates auf das Eigengewicht des Wölbmaterials zurückzuführen, damit ohne Weiteres, neben Gleichartigkeit in der Behandlung der zu verwerthenden Kräfte, die ſchon auf der Tafel bei S. 363 erhaltenen Gewölbdrücke der Elementarſtreifen, alſo auch die für den Grat beſtimmten reſultirenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte derſelben in Benutzung zu nehmen ſind. Nach den Erörterungen zu Fig. 442 (S. 365) iſt im Plane A die Strecke $oc = 1{,}6$ m, die Strecke $od = 2{,}4$ m aufgetragen und ſonſt ganz nach dem in Art. 249 (S. 363) Gegebenen, unter Beibehaltung der Baſis $oz = 0{,}5$ m, die Ermittelung der Gewichtsſtrecke $o6$ vorgenommen. Vereinigt man nun zunächſt die reſultirenden lothrechten Seitenkräfte der Kappendrücke mit dem Gewichte der zugehörigen Gratſtücke, ſo erhält man die Mittelkraft aller am betreffenden Gratſtücke lothrecht wirkenden Kräfte. So wirkt z. B. das Gewicht 6, gleich der Strecke 56, in der Mittellinie des letzten Theilſtückes; die Gewölbdrücke der zugehörigen Kappenſtreifen greifen in i, bezw. k an; das reſultirende Gewicht 6_1, gleich der Strecke 66_1, aus beiden Drücken hat ſeinen Angriffspunkt in der Mitte w von ik in der Kräfteebene des Grates. Bei dieſem Stücke iſt, da ik nicht mit der mittleren lothrechten Theillinie deſſelben zuſammenfällt, die Mittelkraft K, gleich der Strecke $56'$, ihrer Lage nach noch näher beſtimmt, was bei den übrigen Theilſtücken hier nicht nöthig wird.

Setzt man dieſe lothrechten Mittelkräfte eines jeden Stückes mit den reſultirenden wagrechten Seitenkräften der Gewölbdrücke, welche aus den zugehörigen Elementarſtreifen der Kappen entſpringen, zuſammen, was leicht möglich iſt, da auch dieſe wagrechten Kräfte in der Kräfteebene des Grates liegen, auſserdem bei der ſtatiſchen Unterſuchung jener Elementarſtreifen vollſtändig nach Lage, Gröſse und Sinn bekannt geworden ſind (vergl. die Tafel bei S. 363), ſo erhält man nunmehr für jedes Gratſtück die für die Stabilitäts-Unterſuchung in Rechnung zu ſtellende Hauptreſultirende. So iſt z. B. ef die reſultirende wagrechte Kraft der Gewölbſtreifen für das letzte Theilſtück des Grates. Da die lothrechte Reſultirende $K = 56_1 = fg + gVI$ gefunden, ſo giebt das Kräftedreieck $efVI$ in eVI die Hauptreſultirende für dieſes Stück. In gleicher Weiſe iſt für die übrigen Theilſtücke, wie in der Zeichnung deutlich hervorgehoben iſt, jede zugehörige Hauptreſultirende feſt gelegt.

Beim erſten höchſten Theilſtücke des Gratbogens iſt im vorliegenden Falle keine wagrechte und keine lothrechte Kraft von den Elementarſtreifen vorhanden, ſo daſs nur eine lothrechte Kraft p gleich der Strecke op als Gewicht dieſes Gratſtückes im Schwerpunkte deſſelben wirkend auftritt.

Trägt man die gefundenen Hauptreſultirenden op, pI, III u. ſ. f. bis VI zu einem Kräftezuge oVI, wie hier im Plane B, jedoch unter Benutzung eines kleineren, ſonſt beliebig gewählten Maſsſtabes geſchehen, zuſammen, zeichnet man unter Annahme eines Poles O das Seilpolygon S für jene Kräfte, ſo läſſt ſich genau ſo, wie für lothrecht gerichtete Kräfte, eine Mittellinie des Druckes für den Gratbogen darſtellen. In der Zeichnung iſt der höchſte Punkt der Fuge y als Angriffspunkt eines etwa möglichſt kleinſten wagrechten Gewölbſchubes angenommen. Die mit dem gefundenen Horizontalſchube H, gleich der Strecke lo, im Plane B gezeichnete Mittellinie des Druckes zeigt im Punkte x eine Bruchfuge an, bleibt aber in ihrem Verlaufe ganz innerhalb der Kräftefläche des Gratbogens. Da auch keine Gefahr gegen Gleiten ſich erkennbar macht, ſo iſt der gewählte Gratbogen ſtandfähig. Wollte man eine Mittel-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Stabilitäts-Unterſuchung des Gratbogens eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Kufverband.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

linie des Druckes eintragen, welche thunlichſt durch die Mitten der Theilfugen des Grates geht, ſo würde dieſer ein Horizontalſchub H, zukommen.

Die für die Beſtimmung der einzelnen Drucklinien eintretenden, durch Zeichnung zu ſchaffenden Gebilde ſind aus der Tafel zu erſehen.

Nach Ausmeſſung der Kraftſtrecke lo und der für den Normaldruck der Widerlagsfuge entſtehenden Kraftſtrecke lN des Planes B läfſt ſich bei einer gewählten Breite des Gratbogens ſeine Stärke (Höhe) berechnen.

Wäre der Gratbogen aus Backſtein ausgeführt, ſo hätte man, da $lo = 3{,}4$ m und die Baſis nach wie vor $0{,}5$ m beträgt, bei einer Breite von 2 Stein gleich $0{,}51$ m den Gewölbſchub $\mathfrak{H}_0$, bezogen auf eine Tiefe (Breite) des Gratbogens von der Längeneinheit (1 m), ſofort als

$$\mathfrak{H}_0 = 3{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 3{,}33 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Dieſem Werthe entſpricht nach der Tabelle auf Seite 202 eine Gewölbſtärke von 2 Stein in genügender Weiſe, ſo daſs die Anordnung des Grates nach D und E in der Zeichnung erfolgen könnte. Der Normaldruck $\mathfrak{N}_0$ ergiebt ſich, da $lN = 14$ m gefunden iſt, als

$$\mathfrak{N}_0 = 14 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 13{,}71 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

In jener Tabelle überſchreitet dieſer Werth den bei einer Stärke von 2 Stein aufgeführten Normaldruck N von $11{,}07$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met., ſo daſs bei einem Gratbogen aus Backſtein bei dem hier unterſuchten Gewölbe mit quadratiſchem Grundriſs und 8 m Spannweite eine Verſtärkung um $^1/_2$ Steinlänge vom Scheitel nach dem Widerlager angezeigt iſt.

Der Gratbogen ſoll aber aus Quadermaterial vom Eigengewicht $2{,}4$ beſtehen. Die durchſchnittliche mittlere Breite oder die Dicke deſſelben, welche jetzt in Rechnung kommt, iſt jedoch nach den Normalſchnitten α, β, γ nur gleich $0{,}30$ m. Für die Berechnung der Stärke des Gratbogens ſind die Linienwerthe $lo = 3{,}4$ m und $lN = 14$ m des Planes B maſsgebend. Dieſelben ſind jedoch unter Zurückführung des Eigengewichtes $2{,}4$ des Quadermaterials auf $1{,}6$ des Wölbmaterials erhalten. Aus dieſem Grunde iſt die Ermittelung des wagrechten Druckes $\mathfrak{H}$, im höchſten Punkte der Scheitelfuge y und des Normaldruckes $\mathfrak{N}$, in der Widerlagsfuge über dem Anfänger des Grates unter Berückſichtigung des Verhältniſſes von $1{,}6 : 2{,}4$ vorzunehmen. Danach erhält man, da die Baſis $oz = 0{,}5$ m unverändert bleibt, jetzt

$$\mathfrak{H}_1 = 3{,}4 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 3{,}77 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N}_1 = 14 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 15{,}55 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Setzt man in Gleichung 142 (S. 185) ſtatt H den Werth $\mathfrak{H}_1$, ſo ergiebt ſich die geſuchte Stärke des aus Quadern anzufertigenden Gratbogens als

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 3{,}77)\,3{,}77} = 0{,}43 \text{ m},$$

und führt man in Gleichung 148 (S. 186) für N die Gröſse $\mathfrak{N}_1$ ein, ſo erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 15{,}55)\,15{,}55} = 0{,}50 \text{ m}.$$

Auch hiernach iſt die Vornahme einer allmählichen Verſtärkung des Gratbogens vom Scheitel nach dem Widerlager zweckmäſsig.

In der Zeichnung war die Stärke des Gratbogens ſchätzungsweiſe zu $0{,}50$ m angenommen. Die Rechnung erfordert keine Vermehrung derſelben, ſo daſs die ſtatiſche Unterſuchung des Grates abgeſchloſſen werden kann.

254. Kreuzgewölbe mit Schwalbenſchwanz-Verband.

In gleicher Weiſe würde auch die Beſtimmung der Gratſtärke für ein Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriſs und Einwölbung auf Kuf getroffen werden können. Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanz-Verband bleiben die Grundlagen für die ſtatiſche Unterſuchung der Gratbogen ebenfalls beſtehen. Nur iſt hierbei zu beachten, daſs, wie früher bereits bemerkt, von den einzelnen Gewölbſtreifen der Kappen, alſo hier der an einem und demſelben Grat liegenden Kappen-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hälften, im Allgemeinen auf den Gratbogen nur lothrecht wirkende Belaſtungen, wie z. B. T_0 und G_0 auf der Tafel bei S. 370, übertragen werden, welche alsdann mit dem Gewichte G des zugehörigen Gratſtückes unmittelbar zu einer lothrecht wirkenden Reſultirenden W zuſammenzuſetzen ſind. Durch eine leicht zu treffende Geſtaltung der Querſchnittsfläche des Gratbogens und der damit verbundenen Schwerpunktslage deſſelben iſt dahin zu ſtreben, daſs die ſämmtlichen derartigen Reſultirenden für alle Theilſtücke in eine und dieſelbe lothrechte Ebene innerhalb des Grates fallen, welche alsdann die Kräfteebene des Gratbogens bildet.

255. Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Sind bei Kreuzgewölben von geringer Weite beſondere Gratbogen nicht vorhanden, ſo iſt offenbar auch keine Stabilitäts-Unterſuchung für einen Grat vorzunehmen. Wohl aber machen ſich in der Ebene des Zuſammenſchnittes der Kappen, alſo in der Ebene der Gratlinie, Kräfte der Elementarſtreifen der Kappen in ähnlicher Weiſe geltend, wie bei den Kreuzgewölben mit beſonderen Gratbogen. Dieſe Kräfte ſind bei der Beſtimmung der Widerlagsſtärke der Gewölbe ohne ſelbſtändigen Grat eben ſo in Betracht zu ziehen, wie bei den mit Gratbogen verſehenen Kreuzgewölben.

γ) Stärke der Widerlager.

256. Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

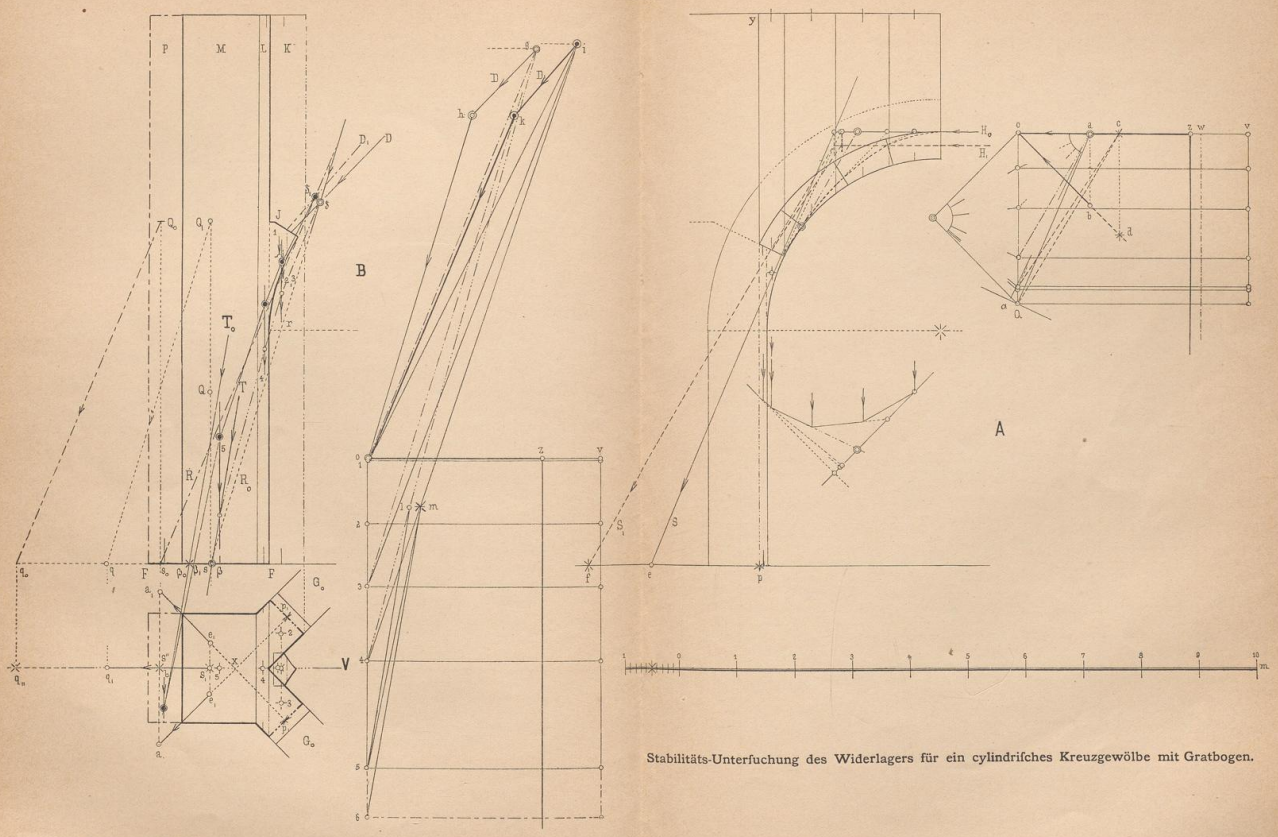
Bei den offenen Kreuzgewölben ſind die Stirnmauern durch Oeffnungen frei gehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgeſchloſſen werden, deren Wölblinien den Stirnlinien des Gewölbes meiſtens entſprechend gekrümmt gewählt werden. Dieſe Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben ſelbſt ein gemeinſchaftliches Widerlager an den Eckpfeilern des überwölbten Raumes. Dieſe Eckpfeiler ſind die Stützkörper des Wölbſyſtems. Die Stärke derſelben hängt bei den offenen Kreuzgewölben alſo gleichzeitig von den Gewölbdrücken der ihnen zugewieſenen Gurtbogen und von den in den Gratbogen der Kreuzgewölbe wirkenden Gewölbſchüben ab. Die Vereinigung dieſer beiden Gruppen von Kräften mit dem Gewichte der Widerlagspfeiler bildet den Ausgangspunkt für die ſtatiſche Unterſuchung und Beſtimmung der Stärke dieſer Stützkörper. Die maſsgebenden Grundlagen für ſolche Unterſuchungen ſind bereits in Art. 143 (S. 197) beim Tonnengewölbe gegeben. Die Anwendung derſelben bei den Widerlagern der offenen cylindriſchen Kreuzgewölbe ſoll auf der neben ſtehenden Tafel gezeigt werden. Das hier gewählte Kreuzgewölbe entſpricht in ſeinen Abmeſſungen und Anordnungen der in Art. 248 (S. 363) als Beiſpiel 1 gegebenen Gewölbanlage. Die halbkreisförmigen Gurtbogen G_0 ſammt ihrer Aufmauerung ſollen aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 beſtehen, wie ſolches auch für die Gratbogen jenes Gewölbes vorgeſehen war.

Zuerſt iſt im Plane A der neben ſtehenden Tafel, unter Einführung einer beliebig gewählten Baſis $oz = 3^{\,\mathrm{m}}$, der feſten Länge $zv = 1^{\,\mathrm{m}}$ und der Tiefe $vw = 0{,}80^{\,\mathrm{m}}$ der beiden gleichen und gleich belaſteten Gurtbogen G_0 von je $6^{\,\mathrm{m}}$ Spannweite, die Gewichtsſtrecke oQ einer Hälfte dieſer ſymmetriſch geformten und belaſteten Tonnengewölbe bis zu der durch p geführten Lothrechten py ermittelt. Sodann iſt in bekannter Weiſe der Horizontalſchub H_0 im höchſten Punkte der Scheitelfuge, bezw. der Gewölbſchub S, welcher auf die Widerlagsfuge am Anfänger des Gurtbogens kommt, beſtimmt. Berechnet man die Stärke des Gurtbogens, ſo ergiebt ſich, da $ao = H_0 = 1{,}25^{\,\mathrm{m}}$ miſſt, der in Gleichung 142 (S. 185) für H einzuſetzende Werth

$$H_0 = 1{,}25 \,.\, 3 \,.\, \frac{1}{0{,}80} = \sim 4{,}7 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Hiernach wird

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 4{,}7)\,4{,}7} = \sim 0{,}48^{\,\mathrm{m}}.$$



Stabilitäts-Unterfuchung des Widerlagers für ein cylindrifches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge ist $a\alpha = 3{,}2$ m bestimmend. Man erhält

$$N_0 = 3{,}2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = 12 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Für N in Gleichung 148 (S. 186) diese Zahl 12 eingesetzt, giebt

$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 12)\,12} = 0{,}44 \text{ m}.$$

Der Gurtbogen ist also $0{,}48$ m stark zu nehmen. In der Zeichnung war auf Grund einer nach Art. 138 (S. 190) geführten Voruntersuchung diese Stärke angenommen.

Der Gewölbschub S, abhängig von dem hier möglichen kleinsten Horizontalschube H_0, nimmt einen kleinsten noch zulässigen Grenzwerth an. Gehörig erweitert schneidet die Richtung von S die Grundebene pf des Stützkörpers in e im Abstande pe von der Lothrechten py. Für die Bestimmung der Widerlagsstärke ist nach Art. 142 (S. 197) aber dieser Gewölbschub besser abhängig zu machen von einem Horizontalschub H_1, welcher im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und mit der Belastung des Gurtbogens eine Resultirende S_1 erzeugt, welche durch den Mittelpunkt der Kämpferfuge geht. Auch dieser Gewölbschub $S_1 = cQ$ für den Horizontalschub $H_1 = co$ ist auf der neben stehenden Tafel bestimmt. Derselbe trifft die Grundebene pf des Widerlagskörpers im Punkte f.

Jeder der beiden Gurtbogen G_0 liefert also als Beanspruchung des Eckpfeilers des Kreuzgewölbes diese Gewölbschübe S, bezw. S_1. Werden zunächst die beiden Gewölbschübe S betrachtet, so liegen ihre Angriffspunkte in der Grundebene des Eckpfeilers nach dem Plane B der neben stehenden Tafel je für sich in den Punkten e_1 ihrer Kräfteebenen, und p,e_1 ist gleich pe des Planes A. Die lothrecht durch e_1 gerichtete Seitenkraft des Schubes S ist gleich dem Gewichte oQ und die wagrecht in e_1 nach $e_1 a_1$ gerichtete Seitenkraft von S ist gleich $H_0 = ao$. Setzt man die beiden lothrechten und gleich grosen Seitenkräfte oQ der Schübe S beider Gurtbogen zu einer Mittelkraft gleich $2\,oQ$ zusammen, so liegt ihr Angriffspunkt im Halbirungspunkte s, der Geraden e,e, und weiter in der Richtung der lothrechten Kräfteebene V des Gratbogens des Kreuzgewölbes. Setzt man ferner die beiden wagrechten Seitenkräfte $H_0 = ao$ in x in der Grundebene des Eckpfeilers zu einer Mittelkraft zusammen, so liegt dieselbe gleichfalls in der Ebene V. Die Grösse dieser Mittelkraft findet man einfach als bo des Kräftedreieckes bao, worin $ba = ao = H_0$ ist. Verlegt man den Angriffspunkt x dieser Mittelkraft in ihrer Richtung nach s, und setzt man zum Schluss $s,q_1 = sq = bo$ mit $sQ_1 = 2 \cdot oQ$ zu einer Mittelkraft $Q_1 q$ im Plane B zusammen, so erhält man in dieser Mittelkraft, welche wiederum in der Kräfteebene V des Gratbogens liegt, der Grösse und dem Sinne nach den Druck, welcher von den beiden Gurtbogen G_0 auf den Eckpfeiler des Kreuzgewölbes kommt. Dieser Druck ist in seiner Abhängigkeit vom kleinsten möglichen Horizontalschub H_0 ebenfalls am kleinsten.

Genau so ist unter Benutzung des gröseren Horizontalschubes $co = H_1$ der grössere resultirende Druck $Q_0 q_0$ zu bestimmen. Für denselben ist $s_0 q_0 = do$ des Planes A und $s_0 Q_0$ wiederum gleich $2\,oQ$. Da der Angriffspunkt des Druckes Q,q in s, der Grundfläche des Eckpfeilers liegt, die lothrechte Projection dieses Punktes in s erhalten wird, so giebt der durch s parallel zu Q,q gezogene Strahl R_0 die wirkliche Lage jenes Druckes in der Kräfteebene V.

Für den gröseren Druck $Q_0 q_0$ ist der Angriffspunkt s_0, in der Grundfläche der Mittelpunkt der geraden Linie a,a_1, wofür $p,a_1 = pf$ des Planes A sein mus. Die lothrechte Projection s_0 des Angriffspunktes ist ein fester Punkt für die zu $Q_0 q_0$ parallel gezogene Gerade R, welche gleichfalls die wirkliche Lage des gröseren Druckes $Q_0 q_0$ in der Kräfteebene V bestimmt. In dieser Ebene herrscht nun weiter der von den Gewölbkappen auf ihren zugehörigen Grat übertragene gesammte Druck, welcher schliesslich vom Gratbogen auf den Eckpfeiler weiter geführt wird.

Nach den zur Tafel gehörigen Ermittelungen kann zunächst wieder der gefundene kleinere vom Gratbogen auftretende Druck D und sodann der grössere am Gratbogen bestimmte Druck D_1 in Betracht gezogen werden.

Nach dem Plane B auf der Tafel bei S. 376 ist D mit Hilfe der Kraftstrecke $l\,VI$, dagegen D_1 unter Verwerthung der Strecke $m\,VI$ fest zu legen. In jener Abbildung ist $l\,VI = 14{,}4$ m und die Basis $oz = 0{,}5$ m, mithin die Kraftstrecke mit einer Masszahl $14{,}4 \cdot 0{,}5 = 7{,}2$ behaftet. Dort waren die Gewichte auf Wölbmaterial vom Eigengewichte $1{,}6$ zurückgeführt.

Bei der jetzt anzustellenden Untersuchung ist jedoch Quadermaterial vom Eigengewichte $2{,}4$ zu berücksichtigen. Hiernach ist also die Masszahl $7{,}2$ durch Multiplication mit $\frac{1{,}6}{2{,}4}$ als $7{,}2 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 4{,}8$ für Quadermaterial zu erhalten. Da endlich in der neben stehenden Tafel die Basis zu 3 m fest gelegt war, so ergiebt sich die im Kräfteplane B einzutragende Kraftstrecke D_1 zu $\frac{4{,}8}{3} = 1{,}6$ m gleich der Strecke gh.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für die gröfsere Kraftftrecke D_1, gleich der Strecke ik, findet man die zugehörige Mafszahl, da $m\,VI$ im Plane B der Tafel bei S. 376 $14{,}7^{\,\mathrm{m}}$ mifft, nunmehr durch den Ausdruck

$$D_1 = 14{,}7 \cdot \frac{0{,}5}{3} \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 1{,}63^{\,\mathrm{m}}.$$

Unter Benutzung der Neigungswinkel $o\,l\,VI$, bezw. $o\,m\,VI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke $l\,VI$, bezw. $m\,VI$ in der Widerlagsfuge am Anfänger des Gratbogens auf der genannten Tafel find die Drücke D und D_1 für fich eingetragen. Aus der Zufammenfetzung von $D = gh$ und $R_0 = ho$ in δ des Planes B erhält man go als kleineren Gefammtdruck für den Eckpfeiler, während durch die Zufammenfetzung von $D_1 = ik$ und $R = ko$ in δ, der gröfsere Gefammtdruck für diefen Pfeiler durch io dargeftellt wird.

Nach der Ermittelung diefer Drücke kann nun die Stabilitäts-Unterfuchung des Eckpfeilers, welcher hier gleichfalls aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 beftehen foll, ganz nach dem in Art. 143 (S. 197) Gegebenen unter Berückfichtigung der aus der Zeichnung zu erfehenden Lamellentheilung und Gewichtsbeftimmung derfelben ohne weitere Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Für den kleineren Druck D tritt die Lamelle M als Grenzftreifen ein. Das Gewicht derfelben ift zur Vermeidung einer zu langen Kräfteftrecke in ein Viertel feiner wirklichen Länge als Strecke 45 dargeftellt. Um dennoch die fehlerlofe Richtung der Mittelkraft T aus dem Kräftezuge gh, ho, $o5$ zu erhalten, ift $l4$ gleichfalls ein Viertel der Länge des Strahles $g4$ zu nehmen. Der Strahl $l5$, welcher für den ihm parallelen Strahl T beftimmend wird, giebt jene Mittelkraft in ein Viertel ihrer Gröfse an. Diefe Endrefultirende fchneidet die Fufsfläche des Eckpfeilers im umringelten Punkte β. Derfelbe liegt von der Aufsenkante der Lamelle M fo weit ab, dafs, wenn die Grundfläche des Pfeilers hier näherungsweife als ein Rechteck angefehen wird, der Punkt β eben an der Grenze des fog. inneren Drittels diefes Rechteckes bleibt. Für den kleinften Druck D würde alfo der Eckpfeiler mit den Theilftreifen K, L und M als ftandfähig gelten können.

Für den gröfseren Druck D_1, dagegen, welcher zur Herbeiführung eines üblichen Sicherheitsgrades für die Standfähigkeit diefes Eckpfeilers als wirkfam angefehen werden foll, genügt die eben ermittelte Stärke nicht mehr in dem Mafse, dafs eine Endrefultirende 5β, parallel $m5$, innerhalb jenes inneren Drittels bleibt. Danach ift noch eine neue Lamelle P hinzuzufügen. Das Gewicht derfelben ift als Strecke 56 wiederum in ein Viertel der wirklichen Länge gezeichnet, und eben fo ift $m4$ gleich ein Viertel der Länge $i4$. Die Endrefultirende für den Kräftezug ik, ko, $o6$ ift nunmehr das Vierfache von $m6$. Ihre Lage T_0 parallel $m6$ im Pfeiler ift leicht zu beftimmen. Diefe Refultirende trifft die Fufsfläche deffelben im Punkte β_0, welcher das innere Drittel des neuen Pfeilers mit den Theilftreifen K, L, M und P nicht überfchreitet, fo dafs hiermit die Pfeilerftärke beftimmt ift. Die Breite FF beträgt $2{,}1^{\,\mathrm{m}}$.

Die Spannweite des Diagonalbogens ift bei dem quadratifchen Grundriffe des hier unterfuchten Kreuzgewölbes von $8^{\,\mathrm{m}}$ Seitenlänge gleich $8\sqrt{2} = \sim 11{,}3^{\,\mathrm{m}}$; folglich ergiebt fich das Verhältnifs der Widerlagsftärke zu diefer Weite des ganzen Gratbogens zu $\frac{2{,}1}{11{,}3}$ als nahezu gleich $\frac{1}{5}$. Beim kleineren Drucke D ift die Widerlagsftärke gleich $1{,}5^{\,\mathrm{m}}$, fo dafs nun jenes Verhältnifs in $\frac{1{,}5}{11{,}8}$, d. h. in $\frac{1}{7{,}5}$ umgewandelt würde.

Bei diefer Angabe einer Verhältnifszahl von Widerlagsftärke zur Spannweite eines ganzen Grat- oder Diagonalbogens mufs aber, wenn diefelbe überhaupt Werth haben foll, offenbar die Tiefe des Widerlagers mit beachtet werden. Diefelbe richtet fich, wie aus dem Grundriffe des Eckpfeilers zu erfehen ift, theilweife nach der Tiefe der Gurtbogen G_0. Im Allgemeinen follte die Tiefe der Eckpfeiler nicht unter $\frac{2}{3}$ der in der Richtung V der Gratlinie angetragenen Stärke herabfinken.

257. Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Die Stabilitäts-Unterfuchung der Eckpfeiler für Kreuzgewölbe mit felbftändigen Gratbogen und rechteckigem Grundrifs ift auf dem eben befchriebenen Wege gleichfalls auszuführen. Bei Kreuzgewölben ohne befondere Gratbogen ift bei der Beftimmung der Widerlagsftärke das in Art. 255 (S. 378) Gefagte ohne Weiteres zu verwerthen. Hierbei fällt ein fonft vom Gratbogen herrührendes Eigengewicht einfach fort. Drücke, wie D, bezw. D_1, refultiren allein aus den Gewölbdrücken der in der Gratlinie zufammengefügten Elementarftreifen der Kappen. Das Wefen in der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſtatiſchen Unterſuchung der Eckpfeiler für derartige Gewölbe wird dadurch nicht geändert.

258. Pfeiler für vier Gurtbogen.

Treten gegen einen Zwiſchenpfeiler in vollſtändig ſymmetriſcher Anordnung und Belaſtung vier Gurtbogen und vier Gratbogen ſymmetriſch liegender Kappen einer Kreuzgewölbe-Anlage, ſo werden alle wagrechten Seitenkräfte der Drücke, welche von den Gurtbogen und Gratbogen auf den Pfeiler kommen, aufgehoben. Derſelbe wird dann nur durch lothrechte Kräfte beanſprucht. Die ſtatiſche Unterſuchung derſelben wird danach äuſserſt einfach und kann hier unterbleiben.

Bei einer Beanſpruchung der Eck- oder Zwiſchenpfeiler einer unſymmetriſchen Kreuzgewölbe-Anlage iſt die Stabilitäts-Unterſuchung der Stützkörper ſchrittweiſe von Gurtbogen zu Gurtbogen, ſo wie von Gratbogen zu Gratbogen zur Ermittelung der Reſultirenden der den Stützkörper angreifenden äuſseren Kräfte nach den Methoden der graphiſchen Statik, wenn auch etwas mühevoll, doch ohne ſehr erhebliche Schwierigkeiten, vorzunehmen. Die Endreſultirende dieſer angreifenden Kräfte im Raume, wobei ſich unter Umſtänden ein Kräftepaar geltend machen kann, iſt mit dem Gewichte des Pfeilers dann weiter zu vereinigen, um Aufſchluſs über die Standfähigkeit des Stützkörpers zu erhalten. Durch Uebermauerung der Gewölbzwickel, bezw. der Stützkörper muſs dahin geſtrebt werden, ein etwa ſich zeigendes Kräftepaar in ſeiner Wirkung wieder aufzuheben.

δ) Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke.

259. Stärke der Kappen.

Sollte bei gröſseren Kreuzgewölbe-Anlagen auch ſtets eine gewiſſenhafte ſtatiſche Unterſuchung und danach die Berechnung der Gewölbſtärke ſtattfinden, ſo hat man doch bei den in der Praxis ſo häufig zur Ausführung gelangten und noch vielfach angewandten cylindriſchen Kreuzgewölben der Erfahrung im Allgemeinen entſprechend die folgenden Regeln für die Beſtimmung der Gewölbſtärke aufgeſtellt.

Die Stärke der Kappen der halbkreisförmigen, bezw. elliptiſch-cylindriſchen Kreuzgewölbe, welche auſser ihrem eigenen Gewichte beſondere Belaſtungen nicht aufzunehmen haben, kann bei der Verwendung von gutem Backſteinmaterial, einem fehlerfreien, nicht zu langſam bindenden Mörtel und unter der Vorausſetzung einer ſorgfältigen Ausführung bei einer Spannweite bis zu 6 m ½ Stein, bei einer Weite bis zu 9 m ½ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager betragen. Geht die Spannweite über 9 m hinaus, ſo giebt man den Kappen zweckmäſsig durchweg 1 Stein Stärke.

Im Hochbauweſen kommen Kreuzgewölbe, welche gröſsere Kappenſtärken als 1 Stein erfordern, ſelten vor.

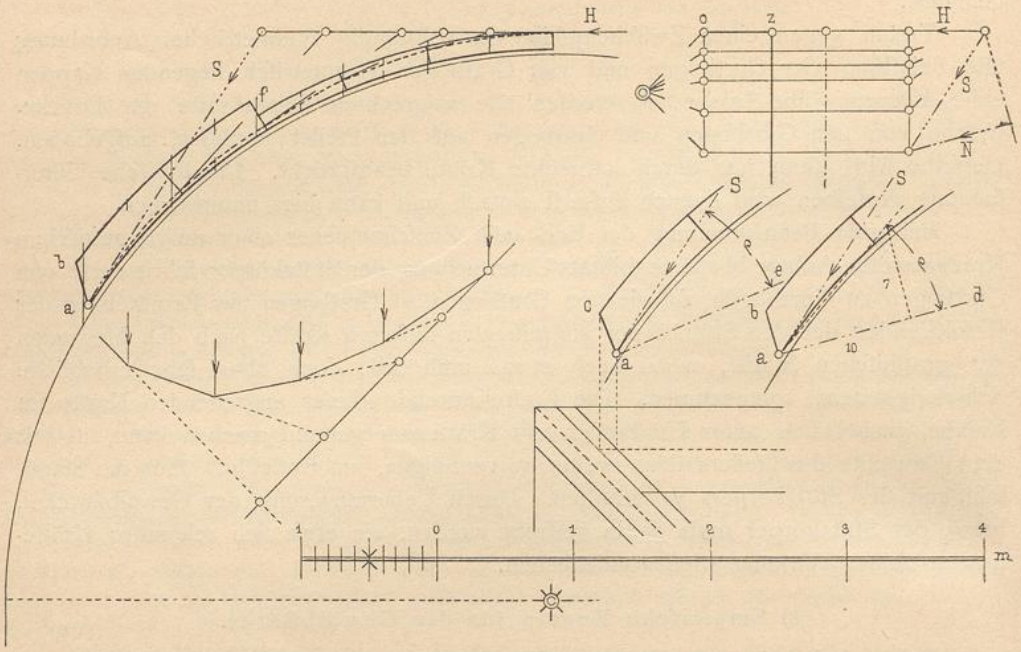
Bei Kreuzgewölben, deren Kappen aus hinreichend feſten und lagerhaften Bruchſteinen oder aus gutem Quadermaterial einzuwölben ſind, kann die Kappenſtärke ungefähr gleich $\frac{1}{25}$ ihrer Spannweite genommen werden.

Daſs dieſe nach empiriſchen Regeln angegebenen Stärken unter Umſtänden noch einer Prüfung auf ihre Stichhaltigkeit unterzogen werden ſollten, mag durch Fig. 445 nachgewieſen werden.

Für das im Art. 248 (S. 363) gegebene Beiſpiel 1 iſt bei dem mitgetheilten Kreuzgewölbe eine Spannweite von 8 m vorhanden. Hiernach könnte den vorhin angeführten Abmeſſungen zufolge eine Stärke der Kappen gleich ½ Stein im Scheitel und 1 Stein bei den Schichten in der Nähe des Widerlagers genommen werden. Die in der Zeichnung vorgeführte ſtatiſche Unterſuchung eines derartigen, an der Stirnmauer liegenden gröſsten Kappenſtreifens, deſſen Breite hier wiederum zu 0,60 m angenommen iſt,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 445.



ergiebt für die Berechnung ſeiner Stärke, da $H = 0{,}55$ m und $N = 0{,}76$ m gefunden werden, bei der Baſis $oz = 0{,}5$ m

$$\mathfrak{H} = 0{,}55 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}60} = \sim 0{,}46 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 0{,}76 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}60} = 0{,}633 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Ein Vergleich dieſer Werthe für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{N}$ mit den in der Tabelle auf S. 202 enthaltenen Gröſsen H und N zeigt, daſs $\mathfrak{H}$ eine etwas gröſsere Stärke als $^1/_2$ Stein, $\mathfrak{N}$ aber für die Stärke am Widerlager noch keine Dicke von 1 Stein fordert.

Da $N = 0{,}6$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. in jener Tabelle eine Stärke von $^1/_2$ Stein geſtattet, ſo kann man auch unter Zulaſſung einer etwas gröſseren Preſſung im Scheitel für $\mathfrak{H} = 0{,}46$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. die Stärke von $^1/_2$ Stein füglich gelten laſſen, und die Kappe in der nach der empiriſchen Regel empfohlenen Weiſe mit einer Verſtärkung nach dem Widerlager geſtalten.

Wohl aber ſollte dabei noch geprüft werden, ob, bei der oft ſteil gehaltenen Anarbeitung der Widerlagsfläche am Grat, die Richtung des hier wirkenden Gewölbſchubes S mit der Senkrechten auf der Fuge ab die Gröſse des zuläſſigen Reibungswinkels ρ nicht überſchreitet.

Nach der urſprünglichen Annahme der Widerlagsfuge ab iſt hier der Winkel Sad gröſser als der Winkel ρ. Hieraus folgt, daſs die Widerlagsfuge, wie z. B. ac, ſo gerichtet ſein ſoll, daſs der Winkel Sae mindeſtens gleich dem Winkel ρ wird, d. h. dieſe Widerlagsfuge ſoll, um ein Gleiten des Streifens am Grat zu unterdrücken, überall nicht zu ſteil geſtellt werden.

Aufserdem ſei darauf hingewieſen, daſs zur geeigneten Erzielung einer ſtetigen Zunahme der Gewölbſtärke vom Scheitel bis zum verſtärkten Anſatze in der Kappe ein Ausgleich des Zwickels f durch Beton oder durch Ausfüllung mit Mörtel und Steinbrocken anzurathen iſt.

260. Stärke der Grate.

Cylindriſche Kreuzgewölbe von geringer Spannweite, welche etwa 3,0 m bis 3,5 m beträgt, erhalten, wenn keine fremde Belaſtung in Rechnung zu bringen iſt, recht oft weder eine Verſtärkung im Grat, noch beſondere, ſelbſtändig ausgeführte Gratbogen. Ihre Kappen ſchneiden in der Ebene der Gratlinie zuſammen. Solche Gewölbe ſind Deckenbildungen mehr untergeordneter Art. Wird die Spannweite

gröfser als 3,5 m oder hat das Gewölbe noch eine Belaftung durch Sandfchüttung oder durch einen darüber befindlichen Fufsboden aufzunehmen, fo tritt bis zu Spannweiten von 6 m, je nach den obwaltenden Umftänden, entweder eine Gratverftärkung, worüber unter 3 bei der Ausführung der Kreuzgewölbe noch das Nöthige gefagt werden foll, oder die Einführung felbftändiger Gratbogen ein.

Bei gröfseren Spannweiten ift die Herrichtung folcher Gratbogen ftets zweckmäfsig. Bei den cylindrifchen Kreuzgewölben erhalten diefe Gratbogen unterhalb der Wölbfläche keine befonders gegliederten Anfätze (Profile); fie laufen vielmehr meiftens in eine Schneide aus, welche dem Zufammenfchnitt der angrenzenden Kappenflächen angehört. Die in lothrechten Ebenen liegenden geraden Erzeugenden der Widerlagsflächen der Kappen haben vom Fufse des Gratbogens bis zum Scheitel deffelben verfchiedene Neigungswinkel zur fenkrechten Richtungsebene des Grates. In Folge hiervon wechfelt in jedem Normalfchnitt deffelben auch feine mittlere Breite. Damit der Gratbogen durch die mittels Abfchrägung feiner fonft lothrechten Seitenflächen zu gewinnenden Widerlagsflächen nicht zu fehr in feinem Verbande, bezw. feinem auf Druck beanfpruchten Körper gefchwächt wird, darf die wagrechte Projection deffelben der Breite nach nicht zu gering bemeffen werden.

Bei Spannweiten der Kappen bis etwa 4 m beträgt diefelbe bei Gratbogen aus Backftein mindeftens 1 Stein, die Höhe oder Stärke des Grates hierbei gleichfalls wenigftens 1 Stein. Bei gröfseren Spannweiten bis etwa 9 m ift die Breite der Gratbogen 1½ Stein, unter Umftänden 2 Stein, ihre Stärke 1½ Stein bis 2 Stein zu nehmen. Sind Gratbogen innerhalb der Spannweiten der Kappen von 4 m bis 9 m bei 1½ Stein Breite im Scheitel 1 Stein ftark angenommen, fo find diefelben nach dem Widerlager auf 1½ Stein zu verftärken.

Bei Kreuzgewölben über 9 m Spannweite giebt nur die ftatifche Unterfuchung des Wölbfyftemes Aufichlufs über die zu wählenden Stärken der Gratbogen, bezw. der Gewölbkappen. Werden bei Backfteinkappen bis etwa 6 m Spannweite ftatt der eigentlichen Gratbogen nur Gratverftärkungen eingeführt, welche mit dem Mauerwerk der Kappen im Verbande ftehen, fo ift diefe Verftärkung bei einer Breite von mindeftens 1 Stein in ihrer Gefammthöhe, einfchliefslich der Kappenftärke über der inneren Gratlinie, gleichfalls nicht unter 1 Stein zu nehmen. Gratbogen aus genügend feften Bruchfteinen oder Quadern follten bei kleineren Kreuzgewölben bis 6 m Weite nicht unter 0,20 m Breite und 0,25 bis 0,30 m Stärke, bei gröfseren Gewölben aber eine Breite von 0,30 bis 0,40 m mit einer Höhe von 0,30 bis 0,50 m erhalten.

261. Widerlagsftärke.

Bei den offenen cylindrifchen Kreuzgewölben aus Backftein, Bruchftein oder Quadern kann unter Berückfichtigung des Verhältniffes der Breite zur Dicke des Widerlagskörpers wie 1 : 1, bezw. 2 : 3 (vergl. Art. 256, S. 380) die Stärke der Eckpfeiler in der Richtung der Gratebene etwa zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite des ganzen Gratbogens gewählt werden. Hierbei ift die Höhe des Widerlagers von feiner Fufsfläche bis zur Kämpferebene etwa gleich 3 m vorausgefetzt. Bei einer Höhe über 3 m ift jene Stärke um etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ des ganzen Höhenmafses zu vergröfsern.

Bei den gefchloffenen cylindrifchen Kreuzgewölben ift die Stärke der Mauerkörper an den Ecken des Raumes in der Richtung der Gratebene fchätzungsweife zu $\frac{1}{7}$ der Spannweite des ganzen Gratbogens zu fetzen. Bei einer Widerlagshöhe über 3 m ift diefe Stärke ebenfalls entfprechend zu vergröfsern.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die flachen Kreuzkappengewölbe erhalten in den meiſten Fällen eine Gewölbſtärke von $^1/_2$ Stein und Gratverſtärkungen oder Gratbogen von 1 bis $1^1/_2$ Stein Breite mit 1 bis $1^1/_2$ Stein Höhe.

Dieſelben Abmeſſungen gelten gewöhnlich auch für nicht ſehr ſtark belaſtete anſteigende Kreuzgewölbe. Die Stärke der Widerlager dieſer zuletzt erwähnten beiden Arten von Kreuzgewölben wird am beſten durch eine ſtatiſche Unterſuchung feſt geſtellt.

ε) Verankerungen.

262. Sichtbare Verankerungen.

Wenn gleich die Stärke der Widerlager, d. h. der Eck- und Zwiſchenpfeiler der cylindriſchen Kreuzgewölbe, von vornherein ſo groſs genommen werden ſollte, daſs dieſelben im Stande ſind, dem vollen Gewölbſchube mit ausreichender Sicher-

Fig. 446.

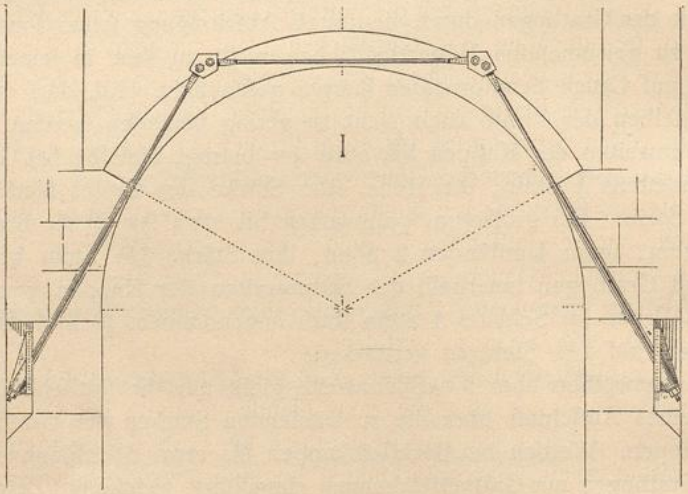
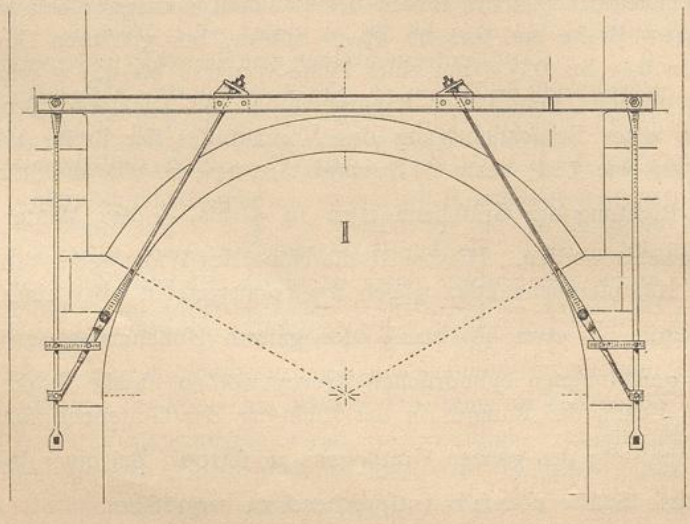


Fig. 447.



heit zu widerſtehen, ſo können doch Umſtände eintreten, welche eine beſondere Verankerung und damit eine Verſtärkung der Widerlagskörper, namentlich der Eckpfeiler, erforderlich machen. Immerhin dürfen dieſe Verankerungen bei Kreuzgewölben nur als Nothbehelfe angeſehen werden.

Die aus Flach- oder Rundeiſen beſtehenden Ankerſtangen würden ihre günſtigſte Lage in der Kämpferebene oder wenig darüber in der Richtung der Gratlinien erhalten, um damit dem Schube der Gratbogen am beſten begegnen zu können. Eine ſolche Anordnung würde auch in wahrheitsgetreuer Weiſe auf den eigentlichen Zweck der Verankerung hinweiſen. Eben ſo könnten bei offenen Kreuzgewölben zur Verankerung der Eckpfeiler und auch der Zwiſchenpfeiler die einzelnen Gurtbogen durch Ankerſtangen, welche in der Kämpferebene angebracht würden, kräftig verſpannt werden. Für dieſe einfachen Verankerungen gilt das in Art. 178 (S. 268) beim Kappengewölbe über Verſtärkung ſeiner Widerlager Geſagte ebenfalls.

263. Unſichtbare Verankerungen.

Kommen auch derart angebrachte Verankerungen bei Bauwerken älterer und neuerer Bauperioden vor, ſo können dieſelben doch in manchen Fällen bei ihrer tiefen Lage unter dem Gewölbſcheitel ſtörend ſein. Alsdann ſind die Verankerungen der Grat-, bezw. Gurtbogen nicht mehr ſichtbar zu laſſen, ſondern in das Innere dieſer Wölbkörper zu verlegen. Derartige Verankerungen zeigen Fig. 446 u. 447. Bei der Anordnung *I* iſt ein Gelenkſyſtem gebildet, um ein zweckmäſsiges Einleiten von Zugſpannungen, hervorgerufen vom Gewölbſchube am Widerlager der Grat- oder Gurtbogen, in die einzelnen Theile zu bewirken. Für die Berechnung der Querſchnitte der Zugſtangen, Ankerplatten u. ſ. f. iſt aber zweckmäſsig von einem Gewölbſchube auszugehen, welcher einer Maximaldrucklinie im Grat-, bezw. Gurtbogen angehört, ſonſt jedoch nach dem in Art. 178 (S. 268) Vorgetragenen zu verfahren. Die Verankerung *II*, welche in ihrer aus der Zeichnung deutlich zu erkennenden Anordnung einer von *Durm* bei einem Tonnengewölbe mit Stichkappen ausgeführten Anker-Conſtruction [178]) entſpricht, läſſt ſich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

3) Ausführung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

264. Material.

Die Kappen und die Gratbogen der cylindriſchen Kreuzgewölbe ſind Beſtandtheile eines Tonnengewölbes. Ihre Ausführung hat alſo nach den Vorſchriften zu geſchehen, welche in Kap. 9, unter c mitgetheilt ſind. Selbſt die von den Römern geſchaffenen, mit groſsen Spannweiten behafteten Kreuzgewölbe, welche im Allgemeinen aus Backſteinmaterial in Verbindung mit Guſswerk aus Steinbrocken und Mörtel beſtanden [179]), hatten die Ausführung der ähnlich hergeſtellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

Für die Kreuzgewölbe der Jetztzeit werden Backſteine, möglichſt leichte, aber dennoch hinreichend feſte, lagerhafte Bruchſteine und unter beſonderen Verhältniſſen leicht zu bearbeitende Quader zur Einwölbung verwendet. Als Bindemittel dient fehlerfreier Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein. Das über dieſe Materialien beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Mitgetheilte trifft auch beim Kreuzgewölbe zu.

265. Lehrgerüſte.

Cylindriſche Kreuzgewölbe werden im Allgemeinen auf einer durch Lehrgerüſte unterſtützten Schalung eingewölbt.

---

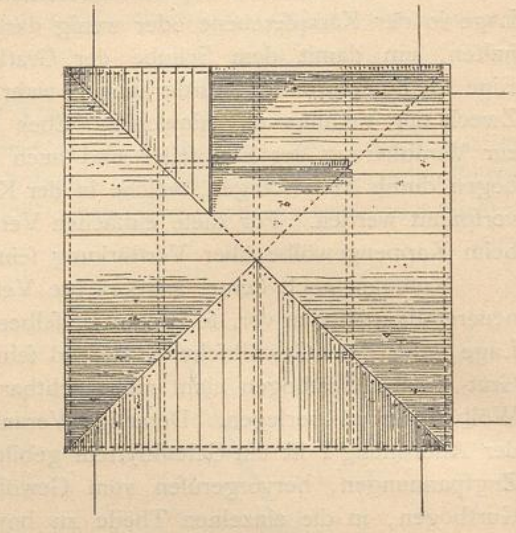
[178]) Siehe: Durm, J. Der neue Friedhof in Karlsruhe. Zeitſchr. f. Bauw., S. 3 u. Bl. 1—9.

[179]) Siehe Theil II, Band 2 dieſes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

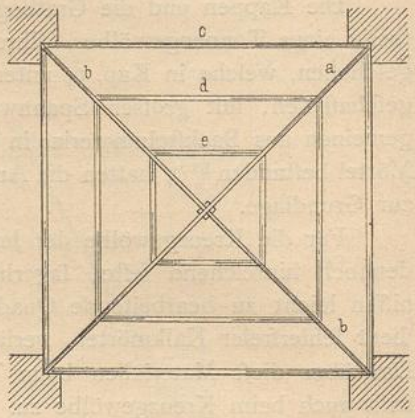
Kleine Gewölbe, bis etwa 4 m Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 152 (S. 220) angegeben ift, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinkelig angefügten Stichkappen eingefchalt werden (Fig. 448). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen oder auch gewöhnliche Wölbfcheiben als Randbogen aufgeftellt. Zwei einander gegenüber liegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abftand diefer Randbogen über 2 m, fo wird zur befferen Unterftützung der Schalung noch eine Wölbfcheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwifchen den Randbogen aufgeftellt. Auf der Schalung find die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureifsen. Von denfelben aus erfolgt die weitere Einfchalung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu gehörigen Lehrbogen oder Wölbfcheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diefe Schalung kann nach Erfordernifs noch durch Wölbfcheiben unterftützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der erften Hauptfchalung finden. Je forgfältiger diefe zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ift, um fo fchärfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Fig. 448.



Gröfsere Kreuzgewölbe, namentlich folche, welche Stechung erhalten follen, müffen in anderer Weife eingerüftet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden befondere Lehrbogen aufgeftellt. Nach Fig. 449 ift mit *a* ein ganzer, von einer Ecke zur gegenüber liegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates befteht aus zwei Theilen *b*, welche fich gegen den Lehrbogen *a* fetzen und an demfelben fachgemäfs befeftigt werden. Wie beim Kloftergewölbe in Art. 216 (S. 322) angeführt, werden diefe Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsftelle durch einen Pfoften (Mäkler, Mönch) unterftützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei gröfserer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,0 m bis 1,5 m Zwifchenbogen *d*, *e* aufgeftellt. Diefes Bogenfyftem nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie find zur Erzielung einer fcharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zufammenzufchneiden, fo dafs ihre Fuge hier der Wölblinie des Grates vollftändig entfpricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verfchiedenen Lehrbogen erfolgt

Fig. 449.

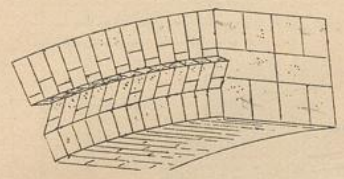


UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

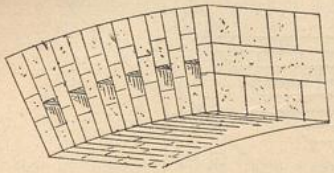
in der bei der Ausmittelung der Hauptſtücke des Kreuzgewölbes gezeigten Weiſe. Die Conſtruction der Lehrbogen geſchieht nach den in Art. 152 (S. 220) gegebenen Mittheilungen. Eben ſo ſind die Unterlagerungen, Ausrüſtungsvorrichtungen und die Schalung des geſammten Lehrgerüſtes, wie beim Tonnengewölbe in Art. 154 bis 157 (S. 224 u. ff.) beſchrieben, auch für cylindriſche Kreuzgewölbe in Anwendung zu bringen. Offene Kreuzgewölbe erhalten für ihre Gurtbogen ſelbſtredend gleichfalls eine Ausrüſtung.

Sollen cylindriſche Kreuzgewölbe aus Backſtein oder unter Umſtänden auch aus leichtem Tuffſtein auf Schwalbenſchwanzverband errichtet werden, ſo kann, wenn die Einwölbung von geſchickten Maurern ausgeführt wird, die Einſchalung der Gewölbflächen ganz fehlen. Nur für die Grate werden Lehrbogen aufgeſtellt, und hierüber ſind alsdann bei gröſseren Gewölben die Gratbogen, welche mit entſprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu verſehen ſind, ſelbſtändig herzuſtellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berückſichtigung einer Gratverſtärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung zu fertigen. Für die Anſätze der Kappen an den Stirnen ſind nach Fig. 450 entweder wie bei *I* an den Gurtbogen, bezw. an den Stirnmauern die Widerlagsflächen angearbeitet oder wie bei *II* Verzahnungen gelaſſen, ſo daſs hierdurch eine Lehre für das aus freier Hand zu bewirkende Wölben der Kappen vorhanden iſt. Als weitere Lehre dient zweckmäſsig ein Scheitelbrett, welches in ſeiner Oberkante die Scheitellinie vom höchſten Punkte der Randbogen bis zum Gewölbſcheitel angiebt. Ueber dieſem Brette, welches gehörig unterſtützt iſt, ſchneiden ſich dann die zuſammengeſtochenen Schichten der Kappen.

Fig. 450.



I



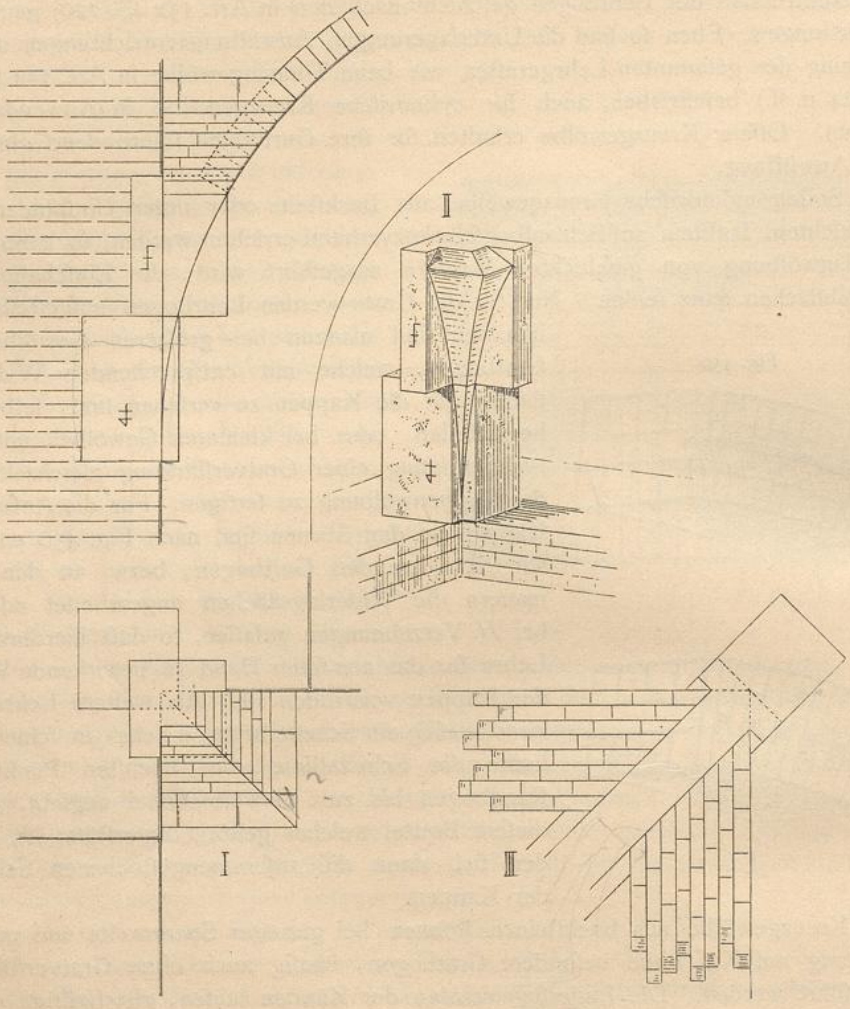
II

266. Kreuzgewölbe aus Backſteinen.

Kreuzgewölbe aus Backſteinen können bei geringer Spannweite und mäſsiger Belaſtung auf Kuf ohne beſondere Gratbogen, häufig auch ohne Gratverſtärkung, ausgeführt werden. Die Lagerfugenkanten der Kappen laufen, gleichgiltig, ob das Gewölbe eine Stechung erhält oder nicht, in ihrer wagrechten Projection parallel mit den Axen der Kappen; ſie ſind, wie Fig. 451 bei *I* zeigt, in den einzelnen Schichten auf Verband zu ordnen und an der Gratlinie gegenſeitig zu überbinden, ſo daſs nach der Richtung dieſer Linie eine Fugenebene nicht eintritt. Die Anfänger an den Ecken des Gewölbes werden durch Auskragen in wagrechten Schichten hergeſtellt, bis eine geeignete Fuſsfläche für die Gratſteine gewonnen iſt. Weit beſſer wird jedoch der Anfänger, wie in *II* gegeben, aus feſtem Quadermaterial angefertigt. In jedem Falle iſt zu beachten, daſs gleich bei der Ausführung der Mauerkörper, welche demnächſt die herzuſtellenden Kreuzgewölbe begrenzen, dieſe Anfänger von der einen oder der anderen Art an richtiger Stelle ſchon mit eingefügt werden, damit von Anfang an ein geſicherter, kräftig im Mauerwerk eingebundener Gewölbefuſs für jede Kappe vorhanden iſt. Sollen die Grate eine Verſtärkung erhalten, ſo kann nach Fig. 452 auch hierbei der Verband auf Kuf angewendet werden.

Sind für gröſsere und etwa ſtärker belaſtete Gewölbe ſelbſtändige, gleichfalls auf Kuf gewölbte Gratbogen herzurichten, welche alsdann ein geeignet angearbeitetes

Fig. 451.

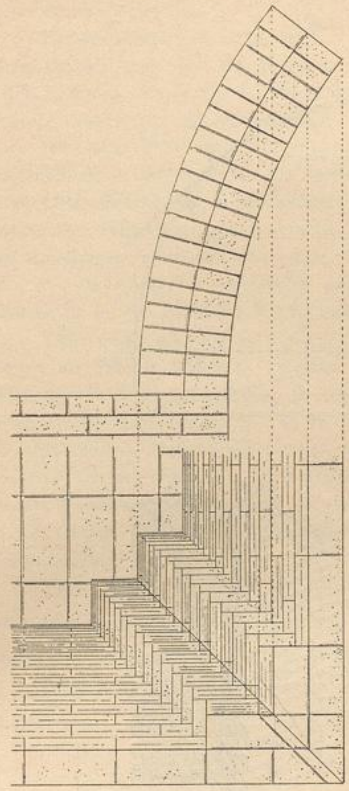


Widerlager für die Kappen bekommen, ſo wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, ſelbſt wenn dieſelben einer gröſseren Belaſtung halber ſtatt $^1/_2$ Stein 1 Stein ſtark werden müſſten.

Beim Vorhandenſein von beſonderen Gratbogen kann auch die Einwölbung der Kappen im *Moller*'ſchen Verbande nach der Anordnung *III* in Fig. 451 ſtattfinden.

In den weitaus meiſten Fällen wird die Einwölbung der Kappen der cylindriſchen Kreuzgewölbe aus Backſtein auf Schwalbenſchwanz-Verband vorgenommen. Ein einigermaſsen weit geſpanntes Gewölbe erhält dann am beſten immer ſelbſtändig auf Kufverband ausgeführte Gratbogen. Bei ſtrenger und ſachgemäſser Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanz-Verband ſollen die einzelnen Lagerflächen der Wölbſchichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und ſenkrecht zur Wölblinie deſſelben ſtehen. Die Schnittlinien dieſer ſog. Normalebenen des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wölblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 452.



am Grat- und am Rundbogen foll fenkrecht zu den entftehenden Wölblinien gerichtet fein. Die für diefe Forderungen nothwendigen zeichnerifchen Ermittelungen find in Fig. 453 angeftellt.

Für das zu Grunde gelegte Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundrifs ift der Stirnbogen P der kleinen Seiten ein Halbkreis, der Randbogen U der langen Seiten eine halbe Ellipfe mit der grofsen Halbaxe δu und der kleinen Halbaxe $\delta\delta_1$ gleich dem Halbmeffer γu, bezw. $\gamma\gamma_1$ des Halbkreifes P. Die wagrechte Projection des Gewölbfcheitels ift s; die Geraden $s\gamma$ und $s\delta$ find die wagrechten Projectionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung $d:b$ verfehenen Kappen A und B. Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite $\alpha\beta$ ift Rs.

Nach den in Art. 241 (S. 355) gemachten Mittheilungen ift auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege die lothrechte Projection as_1 der Wölblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Diefelbe gehört hier einer Ellipfe mit den halben conjugirten Durchmeffern ab und bs_1 an. Sollten die reellen Axen diefer Ellipfe gefunden werden, fo könnte man fich des in Art. 135 (S. 174) bei Fig. 284 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für einen beliebig angenommenen Punkt f der Gratlinie ift mit Hilfe des halben Stirnbogens es_1, entfprechend dem grundlegenden Halbkreife P, eine Tangente T feft gelegt. Die in f auf T errichtete Lothrechte giebt in NE die Spur der vorhin bezeichneten Normalebene zum Grat in der lothrechten Projectionsebene, während das in E auf ad errichtete Loth EF die Spur jener Normalebene in der wagrechten Kämpferebene beftimmt.

Die Projectionen der Schnittlinien der Normalebene in f mit den Laibungsflächen der Gewölbekappen A und B ergeben fich in folgender Weife. Die wagrechte Projection des Punktes f ift der Punkt e auf Rs. Von e laufen die wagrechten Projectionen ert und eqp diefer gefuchten Schnittlinien aus. Diefelben find von Bedeutung, weil fie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bezw. für die Geftalt der Wölblinien der am Gratbogen zufammentretenden Wölbfchichten der Kappen A und B mafsgebend werden. Um den Grenzpunkt t am Stirnbogen P zu ermitteln, ift die Schnittlinie $1t''$ der Normalebene des Grates mit der lothrechten Stirnebene P unter Verwerthung der Höhenlage hf des Punktes f über der Kämpferebene ad gezeichnet. Für diefe Schnittlinie $1t''$ ift, wie fofort erkannt werden kann, $h_1f_1 = hf$ und der Punkt 1 der Schnittpunkt der Spur EF auf der verlängerten Geraden $u\gamma$. Der Strahl $1f_1$ trifft den Stirnbogen P im Punkte t''. Derfelbe ift die lothrechte Projection des Grenzpunktes der erwähnten Wölblinie in der Kappe A. Die wagrechte Projection deffelben ift der Punkt t auf $u\gamma$.

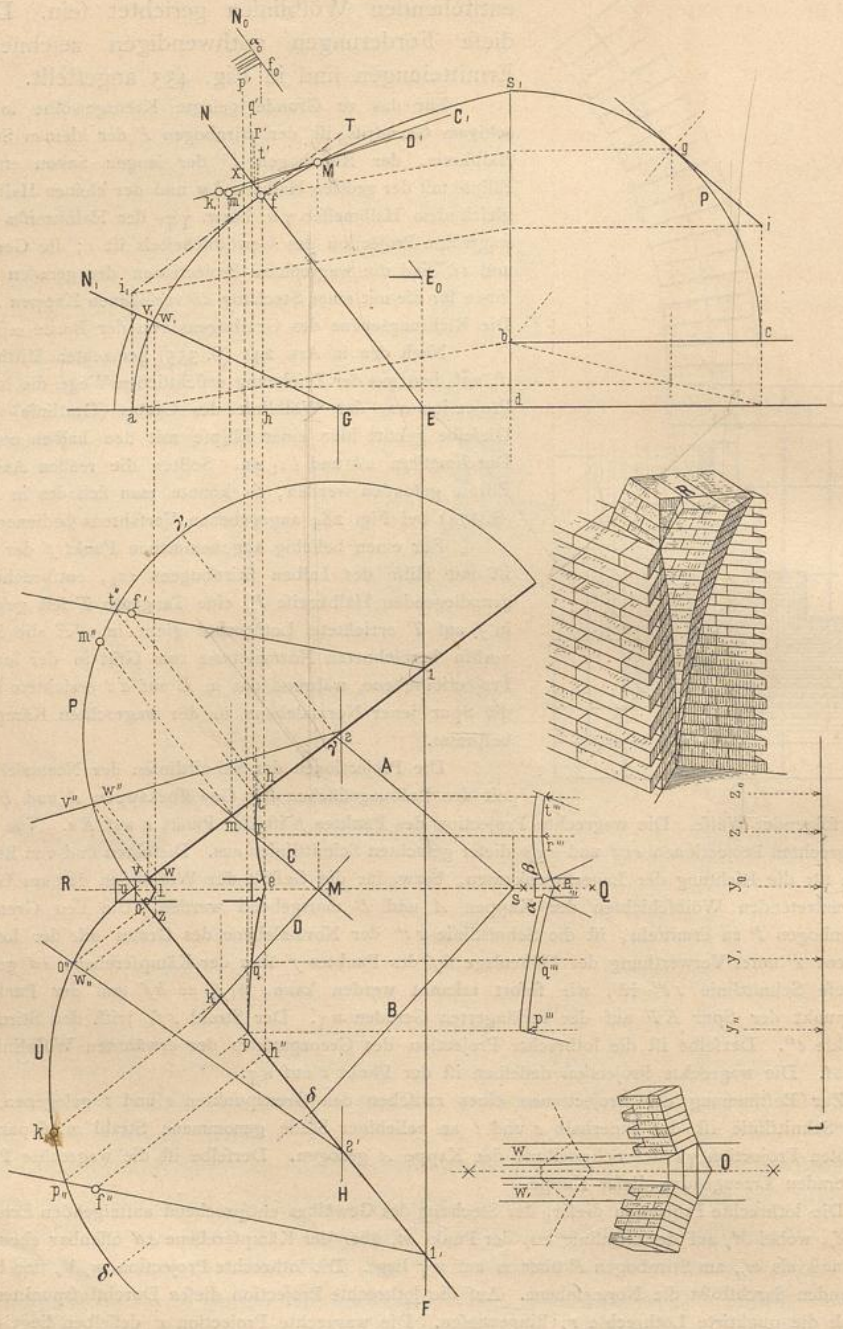
Zur Beftimmung der Projectionen eines zwifchen den Grenzpunkten e und t gelegenen Punktes folcher Schnittlinie ift der innerhalb e und t an beliebiger Stelle genommene Strahl mM parallel zur wagrechten Projection γs der Scheitellinie der Kappe A gezogen. Derfelbe ift die wagrechte Projection einer geraden Erzeugenden diefer Kappe.

Die lothrechte Projection diefer, der Stechung des Gewölbes entfprechend anfteigenden Erzeugenden ift $m,M_,$, wobei $M_,$ auf der Gratlinie $as_,$ der Punkt $m_,$ über der Kämpferebene ad offenbar eben fo hoch liegen mufs als $m_{,,}$ am Stirnbogen P über m auf $u\gamma$ liegt. Die lothrechte Projection $m,M_,$ der benutzten Erzeugenden durchftöfst die Normalebene. Auf die lothrechte Projection diefes Durchftofspunktes in NE ift durch die punktirte Lothrechte $r_,$ hingewiefen. Die wagrechte Projection r deffelben liegt auf $mM_,$ und fomit ift der Linienzug ert für die Kappe A ermöglicht. Auf demfelben Wege ergiebt fich der Zeichnung gemäfs der zugehörige Linienzug eqp für die Kappe B, wie überhaupt mehrerer folcher Linien im Wölbgebiete $\gamma s\delta u$.

Die weiteren Wölbgebiete, welche ftets durch die Scheitellinien der einzelnen Kappen getrennt werden, find in gleicher Weife für fich zu behandeln. Auf diefen Scheitellinien treffen fich, dem Wefen des Schwalbenfchwanz-Verbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entfprechenden Normalebenen der Gratbogen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 453.



Soll der Gratbogen für die Bogenlänge $a\,w$, in wagrechten Backſteinſchichten ausgeführt werden oder bis dahin reichend einen Anfänger aus Quadern erhalten, ſo iſt zur richtigen Beſtimmung der Widerlagsfläche des Grates in der Höhe w, wiederum eine Normalebene, deren Spuren N, G und $G\,H$ ſind, zu führen, um danach die Projectionen $l\,v$ und $l\,o$, bezw. w, v, der vorderen Kantenlinien der Fuſsfläche bei w, zu finden.

Um den wirklichen Querſchnitt des Gratbogens und die wirkliche Geſtalt der Wölblinien aus-

zutragen, welche dem Normalſchnitte mit den Spuren NE und EF zukommen, iſt die erforderliche Zeichnung in Q gegeben.

Für die Wölblinien iſt $y_0 = Ef$, $z_, = Er_,$, $z_{,,} = Et_,$ über der lothrecht zu Rs geführten Linie L, welche danach eine Spur der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes darſtellt, abgetragen und dabei y_0 in der Richtung Rs, $z_,$ in der durch r parallel zu Rs gezogenen Linie u. ſ. f. feſt gelegt. Eben ſo iſt $y_, = Eq_,$ und $y_{,,} = Ep_,$ genommen.

Hiernach erhält man in $f_{,,,} r_{,,,} t_{,,,}$ und in $f_{,,,} q_{,,,} p_{,,,}$ die wirkliche Geſtalt jener Wölblinien für die Kappenſchicht in A und B. Da die Breite $\alpha\beta$ und die Höhe des Gratbogens gegeben ſind, ſo läſſt ſich, ſobald die wirkliche Stärke der Wölbſchichten oberhalb der Wölblinien angeſetzt iſt, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen ſenkrecht zu den betreffenden Wölblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querſchnitt des Gratbogens, wie bei Q und beim Bilde R vom Anfänger des Grates gezeigt iſt, feſt ſtellen. Die lothrechte Projection $\alpha_0 f_0$ des Gratſchnittes iſt in der Richtung $E_0 N_0$ parallel EN nach der Ausmittelung in Q beſonders gezeichnet.

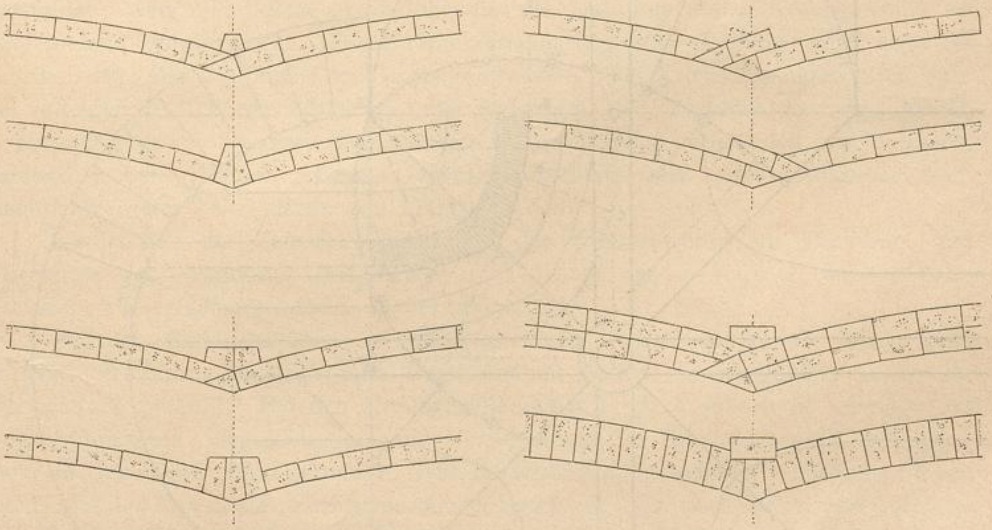
Läſſt man nach der Darſtellung in O die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, ſondern als Flächen auftreten, welche vom Anſatze der Kappen aus nach dem Rücken des Gratbogens vollſtändig durchgeführt werden, ſo ergiebt ſich für den Gratkörper am Rücken zwiſchen den geſammten beiden Widerlagsflächen w und $w_,$ in jedem Normalſchnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verſchiedenen Normalebenen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Gröſse ſtets von einander abweichen. Dieſem Umſtande iſt bei der Ausführung der Gratbogen dadurch Rechnung zu tragen, daſs mehrere Normalſchnitte für den Grat ermittelt werden. Dieſe Arbeit iſt im Beſonderen nothwendig, ſobald die Gratbogen für auf Schwalbenſchwanz-Verband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergeſtellt werden ſollen.

Die gegebenen Ermittelungen der ſog. Normalſchnitte der Gratbogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmäſsigen oder unregelmäſsigen Grundriſſen Anwendung.

267. Gratverſtärkungen.

Für Kreuzgewölbe ohne ſelbſtändige Gratbogen ſind Gratverſtärkungen ſtets zu empfehlen. Namentlich ſind dieſelben beim Schwalbenſchwanz-Verbande gleich in

Fig. 454.



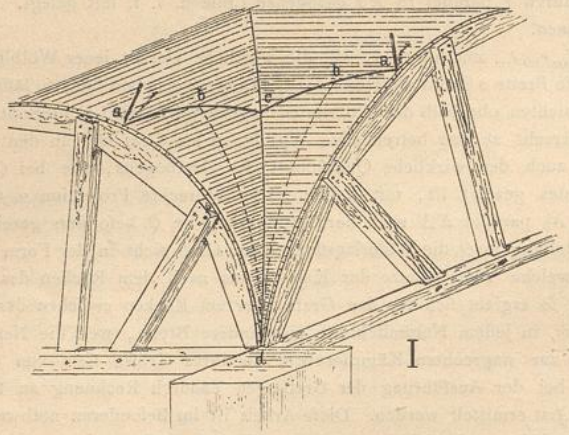
geeigneter Weiſe mit den über der Gratlinie zuſammenſchneidenden einzelnen Wölbſchichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 454 ſind derartige Backſteinverbände gegeben.

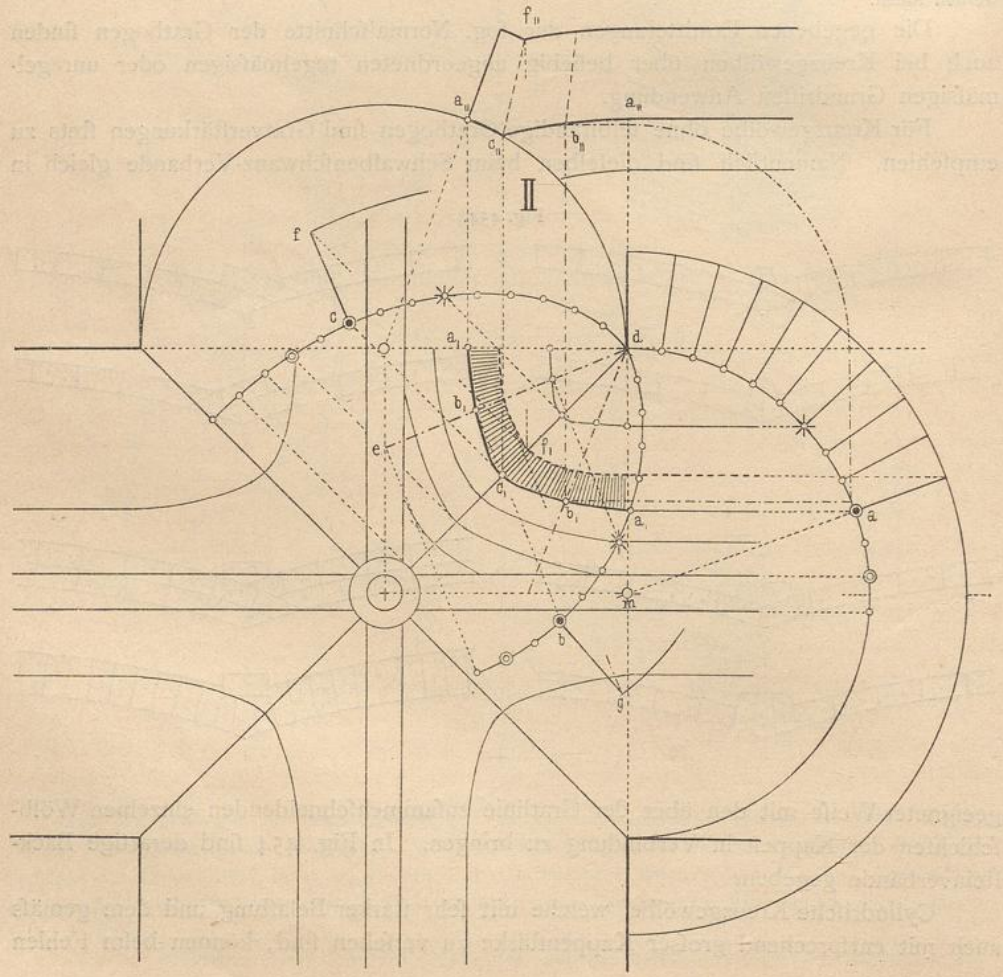
268. Beſondere Verbandarten.

Cylindriſche Kreuzgewölbe, welche mit ſehr ſtarker Belaſtung und dem gemäſs auch mit entſprechend groſser Kappenſtärke zu verſehen ſind, können beim Fehlen

ſelbſtändiger Gratbogen oder der Gratverſtärkungen in einem beſonderen Kufverbande hergeſtellt werden, wobei die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 455.





zwei zuſammengehörigen Wölbſcharen der benachbarten Kappen nach einem beſtimmten Geſetze gebildete krumme Linien ſind. Ein derartiger Verband iſt für quadratiſche Kreuzgewölbe aus Backſtein von 3 Stein Stärke bei einigen Feſtungswerken in Mainz[180]) in Anwendung gebracht (Fig. 455).

Zur Feſtlegung der Lagerfugenkanten gilt ein Geſetz, wonach, entſprechend *I* in Fig. 455, vom Fuſspunkte *d* eines Gratbogens aus eine unveränderliche Bogenlänge *da*, deren Endpunkt *a* irgend einer Lagerfuge des Stirnbogens angehört, an der Laibungsfläche der zuſammentretenden Kappen nach der Darſtellung *I* ſo um *d* gedreht wird, daſs dieſe Bogenlänge ſtets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte *a* die Lagerfugenkanten *abc* und *cba* beſchreibt. Mit Hilfe einer in *d* befeſtigten Schnur laſſen ſich derart gebildete Lagerfugen auf der Schalung des Kreuzgewölbes für alle Kappen leicht und ſo weit erforderlich vorreiſsen. Der Plan *II* in Fig. 455 giebt die geometriſche Ermittelung ſolcher Lagerfugen. Für einen Fugenpunkt *a* am Stirnbogen iſt *da* die zugehörige Bogenlänge. Für den nach einer beliebigen lothrechten Ebene durch *d* geführten Kappenſchnitt iſt die Bogenlänge *db* ebenfalls gleich jener Bogenlänge *da*. Daſſelbe gilt auch für den Gratbogen, wobei Bogenlänge *dc* gleich Bogenlänge *da* genommen iſt. Hiernach ergiebt ſich die dem Theilpunkte *a* zukommende Lagerfugenkante in der wagrechten Projection als ein Linienzug a, b, c, b, a, und in der lothrechten Projection als $a_{,,} b_{,,} c_{,,} a_{,,}$. Die letztere Darſtellung zeigt ein allmähliches Niederſinken der Lagerfugen von den Stirnbogen nach dem Gratbogen. Dieſes Fallen der Fugen, welches bei ungeputzten Gewölben der Beobachtung nicht entzogen wird, ſchädigt das Anſehen der Kappen aber durchaus nicht.

Die den einzelnen Lagerfugenkanten angehörenden Lagerfugenflächen werden am zweckmäſsigſten als Normalflächen ausgeführt, d. h. die geraden Erzeugenden derſelben ſollen Normalen wie *cf*, *bg* u. ſ. f. in den betreffenden Bogenelementen *c*, *b* u. ſ. f. ihrer Schnittcurven ſein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schluſsſteinſchichten iſt aus der Zeichnung zu entnehmen.

269. Zwickelausmauerung.

Bei den Kreuzgewölben bilden ſich oberhalb des Rückens und des Gewölbefuſses an den Ecken des überwölbten Raumes ſtets trichterartige Vertiefungen. Die Ausfüllung dieſer ſchachtartigen Zwickel mit Backſteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) ſollte bei halbkreisförmigen, bezw. halbelliptiſchen Kreuzgewölben immer ſtattfinden, weil eine ſolche Ausfüllung für die Stabilität dieſer Kreuzgewölbe im Allgemeinen günſtig wirkt. Die Zwickelausmauerung oder -Füllung kann etwa bis zu ein Drittel der Wölbhöhe der Gratbogen reichen. Bei Kreuzkappengewölben oder bei anſteigenden Kreuzgewölben wird das Anbringen der Zwickelausmauerung jedoch zweckmäſsig erſt auf Grund einer Stabilitäts-Unterſuchung entſchieden, um hiernach, namentlich bei gröſseren Anlagen, etwaige Vortheile oder unter Umſtänden auch Nachtheile dieſer Zwickelfüllungen klar zu ſtellen.

Hinſichtlich der Zeit der Ausführung der Kreuzgewölbe aus Backſtein, der Vornahme der Ausrüſtung derſelben u. ſ. f. iſt auf das in Kap. 9, unter c beim Tonnengewölbe Geſagte wieder zu verweiſen.

270. Kreuzgewölbe aus Bruchſteinen.

Bei den Kreuzgewölben des Mittelalters iſt Bruchſteinmaterial, ſelbſt wenn daſſelbe oft keine ſehr lagerhafte Beſchaffenheit beſaſs, in ausgiebiger Weiſe zur Verwendung gelangt. Bei den Kreuzgewölben der Jetztzeit jedoch iſt vermöge des weit verbreiteten Ziegelmaterials die Verwerthung der Bruchſteine als Wölbſteine mehr in den Hintergrund gedrängt. Nur in Gegenden, in welchen zu billigen Preiſen dünnſchichtige lagerhafte Bruchſteine oder hinreichend feſte, aber leichte und unſchwer zu bearbeitende Abarten der vulcaniſchen Tuffe zu gewinnen ſind, werden Kreuzgewölbe aus dieſem Material hergeſtellt. Der Verband im Mauerwerk der Kappen entſpricht im Weſentlichen der Anordnung der aus Backſtein ausgeführten Gewölbe.

Bei weniger lagerhaften und weniger regelmäſsig geſtalteten Bruchſteinen findet meiſtens eine Wölbung auf Kuf Anwendung, während bei ſehr lagerhaften, nicht zu

[180]) Siehe: Deutſche Bauz. 1869, S. 259.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

grofsen Bruchfteinen mit vorwiegend regelmäfsiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenfchwanz-Verband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchfteinen ift in Rückficht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa $\frac{1}{20}$ der gröfsten Gratbogenweite vortheilhaft. Die Ausführung diefer Gewölbe erfolgt ftets auf einer vollen Einrüftung mit Schalung. Auf die Verwendung eines fehr guten Mörtels, welcher die Fugen im Kappenmauerwerk vollftändig füllt, ift befonders zu achten.

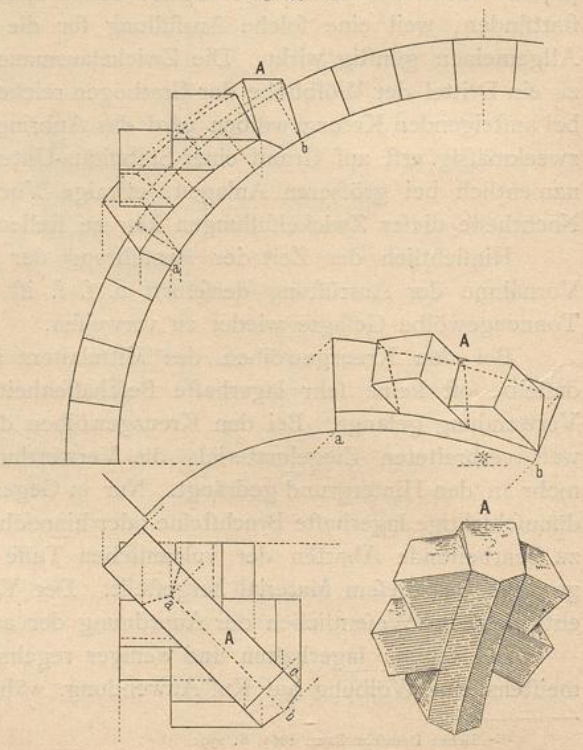
In einigen Gegenden ift es üblich, die Wölbfteine trocken auf der Schalung zu verfetzen und fchliefslich mit flüffigem Mörtelbrei zu vergiefsen. Diefe Einwölbungsart erfordert verhältnifsmäfsig wenig Zeit, wohl aber die gröfste Aufmerkfamkeit einerfeits hinfichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererfeits in Rückficht auf das Herbeiführen einer vollftändigen Ausfüllung der fämmtlichen Fugen und einer innigen Verkittung der einzelnen Steine durch den benutzten Mörtel.

Die Ausführung erfolgt, gleichgiltig, welche Verbandart für das Gewölbe gewählt wird, wie beim Kreuzgewölbe aus Backftein, gleichzeitig und gleichmäfsig fortfchreitend, von allen Gewölbfüfsen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schlufs des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel ift Art. 269 (S. 393) zu beachten.

271. Kreuzgewölbe aus Quadern.

Für cylindrifche Kreuzgewölbe aus Quadern tritt bei den Wölbfteinen eine befondere Bearbeitung nach genau beftimmten Brettungen ein, welche, je nach der Geftalt des Gewölbes, in mehr oder weniger einfacher Weife nach Feftlegen eines zu Grunde gelegten Fugenfchnittes auszutragen find. Um das Mühfame in der Bearbeitung diefer Wölbfteine nicht unnöthig zu fteigern, erhalten Kreuzgewölbe aus Quadern in der Regel keine Stechung; auch behält man in den Kappen meiftens und auch zweckmäfsig den Verband auf Kuf bei. In Folge hiervon nehmen die Kappenfteine die Form der Wölbfteine der einfachen geraden Tonnengewölbe an, fo dafs nur für die eigentlichen Gratfteine ein befonderer Steinfchnitt fich geltend macht. Das unvermittelt eingeführte Zufammentreten der Kappenfteine in einer Fugenfläche, welche der lothrechten Ebene der Gratlinie folgt, wie folches beim Fehlen felbftändiger Gratfteine fich ergeben würde, ift nicht gut, weil die in der Gratebene zufammenftofsenden Wölbfteine ftets an einer Seite eine fcharfe Schneide erhalten, welche bei Werkftücken möglichft vermieden werden foll.

Fig. 456.

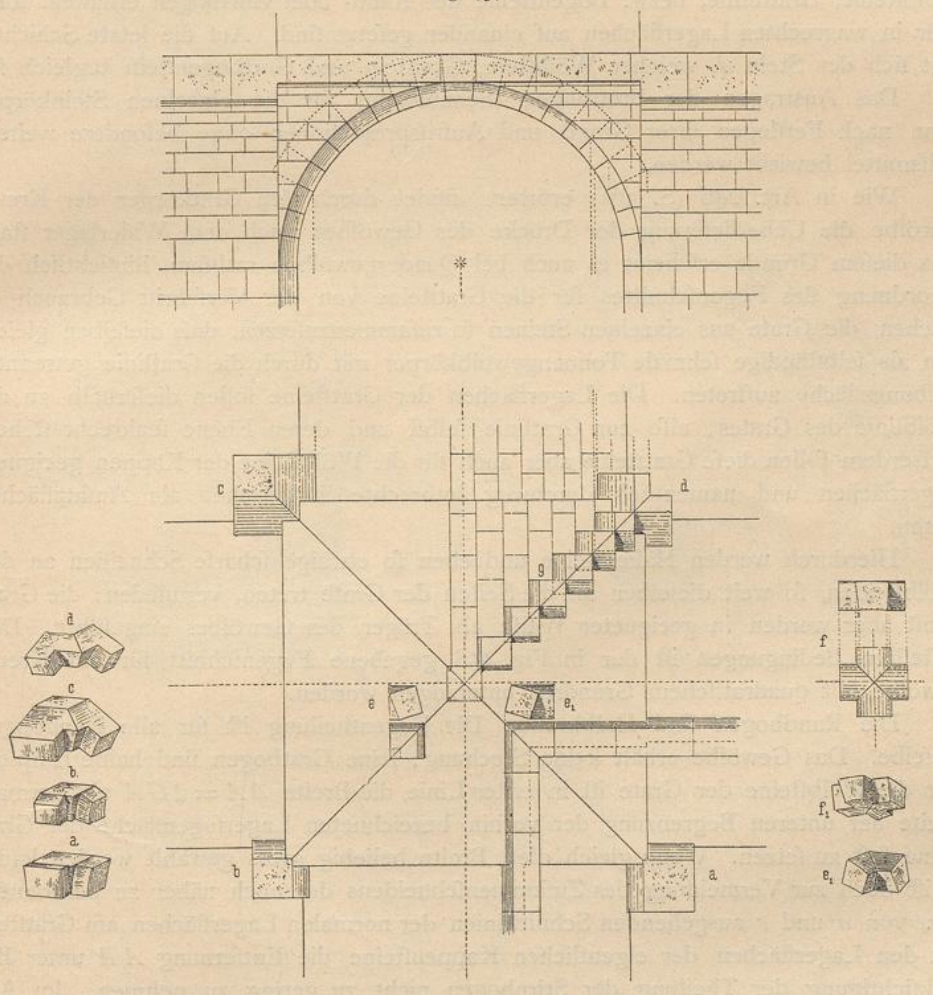


Dieſer Miſsſtand würde bei den Wölbſteinen auch nicht beſeitigt ſein, wenn die Grate, wie Fig. 456 angiebt, aus beſonderen ſelbſtändigen Werkſtücken A als für ſich beſtehende ſchmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenſchnitte a, b u. ſ. f. ausgeführt würden, da deren lothrechte Seiten nur Schmiegflächen bieten, gegen welche ſich die mit den Schneiden bei c dennoch behafteten Wölbſteine der Kappen legen.

272. Quadergewölbe über quadratiſchen Grundriſs.

Um Wölbſteine zu ſchaffen, welche ſich mit lothrechten Stoſsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen ſenkrecht ſtehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate ſetzen, ſind die einzelnen Gratſteine dieſer Forderung entſprechend im Fugenſchnitt zu behandeln.

Fig. 457.



Eine derartige Anordnung iſt in Fig. 457 für ein cylindriſches Kreuzgewölbe über einer quadratiſchen Grundfläche gegeben. Die Gratſteine können, wie g, bezw. e zeigt, frei von beſonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Anſätzen bleiben oder, wie e_1, bezw. f und f_1 erkennen läſſt, mit derartigen Anſätzen verſehen werden. In letzterem Falle entſtehen ſog. Hakenſteine, wobei der Schluſsſtein f_1 des ganzen

Gewölbes die Kreuzform mit ihren vier Armen als Haken annimmt. Dieſer letztere Fugenſchnitt bedingt einen gröſseren Materialaufwand für die Gratſteine als der erſtere, da bei der Bearbeitung der Hakenſteine ein gröſserer Theil der Werkſtücke als überflüſſig fortgenommen werden muſs.

Die Wölbſteine der Kappen ſind regelrecht auf Kufverband zu ordnen. Der Fugenlage dieſes Verbandes folgend, ſind ſowohl die einfachen Gratſteine e, g u. ſ. f., wie auch die Hakenſteine e_1, f_1 u. ſ. f. auszubilden. Bei der Annahme von Hakenſteinen iſt eine über etwa 20 cm gehende Länge der Haken zu vermeiden.

Bei Quadergewölben beſtehen die Anfänger zweckmäſsig aus mehreren Schichten a, b, c, welche in den einzelnen Steinen nach den Angaben in Art. 266 (S. 387) nur ſchmale, in den höheren Schichten allmählich verbreiterte Lagerflächen für die Wölbſteine, Gratſteine, bezw. Bogenſteine der Rand- oder Gurtbogen erhalten, ſonſt aber in wagrechten Lagerflächen auf einander geſetzt ſind. Auf die letzte Schicht c legt ſich der Stein d, welcher Wölbſtein, Gratſtein und Gurtbogenſtein zugleich iſt.

Das Austragen der Brettungen (Schablonen) für die einzelnen Steinkörper kann nach Feſtlegen ihrer Grund- und Aufriſsprojectionen ohne beſondere weitere Hilfsmittel bewirkt werden.

Wie in Art. 246 (S. 361) erörtert, findet durch den Gratkörper der Kreuzgewölbe die Ueberlieferung der Drücke des Gewölbes nach dem Widerlager ſtatt. Aus dieſem Grunde erſcheint es auch bei Quadergewölben rathſam, hinſichtlich der Anordnung des Fugenſchnittes für die Gratſteine von der Vorſchrift Gebrauch zu machen, die Grate aus einzelnen Steinen ſo zuſammenzuſetzen, daſs dieſelben gleichſam als ſelbſtändige ſchmale Tonnengewölbkörper mit durch die Gratlinie getrennter Laibungsfläche auftreten. Die Lagerflächen der Gratſteine ſollen dieſerhalb zu der Wölblinie des Grates, alſo zur Gratlinie ſelbſt und deren Ebene ſenkrecht ſtehen. Aufserdem ſollen dieſe Gratſteine aber auch für die Wölbſteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lothrechte Stoſsflächen als Anſatzflächen bieten.

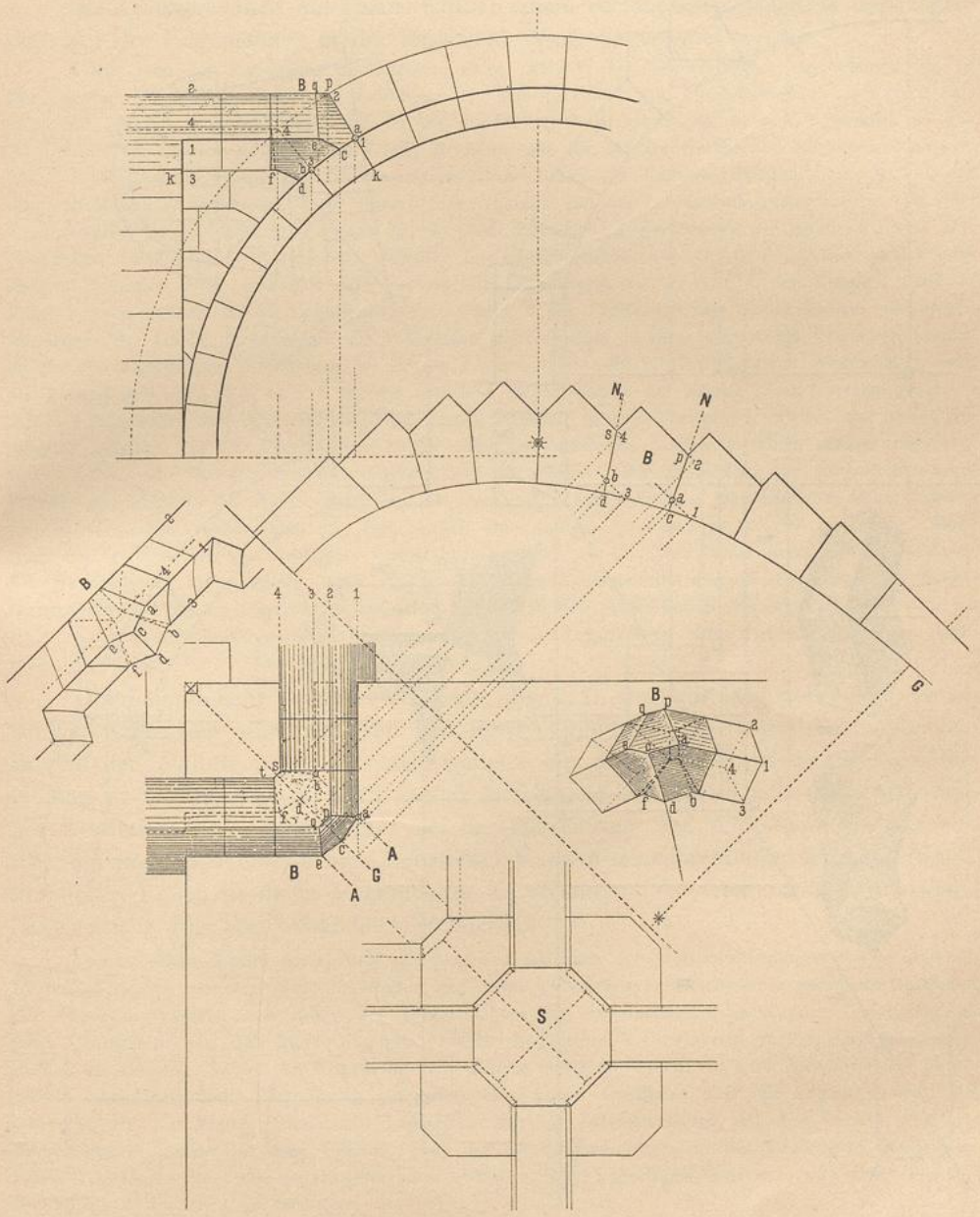
Hierdurch werden Hakenſteine und eben ſo etwaige ſcharfe Schneiden an den Wölbſteinen, ſo weit dieſelben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate ſelbſt aber werden in geeigneter Weiſe als Träger des Gewölbes eingeführt. Den geſtellten Bedingungen iſt der in Fig. 458 gegebene Fugenſchnitt für ein Kreuzgewölbe mit quadratiſchem Grundriſs unterzogen worden.

Die Randbogen ſind Halbkreiſe. Die Fugentheilung iſt für alle Randbogen dieſelbe. Das Gewölbe erhält keine Stechung; ſeine Gratbogen ſind halbe Ellipſen. Für die Wölbſteine der Grate iſt in erſter Linie die Breite $AA = 2\,GA$ als normale Breite der unteren Begrenzung der vorhin bezeichneten Lagerfugenfläche der Gratſteine feſt zu ſetzen. Wenn gleich dieſe Breite beliebig groſs gewählt werden kann, ſo iſt doch zur Vermeidung des Zuſammenſchneidens der noch näher zu beſtimmenden, von a und e ausgehenden Schnittlinien der normalen Lagerflächen am Gratſtein mit den Lagerflächen der eigentlichen Kappenſteine die Entfernung AA unter Berückſichtigung der Theilung der Stirnbogen nicht zu gering zu nehmen. Im Allgemeinen wird die Breite $AA = 25$ bis 30 cm genommen.

Um die Projectionen irgend eines Gratſteines, z. B. von B, zu beſtimmen, hat man zu beachten, daſs die wagrechte Lagerkante 1 eines Kappenſteines mit der Lagerfuge 12 die in A parallel zur Richtungsebene G des Grates gedachte lothrechte Ebene im Punkte a trifft. Führt man durch a die Normalebene N zu der Gratlinie G, ſo ſchneidet dieſelbe dieſe Gratlinie in c und die Laibungsflächen der Kappen nach den Linien ca, bezw. ce. Dieſe Schnittlinien können nach den Angaben in Art. 266 (S. 389) näher

feſt gelegt werden. Die wagrechte Erzeugende *2* der Lagerfugenfläche *12* trifft die Normalebene *N* im Punkte *p*, ſo daſs, wie aus der Zeichnung zu erkennen, *ap*, bezw. *eq* die Schnittlinien der normalen Lagerfläche für *N* mit den Lagerflächen der Kappenſteine werden. Begrenzt man den Gratſtein *B* oben durch eine den Punkt *p* enthaltende wagrechte Ebene, ſo iſt hiermit auch die Rückenfläche dieſes Steines

Fig. 458.



beſtimmt. Für die zweite normale Lagerfläche *bdfts* deſſelben iſt die Normalebene N_1 maſsgebend. Dieſelbe iſt durch den Punkt *b* zu führen, in welchem die Lagerkante *3* der Lagerfuge *34* des betrachteten Kappenſteines die vorhin erwähnte Ebene *A* trifft. Die Beſtimmung der Schnittfläche *bdfts* erfolgt genau in der für die Schnittfläche *aceqp* angegebenen Weiſe. Führt man durch die Punkte *s*,

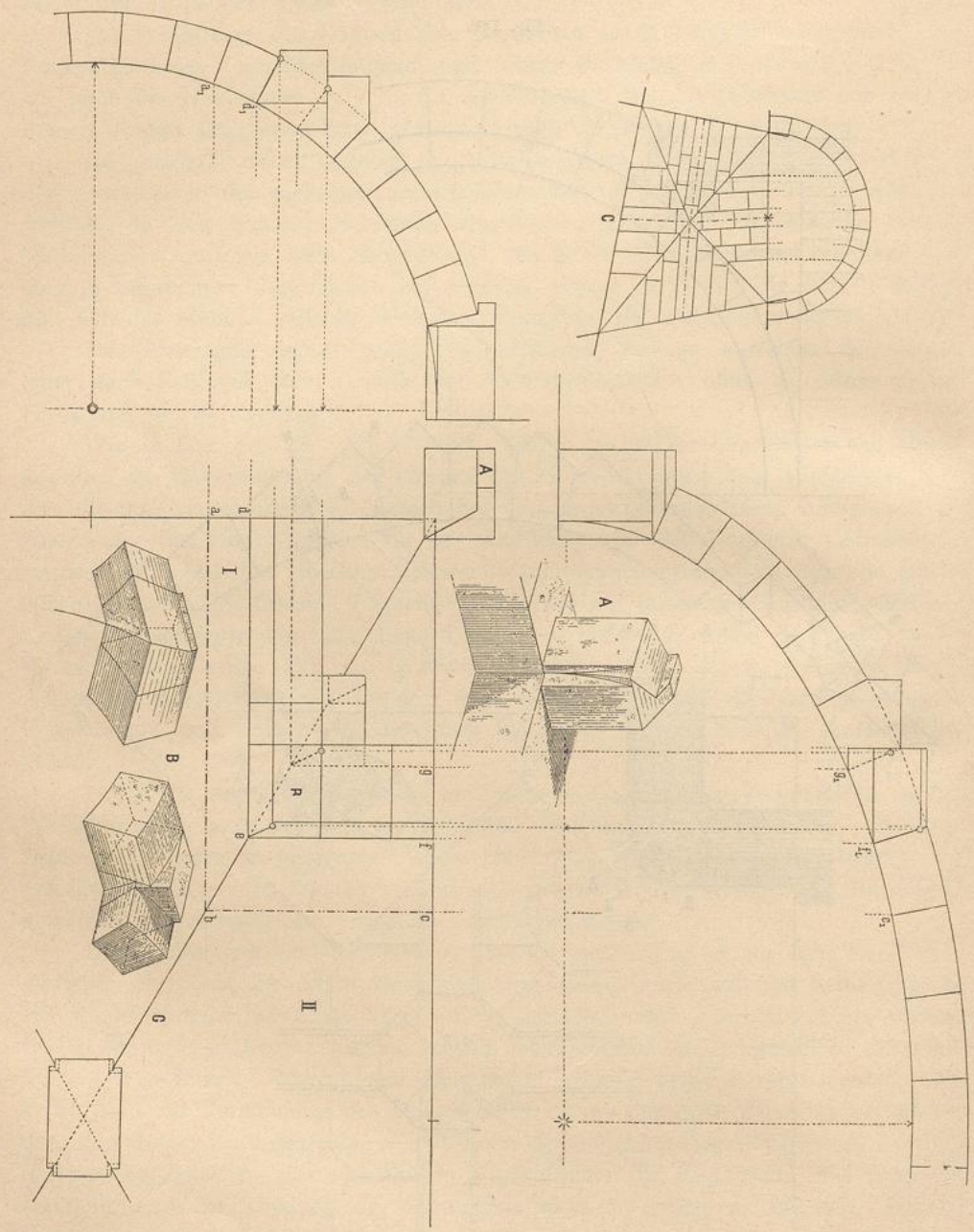


Fig. 459.

bezw. t lothrechte, parallel zu den Stirnen der am Gratſtein B zuſammenſtoſsenden Kappen genommene Ebenen, ſo ergeben ſich die Stofs- oder Anſatzflächen für die angrenzenden Kappenſteine. Oberhalb der Geraden ts wird der Gratſtein lothrecht abgeſchnitten. Aus der Zeichnung ſind die ſämmtlichen Projectionen dieſes Steines, welche für das Anfertigen ſeiner Brettungen maſsgebend werden, zu entnehmen. Bei der Anwendung des beſchriebenen Fugenſchnittes nehmen ſowohl die Gratſteine, deren Projectionen der Reihe nach feſt zu legen ſind, als auch der Schluſsſtein im Grundriſſe eine polygonale Geſtalt an.

273. Quadergewölbe über rechteckigen Grundrifs.

Bei Kreuzgewölben aus Quadern über einem rechteckigen Grundrifs kann nach Fig. 459 der Fugenſchnitt in der folgenden Weiſe angeordnet werden.

Theilt man den Randbogen der kürzeren Seite, welcher hier als Halbkreis angenommen iſt, in eine ungerade Anzahl gleich groſser Wölbſteine ein und legt man, den Theilpunkten a_1, d_1 u. ſ. f. entſprechend, die wagrechten Projectionen der ihr zugehörigen Lagerkanten ab, de u. ſ. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe I feſt, ſo kann man die auf der Gratlinie G liegenden Punkte b, e u. ſ. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten bc, ef u. ſ. f. der breiteren Kappe II annehmen. Dieſe Kanten laufen parallel mit der Scheitellinie dieſer Kappe. Da dem Kreuzgewölbe keine Stechung gegeben iſt, ſo ſind ſämmtliche Lagerfugenkanten gerade Linien. Der Randbogen der Kappe II iſt eine halbe Ellipſe. Die Lagerfugenkanten bc, ef u. ſ. f. haben in der wagrechten Projection einen gröſseren Abſtand, als die Lagerkanten ab, de u. ſ. f. der Kappe I, und in Folge hiervon werden, da die Lagerkanten bc, ef u. ſ. f. die Theilungen der Wölbſteine am elliptiſchen Randbogen der Kappe II bedingen, die Wölbſteine dieſer Kappe in ihrer wagrechten Projection breiter, als bei den zugehörigen Wölbſteinen der Kappe I. Aus leicht erſichtlichen Gründen werden aber auch die Bogenlängen e_1f_1, f_1g_1 u. ſ. f. für die einzelnen Wölbſchichten der Kappe II verſchieden groſs, ſo daſs der Randbogen derſelben eine ungerade Anzahl ungleich groſser Theilungen erhält. Bei dieſer Anordnung geſtaltet ſich der Fugenſchnitt für die einzelnen Gratſteine, mögen dieſelben hakenförmige Anſätze erhalten oder frei von derſelben bleiben, äuſserſt einfach. Die Ermittelung der Projectionen eines beliebig gewählten Gratſteines B, welcher noch durch eine perſpectiviſche Darſtellung in ſeiner Vorder- und Rückfeite näher verdeutlicht iſt, ergiebt ſich ohne weitere Ausführungen aus der Zeichnung. Eben ſo iſt die Durchbildung des Anfängers leicht zu erkennen. In derſelben Weiſe kann der Fugenſchnitt, wie die Zeichnung in C angiebt, auch für unregelmäſsige Kreuzgewölbe eingeführt werden. Die Lagerfugenkanten ſind in der wagrechten Projection parallel zu den Scheitellinien der zugehörigen Kappen zu legen, während die Stoſsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten unter Beobachtung eines regelrechten Verbandes der Wölbſteine zu nehmen ſind.

Der beſchriebene Fugenſchnitt kann aber z. B. bei ſehr lang geſtreckten rechteckigen oder ſehr unregelmäſsig geſtalteten Grundriſſen vermöge der ungleichen Breiten der Wölbſteine in einzelnen Kappen ein unſchönes Anſehen der Gewölbebildung im Gefolge haben; auch fordert derſelbe, ſo einfach an ſich die Bearbeitung der Gratſteine wird, doch immer bei der Herrichtung der Wölbſteine der mit verſchieden groſsen Wölbſchichten behafteten Kappen einen erhöhten Arbeitsaufwand. In ſolchen Fällen iſt dieſer Fugenſchnitt zu verlaſſen. An ſeine Stelle tritt alsdann beſſer der in Fig. 460 behandelte Steinſchnitt.

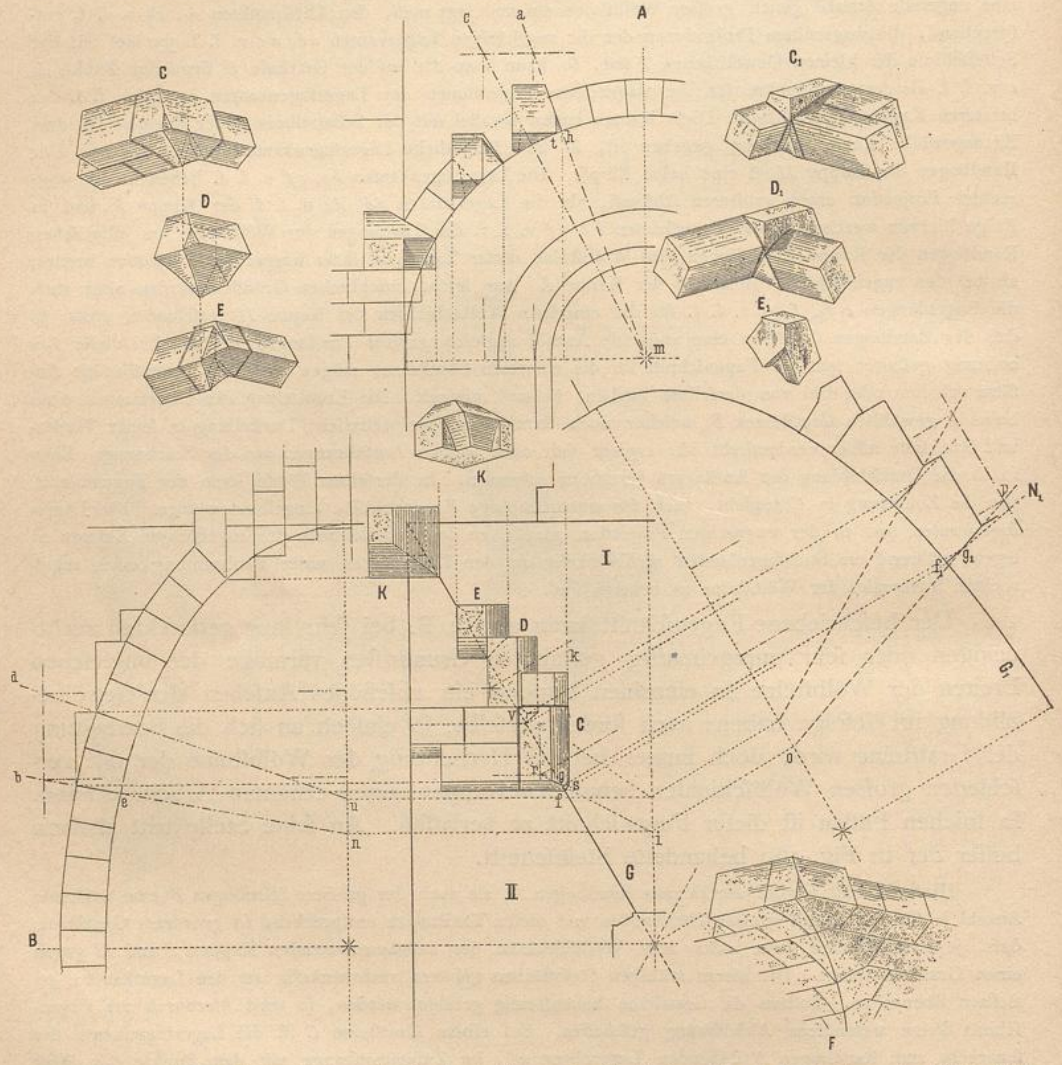
Hierbei erhält ſowohl der kleinere Randbogen A, als auch der gröſsere Stirnbogen B eine ungerade Anzahl je für ſich gleich groſser Theilbreiten und dieſen Theilungen entſprechend ſo geordnete Gratſteine, daſs, je nach Wunſch, eine oder zwei Wölbſchichten der zuſammentretenden Kappen I und II gegen einen Gratſtein treten. Die hierzu nöthigen Stoſsflächen gehören rechtwinkelig zu den Lagerkanten geſtellten Ebenen an. Sollten die Gratſteine hakenförmig gebildet werden, ſo wird hierdurch am Fugenſchnitt keine weſentliche Abänderung geſchaffen. Bei einem Gratſteine C iſt die Lagerfugenkante der ſenkrecht zum Randbogen B ſtehenden Lagerebene nb, im Zuſammenhange mit dem Punkte e in ihrer wagrechten Projection bis zum Punkte f auf der Grundriſsprojection G des Gratbogens fortgeführt. Dieſer Lagerkante liegt die Lagerfugenkante k, welcher einer Lagerfugenebene ma, alſo dem Punkte h der Kappe II angehört, am nächſten.

Die Ebenen ab und ma liefern eine gerade Schnittlinie, deren wagrechte Projection als ir, wie aus der Zeichnung zu erſehen iſt, beſtimmt wird. Die Lagerfugenkanten, welche den Punkten e und h angehören, haben aber im Allgemeinen eine von einander verſchiedene Höhenlage über der Kämpferebene des Gewölbes, ſo daſs die Gerade ir nicht durch den Punkt f geht. Am Gratſtein C liegt die durch f gehende Lagerkante der Kappe II tiefer, als die Lagerkante k der Kappe I. Führt man nun durch den

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

tiefer gelegenen Punkt f am Gratbogen eine Normalebene, welche in der Hilfsprojection G_1 als $f_1 N_1$ entſpringt, ſo ſchneidet dieſelbe von den beiden über k und f liegenden Lagerflächen ein mehr oder weniger groſses, ſenkrecht zum Gratbogen ſtehendes Flächenſtück ab. Die Projectionen dieſes Stückes laſſen ſich unter Beachtung der Projection op, welche der Schnittlinie ir entſpricht, im Hinblick auf die Zeichnung leicht ermitteln, ſobald nur noch nach dem in Art. 266 (S. 389) Vorgeführten die Projectionen fs und th der Schnittlinie, welche die Normalebene $f_1 N_1$ auf der Kappe I hervorruft, berückſichtigt werden. In derſelben Weiſe ergiebt ſich auch die Grundriſsprojection der Normalſchnittfläche v am Gratſteine C, wofür die nöthigen zeichneriſchen Durchführungen noch näher in Fig. 460 mit angegeben

Fig. 460.



ſind. Auf gleichem Wege ſind auch die Projectionen der Gratſteine D und E erhalten. Im Bilde ſind dieſe Steine in Vereinigung mit den anſtoſsenden Gewölbſteinen der Kappen ſowohl von der Vorderſeite, wie in C, D, E, als auch von der Rückſeite, wie in C_1, D_1, E_1, noch beſonders gegeben. Die Darſtellung F zeigt das Zuſammenfügen der Gratſteine mit den Kappenſteinen, während K dem oberen Stücke des Gewölbanfängers angehört, welcher unterhalb K hier aus wagrecht über einander liegenden Schichten ausgeführt iſt.

Das Verſetzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. ſ. w. folgt dem in Art. 170 (S. 246) Geſagten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

b) Gothiſche Kreuzgewölbe.

274. Weſen.

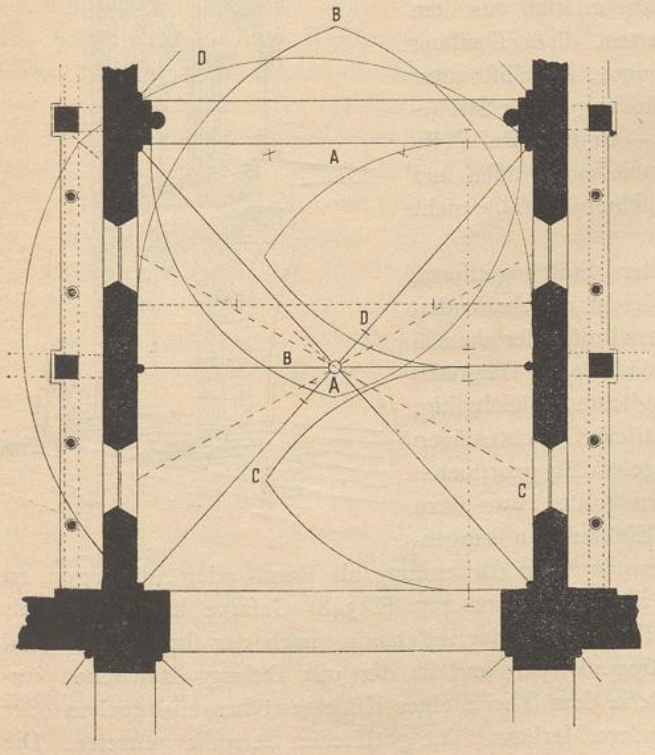
Das Weſen der gothiſchen Kreuzgewölbe, wodurch ſich dieſelben von allen anderen Gewölben unterſcheiden, iſt hinſichtlich ihrer Geſtaltung in Art. 237 (S. 348) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwickelung des romaniſchen Kreuzgewölbes gefunden haben.

Die beſondere Bildung dieſer in der Baukunſt eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berückſichtigen, welche die kunſtvolle Technik in der Anlage und Ausführung dieſer Gewölbkörper an ſich und in ihrem Zuſammenhange mit den zugehörigen Widerlagstheilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blüthezeit der Gothik bekunden ein beſonders in den Vordergrund tretendes Beſtreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmaſſen ſo zu gliedern und unter Beſeitigung von ängſtlichen Theilungen beim Zerlegen gröſserer zu überwölbender Räume ſo zu geſtalten, daſs unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit ſicherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Theil derſelben einen verletzenden Ueberflufs an Material zeigen ſollte. Conſtructionsſyſtem und Form ſind in eine innige, ſich gegenſeitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein weſentliches Hilfsmittel zur Erzielung dieſer Verbindung iſt die Verwendung des Spitzbogens anzuſehen. Weſentlicher aber noch iſt bei den gothiſchen Gewölben die Theilung des Gewölbefeldes durch ſelbſtändige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Dieſe bilden in ihrer geſammten Anordnung ein eigentliches Tragſyſtem; ſie nehmen zwiſchen ſich die beſonders gewölbten Kappenſtücke auf und übertragen die Geſammtlaſt der Deckenbildung auf einzelne beſtimmte Stützpunkte. Dieſe Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im Allgemeinen als Freiſtützen geſtaltet werden können. Sie beſonders ſtandfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verſchwenden, iſt eine vorwiegende Bedingung. An den hauptſächlichſten Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebepfeilern ver-

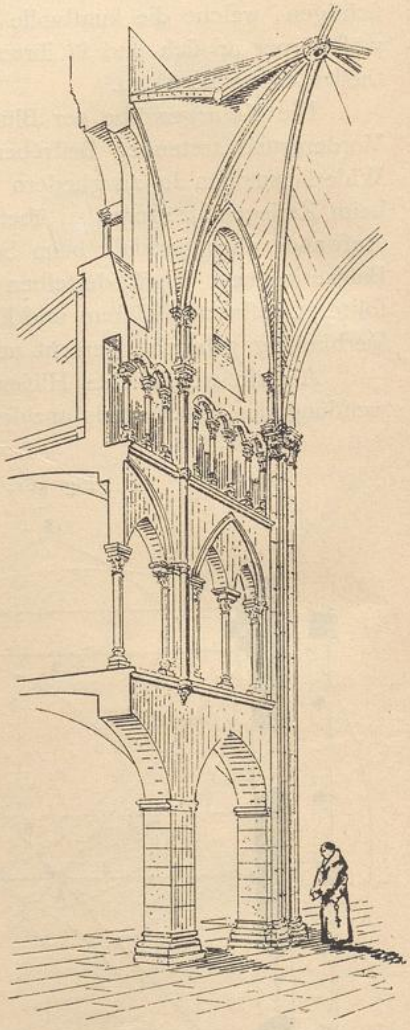
Fig. 461.



bundene, frei aufſteigende Strebebogen entſprechen jener Bedingung. So entſteht ein vollſtändig gegliedertes Gewölb- und Stützenſyſtem, welches, an und für ſich und unabhängig von dem zwiſchen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidemauern des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon ſteht die freie Auflöſung der Maſſen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbſchube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke; ſie können in ausgiebigſter Weiſe durchbrochen oder, mit Oeffnungen verſehen, ſich dem geſammten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Conſtruction des Gewölb- und Stützenſyſtemes die Herrſchaft. Bei dem gewiſſenhaften Abwägen der Maſſen, möglichſt entſprechend den in ihnen wachgerufenen Kräften, iſt in Abhängigkeit von der Conſtruction die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunſtgerecht zu bilden.

Fig. 462.



Iſt auch bei den ſechstheiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 236, S. 346) aus der Mitte des XII. Jahrhundertes eine Theilung des Gewölbefeldes durch Kreuzrippen mit durchlaufender Mittelrippe mehrfach, in Deutſchland namentlich im rheiniſchen Uebergangsſtil, vorgenommen; iſt auch, wie z. B. beim Hauptgewölbe des Domes zu Limburg an der Lahn (Fig. 461 u. 462), aus dem Anfange des XIII. Jahrhundertes, dieſe Theilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja ſelbſt unter Einführung der ſeitlichen Abſteifung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt — ſo iſt dieſes Wölbſyſtem im Allgemeinen doch wieder verlaſſen und für die Conſtruction der gothiſchen Gewölbe nicht durchſchlagend geworden.

Die Schmiegſamkeit der Spitzbogenform, welche einen zweckmäſsigen, leicht zu ſchaffenden Zuſammenhang der Höhenverhältniſſe der danach geſtalteten einzelnen Gurt-, Grat- oder Diagonalbogen unter einander ermöglichte, gleichgiltig, ob das Gewölbe über quadratiſchen, rechteckigen oder mehr oder weniger unregelmäſsig geordneten Grundriſſen ausgeführt werden ſollte, war dazu angethan, die ſchwieriger in Einklang zu bringenden Halbkreisbogen, beſonders in ihrer Anwendung als Rand- oder Stirnbogen, zu verdrängen. Unter Hinweis auf das in Art. 237 (S. 348) Geſagte möge nochmals betont werden, daſs in der Herrichtung der ſelbſtändig nach der ſtatiſch günſtigen Spitzbogenlinie gebildeten Rippenkörper und in der mit Buſung dazwiſchen eingewölbten Kappenſtücke, welche dem Theile eines Kugelgewölbes entſprechen oder demſelben ähnlich ſind, beſondere Merkmale der gothiſchen Gewölbe auftreten. Die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Rippenkörper gehören ſchmalen Streifen eines cylindriſchen Gewölbes, bezw. eines Tonnengewölbes an, während die Kappenſtücke im Allgemeinen ſphäriſchen, bezw. ſphäroidiſchen Gewölben zuzuweiſen ſind.

Im Folgenden ſollen die Geſtaltungen der gothiſchen Kreuzgewölbe eingehender beſprochen werden.

1) Einfache gothiſche Kreuzgewölbe.

Für die Geſtaltung und Darſtellung eines einfachen gothiſchen Kreuzgewölbes möge zunächſt ein ſolches über einem quadratiſchen und einem rechteckigen Grundriſſe, unter Angabe der Bezeichnungen ſeiner Beſtandtheile, Berückſichtigung finden. Die Grundriſsfigur bildet das Gewölbefeld oder das Gewölbejoch. Die Diagonalen des Gewölbefeldes ſind die wagrechten Projectionen der Diagonal- oder Kreuzbogen. Ueber den Seitenlinien des Gewölbefeldes erheben ſich die Rand- oder Stirnbogen. Treten mehrere Gewölbefelder im Grundriſſe zuſammen, ſo werden die Randbogen, welche die einzelnen Joche von einander ſcheiden, auch Gurtbogen oder Scheidebogen genannt. Sind die Randbogen unterhalb ihrer Laibung durch volles Mauerwerk oder durch Mauerwerk mit beſonders darin angelegten Oeffnungen geſchloſſen, ſo führen ſie den Namen Schildbogen. 275. Bezeichnungen.

Erhalten die erwähnten Bogen eine vor der eigentlichen Gewölbfläche ausladende, einfach oder reich gegliederte Anordnung, ſo heiſsen ſie allgemein Rippen. Man unterſcheidet nach der Stellung derſelben Kreuzrippen, Gurtrippen und Schildbogenrippen. Spannweite, Pfeilhöhe, Pfeilverhältniſs, Scheitel, Schluſsſtein entſprechen auch hier den früher in Art. 122 (S. 142) gegebenen Erklärungen. Die zwiſchen dem als Skelett des ganzen Gewölbekörpers auftretenden Rippenſyſteme eingefügten Gewölbeſtücke heiſsen Gewölbekappen oder kurz Kappen. Sie finden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältniſs der Wölblinie einer Kappenſchicht kennzeichnet das Maſs der Buſung oder des Buſens der Kappe.

Von Wichtigkeit für die Darſtellung des einfachen gothiſchen Kreuzgewölbes iſt die Ausmittelung der bezeichneten Bogen hinſichtlich der Höhenlage ihrer Scheitelpunkte zu einander in Bezug auf eine gemeinſchaftliche Kämpferebene. 276. Darſtellung.

Hierbei ſind vorzugsweiſe drei Fälle zu unterſcheiden:

α) die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen liegen ſämmtlich in gleicher Höhe;

β) die Scheitel der Randbogen liegen tiefer, als der Scheitel der Kreuzbogen, und

γ) der Scheitel der Kreuzbogen liegt tiefer, als der Scheitel der Randbogen. Hierbei können im Beſonderen auch die Scheitel der Randbogen noch in verſchiedener Höhe liegen.

α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

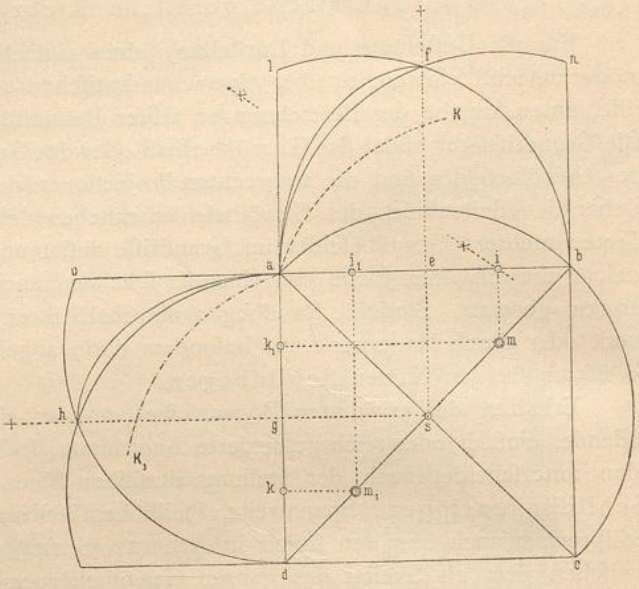
Als Ausgang für die Beſtimmung der Form der Randbogen dient der Kreuz- oder Diagonalbogen. Derſelbe bedingt in erſter Linie die allgemeine Höhenlage des Scheitelpunktes des zu bildenden Kreuzgewölbes. Seine Bogenlinie iſt ein Halbkreis oder ein Spitzbogen. Letzterer wird häufig und zweckmäſsig als ein nur mäſsig vom Halbkreis abweichender ſtumpfer Spitzbogen behandelt, deſſen Pfeilhöhe demnach wenig mehr beträgt, als ſeine halbe Spannweite. Bei hoch anſtrebenden Kreuzgewölben tritt ſtatt dieſes ſtumpfen Spitzbogens der mehr oder weniger ſteil geformte Spitzbogen als Kreuzbogen auf.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

277. Quadratiſcher Grundriſs.

Iſt in Fig. 463 das Quadrat $abcd$ der Grundriſs des Gewölbefeldes und wird ein Diagonalbogen über ac, bezw. bd als Halbkreis mit dem Halbmeſſer sa gewählt, ſo iſt hierdurch die Scheitelhöhe des Kreuzgewölbes über der wagrechten Kämpferebene gleichfalls in sa gegeben. Die ihr gleichen Höhen ef, bezw. gh ſollen für die als Spitzbogen zu conſtruirenden Randbogen afb, bezw. ahd beibehalten werden. Die Mittelpunkte der einzelnen Schenkel der Randbogen ergeben ſich in bekannter Weiſe in i, i_1, bezw. k, k_1. Bemerkt ſei, daſs bei dieſer Darſtellung der Kreuz- und Randbogen die Halbmeſſer $ai = bi_1 = ak = dk_1$ nach einer einfachen geometriſchen Beziehung gleich $^3/_4$ der Seitenlänge ab des quadratiſchen Grundriſſes ſind. Die entſtehende Bogenform iſt nicht ungünſtig. (Vergl. Art. 128, S. 155.)

Fig. 463.



Die zwiſchen den Schenkeln der Randbogen und den halben Diagonalbogen liegenden Kappen können ohne Weiteres reine Kugelflächen als Laibung erhalten.

Auf Grund der in Art. 237 (S. 349) gegebenen Entwickelungen iſt m als Schnitt des Lothes im auf ab und des Lothes sm auf ac der Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles aes und der um m mit dem Halbmeſſer ma beſchriebene Kreis K ein größter Kreis dieſer Fläche. Eben ſo iſt m_1 als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles ags mit dem größten Kreiſe K_1 zu beſtimmen. Die nach gs, bezw. es genommenen lothrechten Kugelſchnitte liefern ſofort die als Kreisbogen vorhandenen Scheitellinien lf, bezw. oh, deren Mittelpunkte in i_1, bezw. k_1 bereits beim Feſtlegen der Randbogen erhalten wurden.

Bei dieſer Ausmittelung der Beſtandtheile des hier behandelten Kreuzgewölbes zeigt ſich ein inniger geometriſcher Zuſammenhang derſelben unter einander. In conſtructiver Beziehung tritt eine Vereinigung der nach Art ſchmaler Tonnengewölbe herzurichtenden Kreuz- und Stirnrippen mit Kugelgewölbſtücken der Kappen auf, wodurch zugleich die Buſung der Kappenſchichten feſt gelegt iſt.

Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Buſung angenommen werden, ſo daſs die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewiſſer Freiheit aufzuſtellenden Geſetze zu einer ſphäroidiſchen Fläche auszubilden iſt; oder ſoll unter Umſtänden bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Buſung ſich geltend machen — ſo entſtehen hierdurch keine nennenswerthen Schwierigkeiten. Hiervon wird bei der Ausführung der Kappenmauerung gothiſcher Gewölbe noch näher die Rede ſein. Immerhin erſcheint aber die beſprochene einfache Geſtaltung der Kappenſtücke nach Kugelflächen, welche in unmittelbarem und innigem Zuſammenhange mit der Form des Gewölbgerippes ſtehen, als folgerichtig, auch in Rückſicht auf ihre Stabilitätsunterſuchung und Ausführung als zweckmäſsig.

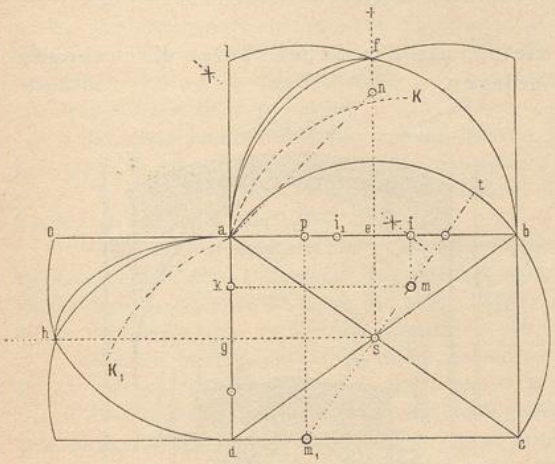
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Würde für den Kreuzbogen ſtatt des Halbkreiſes ein mehr oder weniger hoher Spitzbogen gewählt und alsdann ſeine Pfeilhöhe für die Scheitelhöhe der Randbogen zu Grunde gelegt, ſo erleiden die maſsgebenden Entwickelungen hinſichtlich der Feſtſtellung der Form dieſer Randbogen und der Kugelflächen der Kappen keine Aenderung.

278. Rechteckiger Grundriſs.

Bei dem Gewölbefelde mit rechteckigem Grundriſs $abcd$ (Fig. 464) ſei der Diagonalbogen über ac, bezw. bd wiederum ein Halbkreis mit dem Halbmeſſer sa. Hierdurch iſt die Scheitelhöhe $st = sa$ beſtimmt und danach die Höhe der Randbogen $ef = gh = st$ genommen.

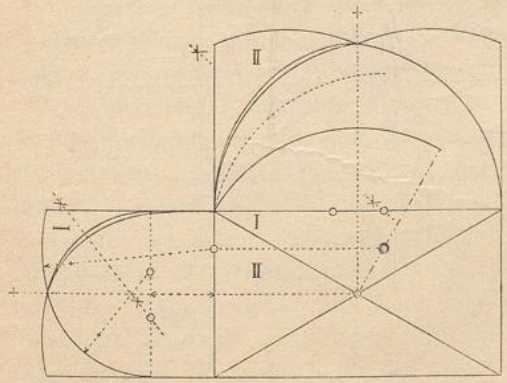
Fig. 464.



Die Mittelpunkte des Randbogens afb der langen Seite des Rechteckes werden in i, bezw. i_1 gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen ahd liegen in den Endpunkten a, bezw. d der kleinen Seite des Rechteckes. Dieſer Randbogen umſchlieſst alſo ein gleichſeitiges Dreieck.

Bei einem rechteckigen Grundriſs tritt dieſe Lage der Mittelpunkte des Randbogens der kleinen Seite bei gleicher Höhenlage der Scheitel von Rand- und Kreuzbogen ſtets ein, ſobald letzterer ein Halbkreis iſt und ſobald zugleich die Länge der kleinen Seite ad des Rechteckes gleich der Hypothenuſe an eines rechtwinkeligen und gleichſchenkligen Dreieckes genommen wird, deſſen Katheten ea und en gleich der halben groſsen Rechteckſeite ab ſind. Bei dieſen Abmeſſungen wird der Randbogen der groſsen Seite ein ziemlich ſtumpfer, aber ſonſt nicht ungünſtig geformter Spitzbogen, während der Randbogen der kleinen Seite verhältniſsmäſsig ſchlank gebildet erſcheint. Würde die Seite ad kleiner als an werden, ſo würden die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens unter der Annahme der gleichen Scheitelhöhen für ſämmtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über a und d hinausfallen und ſomit einen ſehr ſteil aufſteigenden Spitzbogen bedingen. Das hier angegebene Verhältniſs der Seitenlängen des Gewölbefeldes kann als ein Grenzmaſs in ſo fern angeſehen werden, als bei ſehr ſchmalen, rechteckigen Gewölbefeldern zur Vermeidung eines ſehr ſteilen Spitzbogens der kleinen Rechteckſeite oft vortheilhafter ein ſtumpferer Randbogen, wie in Fig. 465 gewählt werden müſſte, welcher zur Erzielung der vorgeſchriebenen gleichen Höhenlage ſeines Scheitels mit den Scheitelpunkten des Kreuzbogens und des Randbogens der langen

Fig. 465.



Rechteckfeite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen *II* der fchmalen Seiten bei der Beobachtung einer Bufung fphäroidifche Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 464 angenommenen Verhältniffe der Breite zur Länge des Gewölbefeldes fich für diefe Kappen eben fo wohl, als auch für die Kappen der langen Seite die Laibungen als Kugelflächen geftalten laffen. Ohne weitere Bedingungen zu ftellen, ergeben fich die Mittelpunkte diefer Kugelflächen in m für die Kappe ase mit dem gröfsten Kreife K und in m_1 für die Kappe asg mit dem gröfsten Kreife K_1; auch find hiernach in hinlänglich gekennzeichneter Weife die Scheitellinien über se und sg als die um k, bezw. p befchriebenen Kreisbogen ho, bezw. fl zu beftimmen.

3) Die Scheitel der Randbogen tiefer, als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

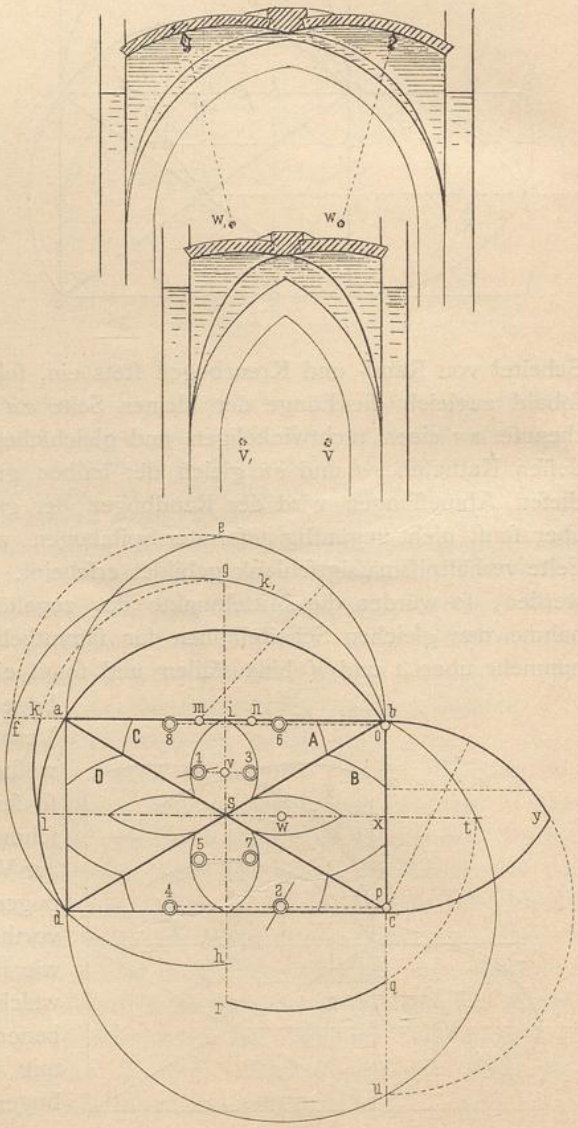
279. Rechteckiger Grundrifs: gleiche Halbmeffer.

Für das Austragen der Randbogen gelten nach Annahme der Form der Kreuzbogen diefelben Grundlagen, fowohl für quadratifche, als auch für rechteckige Gewölbefelder.

Um zwifchen den Diagonal- und Randbogen einen einfachen Zufammenhang zu erhalten, find bei vielen Kreuzgewölben des gothifchen Bauftils die fämmtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmeffer gefchlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen follen für ein rechteckiges Gewölbefeld $abcd$ nach Fig. 466 getroffen werden.

Die kleine Seite bc des Rechteckes fei noch etwas gröfser, als die Hälfte bs einer Diagonale bd. Der Diagonalbogen fei der Halbkreis dab, fo dafs $sb = sd$ der für die Geftaltung der Randbogen beftimmende Halbmeffer wird. Trägt man $bm = an = sb$ auf der langen Seite ab von den Ecken b und a aus ab, fo find m und n die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens bea. Beftimmt man in gleicher Weife die Punkte p und o auf der kleinen Seite bc durch $bp = co = sb$, fo find diefe Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens byc. Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den

Fig. 466.



Höhen ie, bezw. xy über der Kämpferebene. Diese Höhen sind unter sich verschieden und stets kleiner als die Scheitelhöhe des Kreuzbogens.

Giebt man den Kappen reine Kugelflächen zur Laibung, welche unmittelbar von den fest gelegten Kreuz- und Randbogen in Abhängigkeit gesetzt werden, so ist der Punkt t als Schnitt der nicht weiter gezeichneten Lothe in s auf bs und in m auf ab der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück über isb. Der grösste Kreis derselben enthält in der Kämpferebene die Punkte b, g, f, d, h. Eben so ist der Punkt 2 als Schnitt von Lothen in s auf bs und in p auf bd als Mittelpunkt der Kugelfläche für den Kappentheil über ksb zu ermitteln. Der grösste Kreis dieser Fläche besitzt in der Kämpferebene die Punkte b, t, u, d. In entsprechender Weise wird 3 als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück isa, 4 als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück lsa gefunden, so dass hiernach auch leicht die Punkte $5, 6, 7$ und 8 als Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen anzugeben sind. Weiter ergiebt sich unter Benutzung der Mittelpunkte der einzelnen Kugelflächen in v der Mittelpunkt für den Kreisbogen kl der Scheitellinie über is mit dem Halbmesser vg, so wie in w der Mittelpunkt des Kreisbogens qr der Scheitellinie über xs mit dem Halbmesser wt. Nach diesen Ausmittelungen sind Längen- und Querschnitt des Gewölbkörpers leicht darzustellen.

Führt man durch das Gewölbe wagrechte Schnitte, so entstehen auf den Laibungsflächen der Kappen Kreisbogen als Schnittlinien, deren wagrechte Projectionen wie in A aus 1, in B aus 2, in C aus 3, in D aus 4 u. s. f. zu beschreiben sind. Diese Schnittlinien kennzeichnen die vorspringende Eckbildung der Kappen am Diagonalbogen.

Wird die kleine Seite des rechteckigen Gewölbefeldes gleich der Länge bs, so wird der Randbogen ein Spitzbogen, dessen Mittelpunkte mit den Eckpunkten b und d zusammenfallen. Ist die Länge der kleinen Seite geringer als die Länge der halben Diagonale bd, so treffen die Mittelpunkte des Randbogens in der Verlängerung von bc über die Eckpunkte b und c hinaus.

In Folge hiervon entsteht ein steiler, lanzettförmiger Spitzbogen für die Seite bc. In Rücksicht auf den weniger schlanken Spitzbogen der langen Seite und unter Beachtung der Form des Abschlussbogens einer Oeffnung, welche in einer etwa anzulegenden Stirnmauer bc angebracht werden sollte, kann aber ein derart steil aufsteigender Randbogen nicht immer als günstig erscheinen. Bei der Anwendung gleicher Halbmesser für Kreuz- und Randbogen bei quadratischem Gewölbefelde tritt die Verschiedenheit der Randbogen nicht ein. Dieselben haben wohl eine tiefere Scheitellage, als der Kreuzbogen, aber sonst unter sich gleiche Scheitelhöhen. Letzteres ist bei einem rechteckigen Gewölbefelde nicht der Fall. Der Randbogen der kleinen Seite erhält dabei stets eine geringere Höhe, als der Randbogen der grosen Seite.

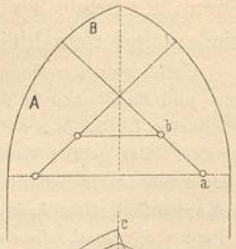
Das eigentliche Wesen der Gestaltung der Randbogen erleidet keine Aenderung, wenn für den Kreuzbogen an die Stelle eines Halbkreises ein Spitzbogen tritt, dessen Halbmesser für die Bildung der Randbogen als gegebene Gröfse benutzt wird.

Die Annahme gleicher Halbmesser für die Bogenform des Rippensystemes bietet den Vortheil eines gleichartig gebildeten Auslaufes der Bogenansätze von ihrem gemeinschaftlichen Stützpunkte an den Ecken des Gewölbefeldes. Die Ausführung der Gewölbanfänge wird hierbei erleichtert; auch wird bei profilirten Rippenkörpern ein regelmäfsiges Loslösen der einzelnen Gliederungen am Anfänger ermöglicht. Die unmittelbare Abhängigkeit der Scheitelhöhen der einzelnen Bogen von dem einmal fest gesetzten Halbmesser kann jedoch ab und an für eine besonders geplante Gewölbanordnung störend wirken. So kann die Forderung gestellt werden, den Randbogen des rechteckigen Gewölbefeldes gleiche Scheitelhöhen zu geben und dennoch die Ansätze der Kreuz- und Randbogen mit gleichem Halbmesser zu schlagen. Um dieser Bedingung zu genügen, kann nach Fig. 468 beim Innehalten des bestimmten Halbmessers ac der Randbogen A der grosen Seite durch einen Randbogen B ersetzt werden, dessen Mittelpunkt b auf der gehörig verlängerten Geraden ca so tief unter der Kämpferlinie angenommen wird, bis die gewünschte Scheitelhöhe des Randbogens B, entsprechend der Scheitelhöhe des Randbogens der kleinen Seite, über der Kämpferebene erzielt ist. Hierdurch entsteht der schon in Art. 128 (S. 157) erwähnte gedrückte Spitzbogen. Ist die Verschiebung ab der Mittelpunkte für A und B nicht erheblich, so ist ein derart geformter Spitzbogen, obgleich durch seine

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

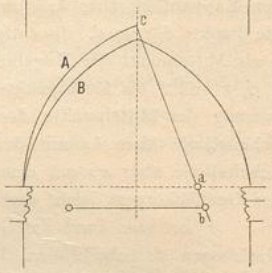
Verbindung mit dem anftofsenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckfeite nicht vollftändig regelmäfsig zu bildende Gewölbanfänger entftehen, fehr wohl zu benutzen.

Fig. 467.



Bei diefem gedrückten Spitzbogen fteht die Tangente im Kämpferpunkte nicht fenkrecht zur Kämpferebene. Mit der lothrechten Begrenzungslinie des ftützenden Widerlagers ergiebt fich im Anfatzpunkte des Spitzbogens ein ftumpfer Winkel oder ein Knick. Aus diefem Grunde führt ein folcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Fig. 468.

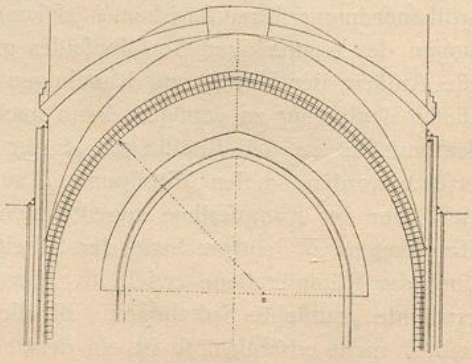


Soll ein Knickbogen vermieden werden, fo kann, wenn bei der Forderung der Einfchränkung der Scheitelhöhe des grofsen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich grofser Halbmeffer für die Anfätze der Kreuz- und Randbogen geftellt werden foll, ein aus zwei fymmetrifchen Korbbogen zufammengefetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 467 ift ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Anfatzbogen *A* ift mit gegebenem Halbmeffer um den in der Kämpferebene liegenden Mittelpunkt *a* befchrieben. Durch *a* ift ein fonft beliebiger, hier unter einer Neigung von 45 Grad zur Wagrechten angenommener Strahl gezogen, welcher im Schnitte mit dem Bogen *A* den Endpunkt diefes Bogens beftimmt. Auf diefem Strahle wird der Punkt *b* als Mittelpunkt des mit *A* vereinigten Kreisbogens *B* fo ermittelt, dafs diefer Bogen durch den feften Scheitelpunkt des Randbogens geht.

Bei dem ftarren Innehalten eines gleichen Halbmeffers, fei es für die ganzen Kreuz- und Randbogen, fei es nur für die Anfänge derfelben, wird namentlich bei verhältnifsmäfsig fchmalen rechteckigen Gewölbefeldern die Geftaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmonifche Zufammenwirken der einzelnen Beftandtheile verwifcht. Weit wichtiger, als das Anklammern an einzelne Conftructionsregeln, find hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die mafsvolle Bildung von Bogenformen, welche, unter fich in Vergleich gebracht, keine zu grofse Abweichung in dem Schwunge ihrer Linien aufweifen. Hierbei kann, als Gruppen angefehen, je für fich entweder die ftumpfere oder die fchlankere, ftellere Bogenform vorherrfchend werden. In den meiften Fällen reicht hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus. Bei der Schmiegfamkeit feiner Form kann derfelbe fowohl in äfthetifcher, als auch in ftatifcher Beziehung mit Leichtigkeit den gewünfchten oder vorgefchriebenen Verhältniffen angepafft werden. In befonderen Fällen ift der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmäfsige Höhenlagen mit feinem Scheitel zu bringen.

Fig. 469.



Sehr oft und voll berechtigt werden die Randbogen, wenn fie als Schildbogen dienen, nach einem Spitzbogen um *m* (Fig. 469) geformt, welcher der Bogenlinie

des oberen Abſchluſſes der in der Schildmauer angelegten gröſseren Licht- oder Thüröffnung concentriſch iſt. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, ſo erfährt dieſer Bogen eine Stelzung.

γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer, als die Scheitel der Randbogen gelegen.

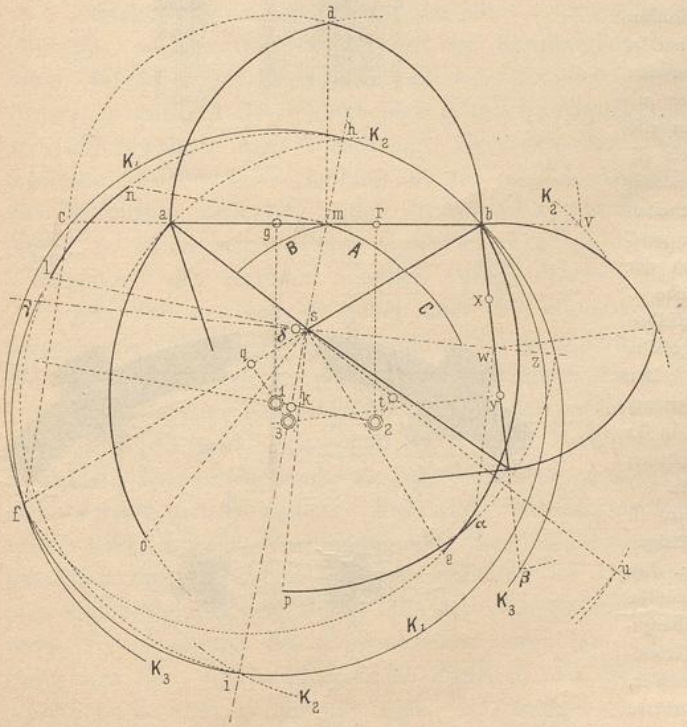
280. Verſchiedenheit.

Bedingen bauliche Verhältniſſe bei der Anordnung der Kreuzgewölbe für den eigentlichen Gewölbeſcheitel eine tiefere Lage, als den Scheitelpunkten eines oder mehrerer Randbogen zugewieſen werden muſs, ſo kann die Geſtaltung der einzelnen Randbogen unter Beachtung der in den Fällen α und β gegebenen Erörterungen auch hier ohne Schwierigkeit vorgenommen werden. Meiſtens geht man hierbei wieder von einem gewählten Kreuzbogen aus. Sind die Höhen der Randbogen einmal feſt geſtellt, ſo iſt hiernach eine ſchickliche Form des Kreuzbogens zu nehmen, damit ein gut geordnetes, in feinen Linien nicht in ſchreiendem Widerſpruch ſtehendes Bogen- und Kappenſyſtem dargeſtellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieſer Entwickelung auch von der Form des höchſten oder irgend eines anderen Randbogens ausgehen und danach die Kreuzbogen, ſo wie die übrigen Randbogen feſt legen. Der Spitzbogen, an ſich oder geſtelzt, liefert dabei wiederum ein weſentliches Hilfsmittel.

281. Unregelmäſsiges Gewölbefeld.

Iſt ein einfaches gothiſches Kreuzgewölbe über einem unregelmäſsigen Gewölbefelde herzurichten, ſo iſt die wagrechte Projection des Gewölbeſcheitels zweckmäſsig der Schwerpunkt der Grundriſsfigur. Läſst ſich durch die Ecken einer vier- oder mehrſeitigen, völlig unregelmäſsigen Grundriſsfigur ein Kreis legen, ſo kann auch der Kreismittelpunkt, wenn derſelbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundriſsprojection des Gewölbeſcheitels angenommen werden. Die wagrechten Projectionen der Gratbogen, welche jetzt die Stelle der Kreuzbogen über regelmäſsigen Gewölbefeldern vertreten, ſind gerade Linien, welche von der Grundriſsprojection des Gewölbeſcheitels nach den Ecken des Gewölbefeldes gezogen werden. Das Austragen der Grat- und Randbogen erfolgt in ihren weſentlichen Grundlagen eben ſo, wie bei den einfachen Gewölben über

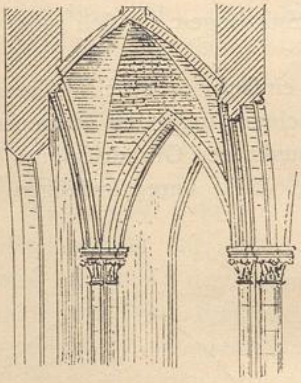
Fig. 470.

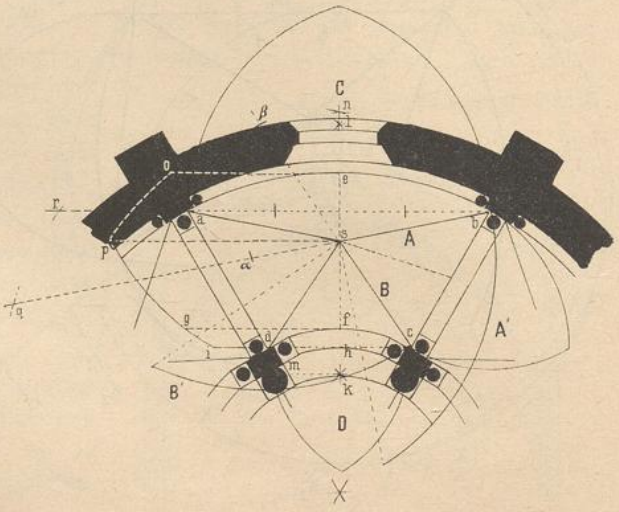


rechteckigen Gewölbefeldern. Das Nähere hierfür foll durch Fig. 470 angegeben werden.

Diefelbe kennzeichnet einen Theil eines unregelmäfsigen Gewölbefeldes mit den Ecken a, b und der Grundrifsprojection s des Gewölbefcheitels. Danach find sa und sb die wagrechten Projectionen von Gratlinien, welche die Gewölbkappe asb mit dem Randbogen über ab begrenzen. Die wagrechten Projectionen der Scheitellinien der Kappen gehen von s nach den Mitten der Seitenlinien. Die Geraden sm, bezw. sw entfprechen diefer Lage. Der Gratbogen über bs fei der Kreisbogen be, deffen Mittelpunkt in q auf der Verlängerung von bs angenommen wurde. Hierdurch ift die Höhe se des Gewölbefcheitels über der Kämpferebene feft gelegt. Die Randbogen mögen hier eine geringere Scheitelhöhe erhalten. Nach Annahme der Höhe md des Randbogens adb find g und r als Mittelpunkte der Bogenfchenkel bd und ad ermittelt. Auf ganz ähnlichem Wege ift der zweite, in b antretende Randbogen mit den Mittelpunkten x und y zu geftalten. Der Gratbogen über as mufs die Höhe so gleich se befitzen. Hiernach ift derfelbe als Kreisbogen ao mit dem Mittelpunkte in t, welcher auf der Verlängerung von as liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenftücke A, B, C u. f. w. in ihren Laibungen Kugelflächen angehören, welche von den angrenzenden Grat- und Randbogen fofort abhängig gemacht werden, fo werden in der genügend befchriebenen und aus der Zeichnung noch weiter zu erfehenden Weife der Punkt 1 als Mittelpunkt der Kugelfläche A mit dem gröfsten Kreife K_1, der Punkt 2 als Mittelpunkt der Kugelfläche B mit dem gröfsten Kreife K_2 und der Punkt 3 als Mittelpunkt der Kugelfläche C mit dem gröfsten Kreife K_3 gefunden. Unter Benutzung diefer gröfsten Kreife erhält man die Form der Scheitellinie über ms als Schnittlinie der beiden Kugelflächen K_1 und K_2 in dem Kreisbogen nl. Derfelbe ift ein Stück vom Kugelkreife $h\gamma i$, deffen Mittelpunkt k offenbar Halbirungspunkt der Geraden hi der Schnittpunkte h und i der gröfsten Kreife K_1 und K_2, oder auch einfach der Fufspunkt des von 1, bezw. auch von 2 auf die verlängerte Gerade ms gefällten Lothes fein mufs. Beide Beziehungen find in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen nl der Scheitellinie über ms austragen zu können, hätte man alfo entweder nur den gröfsten Kreis K_1 oder nur den gröfsten Kreis K_2 nöthig gehabt. Zur Beftimmung der Scheitellinie αp über ws, welche der Kappe C angehört, genügt demnach auch der gröfste Kreis K_3 der Kugelfläche C allein. Das vom Mittelpunkt 3 deffelben auf die Verlängerung von ws gefällte Loth giebt den Fufspunkt δ. Der Schnitt z der erweiterten Geraden sw mit dem Kreife K_3 liefert mit δ in δz den Halbmeffer des um δ befchriebenen Kreisbogens αp jener Scheitellinie.

Fig. 471.





Das angegebene Verfahren ift für alle Kappen des unregelmäfsigen Gewölbefeldes weiter anzuwenden. Ein wagrechter Schnitt durch das Gewölbe würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundrifsprojection als A um 1, als B um 2, als C um 3 u. f. w. zu befchreiben wären.

Ift der Grundrifs des Gewölbefeldes ein Ringftück $abcd$ (Fig. 471), fo können die erörterten grundlegenden Handhabungen für die Ausmittelung der Grat- und Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darftellung ift s der Schwerpunkt der Grundrifsfläche; die von s nach den Ecken derfelben gezogenen geraden Linien find die wagrechten Projectionen der Gratbogen. 282. Ringförmiges Gewölbefeld.

Ift die Scheitelhöhe des Gewölbes feft geftellt, fo werden derfelben entfprechend die Gratbogen wie A_1 für A aus α, B_1 für B aus β u. f. f. als Kreisbogen gefchlagen. Für die Kappenflächen $aebs$ und $cfds$ ift die Geftaltung mit Hilfe von ideellen Randbogen C über der Sehne ab des Kreisbogens aeb, bezw. D über der Sehne cd des Kreisbogens cfd leicht vorzunehmen. Je nach der Höhe, welche man für diefe Bogen im Allgemeinen verfchieden grofs annehmen kann, im Befonderen aber in jedem vorliegenden Falle den baulichen Verhältniffen entfprechend wählt, entftehen mehr ftumpfe oder mehr fchlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten ad und bc find ohne Weiteres in fchicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfsbogens über ab und des Gratbogens über A ift m als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenftückes über ebs mit dem durch b, n, r, q gehenden gröfsten Kreife in der früher angegebenen Weife gefunden und hierauf die Scheitellinie op über es als Kreisbogen mit dem Halbmeffer kn gefchlagen. Für das Kappenftück über cfs wird β der Kugelmittelpunkt und der um l mit lp befchriebene Kreisbogen pg die lothrechte Projection der Scheitellinie über fs. Führt man den Kreisbogen über g bis i auf dem Lothe hi zu sk fort, fo mufs hi genau der Höhe des ideellen Randbogens über cd entfprechen. Die nach ab, bezw. cd vorhandenen cylindrifchen Begrenzungsflächen durchfchneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lothrechte Projectionen, da die Kugelflächen vollftändig beftimmt find, äufserft einfach ermittelt werden können. Sollen ftatt der einfachen Gratkörper bei einem folchen Gewölbe Gratrippen und eben fo an den übrigen, gekrümmten oder geraden Seiten des Gewölbefeldes Gurtrippen, bezw. Schildbogenrippen angeordnet werden, fo ift die weitere Durchbildung derfelben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittelungen der Curve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrtheilige gothifche Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

Zerlegt man die Gewölbekappen eines urfprünglich einfachen gothifchen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter durch befonders geordnete und felbftändig gebildete Zwifchenbogen, bezw. Zwifchenrippen, fo entfteht das mehrtheilige gothifche Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 236 (S. 346) erwähnte fog. fechstheilige Kreuzgewölbe erfcheint als ein mehrtheiliges Gewölbe. Die weitere Theilung der bei folchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden gröfseren Kappen führt beim Einfügen einer folchen Rippe zu einem achttheiligen Gewölbe. Die bei diefen Gewölbearten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verfchiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhundertes vor; fie haben aber eine allgemeine Anwendung im Sinne eines eigentlichen Syftemes bei den Gewölben der gothifchen Baukunft nicht gefunden. Bei diefen geht das Zerlegen der Kappen wefentlich durch Zwifchenrippen vor, welche, von den ftützenden Eckpunkten des Gewölbes aus geführt, eine Theilung der Kappen zwifchen Rand- und Kreuzbogen in kleinere, weniger weit gefpannte Gewölbftücke bewirken. Diefe Zwifchenrippen oder Nebenrippen (Liernen) find wiederum tragende Beftandtheile des Gewölbes. Aufserdem tritt zur weiteren Ausbildung des Rippenfyftemes häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für fich zufammengeführten Zwifchenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurt- oder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firftrippen ein. Diefe bezwecken eine weitere Verfpannung des Rippenwerkes unter fich. Je forgfältiger ein mafsvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern ftattfindet, um fo wohlthuender und gediegener wirkt die Anlage des mehrtheiligen Kreuzgewölbes. 283. Grundgedanke.

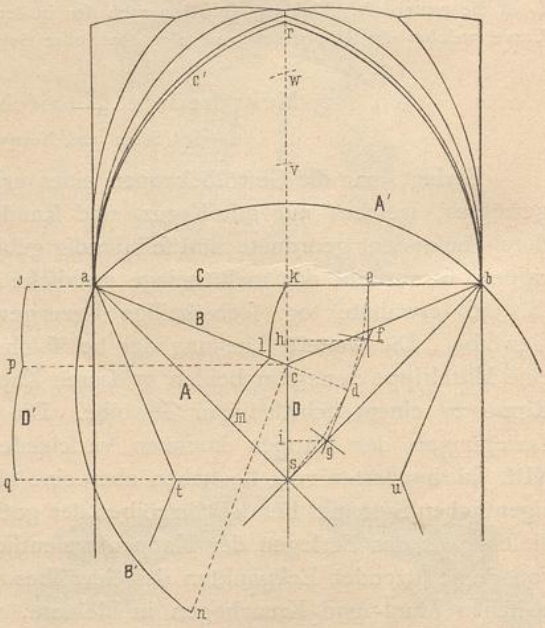
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Durch derartige Geſtaltungen entſtehen die Stern- und Netzgewölbe, deren Körper oft ein ſehr reich entwickeltes Rippenwerk als Gliederung erhalten. Ihre Benennung iſt in Rückſicht auf das geometriſche Muſter entſtanden, welches durch das Zuſammenfügen des Rippenſyſtemes entſpringt. So lange der Grundſatz befolgt wird, eine edle und ſchöne Formgeſtaltung dieſer Gewölbe mit den für dieſelben geltenden ſtatiſchen Geſetzen, welche vorſchreiben, daſs das geſammte Rippenſyſtem ſowohl in ſich ſelbſt ſchon mit ſeinen Stützpunkten, als auch mit den dazwiſchen liegenden Kappen in ſtabilem Gleichgewichtszuſtande befindlich ſein ſoll, in Einklang zu bringen, bleibt auch das eigentliche Weſen des gothiſchen Kreuzgewölbes, wonach jeder Bautheil deſſelben den jedesmal vorgeſchriebenen Bedingungen ſtreng entſprechend auszubilden iſt, gewahrt. Starren Handwerksregeln darf hierbei ein gröſseres Gefolge nicht eingeräumt werden, vielmehr hat ein geregeltes künſtleriſches Schaffen ſtets die Oberhand zu behalten. Als eine Unterſtützung für eine in dieſem Sinne zu bewirkende Geſtaltung der mehrtheiligen Kreuzgewölbe ſollen im Folgenden einige Entwickelungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufriſsbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

284. Einfaches Sterngewölbe: quadratiſcher Grundriſs.

Iſt die Grundriſsfigur des Gewölbefeldes ein Quadrat, ſo können alle Bogen der Gewölberippen als Kreisbogen mit gleichem Halbmeſſer beſchrieben werden. Derjenige Bogen, deſſen Halbmeſſer als maſsgebend für alle übrigen Bogen angenommen wird, führt den Namen Principalbogen. Meiſtens wird hierfür ein Bogen, welchem der gröſste Halbmeſſer zukommt, gewählt, wie auch ſonſt die Form dieſes Bogens, ob Halbkreis, ob Spitzbogen oder Flachbogen, beſchaffen ſein mag.

Fig. 472.



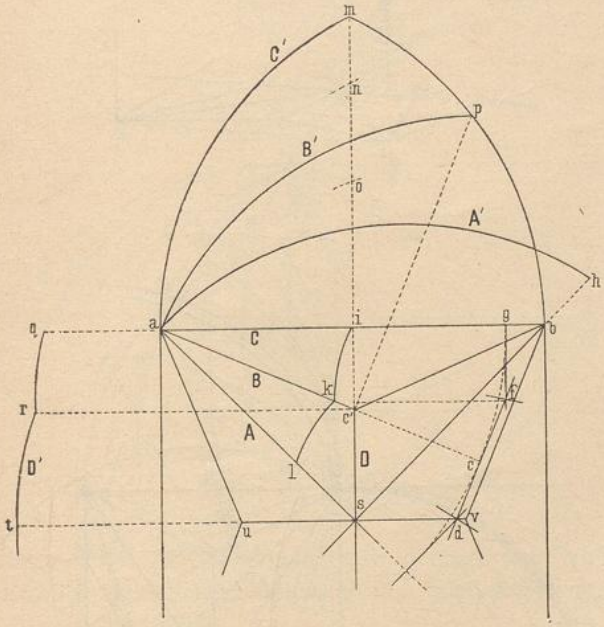
Bei dem quadratiſchen Gewölbefelde in Fig. 472 iſt die Hälfte A_1 des Diagonalbogens als Principalbogen genommen. Derſelbe iſt hier ein Viertelkreis $a\,b$ mit dem Halbmeſſer $s\,a$, alſo der ganze Kreuzbogen ein Halbkreis mit s als Mittelpunkt. Die geraden Linien $a\,c$, $a\,t$, $b\,c$, $b\,t$ u. ſ. f. ſind die wagrechten Projectionen der Zwiſchenrippen. Die Punkte c oder t, u, über welchen die Scheitel der einzeln unter ſich zuſammentretenden Zwiſchenrippen liegen, ſind hier als im Schnitt der Halbirungsſtrahlen $a\,c$, bezw. $b\,c$ u. ſ. f. der Winkel $b\,a\,s$, bezw. $a\,b\,s$ u. ſ. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen $a\,s\,b$ u. ſ. f., welche zwiſchen den Kreuz- und Randbogen im Grundriſſe entſtehen, beſtimmt werden. Die Geraden $s\,c$ oder $s\,t$, $s\,u$ u. ſ. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Beſchreibt man um a mit dem Halbmeſſer $a\,s$ des Principalsbogens A_1 einen Kreisbogen $s\,e$, ſo erhält man im Schnitte d deſſelben mit der verlängerten Geraden $a\,c$ den Mittelpunkt für den Kreisbogen B_1

der Zwifchenrippe über B mit dem Halbmeffer $da = sa$ und in cn die Höhe des Scheitels der Rippen ac und bc über der wagrechten Kämpferebene, während in dem Schnitte e des Kreisbogens se mit der Seite ab des Quadrates der Mittelpunkt des Schenkels C_1 des Spitzbogens über ab gefunden wird. Für das Austragen der Scheitelrippe über cs hat man zu beachten, dafs vermöge des gemeinfchaftlichen in der Kämpferebene liegenden Ausgangspunktes a die für A und B vorhandenen Kreisbogen A_1 und B_1, deren Mittelpunkte s und d gleichfalls der Kämpferebene angehören, die Kappenfläche über acs als reine Kugelfläche geftaltet werden kann. Der Mittelpunkt g diefer Kugelfläche ift der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lothe. Der mit ga um g befchriebene gröfste Kreis fchneidet die Verlängerung der Grundrifsprojection cs der Scheitelrippe im Punkte v. Der Fufspunkt i des von g auf sv gefällten Lothes gi wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen D_1 der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmeffer ift gleich iv.

Die Scheitellinie op über kc ift ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmeffer hw befchrieben, einer Kugelfläche zwifchen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiefen wird. Der Mittelpunkt f diefer zweiten Kugelfläche ift der Schnitt der Lothe in d zu ad und in e zu ab; ihr Halbmeffer ift fa, und ihr in der Kämpferebene vorhandener gröfster Kreis fchneidet die Verlängerung von kc in w. Sollte ftatt der einfachen Scheitellinie op eine Scheitelrippe eingefetzt werden, fo beftimmt der Bogen op die Geftaltung derfelben. Nach dem Austragen der einzelnen Rippenbogen ift der Aufrifs oder, wie in der Zeichnung gefchehen, der fenkrecht in der Richtung tu genommene Schnitt des Gewölbes ohne Weiteres darzuftellen. Ein wagrecht gelegter Schnitt ergiebt z. B. Kreisbogen ml, befchrieben um g und lk, befchrieben um f auf den zugehörigen Laibungsflächen der Kappen.

Fig. 473.



285. Rechteckiger Grundrifs.

Ift (Fig. 473) der Principalbogen über as der Schenkel A_1 eines Spitzbogens mit dem Halbmeffer ga, fo bleibt der einzufchlagende Weg für das Austragen der fämmtlichen Kreuz-, Zwifchen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung diefes feften Halbmeffers, fo wie für die Ausmittelung der Kugelflächen der Kappen derfelbe, wie vorhin. Aus der Zeichnung ift das Nähere fofort erfichtlich.

Auch bei einem rechteckigen Gewölbefelde kann unter Beibehaltung deffelben Halbmeffers nach derfelben Grundlage die Beftimmung der Form der Rippen und Kappen erfolgen.

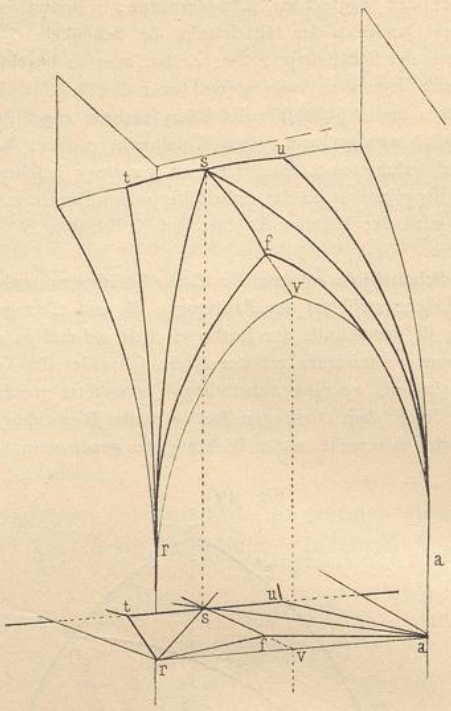
Eine folche Darftellung giebt Fig. 474 mit dem Principalbogen C über einer halben Diagonale rs, deffen Halbmeffer gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbefeldes genommen ift.

Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, dafs die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreifes um r mit dem Halbmeffer ra in a, b, c, d, e gefunden find, dafs der Reihe nach $1, 2, 3, 4$ die Mittelpunkte der Kugelflächen für die Kappenftücke $1_1, 2_1, 3_1, 4_1$ mit den zugehörigen gröfsten Kreifen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und dafs endlich auf Grund der Beftimmtheit diefer Kugelflächen die Mittelpunkte der Scheitelbogen F, G, H, J leicht in f_1, g_1, h_1, i_1 ermittelt werden können. Würde bei einer vorgefchriebenen Stärke der Kappe t_1, welche durch den um t concentrifch k_1 gefchlagenen Kreisbogen q angegeben ift, die Einwölbung nach concentrifchen Ringfchichten vorgenommen, fo würde om die Grundrifsprojection einer folchen Wölbfchicht bedingen. Der Aufrifs, fo wie das nach der Rich-

tung *tu* gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgeftaltung.

Der Umftand, dafs bei der Anwendung eines und deffelben Halbmeffers für fämmtliche Kreuz-, Rand- und Zwifchenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbefeldes in Rückficht auf den grofsen Randbogen oder in Bezug auf die Höhen und Formen der übrigen Bogen in der einen oder der anderen Weife nicht günftig werden, giebt oft Veranlaffung, die Geftaltung folcher Gewölbe nach feftem Halbmeffer aufzugeben, vorausgefetzt, dafs man zur Erzielung einer beftimmten Höhe für die kleineren Randbogen nicht etwa die in Art. 279 (S. 408) erwähnten Knickbogen oder geftelzte Bogen anwenden will. Aehnliche Verhältniffe könnten fich felbft bei Zwifchenrippen in der an der kleinen Rechteckfeite liegenden Hauptkappe geltend machen, fo dafs auch für diefe Rippen eine Abänderung des feften Halbmeffers räthlich fein würde.

Fig. 474.



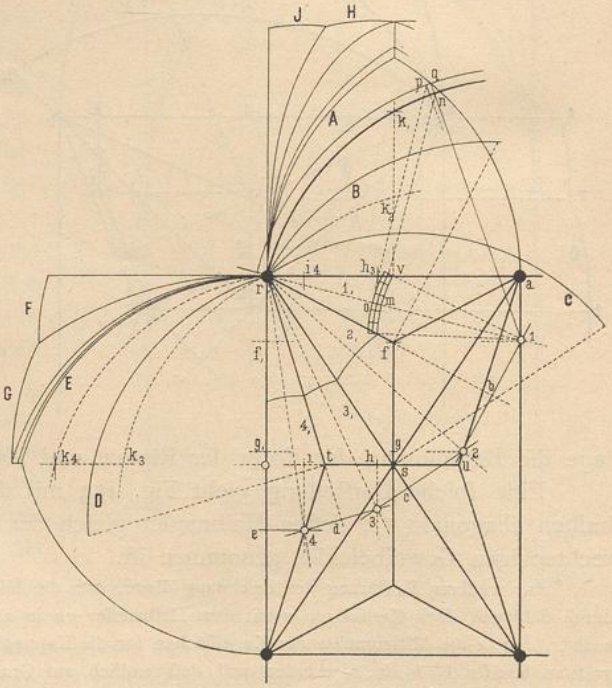
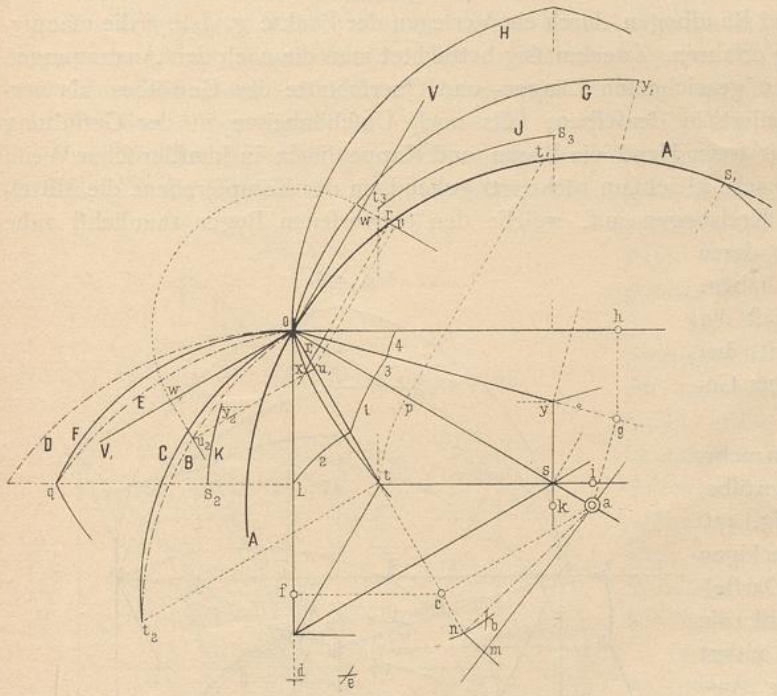


Fig. 475 foll hierüber Auffchlufs geben. Der Principalbogen *A* des hier verhältnifsmäfsig fchmalen rechteckigen Gewölbefeldes gehört der Hälfte eines fpitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt ift *a*, alfo fein Halbmeffer gleich *a o*. Würde man diefen Halbmeffer in $d\,o = a\,o$ für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, fo entftände hier ein reichlich fteiler Spitzbogen mit Bogenfchenkeln *D*. Wollte man die Höhe diefes Bogens verringern und etwa gleich *tq* nehmen, fo ift der mit dem Halbmeffer

$d o = a o$ aus o und q beſtimmte Kreuzriſs e der Mittelpunkt des Knickbogens E. Zur Vermeidung dieſes Knickbogens, aber zur Erzielung lothrechter Anſätze ſämmtlicher Bogen in ihren Anfängen und endlich zur Einführung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwiſchenbogen, welche unter ſich in geregelte Beziehung gebracht ſind, kann man ſich des Principalbogens A, ohne gleiche Halbmeſſer für die Rippenbogen zu benutzen, in der folgenden Weiſe bedienen.

Sind die wagrechten Projectionen y und t der Scheitelpunkte der Zwiſchenbogen feſt gelegt, hier in y auf dem Halbirungsſtrahle des Winkels $h o s$, in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwiſchen der kleinen Rechteckſeite und den angrenzenden beiden Grundriſslinien der Kreuzbogen, ſo fälle man vom Mittelpunkte a des Principalbogens A im Grundriſſe das Loth $a g$ auf die Verlängerung von $o y$, ferner von g das Loth $g h$ auf die groſse Rechteckſeite; eben ſo das Loth $a c$ auf die Verlängerung von $o t$ und das Loth $c f$ auf die kleine Rechteckſeite. Betrachtet man die Fuſspunkte g, h, c, f dieſer Lothe als Mittelpunkte der zugehörigen Bogen G, H, C, F, wofür die Halbmeſſer ſich ſofort als $g o$, $h o$, $c o$, $f o$ ergeben, ſo gelangt man zu Bogenformen, welche auch hinſichtlich ihrer Scheitelhöhen in den meiſten Fällen in einem ſchicklichen Verhältniſſe zu einander ſtehen.

Fig. 475.



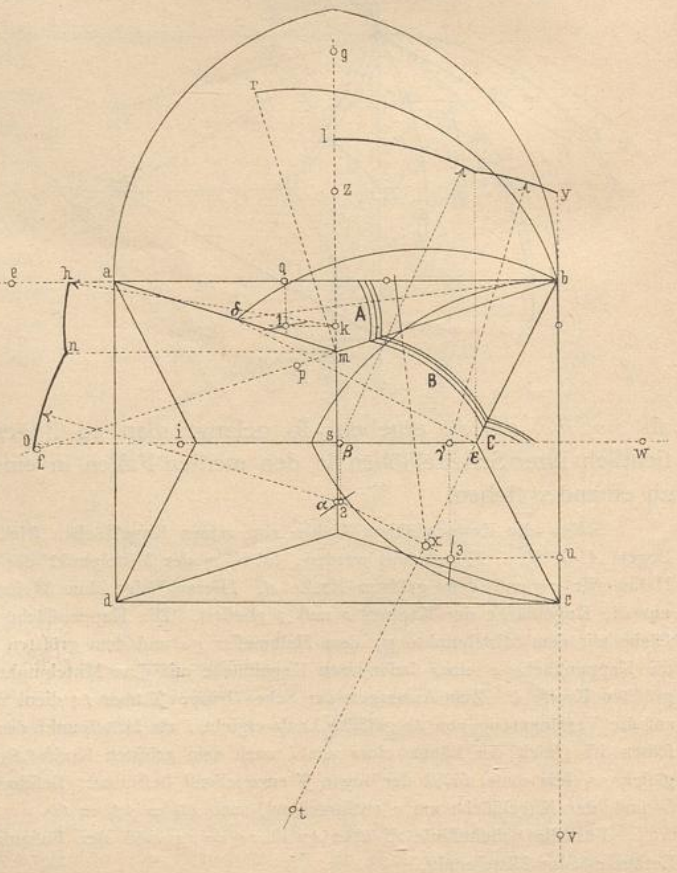
Sollen die Kappenflächen Theile von reinen Kugelflächen ſein, welche durch die ausgetragenen Bogen A, G, H, C, F beſtimmt werden, ſo iſt a der Mittelpunkt der Kappenflächen 1 und 3 mit dem Halbmeſſer $a o$ und dem gröſsten Kreiſe A. Hieraus folgt ohne Weiteres, daſs die Kreuzrippe über $o s$ nur die Kugelfläche der Kappen 1 und 3 gliedert. Die Kappenfläche 4 gehört einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte g, dem Halbmeſſer $g o$ und dem gröſsten Kreiſe G an. Eben ſo entſpricht die Kappenfläche 2 einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte c, dem Halbmeſſer $c o$ und dem gröſsten Kreiſe C. Zum Austragen der Scheitelrippe $\mathfrak{J}$ über $t s$ dient die Kugelfläche um a. Das von a auf die Verlängerung von $t s$ gefällte Loth ergiebt i als Mittelpunkt des Bogens $\mathfrak{J}$. Der Halbmeſſer desſelben iſt gleich der Länge eines von i nach dem gröſsten Kreiſe A gezogenen Strahles. Da $s s_3$ auch gleich $s s_1$ ſein muſs, ſo iſt der Bogen $\mathfrak{J}$ ausreichend beſtimmt. Beſchreibt man um a den Kreisbogen $t p$, ſo ſind, der Kugelfläche um a entſprechend, auch $t t_3 = p t_1 = t t_2$.

Für die Scheitellinie K über $s y$ iſt $s s_2 = s s_1$ und der Fuſspunkt k des von a auf $y k$ gefällten Lothes $a k$ der Mittelpunkt.

Hätte man unter der Annahme der Höhe $t t_2 = p t_1$ für den Zwifchenbogen über $o t$ einen Knickbogen mit dem Halbmeffer $a o$ des Principalbogens fchlagen wollen, fo liefert der aus o und t_2 mit $a o = d o$ gezeichnete Kreuzrifspunkt b, welcher um eine Strecke gleich $m n$ unter der Kämpferebene liegen würde, den Mittelpunkt diefes Knickbogens B. Ein Vergleich deffelben mit dem vorhin ausgetragenen Bogen C giebt nur mäfsige Abweichungen an. Führt man durch die Gewölbekappe r einen wagrechten Schnitt w, bezw. w_1, fo ift der um a befchriebene Kreisbogen $r_1 x$ die Grundrifsprojection der Schnittlinie. Würde die Bedingung geftellt, dafs eine von o nach t_2 aufftei gende Zwifchenrippe einer cylindrifchen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören follte, welche für Punkte wie r und w_2 gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhielte, fo würde eine gewundene Zwifchenrippe entftehen, deren wagrechte Projection als eine krumme Linie $o x t$ leicht beftimmt werden könnte. Derart gewundene Rippen kommen bei gothifchen Gewölben hier und dort wohl vor; fie find im Allgemeinen aber unfchön und können nur in ganz befonderen Fällen eine gewiffe, meiftens jedoch nur geringe Berechtigung in Rückficht auf die ftatifchen Verhältniffe der beiden von folchen gewundenen Bogen getragenen Kappen haben.

Das in Fig. 475 dargeftellte einfache Sterngewölbe kann hinfichtlich der Form feiner Zwifchen- und Randbogen durch ein Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfachfte Abänderung erfahren. Zweckmäfsig betrachtet man die nach den Austragungen der einzelnen Bogen gezeichneten Längen- und Querfchnitte des Gewölbes als vorläufige Skizzen, beffert in denfelben, falls noch Unfchönheiten in der Geftaltung erblickt werden, aus freier Hand die Bogen- und Kappenlinien in künftlerifcher Weife ein und fucht hiernach, gleichfam rückwärts gehend, in der Kämpferebene die Mittelpunkte derjenigen Kreisbogen auf, welche den entworfenen Bogen thunlichft nahe kommen und an deren Stelle zu treten haben. Auf diefem Wege ift die gefetzliche Freiheit bei der Geftaltung folcher Gewölbe gewahrt.

Fig. 476.



286. Einfaches Netzgewölbe.

Fehlen in einem mehrtheiligen Kreuzgewölbe, wie bei der in Fig. 476 über einem rechteckigen Felde gegebenen Darftellung angenommen ift, die Diagonalbogen, fo ändert fich der Gang des Austragens der Rand-, Zwifchen- und Scheitelbogen nicht. Nach den gemachten Mittheilungen find, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwifchenbogen, wofür z. B. $m r = \varepsilon \delta$ genommen ift, feft geftellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung fofort zu erkennenden Ausmittelungen der Beftandtheile vorzunehmen. Bemerkt fei

nur, dafs *1* der Mittelpunkt der Kugelfläche *A* und *g* ein Punkt ihres gröfsten Kreifes ift, während *2* und *w*, *3* und *i* für die Kugelflächen *B*, bezw. *C* als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger gröfster Kreife in Betracht kommen.

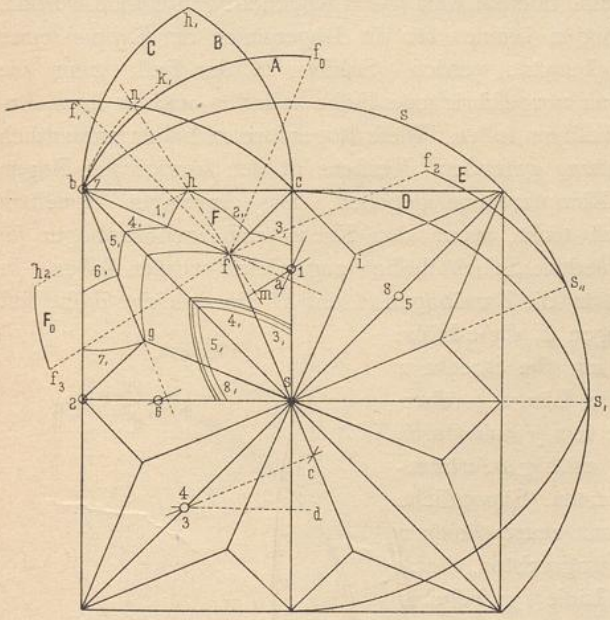
Die im Grundriffe gegebene Anordnung des Rippenfyftemes, wonach bei dem Fehlen der Kreuzrippen eine Abänderung des einfachen Sterngewölbes eintritt, zeigt die einfachfte Geftaltung eines Netzgewölbes.

287. Mehrgliedriges Sterngewölbe.

Wird das Rippenfyftem des einfachen Sterngewölbes durch Hinzunehmen einer gröfseren Zahl von Zwifchen-, Scheitel- und Nebenrippen als ein erweiterter tragender Gerüftkörper für die Kappenwölbung geftaltet, und entfpricht dabei die Grundrifsbildung des Rippenwerkes der Form eines mehr- oder vielftrahligen Sternes, fo entfteht das mehrgliedrige Sterngewölbe. Daffelbe wird oft Sterngewölbe ausfchliefslich genannt.

Die Grundlage der Entwickelung diefes Gewölbes bietet das einfache gothifche Gewölbe mit feinen Diagonalbogen. Die weitere Theilung der Hauptkappen deffelben durch Vervielfältigung der Rippen bedingt die Bildung des oft mannigfaltig und reich geftalteten Sterngewölbes. Hierdurch unterfcheidet fich daffelbe von dem fpäter zu berückfichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derfelben Weife vorgenommen werden, wie bei dem einfachen Sterngewölbe gezeigt ift.

Fig. 477.



Als Beifpiel foll hier ein Sterngewölbe, deffen Grundlage ein achttheiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 477 dienen. Der Grundrifs ift ein Quadrat, deffen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, fo dafs an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entftehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreife fein.

Hierdurch ift die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmeffer *s b* beftimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen *c* und *2* geführten Theilrippen gehen durch den Gewölbfcheitel, haben alfo eine Höhe $ss_1 = sb$. Ihre Bogenlinie ift ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie *d* für *D*, auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen find Spitzbogen mit den Schenkeln *B* und *C*, befchrieben aus *b* und *c*. Zwifchenrippen wie *b f*, *c f* u. f. f. halbiren in ihrer Grundrifslage die Winkel *c b s*, *b c s* u. f. f., fo dafs nach dem Feftlegen der Schnittpunkte *f*, bezw. *g*, die Lage der Scheitelrippen *f s*, *g s* u. f. f. im Grundrifs vorgefchrieben wird.

Wird hiernach die geometrifche Grundrifsfigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollftändigt, fo entfteht die Form eines achtftrahligen Sternes. Setzt man die Höhe ff_1 der Zwifchenbogen über *b f*, bezw. *2 g* u. f. f. gröfser, als die Höhe hh_1 der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des gefammten Gewölbes z. B. in der Weife feft, dafs der Punkt *2* Mittelpunkt für den Bogen cf_1 wird, fo läfft fich hiernach auch der Bogen *A* über *b f* mit der Höhe $ff_0 = ff_1$ nebft feinem Mittelpunkte *a* darftellen.

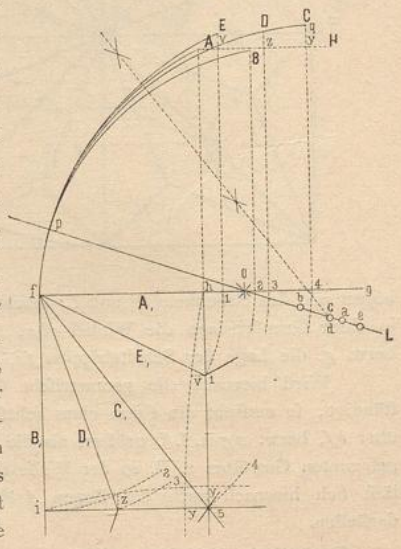
Nach diefen Beftimmungen find alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, dafs die Laibungsflächen aller Kappen gefetzmäfsig entftehenden Kugelflächen zwifchen ihren zugehörigen Rippen angehören follen, fo wird der Schnitt 1 des Lothes $c1$ auf bc und des Lothes $a1$ auf ba der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe 1_1 mit dem um 1 befchriebenen gröfsten Kreife k_1, deffen Halbmeffer gleich $1b$ ift. Die Scheitellinie F_0 über F wird der Kreisbogen $h_2 f_3$ mit dem Mittelpunkte m, alfo dem Fufspunkte des von 1 auf hf gefällten Lothes und dem Halbmeffer mn, welcher in der Richtung fh von m bis n auf dem gröfsten Kreife k_1 geführt wird. Der Bogen E der Scheitelrippe über fs ergiebt fich aus der Beftimmung der Kugelfläche der Kappe 3_1. Errichtet man im Mittelpunkte 2 des Bogens cf_1 über cf das Loth auf $c2$ und eben fo im Mittelpunkte d des Bogens D über cs das Loth auf cd, fo ift der Schnittpunkt 3 diefer Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche diefer Kappe. Ihr gröfster Kreis würde den Halbmeffer $3c$ befitzen. Fällt man von 3 das Loth $3e$ auf die Verlängerung von fs, fo ift e der Mittelpunkt des Kreisbogens E der Scheitelrippe über fs. Da ff_2 gleich ff_1, aufserdem auch $ss_{,,}$ gleich sb fein mufs, fo ift der Bogen E überreichlich beftimmt. Sein Halbmeffer ift ef_2, bezw. $es_{,,}$. Nach gleichen Mafsnahmen find die Punkte $4, 5, 6, 7, 8$ als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen 4_1, 5_1 bis 8_1 aufgefucht. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diefen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entfprechend bezeichnet, im Grundriffe näher angedeutet find.

Nach diefen Angaben können die Austragungen der Beftandtheile eines Sterngewölbes, welches in anderer und in fonft beliebiger Weife angeordnet ift, befondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 277 (S. 404), darauf hingewiefen werden, dafs, falls die einzelnen Kappen eine andere Bufung erhalten follen, als die nach einer Kugelfläche gebildete Wölbung ergiebt, leicht auf Grund der ermittelten Kugelflächen eine Umwandelung derfelben in befondere fphäroidifche Flächen vorgenommen werden kann. Hierauf wird fpäter Rückficht genommen werden.

288. Korbbogen als Rippenbogen.

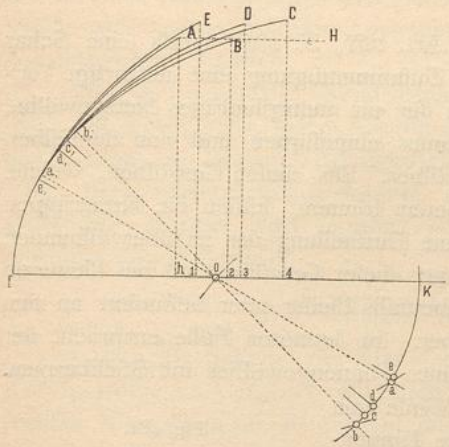
Statt der einfachen Kreisbogen können für die Bogenlinien der Rippen eines Sterngewölbes auch Korbbogen benutzt werden. Solches ift der Fall, wenn die einzelnen Rippenbogen eine genau vorgefchriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen ftets gleichen Halbmeffer befitzen follen. Diefe Bogenformen haben namentlich in der englifchen Gothik Verwendung gefunden. Meiftens ift den fämmtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpferebene gegeben. Das Austragen derfelben ändert fich im Wefen aber auch nicht, wenn den Kreuz- und Zwifchenbogen in Bezug auf die Randbogen verfchiedene Scheitelhöhen zugewiefen werden follen. In Rückficht hierauf ift in Fig. 478 für die Randbogen A und B eine gleiche Höhe feft gefetzt, während der Zwifchenbogen E diefe Höhe um das Mafs v, der Bogen D um die Strecke z und der Hauptbogen C um die Länge y überfchreitet. Die Höhenunterfchiede v, z, y find durch die im Grundrifs eingetragenen, mäfsig gekrümmten Hilfslinien hy und iy gewonnen. Sämmtliche Bogen find in ihren Anfängen fp mit einem gleichen Halbmeffer po um den auf der wagrechten, durch den Kämpferpunkt p gehenden Linie fg beliebig genommenen Punkt o als Mittelpunkt befchrieben. Auf dem durch o und p geführten Strahle pL follen die Mittelpunkte der übrigen Bogen liegen.

Fig. 478.



Um den oberen Theil vom Hauptbogen C zu erhalten, ift $f4 = f5$ auf fg abgetragen, in 4 das Loth $4q$ gleich der Höhe diefes Bogens auf fg errichtet und mit Hilfe von Kreuzriffen aus p und q der Strahl beftimmt, welcher in feinem Schnitte c mit pL den Mittelpunkt des Bogenftückes pC als Fortfetzung des Anfatzftückes fp ergiebt. Der Bogen fpq ift der gefuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weife

Fig. 479.



werden die Mittelpunkte a für A, b für B u. ſ. f. ermittelt.

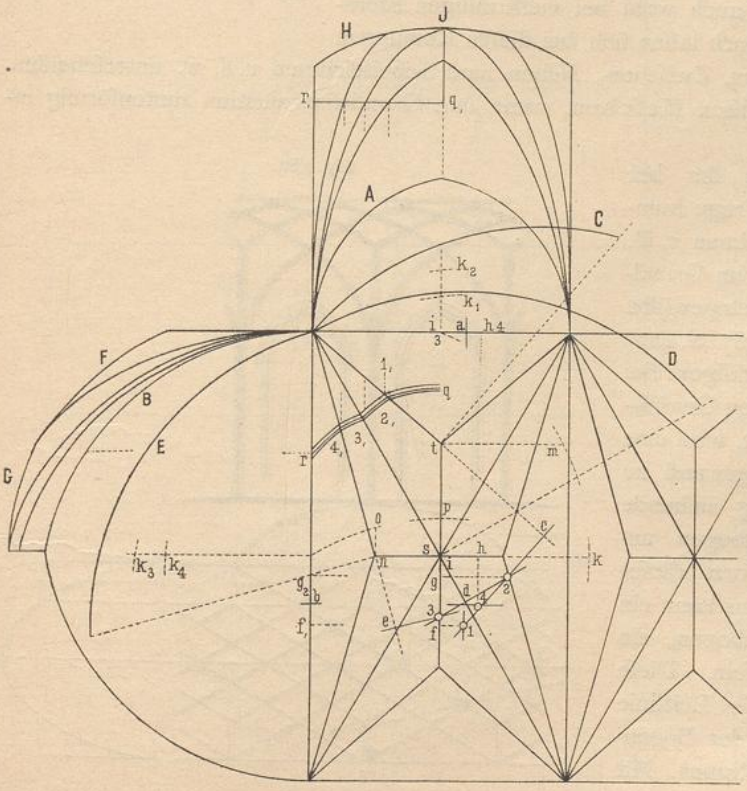
Bei dieſer Bildung der Korbbogen ſind im Allgemeinen die oberen Bogenſtücke mit verſchiedenen Halbmeſſern verſehen, während alle Anſätze neben gleichen Halbmeſſern auch gleiche Bogenlängen aufweiſen.

Läſſt man für die Bogenanſätze gleiche Halbmeſſer und eben ſo für die oberen Stücke der Bogen wiederum gleiche, aber den Scheitelhöhen entſprechende gröſsere Halbmeſſer einführen, ſo kann nach Fig. 479 das folgende Verfahren zum Austragen der Bogen benutzt werden.

Unter Annahme der Höhen der einzelnen Rippen iſt zunächſt o als Mittelpunkt für die Anſätze aller Bogen auf der wagrechten Linie fK gewählt. Um o iſt ferner mit beliebig groſsem Halbmeſſer, welcher in der Regel gleich of genommen wird, ein Kreisbogen K unterhalb fK geſchlagen. Behält man die Länge fK als Halbmeſſer der oberen Stücke der Rippenbogen bei, ſo liegen die Mittelpunkte derſelben auf dieſem Kreisbogen K.

Schnitte a, b u. ſ. f. der aus den Scheitelpunkten A, B u. ſ. f. von um A, B u. ſ. f. mit dem Halbmeſſer fK beſchriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie K werden die Mittelpunkte der zugehörigen Korbbogenſtücke, deren Scheideſtrahlen, durch ao, bo u. ſ. f. geführt, die Vereinigungspunkte a_1, b_1 u. ſ. f. zwiſchen Anſatz- und Oberbogen der Rippen ergeben. Erſtere erhalten hierbei verſchieden groſse Bogenlängen.

Fig. 480.



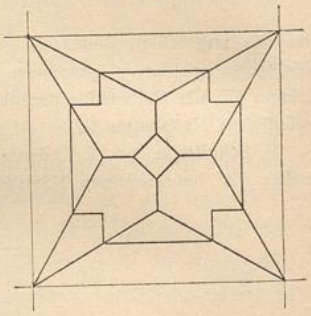
Mehrſtrahlige Sterngewölbe über unregelmäſsigem Grundriſs werden nach denſelben, für regelmäſsige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im Uebrigen iſt dabei das in Art. 287 (S. 417) Geſagte zu beachten. Werden mehrere neben einander liegende gleiche Gewölbjoche (Fig. 480) mit Sterngewölben verſehen,

ſo erfolgt die Geſtaltung derſelben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weiſe.

289. Mehrgliedriges Netzgewölbe.

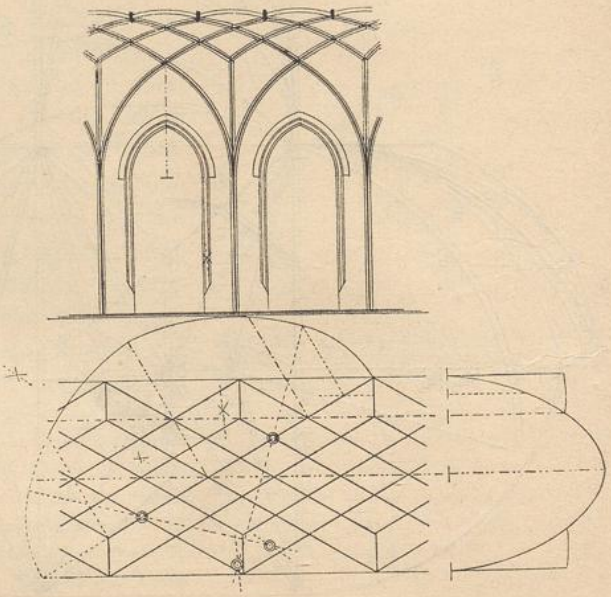
Wird ein einfaches Netzgewölbe (ſiehe Art. 286, S. 416) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zuſammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, ſo entſteht das Tragſyſtem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die ſelbſtändig in die Felder des Rippenſyſtemes eingefügten und von demſelben geſtützten Kappen ſind das Füllwerk des Gewölbes. Bei dieſen Gewölben, welche zur Ueberdeckung lang geſtreckter Räume dienen können, fehlen die Kreuzrippen und meiſtens auch die Gurtrippen, ſo daſs eine Eintheilung des zu überwölbenden Raumes in Joche häufig fortfällt. Die Widerlager dieſer Gewölbe ſind bei kleineren Gewölbefeldern einzelne Pfeiler, bei längeren ebenfalls Pfeiler oder beſonders an den langen Umfangswänden angebrachte Stützkörper. Im letzteren Falle entſpricht der Querſchnitt dieſer Gewölbe häufig der Form eines Tonnengewölbes mit Stichkappen. Sie unterſcheiden ſich aber in bemerkbarer Weiſe von ſolchen Tonnengewölben durch die ſelbſtändige Rippenbildung, durch die beſondere Wölbung der Kappen, welche in ihrer Laibung mit Buſung verſehen, einer Tonnengewölbfläche nicht angehören und durch ihre eigenartige Geſtaltung, welche nicht von der Querſchnittsform des Gewölbes, ſondern von der Form eines beſtimmt angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Fig. 481.



Die Rippen ſolcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Geſammtheit Reihungen genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielſtrahligen Sterngewölben eintritt. Doch laſſen ſich bei dieſen Reihungen wiederum Hauptrippen, Zwiſchen-, Neben- und Scheitelrippen u. ſ. w. unterſcheiden. Die Kappenfelder heiſsen Maſchen, wenn ihre Grundriſsprojection rautenförmig erſcheint.

Fig. 482.



Das Austragen der bei dieſen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 481 im Grundriſs dargeſtellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 287 (S. 417) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem lang geſtreckten Gewölbfelde, wie in Fig. 482, wird eine längſte, von Umfangswand zu Umfangswand ſchräg ziehende Rippe als Principalbogen angenommen. Die Form dieſes grundlegenden Bogens kann ein Halbkreis, ein Spitzbogen, ein Korbbogen u. ſ. f. ſein. Dieſe Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit

Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Principalbogen fortgeführt werden können, laſſen ſich in bekannter Weiſe und wie es aus der Zeichnung ohne Weiteres erſichtlich iſt, die nöthigen Ausmittelungen ſchaffen.

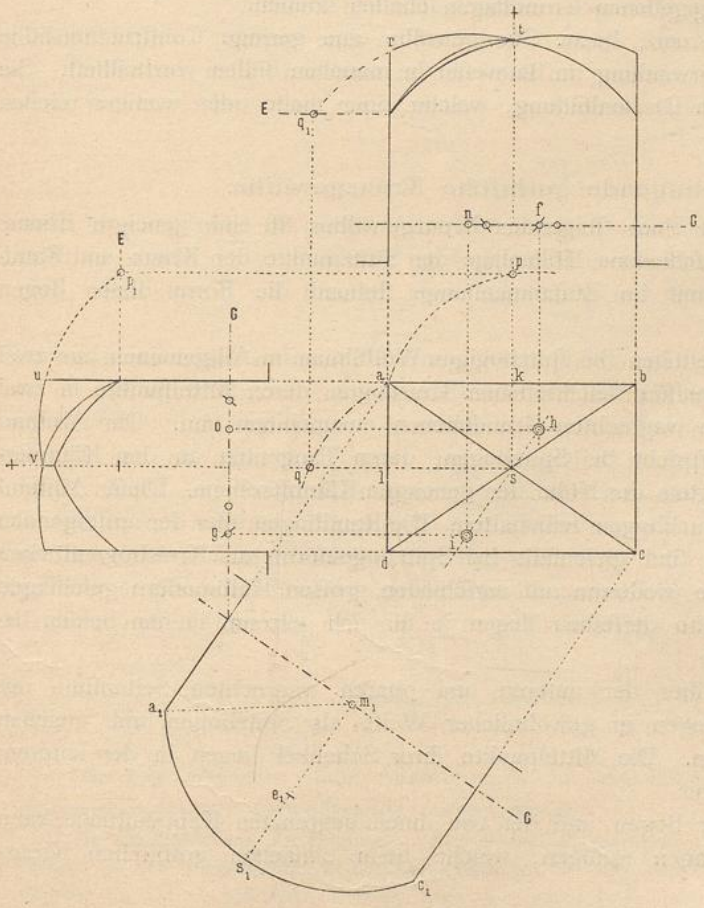
Wie nun auch die Grundriſsbildung der Reihungen auftreten ſoll, immer iſt dahin zu ſehen, daſs keine Anordnung getroffen wird, welche die Standfähigkeit des meiſtens in labilem Gleichgewichtszuſtande befindlichen Rippenkörpers an ſich ſchon ſtark beeinträchtigen könnte. Eine Verſpannung der Reihungen durch die eingefügten Kappen wird vermöge der ihnen zu ertheilenden Buſung allerdings in gewiſſem Grade bewirkt.

3) Gothiſche Kreuzkappengewölbe.

290. Geſtaltung.

Liegen die Scheitel der Kreuz- und Randbogen bei einem einfachen gothiſchen Kreuzgewölbe im Vergleich mit ihren Spannweiten in geringer Höhe über der wagrechten Kämpferebene, ſo entſteht das Kreuzkappengewölbe oder das flache Kreuzgewölbe. Kreuz- und Randbogen können als flache Kreisbogen oder als flache Spitzbogen (Knickbogen) ausgebildet werden. Die Kappen, welche auch bei dieſen Gewölben Füllungen zwiſchen den tragenden Rippenkörpern ſind, können in ihren Laibungen Kugelflächen oder ſphäroidiſchen Flächen, ſeltener cylindriſchen Flächen angehören.

Fig. 483.



Für die Geſtaltung dieſer Gewölbe können die bei der Bildung des einfachen gothiſchen Kreuzgewölbes gegebenen Geſetze gleichfalls befolgt werden.

Für das rechteckige Gewölbfeld $a\,b\,c\,d$ (Fig. 483) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe $a\,c$ ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m_1, dem Halbmeſſer $m_1 a_1$ und der Pfeilhöhe $e_1 s_1$ ſein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene G heiſse die Grundebene. Die Randbogen über $a\,b$ und $a\,d$ mögen flache Spitzbogen ſein, welche, hier z. B. mit dem-

ſelben Halbmeſſer $m_1 a_1$ des Kreuzbogens beſchrieben, ihre Mittelpunkte wie f, g in der Grundebene G beſitzen ſollen.

Hierdurch ſind bereits die ſämmtlichen Bogen des Rippenwerkes beſtimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, ſo ſind die Mittelpunkte derſelben in der Grundebene aufzuſuchen. Für die Kappe $a s k$ wird offenbar nach den früher gemachten Mittheilungen der Punkt h, für die Kappe $a s l$ dagegen der Punkt i der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmeſſer $h a$ um h beſchriebener Kreisbogen $a p$ gehört einem in der Kämpferebene E gelegenen Parallelkreiſe der Kugelfläche der Kappe $a s k$ an, während der mit dem Halbmeſſer $i a$ um i beſchriebene Kreisbogen $a q$ einem Parallelkreiſe der Kugelfläche der Kappe $a s l$ zukommt. Um die Scheitellinie über $l s$ zu erhalten, iſt der Punkt i nach n auf G und der Punkt q nach q_1 auf E zu projiciren und ſodann um n mit dem Halbmeſſer $n q_1$ der Kreisbogen $q_1 t$ zu ſchlagen. Das Stück $r t$ deſſelben iſt die Scheitellinie über $l s$. In ähnlicher Weiſe wird $u v$ als Scheitellinie über $k s$ mit Benutzung der Projectionen h, o und p_1, p gefunden.

Hiernach iſt die Ausmittelung der Hauptbeſtandtheile eines flachen Kreuzgewölbes, ſo lange die Mittelpunkte der Rand- und Kreuzbogen in einer und derſelben Grundebene liegen, äuſserſt einfach, auch ſelbſt dann noch, wenn dieſe Bogen mit ungleich groſsen Halbmeſſern beſchrieben ſind. Liegen die Mittelpunkte der Bogen nicht in einer und derſelben Grundebene, ſo hat das Austragen der Bogen ſelbſt an ſich keine Schwierigkeit; nur ſind dann die Laibungen der mit Buſung zu verſehenden Kappen nicht mehr reine Kugelflächen. Die Scheitellinien derſelben ſind vielmehr nach der beſonderen Geſtaltung der ſphäroidiſchen Flächen zu beſtimmen.

Das Rippen- und Kappengebilde für ein flaches Sterngewölbe würde man gleichfalls nach den angegebenen Grundlagen ſchaffen können.

Da die flachen Kreuz-, bezw. Sterngewölbe eine geringe Conſtructionshöhe erfordern, ſo iſt ihre Verwendung im Bauweſen in manchen Fällen vortheilhaft. Sie liefern eine anſprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausſtattung fähig iſt.

4) Steigende gothiſche Kreuzgewölbe.

291. Geſtaltung.

Die Kämpferebene eines ſteigenden Kreuzgewölbes iſt eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verſchiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zuſammenhange ſtehend die Form dieſer Bogen beeinflusſt.

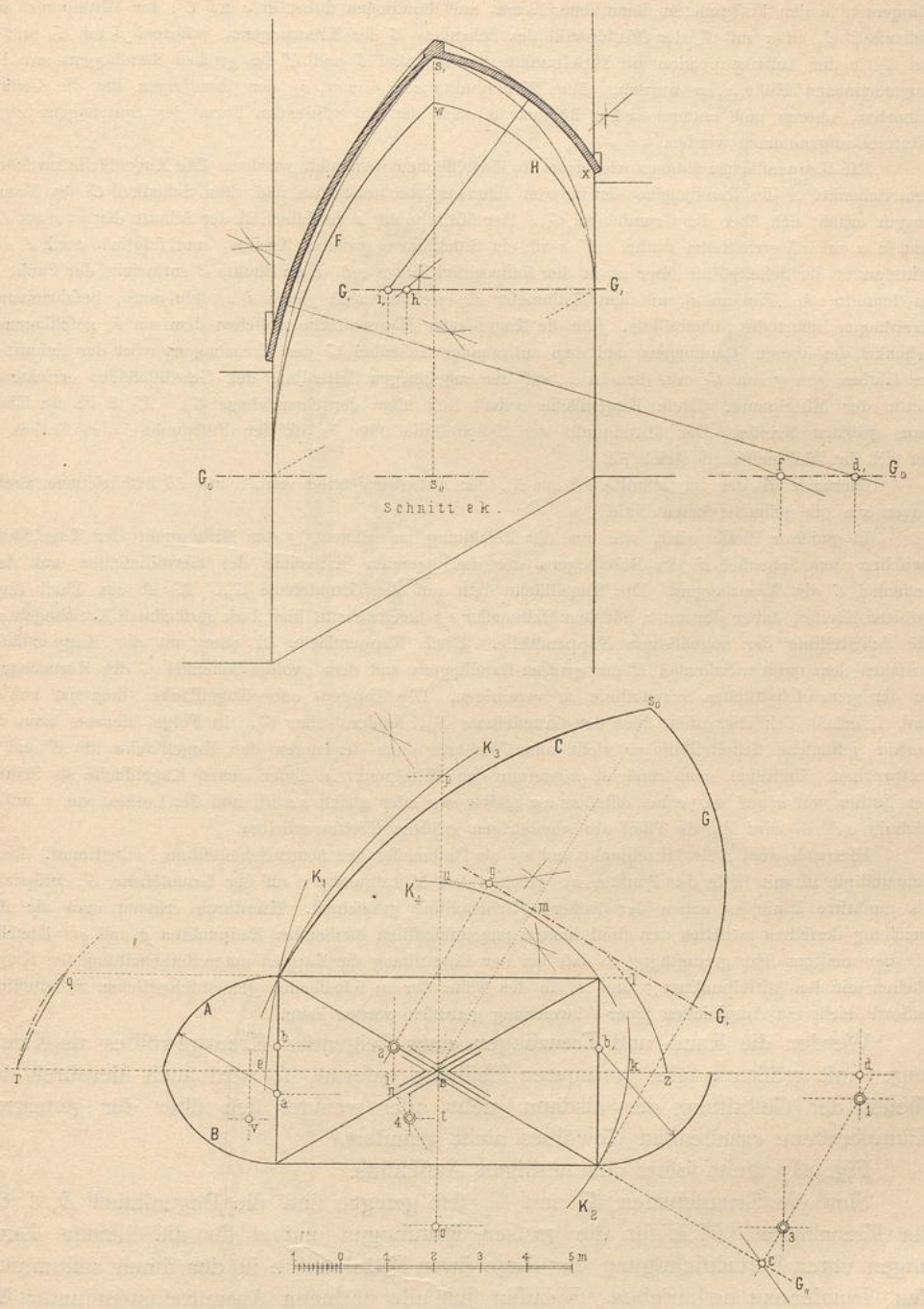
Die Kreuzbogen beſtehen bei ſpitzbogigen Wölblinien im Allgemeinen aus zwei mit verſchiedenen Halbmeſſern beſchriebenen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in zwei über einander liegenden wagrechten Grundebenen anzunehmen ſind. Der Abſtand dieſer Grundebenen entſpricht bei Spitzbogen, deren Tangenten an den Kämpferpunkten lothrecht ſind, ſtets der Höhe der geneigten Kämpferebene. Dieſer Abſtand wird auch paſſend für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der anſteigenden Seitenlinie dieſer Ebene ſind gleichfalls bei Spitzbogenform aus Kreisbogenſtücken zuſammengeſetzt, welche wiederum mit verſchieden groſsen Halbmeſſern geſchlagen werden. Die Mittelpunkte derſelben liegen je für ſich getrennt in den beiden bezeichneten Grundebenen.

Die Randbogen über der unteren und oberen wagrechten Seitenlinie der Kämpferebene ſind dagegen in gewöhnlicher Weiſe als Spitzbogen mit gleichen Halbmeſſern zu ſchlagen. Die Mittelpunkte ihrer Schenkel liegen in der unteren, bezw. oberen Grundebene.

Das Austragen der Bogen und der von ihnen begrenzten Kappenſtücke kann nach denſelben Grundlagen erfolgen, welche beim einfachen gothiſchen Kreuzgewölbe gegeben ſind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 484.



In Fig. 484 ſind dieſe Austragungen für ein ſteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde vorgenommen.

In der Darſtellung des Schnittes $e\,k$ ſind G_0 und G_1 die Spuren der bezeichneten beiden Grundebenen. In der Grundriſsebene iſt der Kreuzbogen mit den Schenkeln C, G niedergelegt. Die parallelen Geraden G_{11} und G_1 beſtimmen hier die Lage der Spuren jener beiden Grundebenen. Die Höhe des

Gewölbes fei vorgefchrieben und als $s s_0 = s_{,,} s_{,}$ aufgetragen. Hiernach ergiebt fich bei lothrechten Tangenten in den Fufspunkten fämmtlicher Kreuz- und Randbogen fofort in c auf $G_{,,}$ der Mittelpunkt des Schenkels C, in g auf $G_{,}$ der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf $G_{,}$ in der Aufrifsprojection die Mittelpunkte der Schenkel F und H des grofsen Randbogens mit der angenommenen Höhe $s_{,,} w$ werden. Die Mittelpunkte a, b, bezw. b_1 der Randbogen für die beiden fchmalen, oberen und unteren Seiten können je nach der zu wählenden Form des Spitzbogens ohne Weiteres angenommen werden.

Die Kappenflächen können wiederum als Kugelflächen behandelt werden. Die Kugelfläche zwifchen dem Schenkel A des Randbogens der unteren fchmalen Rechtecksfeite und dem Schenkel C des Kreuzbogens erhebt fich über der Grundebene $G_{,,}$. Der Mittelpunkt 1 derfelben ift der Schnitt der in c auf $G_{,,}$ und in a auf $a b$ errichteten Lothe. $K_1 e$ ift ein Stück ihres gröfsten Kreifes, und folglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über $e s$ in der lothrechten Ebene $e d$. Dem Punkte d entfpricht der Punkt d_1 im Schnitte $e k$. Ein um d_1 mit dem Halbmeffer $d e$, welcher auch gleich $d_1 s_1$ fein mufs, befchriebener Kreisbogen liefert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappenfläche zwifchen dem um b_1 gefchlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt 2 des Lothes von g auf $G_{,}$ mit dem in b_1 auf der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbefeldes errichteten Lothe der Mittelpunkt. Diefe Kugelfläche erhebt fich über der Grundebene $G_{,}$. $K_2 k$ ift ein Theil ihres gröfsten Kreifes. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über $k s$ ift der Fufspunkt i des Lothes $z i$ auf $e k$; ihr Halbmeffer ift gleich $i k$.

Hiernach ift der im Schnitte $e k$ um i_1, der Aufrifsprojection von i, mit $i k$ befchriebene Kreisbogen $x s_1$ die gefuchte Scheitellinie.

In gleicher Weife wird, wie aus der Zeichnung zu erfehen, 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche zwifchen dem Schenkel F des Randbogens der auffteigenden Seitenlinie des Gewölbefeldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche fteht auf der Grundebene $G_{,,}$. K_3 ift ein Theil ihres gröfsten Kreifes, daher der um o mit dem Halbmeffer $o p$ befchriebene, hier ftark gezeichnete Kreisbogen $q r$ die Scheitellinie der zugehörigen Kappenfläche. Diefe Kappenfläche ift aber mit der Kappenfläche zwifchen dem zweiten Schenkel H des grofsen Randbogens und dem zweiten Schenkel G des Kreuzbogens an der gemeinfchaftlichen Scheitellinie zu vereinigen. Die Kappen- oder Kugelfläche, begrenzt von H und G, erhebt fich aber nicht über der Grundebene $G_{,,}$, fondern über $G_{,}$. In Folge hiervon kann die vorhin gefundene Scheitellinie $q r$ nicht ohne Weiteres auch derjenigen der Kugelfläche für H und G entfprechen. Beftimmt man zunächft wiederum den Mittelpunkt 4 diefer neuen Kugelfläche als Schnitt des Lothes von n auf $s n$, wobei offenbar $s n$ gleich $m g$ oder gleich $s 2$ ift, und des Lothes von h auf $G_{,}$ (Schnitt $e k$), fo wird K_4 als Theil des zugehörigen gröfsten Kreifes erhalten.

Hiernach wird t als Mittelpunkt und $t u$ als Halbmeffer der neuen Scheitellinie $l z$ beftimmt. Diefe Scheitellinie ift mit Hilfe des Punktes v, welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene $G_{,}$ entfpricht, als punktirte Linie $q r$ neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derfelben zwifchen den fonft immer gemeinfchaftlich bleibenden Endpunkten p und q. Diefelbe ift aber meiftens fehr geringfügig, fo dafs bei der Einwölbung der Kappen unter Beibehaltung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten 3 und 4, in der Nähe der zu fchaffenden gemeinfchaftlichen Scheitellinie äufserft leicht ein Ausgleichen jener Abweichung getroffen werden kann.

Werden die Rand- und Kreuzbogen eines fteigenden Kreuzgewölbes als Knickbogen mit gröfserer oder geringerer Pfeilhöhe geformt, fo wird auch hierdurch das Wefen der Geftaltung des alsdann mehr oder weniger fich über der geneigten Kämpferebene erhebenden Gewölbes nicht geändert.

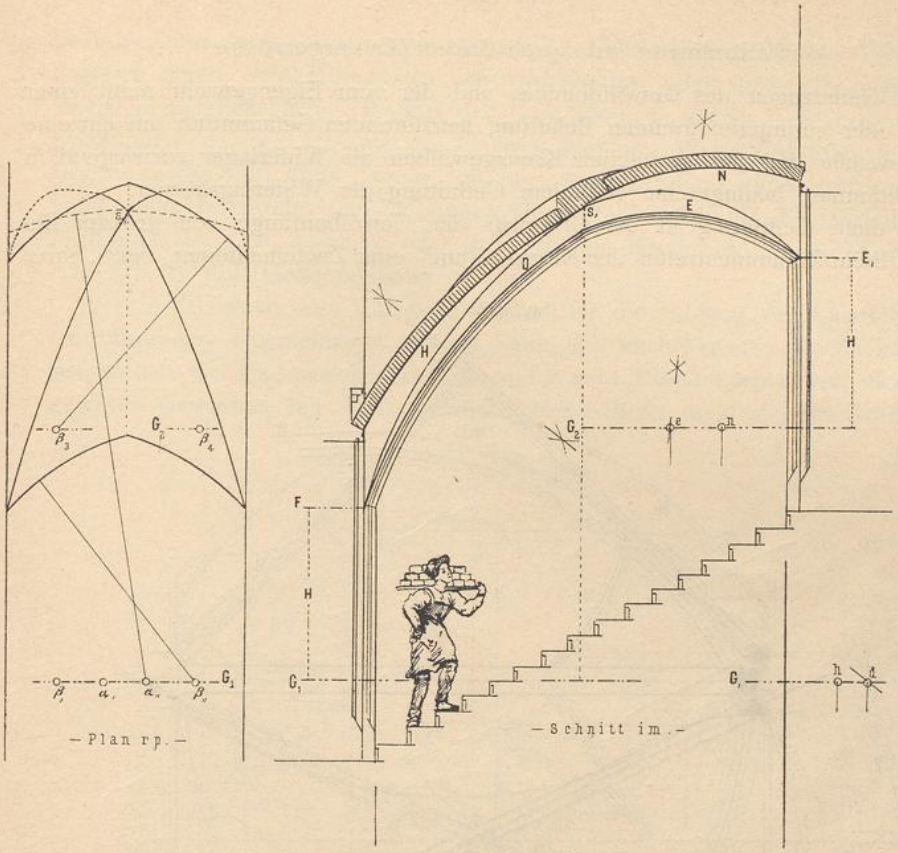
Fig. 485 giebt fofort den nöthigen Aufchlufs.

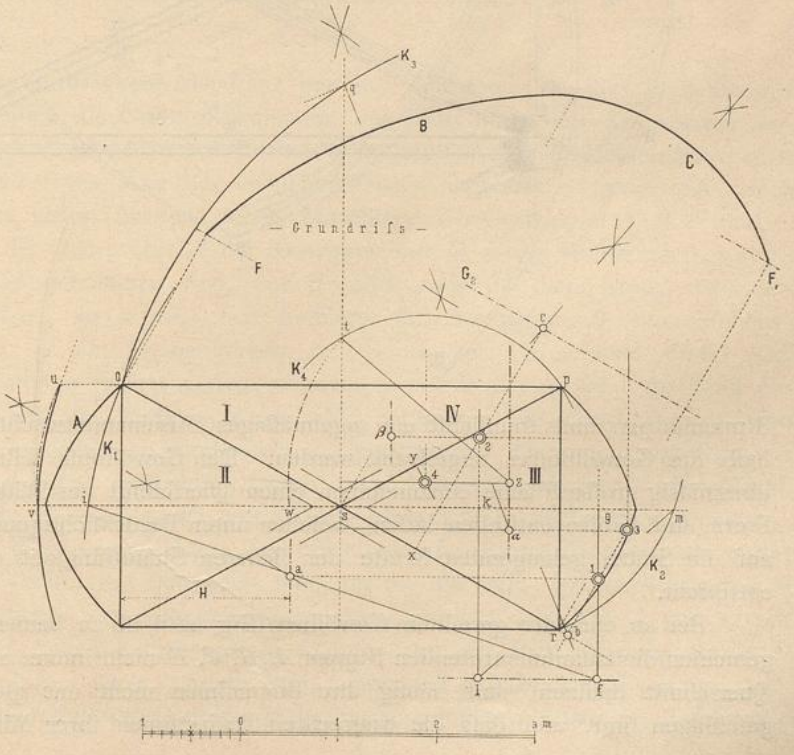
Sind die Grundebenen G_1 und G_2 feft gelegt, find die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die grofsen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berückfichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene befchrieben, fo laffen fich alle nöthigen Ausmittelungen unter Benutzung der foeben und ferner in Art. 290 (S. 421) beim flachen Kreuzgewölbe gegebenen Erörterungen für das ganze Gewölbe bewirken.

Ein genaues Verfolgen der in der Zeichnung noch näher zu erfehenden Handhabungen, welche die Geftaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen laffen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 485.





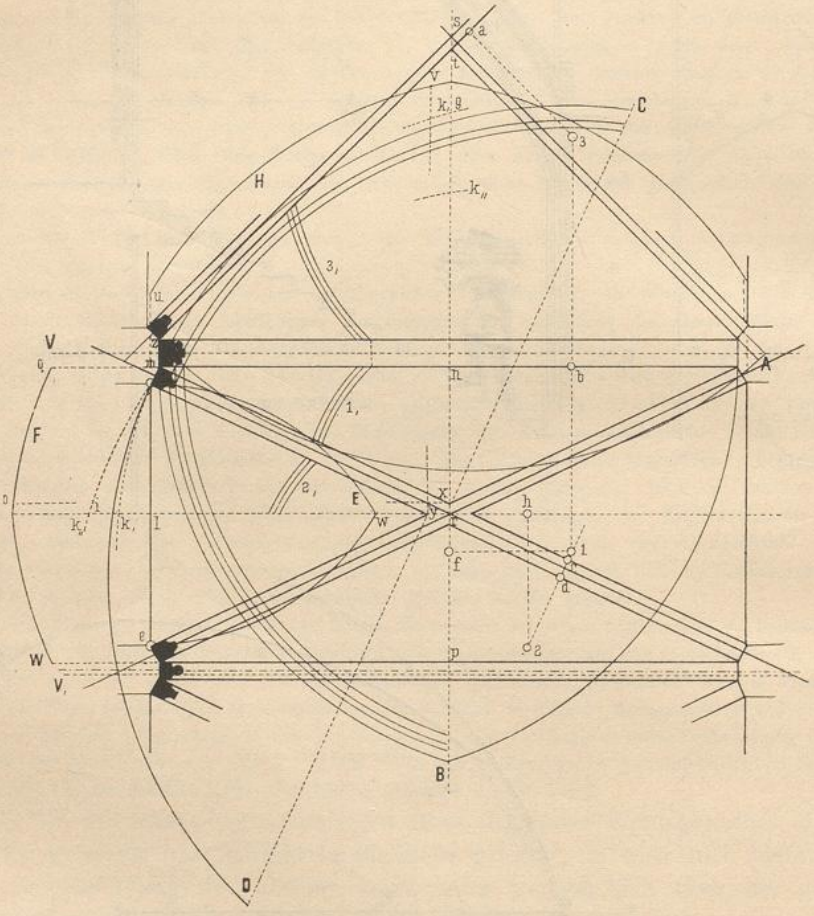
5) Widerlager der gothifchen Kreuzgewölbe.

292. Allgemeines.

Das Uebertragen des Gewölbfchubes und der vom Eigengewicht nebft einer gröfseren oder geringeren fremden Belaftung herrührenden Gefammtlaft auf einzelne Stützen, welche bei den gothifchen Kreuzgewölben als Widerlager vorwiegend in Betracht kommen, bedingt eine befondere Geftaltung der Widerlagskörper.

Für diefe Geftaltung ift der Grundrifs der Gewölbanfänge von gröfster Bedeutung. Beim Zufammentreten der Kreuz-, Rand- oder Zwifchenbogen, bezw. ihrer

Fig. 486.



Rippenkörper mufs thunlichft ein regelmäfsiges Auseinanderwachfen derfelben oberhalb des Gewölbfufses angeftrebt werden. Der Gewölbfufs felbft foll, ohne eine übermäfsig grofse Fläche einzunehmen, einen Querfchnitt des Widerlagskörpers nach Form und Gröfse entftehen laffen, welcher unter Berückfichtigung der fämmtlichen auf die Stütze gelangenden Kräfte der ficheren Standfähigkeit des Gewölbfyftems entfpricht.

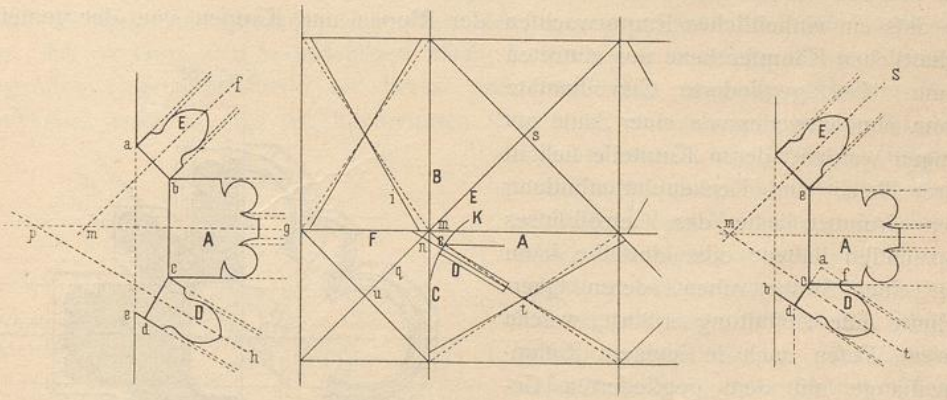
Bei an einander gereihten Gewölben (Fig. 486) ift zu bemerken, dafs im Allgemeinen die zufammentretenden Rippen *A*, *B*, *C*, *D* nicht immer einen und denfelben Querfchnitt befitzen, dafs häufig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmeffer gefchlagen find, und dafs die wagrechten Projectionen ihrer Mittellinien recht oft

beim Zufammentreten von verfchiedenartig im Grundrifs angeordneten Gewölbefeldern ungleich grofse Winkel zwifchen fich einfchliefsen oder fich auch nicht einmal in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diefe Umftände beeinfluffen die Entwickelung des Querfchnittes der Widerlagskörper in merkbarem Grade, auch felbft dann, wenn, wie aus der Zeichnung fofort entnommen werden kann, die Geftaltung der Laibungen der Wölbkappen als Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, bezw. *3* und den gröfsten Kreifen $k_{,}$, $k_{,,}$ u. f. f. nach dem in Art. 237 (S. 348) Gefagten bewirkt wird.

293. Querfchnittsbildung für einen Gewölbepfeiler.

Zur Erklärung des Ganges, welcher für die Bildung des Querfchnittes eines Gewölbpfeilers eingefchlagen werden kann, foll nach Fig. 487 ein Zwifchenpfeiler *m* befprochen werden, welcher als Stütze für acht Rippenkörper von vier zufammengelegten Gewölben mit theils quadratifchem, theils rechteckigem Grundriffe dient.

Fig. 487.

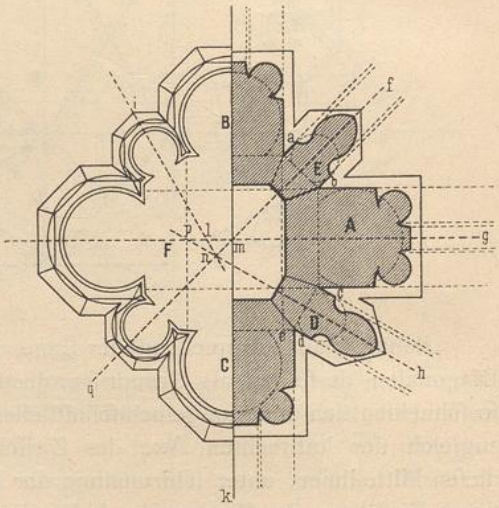


Behält man entfprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbefelder die Diagonalen derfelben als Grundrifsprojection der Mittellinien der Kreuzbogen bei, fo fchneiden fich diefe im gemeinfchaftlichen Eckpunkte *m* der Gewölbefelder, welcher zugleich der lothrechten Axe des Zwifchenpfeilers angehört. Ordnet man nach diefen Mittellinien, unter Hinzunahme der Mittellinien der Gurtrippen *A*, *B*, *F* und *C*, durch Einführen der Querprofile *A* der Gurtrippe und *D*, *E* der Kreuzrippen, welche hier kleiner als *A* genommen find, den Grundrifs des für diefe Rippen erforderlichen Gewölbfufses, fo ergiebt fich meiftens für die Rippe *D* ein unfchönes Einfchneiden bei *af* am Rippenkörper *A*. Sollte zur Vermeidung diefes Einfchneidens der Punkt *a* nach *f* verlegt werden, fo würde der grofse Uebelftand des weiteren Vorrückens des Punktes *d* von der Seitenlinie des Gurtbogens *C* fich geltend machen, fo dafs auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe *C* von der Rippe *A* nicht entftände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie *mt* der Rippe *C* kann jedoch eine beffere Abzweigung derfelben erzielt werden. Zur Beftimmung diefer neuen Lage der Mittellinie der Rippe *C* kann man in der folgenden Weife verfahren. Befchreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projection *t* des Scheitelpunktes des Gewölbes zwifchen *A* und *C* mit dem Halbmeffer *tc* einen Kreisbogen *K*, fo kann man die Breite *ad* der Rippe *D* derart einfügen, dafs *a* nach *c* gelegt und *d* auf den Kreisbogen *K* gefetzt wird. Die von *t* durch den Halbirungspunkt der Breite *cd* geführte Gerade *tn* ift die neue

Mittellinie für die Rippe D. Benutzt man dieſelbe nunmehr als ph, parallel zu nt, beim Austragen der Fuſsflächen A, E, D der zugehörigen Rippen, ſo laſſen ſich dieſe Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenſeitiges Einſchneiden entwickeln. Allerdings treffen ſich die Mittellinien der einzelnen Bogen, zumal auch die neue Mittellinie i durch Verlegen entſtehen muſs, nicht mehr in einem gemeinſchaftlichen Punkte m. Hierdurch entſteht in ſtatiſcher Beziehung der Uebelſtand, daſs die Schübe der einzelnen Bogen unter Umſtänden als Kräfte im Raume neben einem reſultirenden Geſammtdrucke noch ein den Pfeiler auf Drehung beanſpruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meiſtens nicht ſehr groſse Drehmoment dieſes Kräftepaares durch eine in geeigneter Weiſe ausgeführte Ausmauerung der Gewölbzwickel thunlichſt aufgehoben werden kann, wird bei der Stabilitäts-Unterſuchung der Pfeiler näher angegeben werden.

Bei der hier getroffenen Anordnung der zuſammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten a, b, c, d u. ſ. f., ſo daſs ein einheitliches Emporwachſen der Rippen und Kappen von der gemeinſchaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanſatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle ſich in ihrer Kelch- und Deckenplattenbildung der Grundriſsfläche des Gewölbfuſses anzupaſſen haben; oder derſelbe kann auf einer Stütze ruhen, deren Querſchnitt eine Geſtaltung erfährt, welche ihrem Weſen nach in innigem Zuſammenhange mit dem gegliederten Gewölbanſatze bleibt. Hierdurch entſteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

Fig. 488.



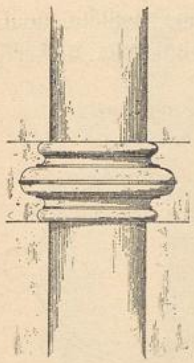
Den Ausmittelungen der Fuſsflächen der Rippen entſprechend, iſt in Fig. 488 die Geſtaltung des Querſchnittes eines einfachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinlängliche Auffatzfläche zu ſchaffen, iſt eine zweckdienliche Grundriſsform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsſeitig in der Zeichnung angegeben iſt, zu entwerfen.

294. Eckige Pfeiler mit Dienſten.

Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbanſatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeiler-Kapitell, dienen beſonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querſchnitt derſelben geht meiſtens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen ſelbſt führen den Namen Dienſte. Ihre Anordnung zeigt die Seite F in Fig. 488. Dieſelben können ſowohl bei gegliederten Pfeilern mit rundem Kern, als auch bei ſolchen mit eckigem Kern auftreten. Wie das ganze Kapitell den Pfeilerkern mit den Dienſten verbindet, wobei jeder Dienſt ſeine beſondere Kapitellbildung erhält, ſo ſind auch weiter die Dienſte und der Pfeilerkern durch eine gemeinſchaftliche, im Grundriſſe vieleckig geſtaltete Baſis, eine ſog. Fuſsung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienſt wiederum eine beſondere Baſis angeordnet iſt. Meiſtens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienſte mit

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 489.

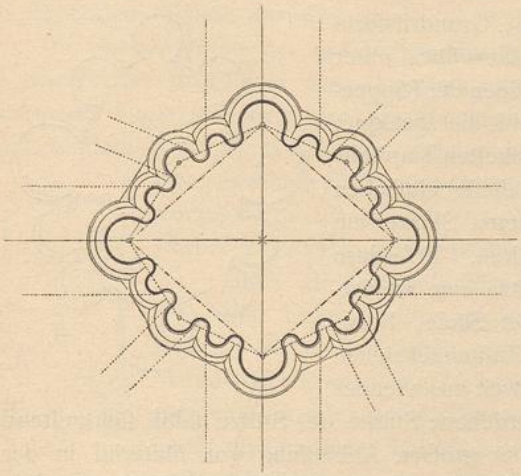


gröfserem Durchmeffer als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienfte heifsen alte, die fchwächeren dagegen junge Dienfte.

Die in charakteriftifcher Weife bei diefen gegliederten Pfeilern auftretenden Dienfte werden entweder bei jeder Pfeilerfchicht mit angearbeitet, oder fie werden vielfach als felbftändige cylindrifche Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder felbft fo angeordnet, dafs fie den Pfeilerkern in geringer Entfernung frei als Säulchen umftehen.

Die felbftändigen Dienfte werden bei gröfserer Höhe aufser ihrer Verbindung mit der Bafis und dem Kapitell des Pfeilers oft noch mit dem Pfeilerkern durch fog. Ringe, Bunde oder Gürtel (Fig. 489) in Zufammenhang gebracht. Die Stärke und auch die Anzahl der Dienfte richtet fich nach der Querfchnittsentwickelung der Gurt-, Scheide- und Kreuzrippen, welchen der gegliederte Pfeiler als Stütze zu dienen hat. Da die Gurt- und Scheidebogen häufig in ihrem vor dem eigentlichen Gewölbe liegenden Querfchnittstheile der Breite und Höhe nach eine ausgedehntere Entwickelung erfahren, als die Kreuzrippen (Fig. 490), fo verlangen erftere an fich ftärkere Dienfte als letztere. Hierbei kann die Bildung des Bogenanfatzes auch felbft eine Verbindung der Gurt-, bezw. Scheidebogen mit den Kreuzrippen im Gefolge haben, welche für die Kreuzrippen keine befonderen Dienfte bedingt. Diefe Rippen werden dann wefentlich durch den eigentlichen Kern des Pfeilers geftützt.

Fig. 490.

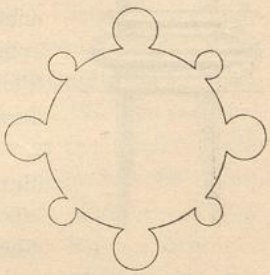


Ift der Querfchnitt der Gurt- oder Scheidebogen in fog. Ringen fymmetrifch ftaffelförmig nach oben verbreitert geftaltet, fo erhält auch wohl jede Staffel für fich einen Dienft. So würden für einen Querfchnitt von zwei Ringen drei Dienfte eingeführt werden können, von welchen der Dienft des unteren breiteren Ringes ftärker fein foll, als die daneben ftehenden Dienfte der beiden fchmaleren Staffeln des oberen Ringes. Die Beobachtung der Querfchnittsbildung der Rippen und des danach zu fchaffenden Grundriffes des Gewölbanfängers bedingt demnach die Zahl, die Stellung und die Abmeffung der Stärke der Dienfte des gegliederten Pfeilers und damit weiter die Grundform der gefammten Pfeilerbildung. In erfter Linie tritt für das Feftlegen diefer Grundform alfo die Bedingung auf, den gegliederten Pfeiler in zweckmäfsiger Weife als Stützconftruction herzurichten, wenn dabei auch eine völlig regelmäfsige Geftaltung der Grundform aufgegeben werden mufs. Ob die erwähnte Bedingung mit einer regelmäfsig gebildeten Grundform des Pfeilers in Einklang zu bringen ift, mufs in jedem einzelnen Falle einer befonderen Ueberlegung vorbehalten bleiben.

Um die Grundform des Pfeilers möglichft lebendig zu geftalten, find die einzelnen

Dienſte häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform iſt durch Anwendung mehrfacher Profilirungen, welche auch ſelbſt eine Umwandelung des Kreisquerſchnittes der Dienſte im Gefolge hat, äufserſt reich und bewegt gebildet. Die Werke der gothiſchen Baukunſt bieten hierfür eine grofse Anzahl von Beiſpielen.

Fig. 491.



295. Rundpfeiler mit Dienſten.

Wird an Stelle der einfachen Säule eine ſolche mit angefügten Dienſten zum Stützen der Bogenanfänge des Gewölbes benutzt, ſo entſteht der Rundpfeiler mit Dienſten.

Der eigentliche Kern dieſer häufig gebrauchten Pfeiler iſt in ſeinem Querſchnitte durch einen Kreis (Fig. 491) oder durch eine ſonſtige in ſich zurückkehrende krumme Linie (Fig. 492) begrenzt. Die Beſtimmung der Zahl, Stellung und Stärke der Dienſte, ſo wie das Feſtlegen der Form des Kernes dieſer mehr oder weniger reich gegliederten Rundpfeiler iſt nach den beim eckigen Pfeiler mit Dienſten gegebenen Erörterungen zu treffen.

296. Ungegliederte Pfeiler.

Die einfache Rundſäule oder der einfache, im Querſchnitt quadratiſch, rechteckig oder regelmäſsig vielſeitig geformte Pfeiler mit entſprechender Bildung des Kapitells und der Fufsung (Baſis) iſt, an und für ſich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgeſtalt des ungegliederten Pfeilers. Geſtattet die Grundriſsform des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter ſachgemäſsem Zuſammenziehen und Anordnen der Rippenprofile ein ungezwungenes Aufſetzen auf die geeignet umgrenzte Deckplatte des hiernach entwickelten Kapitells der Säule oder des Pfeilers, ſo wird in dieſer einfachen Stütze unter Beobachtung ihrer geeigneten Stärke ein ſchätzenswerthes Conſtructionsglied erhalten. Erfordern gröfsere Grundriſsflächen der Bogenanſätze eine weſentliche Vergröfserung des Durchmeſſers der Säule, bezw. des Pfeilers, ſo wird, wenn ein engeres Zuſammenziehen der Rippenprofile nicht möglich iſt, ein weit ausladendes Kapitell und unter Umſtänden eine übertriebene Stärke der Stütze ſelbſt ſich geltend machen. Wird auch zur Vermeidung der grofsen Anhäufung von Material in der Stütze und der Beſeitigung der hierdurch erzeugten ungünſtigen Erſcheinung derſelben die Bildung des gegliederten Pfeilers mit Dienſten angebahnt, ſo iſt doch häufig und namentlich bei den ungegliederten Pfeilern der Spätzeit der Gothik eine Umwandelung der Stützen der Bogenanfänge vorgenommen, wobei ſowohl auf das Einfügen eines Kapitells, als auch auf eine Verbindung mit Dienſten Verzicht geleiſtet wurde. Hierbei treten die verſchiedenſten Anordnungen auf. Die Rippen ſetzen ſich, aus den Mantelflächen der Stützen abzweigend, unmittelbar an den Körper derſelben, oder ſie werden mittelbar durch am Stützkörper vorhandene conſoleartige Auskragungen, bezw. durch kurze auf Auskragungen ſtehende Dienſte mit oder ohne Kapitell u. ſ. f. getragen. Dabei durchſchneiden (Fig. 493) die Mantelflächen des ungegliederten Pfeilers nicht allein die Seitenflächen der Rippenkörper, ſondern auch vielfach die Gewölbflächen der Kappen, ſo dafs im Allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung entſteht, wenn nicht in geſchickter und künſtleriſcher

Fig. 492.

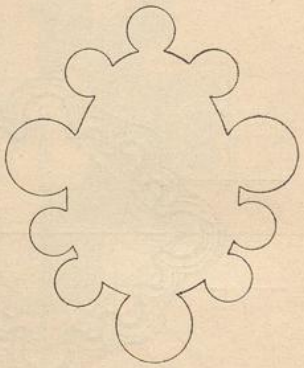
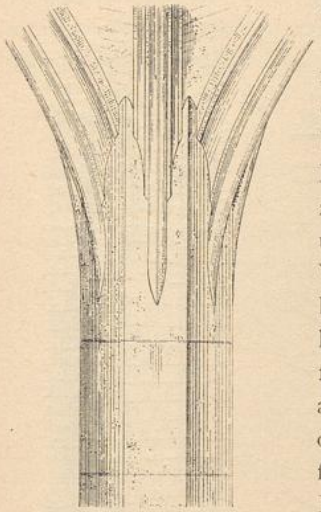


Fig. 493.



Weiſe für eine lebendige Verwebung des Bogenanſatzes mit dem Stützkörper geſorgt wird.

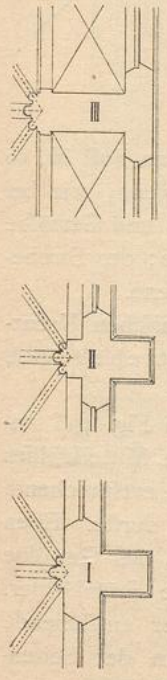
297. Wandpfeiler.

Die Wandpfeiler ſind im Weſentlichen Theile der frei ſtehenden Pfeiler, welche ſo weit in Benutzung treten, daſs eine ſichere Auflagerung der Bogenanſätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten ſich alſo vorzugsweiſe nach der Durchbildung der gegliederten oder ungegliederten Pfeiler, ſo weit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Theile des Bogenanſatzes dabei maſsgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verſchiedener Weiſe getroffen werden. Dieſelben reichen entweder vom Fuſsboden bis zum Bogenanſatz, ſind dabei mit Dienſten verſehen, bezw. treten ohne Dienſte als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorſprunge auf, welchem unter dem Bogenanſatze nur kurze Dienſte auf Auskragungen angefügt ſind, oder dieſelben endigen in geeigneter Höhe über dem Fuſsboden und ſind hier als beſondere Auskragungen gekennzeichnet. In jedem beſonderen Falle iſt die Durchbildung der Wandpfeiler in harmoniſcher Uebereinſtimmung mit den frei ſtehenden Pfeilern anzuſtreben.

298. Strebepfeiler.

Im Stützenſyſtem des gothiſchen Kreuzgewölbes nehmen die Strebepfeiler als conſtructive Bauglieder einen hervorragenden Rang ein. Die auf einzelne Stützpunkte der Umfangsmauern der Gewölbanlage übertragenen Gewölbſchübe erfordern ein beſonderes kräftiges Widerlager, welches in ſeiner ganzen Stärke für die zwiſchen den einzelnen Stützpunkten liegende Wand nicht nöthig wird, ſondern vorzugsweiſe als ein mit der Wand in Verbindung ſtehender Mauerkörper als Pfeiler, Strebepfeiler genannt, anzuordnen iſt.

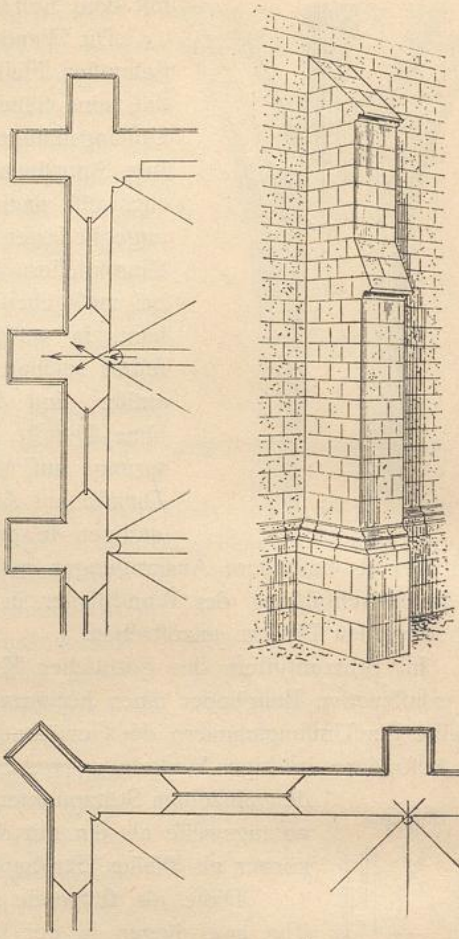
Fig. 494.



Dieſe als ſtützende Mauerkörper herzurichtenden Strebepfeiler (Fig. 494) liegen in der Regel, wie in *I*, aufsen an der Umfangsmauer; ſie können aber, wie bei *II*, auch theils innerhalb der Wand oder, wie bei *III*, ganz innerhalb des Raumes angebracht werden. In den gewöhnlichen Fällen ſtehen dieſelben rechtwinkelig zur Umfangsmauer; bei Mauerecken (Fig. 495) entweder in der Richtung jeder Mauerflucht oder allein in der Richtung der Halbirungslinie des inneren Winkels der zuſammentretenden Mauern. Für die Geſtaltung des Aufriſſes der Strebepfeiler lieſsen ſich, unter ausſchlieſslicher Berückſichtigung der günſtigſten Stabilitätsverhältniſſe und des damit verbundenen geringſten Materialaufwandes, mannigfache Geſichtspunkte feſt ſtellen. Die gleichzeitige und nicht minder bedeutungsvolle Rückſicht auf die architektoniſche Ausbildung ſolcher Stützkörper bringen jene Geſichtspunkte jedoch in engere Grenzen. Im Beſonderen ſind die Querſchnitts- und die Höhenentwickelungen der Strebepfeiler unter Beobachtung einer möglichſt günſtig im Inneren des Stützkörpers verlaufenden Mittellinie des Druckes vorzunehmen, welche ſich als Fortſetzung des auf den Strebepfeiler gelangenden reſultirenden Gewölbſchubes in Vereinigung mit den Gewichts-

antheilen des Mauerwerkes dieſer Widerlagskörper ermitteln läſſt. Im Allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Abſätze verbreiterte Aufriſsform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektoniſche Behandlung im Einklange mit den ſtatiſchen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abſchrägungen, Abdeckungen der Abſätze durch Geſimsſtücke, durch ſchräge Deckplatten, ſo wie die Anordnung von Waſſerſchlägen, von ſatteldachartigen Ueberdeckungen, oder das Einführen reichen Schmuckes durch Fialen an der oberen Endigung oder an einzelnen Abſätzen des Strebepfeilers, das Anbringen von Figuren u. ſ. f. bieten hierfür, wie die Bauwerke des gothiſchen Stils in ausgiebiger Weiſe zeigen, eine Fülle von Hilfsmitteln dar.

Fig. 495.



Noch iſt für die folgerechte Entwickelung der Strebepfeiler die Höhenlage der Kämpferebene der Bogen der Lichtöffnungen in der zwiſchen den einzelnen Strebepfeilern befindlichen Umfangsmauer in Bezug auf die Kämpferebene der antretenden Gewölbe in Betracht zu ziehen. Liegt die Kämpferebene der Fenſterbogen bedeutend höher als der Gewölbefuſs, wie ſolches bei den Bauwerken der Gothik in Deutſchland und Frankreich in der Regel der Fall iſt, ſo wird hierdurch eine gröſsere Stärke der Strebepfeiler veranlaſſt, als wenn, wie bei der Gothik in Italien ſich zeigt, die Kämpferebenen der Fenſterbogen und Gewölbe gemeinſam ſind. Hierbei iſt die Stärke der Strebepfeiler herabzuſetzen; der Strebepfeiler erſcheint alsdann mehr als eine äuſsere Mauervorlage oder Liſene.

299. Strebebogen.

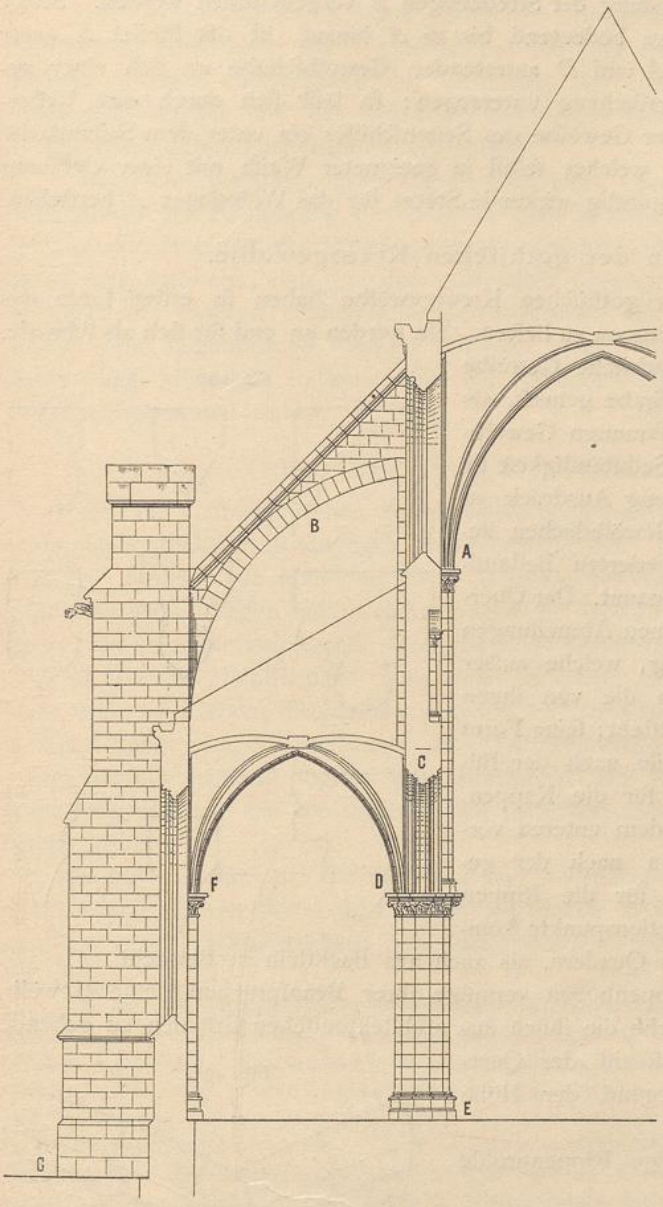
Ein bedeutungsvolles Bauglied iſt die bei der Anlage von gothiſchen Kreuzgewölben als wichtiges Strebeſyſtem eingeführte Vereinigung von Strebebogen oder Schwibbogen mit den Strebepfeilern.

Der Aufbau der gewölbten gothiſchen Baſilika forderte, wie in Fig. 496 angegeben, eine ſichere Abſtützung des vom Schube des Gewölbes A des Mittelſchiffes beanſpruchten Pfeilers C, bezw. E, ohne daſs, dieſem Gewölbſchube entſprechend, eine an ſich erhebliche Verſtärkung des Pfeilers vorgenommen werden durfte. Eben ſo beanſpruchte das in ſeiner Kämpferebene DF bedeutend tiefer als das Gewölbe des Mittelſchiffes gelegene Gewölbſyſtem der Seitenſchiffe beſondere Stützkörper. Das unter zweckmäſsiger Vergröſserung der Stärke dieſer Stützkörper entſtehende Widerlager geſtattete das Einfügen eines frei über das Gewölbſyſtem der Seiten-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſchiffe und ihrem Dachwerke hinweg ziehenden Bogens *B*, welcher als Strebe dem Gewölbſchube bei *A* Widerſtand zu leiſten und hierzu am Strebepfeiler *G* ſein weiteres Widerlager zu erhalten hatte. Hierdurch wird in vortheilhafter Weiſe der Schub des Gewölbes des Mittelſchiffes auf die Strebepfeiler der Seitenſchiffe übertragen und damit gleichzeitig eine in Rückſicht auf die Stabilität der Zwiſchenpfeiler *E* günſtig auftretende Conſtruction geſchaffen. Wie die Wirkungsweiſe eines derartigen Strebe- oder Schwibbogens näher beurtheilt und wie eine möglichſt günſtige Form für ſeine Wölblinie ermittelt werden kann, wird ſpäter bei der Stabilitäts-Unterſuchung deſſelben gezeigt werden.

Fig. 496.



Conſtruction und Anordnung des Syſtems der Strebepfeiler in Verbindung mit der Anlage der Strebebogen beeinflufſten als mächtiges Stützengebilde der gothiſchen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einſchlägigen Bauwerke der Gothik ſich ergiebt, eine architektoniſche Entwickelung des Grundriſſes, ſo wie des Aufbaues im Inneren und Aeuſseren, welche die Schranken, die ſich bei der Anlage der ſonſt bekannten Gewölbe einſtellten, zu beſeitigen vermochte. Nicht zu verkennen iſt, daſs in Folge dieſes Conſtructionsmittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr Strebebogen, welche ſich gegen gemeinſchaftliche Strebepfeiler ſetzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachtheilige Veränderungen zu ſchützen, mit einem ſo erheblichen Aufwande von Baukörpern erreicht iſt, daſs häufig die räumliche Wirkung des Inneren der

Bauanlage gegen das in weit gehender und reichfter Weife gebildete äufsere Conftructionsgerüft zurücktritt.

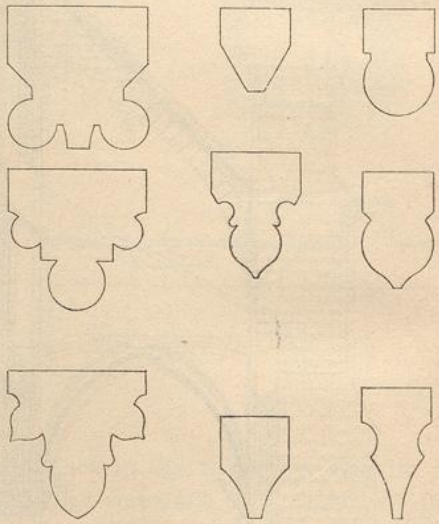
Von rein ftatifchem Gefichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei feitlich neben einander gereihten, fymmetrifch geordneten Gewölbanlagen mit verfchieden hoch gelegenen Kämpferebenen A und F die Verftrebung der Stützpunkte A auch ohne Anwendung der Strebebogen B vorgenommen werden. Steigt der Mauerkörper C nicht zu bedeutend bis zu A hinauf, ift der Pfeiler E unter Berückfichtigung der von A und D antretenden Gewölbfchübe an fich einer gewiffenhaften ftatifchen Unterfuchung unterzogen; fo läfft fich durch eine Uebermauerung der Gurte DF der Gewölbe des Seitenfchiffes ein unter dem Seitendache verbleibender Mauerkörper, welcher felbft in geeigneter Weife mit einer Oeffnung verfehen werden kann, als günftig wirkende Stütze für das Widerlager A herftellen.

6) Rippen der gothifchen Kreuzgewölbe.

300. Rippen.

Die Rippenkörper der gothifchen Kreuzgewölbe haben in erfter Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liefern. Sie werden an und für fich als fchmale, felbftändig auftretende cylindrifche Gewölbe geftaltet und find, ihrer Aufgabe gemäfs, als tragende Bogen in den gefammten Gewölbkörper einzuführen. Ihrer Selbftändigkeit ift in architektonifcher Beziehung Ausdruck zu geben durch die vor den Gewölbflächen liegenden, entfprechend gegliederten Beftandtheile, Rippenprofile genannt. Der Querfchnitt der Rippen ift in feinen Abmeffungen von der Belaftung abhängig, welche aufser ihrem Eigengewichte durch die von ihnen getragenen Gewölbftücke entfteht; feine Form richtet fich im oberen Theile nach der Bildung der Widerlagsflächen für die Kappen, dem fog. Rückenanfatz, in dem unteren vorfpringenden Theile dagegen nach der gewählten Profilirung. Diefe für die Rippen allgemein geltenden Conftructionspunkte kommen fowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backftein in Betracht.

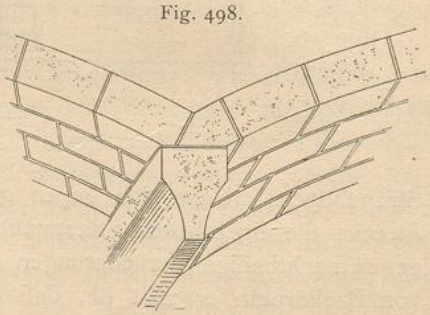
Fig. 497.



Da die tragenden Rippenbogen vermöge ihrer Beanfpruchung eine Gewölbftärke erhalten müffen, welche die ihnen aus architektonifchen Gründen zu gebende Breite meiftens übertrifft, fo ift der Querfchnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

In Fig. 497 find einige Rippenprofile gegeben.

Fig. 498.



Sieht man von einer Anordnung in Fig. 498 ab, wonach der Rippenkörper nur ein einfaches Auflager und kein befonders ausgebildetes Widerlager für die Gewölbkappen gewährt, fo ift es geboten, den Rücken-

anſatz nach beſtimmten Geſetzen zu bilden, welche mit Hilfe der folgenden Mittheilungen unmittelbar aus der Geſtaltung der antretenden Kappen und vorzugsweiſe aus der Art ihrer Einwölbung abgeleitet werden können.

7) Einwölbung der Kappen.

301. Kappen.

Die Einwölbung der Kappen gothiſcher Kreuzgewölbe erfolgt hinſichtlich der allgemeinen Anordnung der Wölbſchichten und der Beſtimmung ihrer Lager- und Stoſsfugenflächen entſprechend der Geſtaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der ſich in Rückſicht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältniſſe.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backſtein-, Quader- oder geeignetes Bruchſteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; läſſt man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, daſs bei den gothiſchen Kreuzgewölben weniger cylindriſche Wölbflächen, ſondern vorzugsweiſe Gewölbkappen mit Buſung, alſo reine Kugelflächen oder kugelförmige Flächen mit oder ohne Stelzung als Laibungsflächen in Anwendung kommen: ſo kann man die folgenden Arten der Einwölbung dieſer Kappen in Betracht ziehen.

α) Buſige Kappen ohne Stelzung.

Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen buſige Flächen ohne Stelzung, ſo treten hinſichtlich der Richtungen der Wölbſchichten, unter Berückſichtigung einer thunlichſt freihändigen Mauerung dieſer Kappen, vorwiegend vier von einander verſchiedene Anordnungen auf, welche ſowohl für Gewölbe mit wagrechter Kämpferebene, als auch für anſteigende Gewölbe volle Giltigkeit haben.

302. Erſte Anordnung der Wölbſchichten.

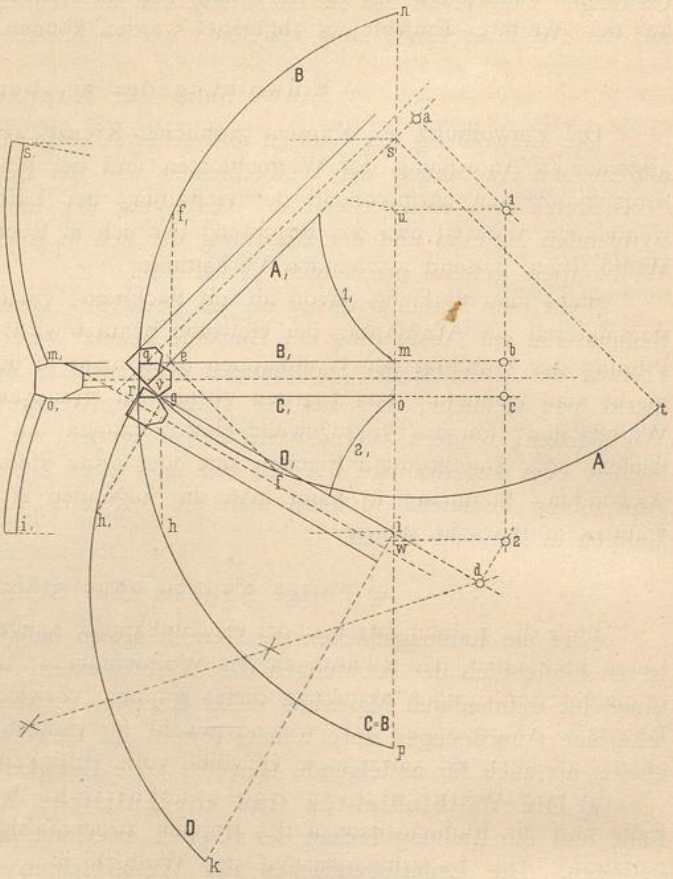
a) Die Wölbſchichten ſind concentriſche Ringſchichten. In dieſem Falle ſind die Laibungsflächen der Kappen zweckmäſsig als reine Kugelflächen zu geſtalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbſchichten ſind alsdann Kegelflächen, deren gemeinſchaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe iſt, während die Stoſsfugenflächen derſelben in Meridianebenen dieſer Kugel liegen.

In Fig. 499 ſind die Fuſsflächen q und r der Kreuzrippen und der Fuſs v der Scheiderippe, deren Axen hier unter ungleichen Winkeln und in verſchiedenen Punkten in der Kämpferebene zuſammentreten, in gegenſeitiger Durchſchneidung feſt gelegt.

Die ſeitlichen lothrechten Begrenzungsflächen der Rippenkörper enthalten die Widerlagslinien der antretenden Gewölbkappen. Dieſe Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappen mit den Seitenflächen der Rippen treffen ſich je in einem gemeinſchaftlichen Punkte, wovon e, bezw. g als wagrechte Projectionen erſcheinen. Bei unregelmäſsig zuſammentretenden Rippenanſätzen liegen dieſe Schnitte im Allgemeinen nicht in einer und derſelben wagrechten Ebene. Um trotz ihrer von einander abweichenden Höhenlage für das Kappenſtück ems mit der Scheitellinie ms und eben ſo für die Kappe goi mit der Scheitellinie oi im Hinblick auf eine einfache und geſetzmäſsige Ausführung der Kappenwölbung reine Kugelflächen einzuführen, iſt zunächſt für die Widerlagslinie der Laibungsfläche der Kappe ems an der Seitenebene A_1 der Kreuzrippe q der Kreisbogen A mit der gewählten Höhe st um den auf der Geraden es liegenden Mittelpunkt a geſchlagen. Dieſer Kreisbogen wird natürlich für die Begrenzungslinien der Profile der Kreuzrippe ebenfalls berückſichtigt. Derſelbe iſt aber auch der grundlegende Bogen für die Widerlagslinien an den Seiten B_1, C_1 der Scheiderippe v und an der Seite D_1 der Kreuzrippe r. Die lothrechte Projection des Schnittpunktes der Widerlagslinie A und der näher zu beſtimmenden Widerlagslinie an der Scheiderippe v iſt der Punkt f, und ſomit wird in fe die Höhenlage dieſes gemeinſchaftlichen Schnitt-

punktes über der Kämpferebene erhalten. Errichtet man in e auf eb das Loth ef_1 von der Länge ef, so ist f_1 ein Punkt des als Widerlagslinie an der Seite B der Scheiderippe zu ermittelnden Kreisbogens. Ein zweiter Punkt n dieser Widerlagslinie ist durch die Kappenhöhe mn an der Rippe v an sich gegeben oder besonders zu wählen. Hier ist mn etwas kleiner als st angenommen. Endlich muss zur Erzielung einer reinen Kugelfläche, welcher die Wölblinie A und der durch f_1 und n gehende Kreisbogen angehört, der Kugelmittelpunkt in der Grund- oder Kämpferebene, worin der Mittelpunkt a des Kreisbogens A liegt, enthalten sein. Bestimmt man also den Mittelpunkt b auf der verlängerten Geraden em für den durch $f_1 n$ gehenden Kreisbogen B, so ist hierdurch die Widerlagslinie der Kappenlaibung über ems an der Seite B_1 der Scheiderippe gefunden. Die Lothe von a auf ea und von b auf eb liefern in ihrem Schnitte 1 den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems. Ein um 1, z. B. als 1_1, beschriebener Kreisbogen ist die wagrechte Projection der Lagerkante einer Wölbschicht; dabei aber auch die Projection eines auf die wagrechte Kämpferebene zu beziehenden Parallelkreises der Kugelfläche, so dass alle Punkte solcher Lagerkanten gleiche Höhenlage über der Kämpferebene besitzen.

Fig. 499.

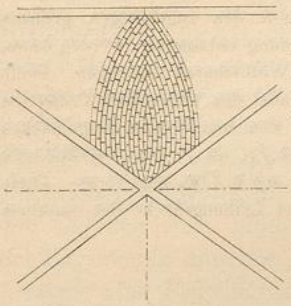


Die Widerlagslinie an der Seite C_1 der Scheiderippe v muss ein Bogen C sein, welcher sich mit dem Bogen B vollständig deckt. Die Höhe op desselben ist gleich der Höhe mn, und sein Mittelpunkt c liegt in C_1 auf dem Lothe bc auf B_1. Schlägt man um c den Kreisbogen $C = B$ und bestimmt man in dem Endpunkte h des Lothes gh auf cg die Höhenlage des Schnittpunktes der Widerlagslinien der Kappe goi an den Seiten C_1 und D der begrenzenden Rippen, so ist nun weiter, unter Benutzung des Lothes gh_1 auf gi mit der Länge gh und des Lothes ik auf gi mit der Länge st, also gleich der Höhe des Hauptbogens A, die Lage der beiden Punkte h_1 und k gewonnen, welche dem Kreisbogen D der Widerlagslinie der Kappe goi an der Seite D_1 der Kreuzrippe r angehören. Der zugehörige Mittelpunkt ist in d auf der Geraden D_1 ohne Weiteres zu bestimmen. Nach bekannten Massnahmen wird in 2 der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe goi gefunden. Der um 2 beschriebene Kreisbogen 2_1 ist wiederum die wagrechte Projection der Lagerfugenkante einer Wölbschicht. Die Begrenzungslinien der Profile der Rippen v und r folgen den zugehörigen Bogenlinien B, bezw. D. Die Scheitellinie der Kappe ems ist der um u beschriebene Kreisbogen $m\,s_1$, wobei $mm_1 = mn$ und $ss_1 = st$ sein muss, während die Scheitellinie der Kappe goi der Kreisbogen $o_1 i_1$ mit dem Mittelpunkte w und den Ordinaten $oo_1 = mn = op$ und $ii_1 = st = ik$ ist.

Den ermittelten Kugelflächen entsprechend, sind die Wölbschichten in den zugehörigen Kappen als concentrische Ringschichten leicht fest zu legen, und danach sind auch die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Schwierigkeiten zu bestimmen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 500.

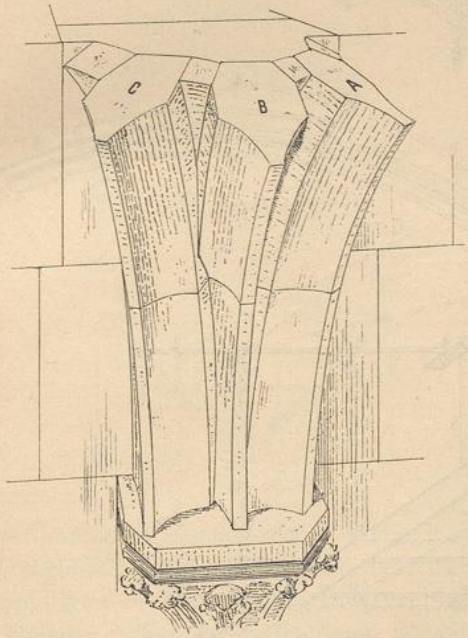


Bei der Anordnung der Wölbung nach concentrifchen Ringfchichten tritt über der Scheitellinie ein Zufammenfchneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenfchwanz-Verbandes ein. Die Gröfse der Halbmeffer der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derfelben beeinflufft das Zufammenfügen der einzelnen Wölbfcharen über den Scheitellinien oft in befonderer Weife.

So kann nach Fig. 500 leicht eine linfenförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenfchwanz vereinigter Schichten zuweilen wenig günftig ift. In folchen Fällen ift der verbleibende Spalt durch befonders hergerichtete Steine zu fchliefsen.

Wie beim Zufammenfchneiden der Fufsflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenanfatz unter Verwendung von Werkftücken gebildet werden kann, möge durch Fig. 501 angedeutet werden.

Fig. 501.



Um die fcharfen Schneiden der Wölbfchichten am Fufse der Kappen zu vermeiden, find die Anfätze der Kappen zweckmäfsig am Anfänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen *A*, *B*, *C* des Rippenanfatzes erheben fich ohne Weiteres die einzelnen Rippenftücke frei als felbftändige Rippenkörper, wie die Beftandtheile fchmaler Tonnengewölbe, fo dafs zwifchen denfelben das Einfügen der einzelnen Wölbfchichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

Bei fphäroidifchen, mit ftarker Bufung verfehenen Kappen ift die Einwölbung nach Art concentrifcher Ringfchichten, wobei die Lagerfugenkanten je für fich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft fehr erfchwert wird.

303. Zweite Anordnung der Wölbfchichten.

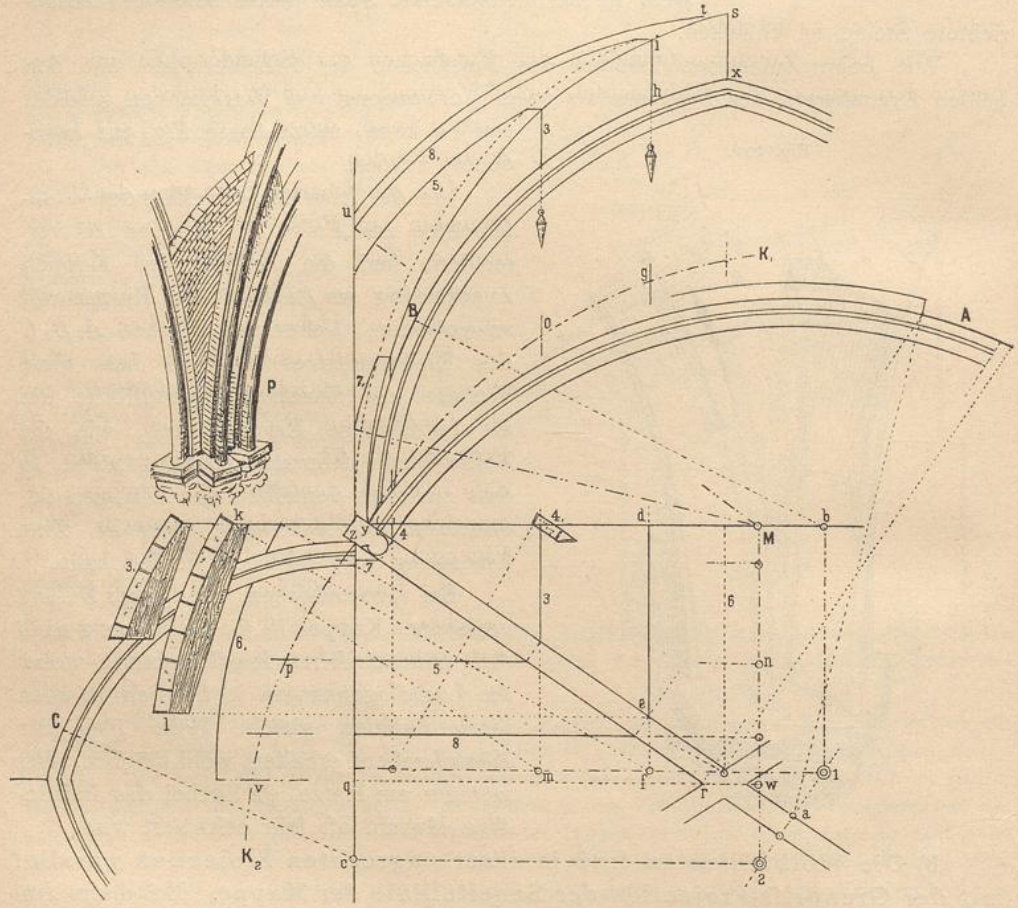
b) Die Wölbfchichten find in ihrer wagrechten Projection parallel mit der Grundrifs-Projection der Scheitellinie der Kappe. Bei diefer Anordnung entftehen ftreng genommen Wölbfcharen, welche eine innige Verwandtfchaft mit der Wölbung von cylindrifchen Gewölben auf Kufverband aufweifen. Sind bei gothifchen Kreuzgewölben die zwifchen den Rippen liegenden Kappen cylindrifch geftaltet, fo ift die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Vorausfetzung einer vorherigen Unterfchalung mit keinen befonderen Umftänden verknüpft.

Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rückfichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbfchichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerthen Einflufs auf die Geftaltung der Lager- und Stofsfugenflächen der Wölbfteine.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ift nach Fig. 502 auf Grund der in Art. 237 (S. 348) gegebenen Mittheilungen für die Kappen die Beftimmung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1* und *2* nebft den zugehörigen gröfsten Kreifen K_1, bezw. K_2 getroffen, fo laffen fich, wie fofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbfcharen austragen. Diefe Lagerkanten gehören lothrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projection der zugehörigen Scheitellinien find. Die Schnittlinien diefer Ebenen mit den betreffenden Kugelflächen find alfo Kreisbogen, welche als kl dem Parallelkreife mit dem Halbmeffer fg, als 3_1 dem Parallelkreife mit dem Radius mo, weiter als 5_1 dem Parallelkreife mit dem Halbmeffer np u. f. w. angehören. Diefe Kreisbogen beftimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsfläche der einzelnen neben einander liegenden Wölbfchichten.

Fig. 502.



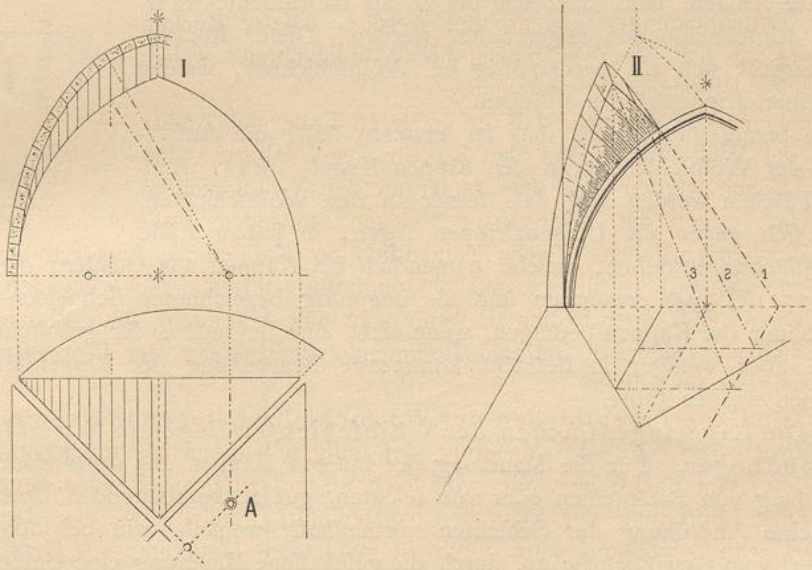
Vermöge der verhältnifsmäfsig geringen Breite der Wölbfcharen können diefelben in Rückficht auf die Richtung ihrer Stofsfugenflächen als fchmale cylindrifche Gewölbftreifen angefehen werden, fo dafs die Stofsfugenflächen nicht als Kegelflächen, welche für alle Wölbfcharen die gemeinfchaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte finden müfften, fondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in kl und 3_1, fo wie beim Anfänger P angegeben ift, fenkrecht zu der Wölblinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbfchichten ftehen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Anders geſtaltet ſich die Anordnung der Lagerfugenflächen der einzelnen Wölbſcharen. In Fig. 503 iſt in *I* die Theilung der Schichten am Randbogen für eine Kappenhälfte, deren Laibung die Kugelfläche mit dem Mittelpunkte *A* ſei, ausgeführt und danach die Lage der Wölbſchichten beſtimmt. Die Kreisbogen der Lagerkanten ſind die Leitlinien der Lagerfugenflächen. Die Erzeugenden dieſer Fläche können als gerade Linien feſt geſetzt werden, deren Lage gewiſſen vorgeſchriebenen Bedingungen unterworfen wird. Geht der Endpunkt dieſer erzeugenden Geraden ſtets durch den Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher der Kreisbogen der Lagerkante angehört, ſo entſteht bei ihrem Fortbewegen an der entſprechenden Leitlinie eine Kegelfläche als Lagerfugenfläche.

Legt man aber nach *II* (Fig. 503) durch die Kugelfläche der Kappe lothrechte Ebenen parallel zur Ebene des Randbogens, ſo entſteht eine zweite Schar von leicht

Fig. 503.



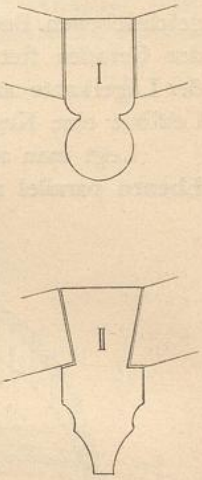
beſtimmbaren Parallelkreiſen, welche die unteren Lagerfugenkanten der Wölbſchichten ſchneiden. Zieht man durch dieſe Schnitte und durch die Mittelpunkte der zugehörigen zweiten Gruppe von Parallelkreiſen die erzeugenden Geraden, wie *1*, *2*, *3* erkennen laſſen, ſo entſteht eine windſchiefe Fläche als Lagerfugenfläche.

Im Allgemeinen kommen nur dieſe beiden Geſtaltungen der Lagerfugenflächen in Betracht. Bei Backſtein- und dünnem Bruchſteinmaterial tritt in den meiſten Fällen keine beſonders vorzunehmende Zurichtung der Lagerflächen in der einen oder anderen Weiſe ein, weil ſich hierbei ein Ausgleich in der Flächenbildung durch eine entſprechende Stärke der Mörtelbänder in den Lagerfugen ſchaffen läſſt. Bei Quadermaterial iſt aber die Bearbeitung der Lagerflächen nach den gegebenen Erörterungen in ſtrenger Weiſe zu veranlaſſen. Ob dabei Kegelflächen oder windſchiefe Flächen maſsgebend werden ſollen, iſt hinſichtlich der praktiſchen Zurichtung von ziemlich gleicher Bedeutung. Theoretiſch genommen, verdienen die Kegelflächen bei einer Buſung der Kappen nach reinen Kugelflächen den Vorzug.

Bei einer in anderer Weiſe angenommenen Buſung, wovon noch unter b die Rede ſein wird, tritt die Anordnung der windſchiefen Lagerflächen ein.

Eine freihändige Ausführung der Kappen ift bei der befchriebenen Anordnung der Wölbfchichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbftreifen auch zur Unterftützung derfelben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 502 bei kl und 3_1 angedeutet ift, einfache und leichte, fenkrecht unter die Wölbfchichten ab und zu aufzuftellende Wölbfcheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten felbft, Theile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreife über fg, mo, np u. f. f. ihrer zugewiefenen Kugelflächen find, mithin je für fich mit dem befonderen Halbmeffer jener Parallelkreife befchrieben werden müffen.

Fig. 504.



Nach der Bildung der Wölbfchichten laffen fich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe feft legen. Diefe Widerlagsflächen können nach Fig. 504 entweder wie bei *I* lothrechte Anfätze fein, oder wie bei *II* als fchwalbenfchwanzförmige Einfchneidungen angearbeitet werden. Diefer Rückenanfatz ergiebt fich als zweckmäfsig bei Wölbfchichten, welche gegen einen Rippenkörper anfteigen.

Zu bemerken ift noch, dafs im letzteren Falle die Anfatzflächen der Wölbfchichten an den Rippen Kegel-, bezw. windfchiefe Flächen werden und dafs ferner an den Wölbfchichten, welche fich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmiegflächen entftehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 271 (S. 394) erwähnten und als ungünftig bezeichneten Schneiden an den Anfatzfteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine befondere, für gothifche Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippenfteine vorgenommen werden follte.

304. Dritte Anordnung der Wölbfchichten.

c) Die Lagerfugenflächen der Wölbfchichten liegen in Normalebenen zum Randbogen. Für die Mauerung der bufigen Kappen aus freier Hand ift bei Verwendung von Backfteinen oder von leichten, gut zu bearbeitenden Bruchfteinen immer eine Anordnung der Schichten vortheilhaft, wonach, wie bei den Kugelgewölben, vom Gewölbefufse an, durch die gefchaffene Mauerung eine Unterftützung der höher liegenden Schichten bereits geboten werden kann. Die unter a befprochenen concentrifchen Ringfchichten entfprechen diefer Forderung, während derfelben bei der unter b mitgetheilten Schichtenlage weniger genügt wird. Aufserdem ift in Rückficht auf die an fich vorhandenen ebenen Seitenflächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stofsfugenflächen an fämmtlichen Wölbfchichten im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit fehr erwünfcht. Diefe Gründe geben Veranlaffung, die Wölbfchichten in ihren Lagerflächen nach Normalebenen zu ordnen, welche für irgend einen hauptfächlich als Träger eines Kappenftückes auftretenden Rippenkörper feft zu legen find.

Bei den cylindrifchen Kreuzgewölben ift fchon in Art. 266 (S. 389) auf die Anordnung von Wölbfchichten, geregelt durch Normalebenen zum Gratbogen, hingewiefen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben fich auch bei den Wölbfcharen der Kappen gothifcher Kreuzgewölbe mit Bufung.

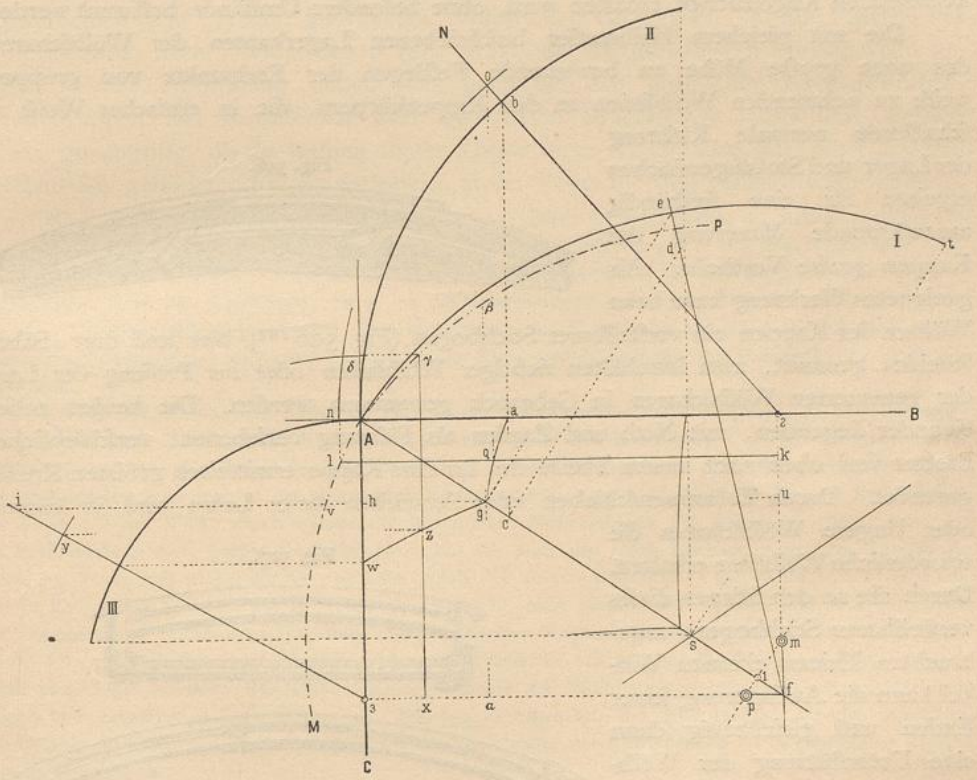
Liegen die Lagerflächen der Wölbfchichten in Normalebenen zum Rand-, Gurt- oder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, deffen Kappen nach einer reinen Kugelfläche geftaltet find, fo laffen fich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

in ihrer wagrechten Projection Theile von Ellipfen werden, nach der in Fig. 505 gegebenen Darftellung leicht ermitteln.

Bei dem über einem rechteckigen Gewölbefelde angenommenen Kreuzgewölbe fei I der um 1 als Kreisbogen befchriebene Diagonalbogen, II der halbe Randbogen für AB mit dem Mittelpunkte 2 und III der halbe Randbogen für AC mit dem Mittelpunkte 3. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt b des Randbogens II, welcher hier eben fo wie die Kreisbogen I und III als Schnittlinie der Laibungsflächen der Kappen mit den Rippenkörpern angefehen werden foll, eine Normalebene N mit der Spur $2N$ in der Ebene des Randbogens II und der Spur $2f$, fenkrecht zu AB, in der wagrechten Kämpferebene, fo ergeben fich die Schnittlinien diefer Normalebene zunächft mit der Ebene des Kreisbogens I als fe, wofür z. B. die Länge des Lothes cd auf Af, deffen Fufspunkt c in der lothrechten Ebene ab enthalten ift, gleich der Länge des Lothes ab genommen wurde, und fodann mit der Ebene des Kreisbogens III als $3i$, wofür z. B. das dem Punkte g entfprechende Loth hi auf AC gleich der

Fig. 505.



Strecke des Lothes ge auf Af abgetragen wurde. Die wagrechten Projectionen a, g, w der Schnitte der Spuren $2N$, fe, $3i$ mit den zugehörigen Kreisbogen II, I, III find Grenzpunkte der Grundrifs-Projectionen der für die Normalebene N entftehenden Wölblinien ag der Kappe sAB und gw der Kappe sAC.

Um ohne Feftlegen der Axen der Ellipfen, welche bei den hier angenommenen Kugellaibungen der Kappen zum Zeichnen der Projectionen ag und gw benutzt werden könnten, Zwifchenpunkte, wie q auf ag und z auf gw, zu beftimmen, find die gröfsten Kreife M mit dem Mittelpunkte m für die Kappe sAB und P mit dem Mittelpunkt p für die Kappe sAC unmittelbar verwerthet.

Die parallel zu AB fenkrecht in kl aufgeftellte Ebene fchneidet die Kugelfläche sAB in einem Parallelkreife mit dem Halbmeffer kl. Derfelbe trifft, um 2 mit $2n = kl$ befchrieben, die Spur $2N$ im Punkte o. Die wagrechte Projection q auf kl diefes Durchganges o ift ein Zwifchenpunkt auf ag.

Eben fo wird die Kugelfläche sAC von der nach $x\gamma$ geführten lothrechten Ebene nach einem Parallelkreife mit dem Halbmeffer $3\delta = x\gamma$ gefchnitten, welcher auf der Spur $3i$ den Punkt y liefert, deffen wagrechte Projection z auf $x\gamma$ einen Zwifchenpunkt der Wölblinie gw ergiebt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Wölblinien, alſo die Lagerkanten der Wölbſcharen der Kappen, ſind ſtets Beſtandtheile der gröſsten Kreiſe ihrer Kugelflächen, weil dieſelben in Ebenen liegen, welche durch den Mittelpunkt dieſer zugehörigen Kugelflächen gehen. Aufserdem haben ſämmtliche Normalebenen die ihnen zukommenden, rechtwinkelig zu den Ebenen der Randbogen ſtehenden Kugelaxen als gemeinſchaftliche Schnittlinie. Danach iſt alſo die wirkliche Geſtalt für die Lagerkante in der Normalehene N der Kappe sAB in dem Theile Av des zwiſchen den Parallelen $2A$ und ug, bezw. uv gelegenen, zugehörigen gröſsten Kreiſes M und für die antretende Lagerkante gw in dem von den Parallelen $3A$ und $\alpha\gamma$, bezw. $\alpha\beta$ begrenzten Stücke $A\beta$ des zugehörigen gröſsten Kreiſes P dargeſtellt.

Mit Hilfe dieſer einfachen Beziehungen können die Anſatzflächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Eintheilung der Wölbſcharen an den Randbogen vorgenommen iſt, unter Berückſichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsflächen der einzelnen Wölbſcharen, welche für alle Stoſsfugenflächen, alſo auch für die Anſatzflächen unmittelbar durch die entſprechenden Meridianebenen der in Frage kommenden Kugelflächen erhalten wird, ohne beſondere Umſtände beſtimmt werden.

Die mit gleichem Halbmeſſer beſchriebenen Lagerkanten der Wölbſcharen, das ohne groſse Mühe zu bewirkende Feſtlegen der Endpunkte von gruppenweiſe zu nehmenden Wölblinien an den Rippenkörpern, die in einfacher Weiſe zu ſchaffende normale Richtung der Lager- und Stoſsfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen groſse Vortheile. Als geeignetes Werkzeug kann beim Wölben der Kappen ein verſtellbarer Stichbogen (Fig. 506 [181]), hier und dort »Säbelſcheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wölblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbſcharen in Gebrauch genommen werden. Die beiden neben einander liegenden, mit Nuth und Zapfen als Führung verſehenen, verſchieblichen Bretter ſind oben nach einem Theile des für eine Kappe ermittelten gröſsten Kreiſes gerundet. Durch Zuſammenſchieben oder Ausziehen dieſer Lehre wird für kürzere oder längere Wölbſcharen die erforderliche Wölblinie erhalten. Durch die an den Stirnen dieſes verſtellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eiſernen Winkel kann die Auflagerung ſeiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterſtützung der Wölbſcharen durch dieſe Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden dieſe verſtellbaren Stichbogen nach Fig. 507 [182]) auch aus Schmiedeeiſen angefertigt.

Fig. 506.

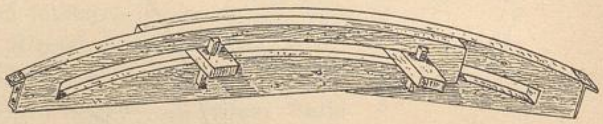
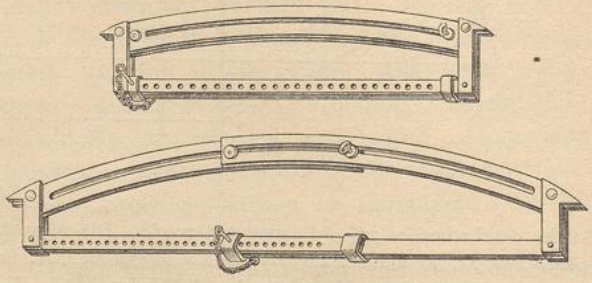


Fig. 507.



Bei der beſchriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen ein Zuſammenſchnitt der Wölbſcharen nach Schwalbenſchwanz-Verband ein. Hierbei zeigt ſich aber meiſtens ein ſehr flach gegen einander tretendes Schnäbeln der zuſammentreffenden Steine. Um das dann in erhöhtem Maſse er-

181) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raiſonné de l'architecture françaiſe etc.* Band 4. Paris 1861. S. 106.
182) Von Oscar Schach, Altenburg S.-A. Gebrauchsmuſter Nr. 2885.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

forderliche Verhauen dieſer Schnabelſteine über der Scheitellinie zu vermeiden, kann, wie aus Fig. 505 bei *s* zu erſehen iſt, die Grenze für die eigentliche Einwölbung der Kappen durch einen linſenförmigen Spalt gebildet werden, welcher durch kleine Gewölbſtreifen, die ſich rechtwinkelig nach Art des *Moller*'ſchen Verbandes gegen die Seitenflächen der Linſe ſetzen, leicht zu ſchlieſsen iſt. Der geſchilderte Fugenſchnitt der Kappen kann auch ſelbſt in ſeinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchaus Quader als Wölbmaterial Verwendung finden ſollen.

305. Vierte Anordnung der Wölbſchichten.

b) Die Lagerfugenflächen der Wölbſchichten liegen in Normalebenen zum Gratbogen. Um die Vortheile der unter c erklärten Anordnung der Wölbſchichten für die praktiſche Ausführung der Kappen vollſtändig auszunutzen und um auſserdem noch einen zweckmäſsigeren Zuſammenſtoſs der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenden Wölbſcharen in möglichſt rechtwinkelig auf Schwalbenſchwanz-Verband geordneten Wölbſteinen zu erzielen, iſt die Anlage der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Grat- oder Diagonalbogen vorzugsweiſe geeignet. Dieſe Anordnung findet denn auch bei den gothiſchen Kreuzgewölben, deren Kappen aus Backſteinen oder geeigneten Bruchſteinen ausgeführt werden ſollen, gleichgiltig, ob die Buſung dieſer Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen geſetzmäſsig gebildeten Fläche entſpricht, in der Regel die weit gehendſte Anwendung.

Wird zunächſt die Gewölbebildung mit Kappen, deren Laibungsflächen in bekannter Weiſe als Kugelflächen geſtaltet ſind, betrachtet, ſo mögen in Fig. 508 die Kreisbogen *A* mit dem Mittelpunkte *a*, *B* mit dem Mittelpunkte *b* und *C* mit dem Mittelpunkte *c* die Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappenſtücke *I* und *II* an den Randbogen, bezw. an der Diagonalrippe ſein. Für dieſe Diagonalrippe iſt die Breite cc_1 im Grundriſſe angenommen. Der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *I* wird in der wagrechten Kämpferebene in *1* erhalten; der gröſste Kreis dieſer Kugel mit dem Halbmeſſer *1e* iſt als ek_1 angegeben.

Für die Kugelfläche der Kappe *II* iſt *2* in der Kämpferebene der Mittelpunkt, *2f* der Halbmeſſer und fk_2 ein Stück ihres gröſsten Kreiſes. Irgend eine durch den Kreisbogen *C* gelegte Normalebene *N* mit der Spur *cd* in der Ebene der Anſchluſslinie *C* an der Diagonalrippe und der rechtwinkelig in *c* auf *ec* ſtehenden Spur *2cg* in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Axe der Kugelflächen der Kappen *I* und *II* iſt, durch welche die ſämmtlichen Normalebenen des Bogens *C* gehen, ſchneidet als Meridianebene dieſe beiden Kugelflächen je für ſich nach den ſchon beſtimmten gröſsten Kreiſen k_1, bezw. k. Hierdurch iſt bereits die wirkliche Geſtalt der unteren Lagerkanten der Wölbſchichten erhalten, und in Folge hiervon kann, wie in *E* und *D* gezeigt iſt, nach Angabe der Kappenſtärke und der Breite der Diagonalrippe ſofort unter Benutzung der zugehörigen Kugelmittelpunkte *1* und *2* der ſog. Normalſchnitt in wahrer Gröſse unter Einführung des Rückenanſatzes, ſo wie der Profilirung am Grat äuſserſt leicht ausgetragen werden. Sämmtliche Stoſsfugenflächen der Wölbſchichten gehören wiederum Meridianebenen der betreffenden Kugelflächen an. Hiermit iſt eigentlich das Nothwendige für die praktiſche Ausführung der Wölbung der Kappen und für die Beſtimmung der Anſatzflächen an den einzelnen Rippen vollſtändig gegeben.

Die Lagerflächen folgen ſtets den Normalebenen zum Grat. Geübte Maurer ſind im Stande, die richtige Stellung dieſer Ebenen bei dem freihändigen Aufbau der Kappen inne zu halten. Wird zur Aufrechterhaltung der wirklichen kreisförmigen Lagerkanten als Hilfsmittel die in den Fig. 506 u. 507 gegebene verſtellbare Lehre benutzt, ſo können bei einiger Sorgfalt unregelmäſsige Geſtaltungen in den Wölblinien und damit in den einzelnen Kugelflächen durchaus vermieden werden.

Erſcheint es erwünſcht, für ſpäter unverputzte Kappenflächen einen ſtreng richtigen Verband und einen regelrechten Verlauf der Lagerkanten der Wölbſchichten zu wahren, ſo ſind die Projectionen der Lagerkanten für mehrere Normalebenen zum Diagonalbogen durch Zeichnung zu ermitteln, um hierdurch die Lage ihrer Anſchluſspunkte, wie *i* am Randbogen *A*, oder auch wie *v* an der Scheitellinie der

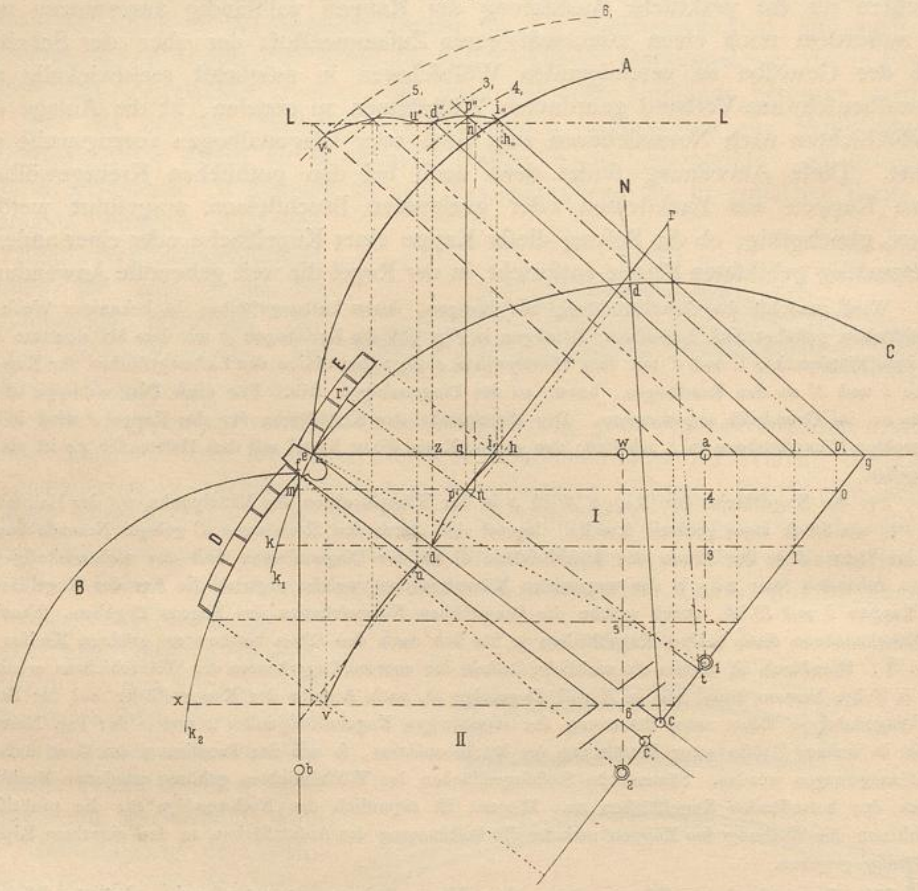
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kappe *II* angeben zu können. Namentlich ist das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anschlusspunkten auf die Randbogen für eine regelmäßige Gestaltung der Kappenwölbung von Vortheil.

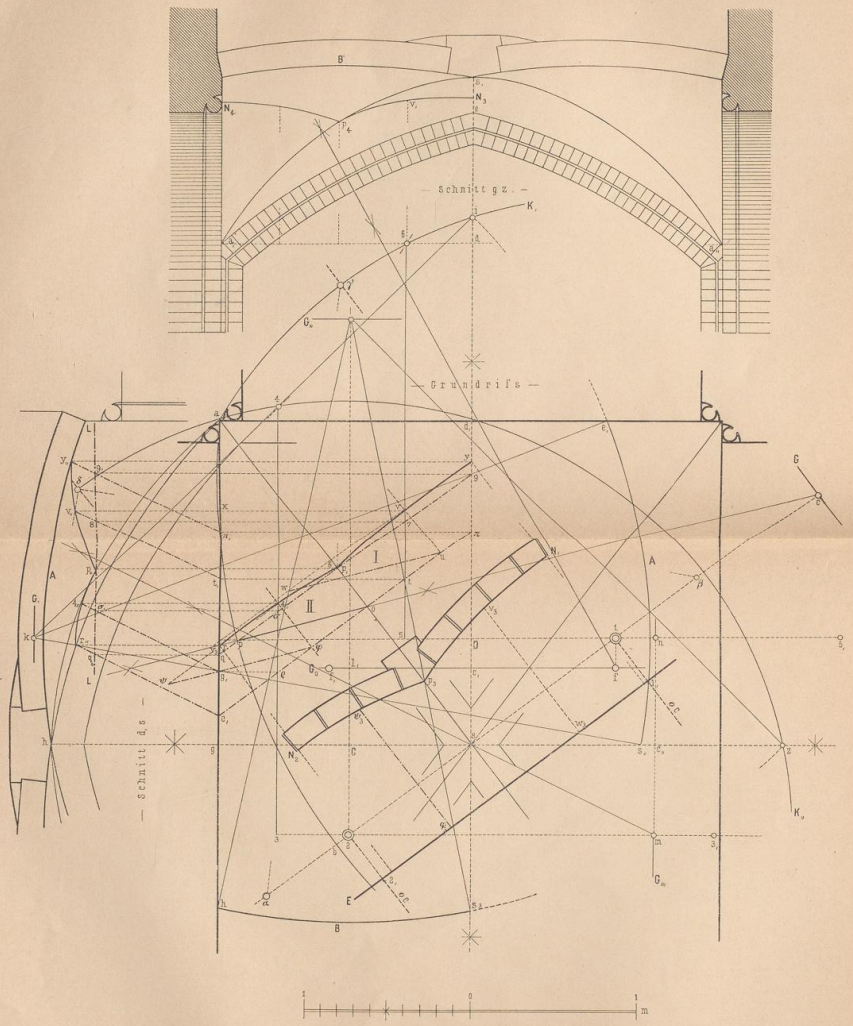
In Fig. 508 ist die wagrechte Projection $d_1 i_1$, $u v$, so wie die lothrechte Projection $d_{,,} i_{,,}$, $u_{,,} v_{,,}$ der Wölblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

Die Punkte d_1 und u ergeben sich ohne Weiteres auf $e c$, bezw. $f c_1$ als wagrechte Projectionen des Punktes d. Die Grenzpunkte i und v sind in folgender Weise bestimmt. Eine durch d geführte wagrechte Ebene schneidet die Normalebene N in einer wagrechten Geraden. Die lothrechte Projection $L L$

Fig. 508.



dieser Geraden in der lothrechten Ebene des Bogens A ist parallel zu $e a$ im Abstande $e L = d_1 d$ zu führen, während die Grundriss-Projection $h d_1 u$ derselben parallel zur wagrechten Spur $g 2$ der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lothrechte Projection $h_{,,}$ auf der Geraden $L L$ liefert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur $g h_{,,}$ der Normalebene N in der Ebene des Bogens A. Die Verlängerung dieser Spur $g h_{,,}$ bis zum Bogen A liefert den Schnitt $i_{,,}$ als lothrechte Projection des Anschlusspunktes der gesuchten Wölblinie. Die wagrechte Projection ist i_1 auf $e a$. Um einen Zwischenpunkt dieser Wölblinie zu ermitteln, ist eine lothrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A, z. B. nach $m o$, geführt. Dieselbe wird im Grundrisse in n von der wagrechten Projection $h d, u$ der vorhin gekennzeichneten Geraden $L L$ durchstossen. Die lothrechte Projection $n_{,,}$ dieses Durchstossspunktes auf $L L$ giebt in Verbindung mit o_1, welcher dem Schnitte o der Geraden $m o$ mit der Spur $g 2$ der Normalebene N entspricht, offenbar die lothrechte Projection $n_{,,} o_1$ der Schnittlinie dieser Normalebene mit jener nach $m o$ aufgestellten lothrechten Ebene. Letztere schneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreise mit dem



Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen
über rechteckigem Gewölbefelde.

Halbmeſſer $4m$. Wird mit dieſem Halbmeſſer um a ein Kreisbogen 4_1 beſchrieben, ſo ſchneidet derſelbe die gehörige verlängerte Gerade $n_{,,} o_1$ im Punkte $p_{,,}$, wodurch die lothrechte Projection eines Zwiſchenpunktes für die in Frage kommende Wölblinie gefunden iſt. Die wagrechte Projection deſſelben iſt p_1 auf mo. Auf dem beſchriebenen, in der Zeichnung weiter zu verfolgenden Wege ſind beliebig viele Punkte der Wölblinie zu ermitteln. Zu beachten iſt nur, daſs für die Kappe II in Bezug auf uv der gröſste Kreis k_2 bei der Beſtimmung der in Anwendung zu bringenden Parallelkreiſe zu berückſichtigen iſt und daſs ferner die Mittelpunkte dieſer Gruppe von Parallelkreiſen in dem von 2 auf ea gefällten Lothe $2w$ liegen. So iſt z. B. der Parallelkreis 6_1 um w mit dem Halbmeſſer $6x$ zu beſchreiben.

Bei der praktiſchen Ausführung der Kappenwölbung iſt es zuweilen erwünſcht, die lothrechte Höhenlage gewiſſer Punkte dieſer oder jener Wölblinie über der wagrechten Kämpferebene inne zu halten, ohne die vollſtändige wagrechte und lothrechte Projection einer ſolchen Wölblinie zu zeichnen. Man benutzt für dieſe Ausmittelung unmittelbar den Normalſchnitt DE.

Soll z. B. die lothrechte Höhenlage des beliebigen Punktes $r_{,,}$ einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalſchnitte N angehört, deſſen Spuren in cd und $2g$ feſt gelegt ſind, über der Kämpferebene gefunden werden, ſo fälle man von $r_{,,}$ das Loth $r_{,,}t$ auf $2g$, ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und ſchneide $tr = tr_{,,}$ ab. Das von r auf $r_{,,}t$ gefällte Loth rp_1 iſt die geſuchte Höhe. Gleichzeitig iſt in p_1 auf $r_{,,}t$ auch die wagrechte Projection eines Zwiſchenpunktes der einer Ebene N angehörenden Wölblinie erhalten.

Für die Richtigkeit dieſes Verfahrens gelten die folgenden Gründe. Eine lothrechte Ebene, welche parallel zu der Ebene ec des Bogens C nach einer wagrechten Spur $r_{,,}t$ geführt iſt, ſchneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreiſe, deſſen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugelaxe cI, bezw. $2g$ liegt, deſſen Halbmeſſer unter Berückſichtigung des gröſsten Kreiſes dieſer Kugelfläche gleich $tr_{,,}$ wird. Dieſer Halbmeſſer iſt in der Normalebene N eine Parallele zum Halbmeſſer cd der gleichfalls als Parallelkreis auftretenden Schnittlinie C der lothrechten Seitenebene der Diagonalrippe, ſo daſs nach dieſer Benutzung der Kugelfläche der Kappe I die Höhenlage des Punktes r in einfachſter Weiſe zu finden iſt.

Wie ſofort zu erkennen, kann das ſoeben angegebene Verfahren auch zur Beſtimmung der wagrechten und lothrechten Projectionen der Wölblinie angewendet werden, welche irgend einer Normalebene N zukommt.

Für das Einwölben der Kappen der gothiſchen Kreuzkappengewölbe oder der flachen Kreuzgewölbe, deren Geſtaltung im Art. 290 (S. 421) beſprochen wurde, iſt ebenfalls die Bildung der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen vorwiegend in Gebrauch zu nehmen.

Die Ausmittelung des ſog. Normalſchnittes und die Beſtimmung der Projectionen der zugehörigen Wölblinien iſt nach den im Vorhergehenden angeführten Grundlagen zu bewirken. Ihre Anwendung ſoll in der Zeichnung auf neben ſtehender Tafel noch näher gezeigt werden.

Ein rechteckiges Gewölbefeld von 4 m Länge und 3 m Breite iſt mit einem Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen von 1 m Pfeilhöhe unter Anwendung von Backſteinmaterial zu überdecken. Die Bogenlinie der nicht profilirten Diagonalrippen iſt ein flacher Kreisbogen, welcher zur Hälfte als ab ſeitlich von as mit der Pfeilhöhe $sb = 1$ m gezeichnet iſt. Der Mittelpunkt c dieſes Kreisbogens, welcher alſo nicht als Spitzbogen auftreten ſoll, liegt auf der verlängerten Geraden bs. Eine durch c parallel zu as geführte Gerade G beſtimmt die wagrechte Grundebene, worin aufser c auch ſämmtliche Mittelpunkte der Kugelflächen der Laibungen der Kappen, mithin auch die Mittelpunkte ihrer Schnittlinien mit den lothrechten Seitenebenen der Rand- oder Gurtbogen des Gewölbefeldes liegen. Der Abſtand dieſer Grundebene oder Mittelpunktsebene von der wagrechten Kämpferebene ergiebt ſich als sc.

Im Schnitte nach gz iſt die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade $a_1 a_{,,}$ beſtimmt, während dieſelbe in dem Schnitte $d_1 s$ gleich durch die ſchon vorhandene Gerade ag feſt gelegt iſt. Die in d_1, bezw. g zu den entſprechenden Geraden errichteten Lothe ds_1, bezw. gh ſind gleich der Pfeilhöhe sb, ſo daſs s_1, bezw. h die lothrechten Projectionen des Gewölbſcheitels ſind. Trägt man auf der Verlängerung von $s_1 d$ die Strecke dc_1 gleich der Strecke sc ab, ſo giebt die durch c_1 parallel zu $a, a_{,,}$ gezogene Gerade G_0 die Lage der Grundebene in Bezug auf den Schnitt gz an, wie auch nach Abtragen der Strecke sc

von g nach $c_{,,}$ auf der verlängerten Geraden hg in der durch $c_{,,}$ parallel zu ag geführten Linie $G_{,,,}$ die für den Schnitt $d_1 s$ mafsgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe I an der fchmalen Rechtecksfeite foll ein flacher Spitzbogen $a, e a_{,,}$ fein, deffen Pfeilhöhe de kleiner als die Pfeilhöhe ds, des Gewölbes felbft fein möge. Berückfichtigt man nur die Hälfte a, e diefes mit dem Flachbogen der Diagonalrippe über as im Kämpferpunkte a, zufammentretenden Spitzbogens, fo ergiebt fich nach bekannter Conftruction in f auf G_0 der Mittelpunkt für den Kreisbogen $a_1 e$. Nimmt man auf G_0 die Strecke $c, f = c, f_1$, fo ift f_1 der Mittelpunkt der anderen Hälfte $e a_{,,}$ jenes Spitzbogens. Aus diefen Mittelpunkten find, wie der Schnitt gz zeigt, auch die concentrifchen Begrenzungslinien der Profile des vorfpringenden Rand- oder Gurtbogens zu befchreiben. Errichtet man nunmehr in f das Loth f_1 auf G_0, fo fchneidet daffelbe das in c auf G vorhandene Loth cb im Punkte 1. Diefer Punkt ift die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung des Kappenftückes I. Der Mittelpunkt der Kugel felbft liegt um die Strecke sc fenkrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt 1 geführt gedachte lothrechte Kugelaxe ergiebt im Durchftofspunkte 1 mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines diefer Kugelfläche angehörenden Parallelkreifes $K_{,}$, deffen Halbmeffer nun als $1a$ beftimmt ift. Um die Gröfse des Halbmeffers der Kugel zu finden, ift nur durch 1 eine Parallele 1γ zu as bis zum Schnitte mit $K_{,}$ in γ zu ziehen, auf dem Lothe $c\alpha$ zu as, bezw. zu 1γ die Strecke $1\alpha = sc$ abzutragen, wonach in $\alpha\gamma$ diefer Halbmeffer erhalten wird.

Nach diefer Ausmittelung ift die Kugelfläche des Kappenftückes I vollftändig feft gelegt. Für das Austragen der Scheitellinie A über $d_1 s$ ift von 1 das Loth $1k$ auf c, d, zu fällen und auf demfelben die Strecke $Dk = sc$ abzufchneiden. Die durch k parallel zu c, d, gezogene Gerade $G_{,}$ ift wiederum als Grundebene anzufehen. Der verlängerte Strahl c, d, trifft den Parallelkreis $K_{,}$ in i; folglich ift ki der Halbmeffer der um k als Kreisbogen zu befchreibenden Scheitellinie A. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung mufs fich, nachdem der Bogen A gefchlagen ift, die Länge d, e, gleich der Pfeilhöhe de des Spitzbogens $a, e a_{,,}$ im Schnitte gz und die Länge $s s_{,,}$ gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens herausftellen. Der Bogen A ift danach im Schnitte d, s eingetragen. Die Schnittlinie der Wölbfläche der Kappe II möge ein flacher Spitzbogen fein, deffen Pfeilhöhe gh gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens ift. Für die Hälfte ah diefes Spitzbogens ift unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene $G_{,,,}$ in m der zugehörige Mittelpunkt beftimmt. Der Schnitt 2 des in m auf $G_{,,,}$ errichteten Lothes mit dem Strahle $cs\alpha$ ift die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung der Kappe II. Entfprechend den bei der Kugelfläche I angeftellten Betrachtungen wird der um 2 mit dem Halbmeffer $2a$ befchriebene Kreis $K_{,,}$ ein in der Kämpferebene gelegener Parallelkreis diefer zweiten Kugel. Der Kugelhalbmeffer ergiebt fich als $\beta\delta$. Hierzu ift durch 2 eine Parallele zu as zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreife $K_{,,}$ zu erhalten, und weiter $2\beta = sc$ auf $2c$ abzufchneiden, wodurch $\beta\delta$ gefunden wird. Für die Scheitellinie B über sg ift auf dem von 2 auf sg gefällten Lothe die Strecke $Cl = sc$ abzufetzen, fo dafs $G_{,,}$ Grundebene und l Mittelpunkt für den Kreisbogen B wird. Der Schnitt z der verlängerten Geraden gs mit dem Parallelkreife $K_{,,}$ beftimmt die Länge des Halbmeffers lz der Scheitellinie B. Als Probe der Richtigkeit diefes Bogens mufs jetzt $s s_3 = sb$ und eben fo, da die Pfeilhöhe des Randbogens $ah = sb$ genommen war, $gh = sb$ gefunden werden. Im Schnitte gz ift diefer Bogen B wiederum berückfichtigt.

Da die Halbmeffer $\alpha\gamma$ für die Kugelfläche I und $\beta\delta$ für die Kugelfläche II bekannt geworden find, fo ift hierdurch für alle Normalfchnitte zum Gratbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Gröfse Erforderliche erreicht. Die Wölblinien von fämmtlichen Normalfchnitten find Theile der mit den Halbmeffern $\alpha\gamma$, bezw. $\beta\delta$ zu befchreibenden gröfsten Kreife ihrer Kugelflächen. So ift auch für den Normalfchnitt pc die Wölblinie $p_3 N_1$ mit dem Halbmeffer $\alpha\gamma$, die Wölblinie $p_3 N_2$ mit dem Halbmeffer $\beta\delta$ zu befchreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in p_3 fich fchneidenden Kreisbogen in den durch 1, bezw. durch 2 fenkrecht zu αc geführten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen oc liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung gefchehen, fämmtliche Projectionen der durch eine Normalebene, z. B. pc, des Diagonalbogens ab auf den Wölbflächen I und II entftehenden Schnittlinien dargeftellt werden, fo kann dazu der folgende Weg dienen. Die durch die wagrechte Projection $p_{,}$ des Punktes p fenkrecht auf as gehende Gerade $q9$ fei die Grundrifs-Projection einer durch p geführten wagrechten Linie, deren lothrechte Projection im Schnitte d, s durch $L p_{,,} L$ gegeben ift. Die wagrechte Spur πo, der Normalebene pc geht in der Kämpferebene rechtwinkelig zu as durch den Punkt o. Führt man zur Beftimmung irgend eines Punktes der durch die Normalebene pc auf der Kugelfläche I hervorgerufenen Schnittlinie beliebig eine lothrechte Ebene parallel zur Seitenebene ag, z. B. nach $5\,6$, fo wird die durch $q9$ und πo, gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projectionen $t7$ und $t, 8$ getroffen, während die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kugelfläche I von jener lothrechten Ebene nach einem Kreife gefchnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel I mit dem bekannt gewordenen Punkte 6 auf $K_{,}$ erfcheint. Eine lothrechte Axe derfelben geht durch 1 in der Kämpferebene. Trägt man alfo auf dem Strahle $5\,1$ die Strecke $5\,5_{,} = s\,c$ ab, fo ift $5_{,}$ der Grundebene des für $5\,6$ entftehenden Parallelkreifes zuzuweifen, wonach fich in $5_{,}\,6$ der Halbmeffer diefes Parallelkreifes ergiebt. Für den Schnitt d,s ift aber $G_{,,,}$ die Grundebene. In derfelben ift durch n der Durchftofspunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt 1 enthaltenden lothrechten Kugelaxe beftimmt. Befchreibt man daher um n mit dem Halbmeffer $5_{,}\,6$ einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade $t,8$ des Schnittes d,s im Punkte $v_{,,}$ trifft, fo ift hierdurch die lothrechte Projection eines Punktes der gefuchten Wölblinie auf der Kappenfläche I gefunden. Die wagrechte Projection diefes Punktes ift v auf der Geraden $5\,6$. Für die Lage des entfprechenden Punktes v_3 im Normalfchnitte $N\ p_3\,N_2$ ift $w_3\,v_3$ gleich dem wirklichen Abftande innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene E, alfo gleich der Hypotenufe $u\,w$ des rechtwinkeligen Dreieckes $u\,v\,w$, deffen Kathete $v\,w$ gleich der Höhe $x\,v_{,,}$ ift und wobei aufserdem die Kathete $u\,v$ parallel zu $a\,s$ gerichtet fein mufs. Für einen Punkt der auf der Fläche II durch die Normalebene erzeugten Wölblinie kommt der Parallelkreis $K_{,,}$ in Betracht. So ift z. B. für das Feftlegen des Punktes $4_{,,}$ im Schnitte d,s zunächft $3\,4$ parallel zu $a\,g$ gezogen, alsdann $3\,3_{,} = s\,c$ genommen und endlich um m mit dem Halbmeffer von der Länge $3_{,}\,4$ ein Kreisbogen gefchlagen, welcher die verlängerte, hier in Frage kommende Gerade g,σ, im gefuchten Punkte $4_{,,}$ trifft. Hiernach ergiebt fich $4_{,}$ auf $3\,4$ als ein Punkt der wagrechten Projection der zugehörigen Wölblinie. Im Normalfchnitte ift $\varphi_3\,\psi_3$ gleich der Hypotenufe $\varphi\,\psi$ des rechtwinkeligen Dreieckes $\varphi\,w\,\psi$, worin $w\,\psi$ gleich der Höhenlage des Punktes $4_{,,}$ über $a\,g$ ift. Nach diefen Angaben können beliebig viele Punkte der Wölblinien eines Normalfchnittes $p\,c$ beftimmt werden.

306. Wölbung aus Quadern.

Für die Ausführung der Gewölbekappen aus Quadern wird zur Herftellung eines ordnungsmäfsigen, in gutem Verbande ftehenden Fugenfchnittes der Wölbfteine das Zeichnen der Wölblinien im Aufrifs, vorzugsweife aber im Grundrifs erforderlich.

Bei der Anordnung der Lagerflächen nach Normalebenen zum Diagonalbogen find die unteren Lagerkanten bei Kappen mit Kugellaibungen einfach Theile eines gröfsten Kreifes. Sämmtliche Normalebenen gehen durch die Kugelaxe, welche rechtwinkelig zur Ebene des Diagonalbogens fteht. Je nach der Neigung der einzelnen Normalebenen erfcheinen alfo die Grundrifs-Projectionen jener Lagerkanten zwifchen den Grenzlagen, nämlich der geraden Linie (Kugelaxe) für die lothrechte Stellung der Normalebene und dem Kreisbogen (Theil des gröfsten Kreifes) für die wagrechte Lage derfelben, als Stücke von Ellipfen. Durch die an fich einfache Beftimmung der Axen diefer verfchiedenen Ellipfen wird eine bedeutende Erleichterung für das Feftlegen der Grundrifs-Projection der Lagerkanten der einzelnen Wölbfchichten herbeigeführt. In Fig. 509 find die hierfür in Frage kommenden Darftellungen gegeben.

Für ein rechteckiges Gewölbefeld ift der um a befchriebene Kreisbogen A die Anfatzlinie des Kappenftückes $q\,d\,s$, der um b gefchlagene Kreisbogen B die Randlinie des Kappenftückes $r\,d\,s$ und der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinie beider Kappentheile an dem hier unprofilirt genommenen Diagonalbogen.

Man findet in 1 den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe $q\,d\,s$ mit dem gröfsten Kreife K_1 und dem Halbmeffer $1\,d$, in 2 den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe $r\,d\,s$ mit dem gröfsten Kreife K_2 und dem Halbmeffer $2\,d$. Die beiden Kugeln gemeinfchaftliche, fenkrecht auf der Ebene des Diagonalbogens C ftehende Axe ift die durch 1 und 2 gehende Gerade $I\,II$.

Die auf $I\,II$ in 1 fenkrecht ftehende Gerade $1\,K_1$ und das in 2 auf $I\,II$ gezeichnete Loth $2\,K_2$ find Kugelaxen der Kappen $q\,d\,s$ und $r\,d\,s$, welche in 1, bezw. 2 parallel zur Gratebene C geführten Ebenen angehören. Ueber $1\,K_1$ erhebt fich ein gröfster Kreis $K_1\,I$; über $2\,K_2$ fteht ein gröfster Kreis $K_2\,II$. Diefelben find nur theilweife gezeichnet, aber gleichzeitig als $o\,e$ für $K_1\,I$ und als $p\,f$ für $K_2\,II$ in die Ebene des Bogens C gebracht.

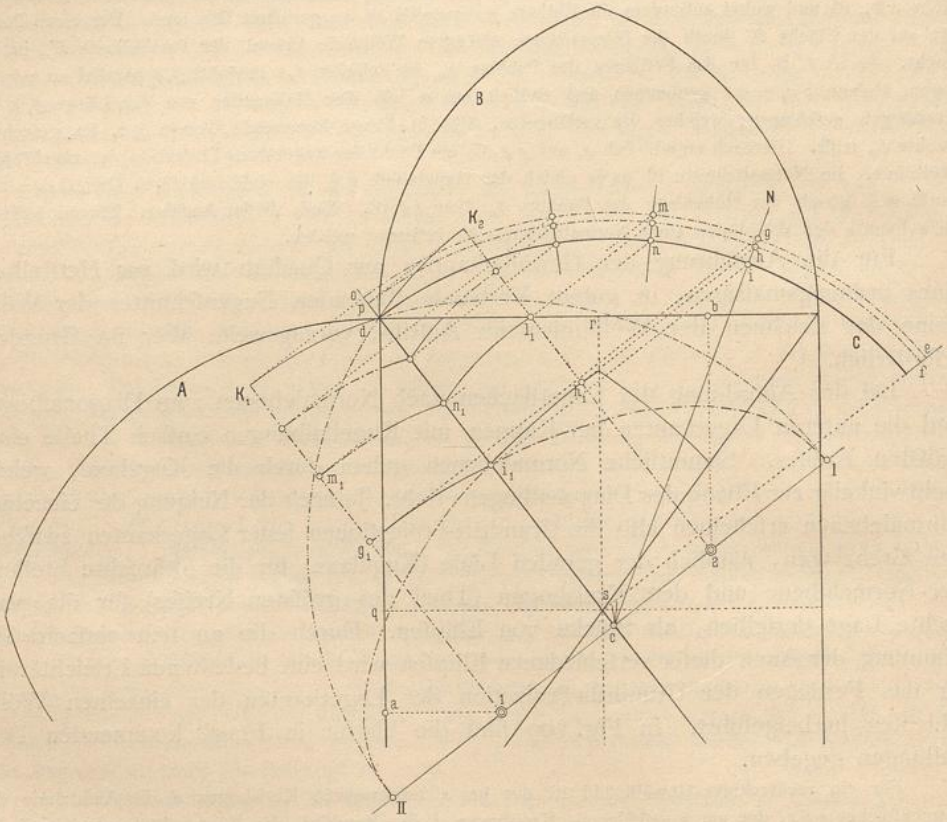
Legt man durch den beliebig angenommenen Punkt i des Diagonalbogens C eine Normalebene mit den Spuren $c\,N$ und $I\,II$, wovon $c\,N$ den gröfsten Kreis $o\,e$ in g, den gröfsten Kreis $p\,f$ in h trifft, fo wird die Kugelfläche $q\,d\,c$ nach einem gröfsten Kreife vom Halbmeffer $c\,g$, die Kugelfläche $r\,d\,c$ nach

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einem gröfsten Kreife vom Halbmeffer $c\,h$ gefchnitten. Die auf $1\,K_1$ entfallende wagrechte Projection des Halbmeffers $c\,g$ liefert die halbe kleine Axe des in der Grundrifs-Projection als Ellipfe auftretenden gröfsten Kreifes der Ebene $c\,N$, während die halbe grofse Axe diefer Ellipfe unverändert gleich $1\,I = 1\,d = c\,g$ bleibt. Eben fo wird die wagrechte Projection $2\,h_1$ von $c\,h$ auf $2\,K_2$ die halbe kleine Axe und $2\,II$ die halbe grofse Axe der für den in der Ebene $c\,N$ liegenden gröfsten Kreis vom Halbmeffer $c\,h$ in der Grundrifs-Projection in Frage kommenden Ellipfe.

Diefen Axen entfprechend find die beiden in i_1 auf $d\,s$ fich fchneidenden Viertelellipfen $g_1\,I$ und $h_1\,II$ gezeichnet. Sie liefern, in $i_1\,g$ und $i_1\,h_1$, fo weit die Kappenflächen $q\,d\,s$ und $r\,d\,s$ dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundrifs-Projection der Lagerkante für eine in der Normalebene $c\,N$ enthaltene Lagerfugenfläche einer Wölbfchicht.

Fig. 509.



Für eine andere Normalebene $c\,m$ entftehen die Lagerkanten $m_1\,n_1\,l_1$ als Theile von Ellipfen mit den Halbaxen $1\,I$, $1\,m$ für $m_1\,n_1$ und $2\,II$, $2\,l_1$ für $n_1\,l_1$.

Auf gleichem Wege laffen fich unter Beachtung von Fig. 508 (S. 444) auch die Lagerkanten der Wölbfchichten beftimmen, wenn ftatt einer Gratkante die beiden Anfatzlinien an den Seitenflächen der Diagonalrippe berückfichtigt werden müffen.

Die Breite jeder einzelnen Wölbfchicht nimmt von den fenkrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelaxen $1\,K_1$ und $2\,K_2$ nach beiden Seiten hin gemeffen ab. Für Quadermaterial ift diefe Veränderung der Breite unbedingt zu berückfichtigen. Für die Theilung der Anfatzlinie der Kappen am Diagonalbogen C können gleich grofse Theilweiten eintreten. Die Theilpunkte beftimmen alsdann die Richtung der zugehörigen Normalebenen und bedingen damit die Breite der an die Randbogen A und B ftofsenden Wölbfchichten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

307. Wölbung aus Back- und Bruchſteinen.

Beim Einwölben der Kappen mit Backſteinen oder mit dünnen lagerhaften Bruchſteinen können bei nicht ſehr weit geſpannten Gewölben die Veränderungen in der Breite der an ſich ſchmalen Wölbſcharen durch eine geringe Verſtärkung der Mörtelfugen ausgeglichen werden. Bei Spannweiten, welche über das gewöhnliche Maſs hinaus gehen, kann dieſe Veränderung der Breite jedoch das mehrfache Verhauen und das weniger einfache Zurichten der Wölbſteine im Gefolge haben. In ſolchen Fällen bringt man, zur Vermeidung des läſtigen, auch zeitraubenden Verhauens der Steine und zur Verhinderung einer unregelmäſsigen Geſtaltung der Kugelflächen der Kappen, entweder beſonders geformte Wölbſteine in Anwendung, oder man giebt die Lage der Wölbſchichten in Normalebenen zum Diagonalbogen ganz auf und wählt eine andere, den früher beſprochenen Anordnungen entſprechende Bildung der Wölbſchichten.

Für die Stoſsfugenflächen iſt die Veränderung der Breite der Wölbſcharen nicht von groſsem Belang. Dieſe Flächen werden in der Regel den ſenkrecht geſtellten Meridianebenen der Kugelflächen der Kappen zugewieſen.

Die Anſatzflächen der Rippenkörper gehören Kegelflächen an. Sie werden durch die Fortbewegung der entſprechend verlängert gedachten Halbmeſſer der Kugellaibungen an den für die Rippen beſtimmten Anſatzlinien der Kappen erzeugt.

Meiſtens ergiebt die geſetzmäſsige Geſtaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günſtig erſcheinende Buſung und eine gute Form der Scheitellinie.

308. Kappen mit kugelförmiger Laibung.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbekappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, ſollen dieſelben vielmehr durch Einführung einer beſonders geſtalteten Buſung eine Umwandelung in kugelähnliche (ſphäroidiſche) Flächen erfahren; ſo findet auch bei dieſen Kappen im Allgemeinen die Anordnung der Lagerflächen der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen Anwendung.

Da in der Regel die Rand- und Diagonalbogen als nach Kreisbogen geſchlagene Spitzbogen beibehalten werden, ſo hängt die Geſtaltung der Laibungsflächen der ſphäroidiſchen Kappen in erſter Linie von der Gröſse der Buſung ab, welche den Wölbflächen gegeben werden ſoll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Maſs dieſer Buſung ſoll vermieden werden.

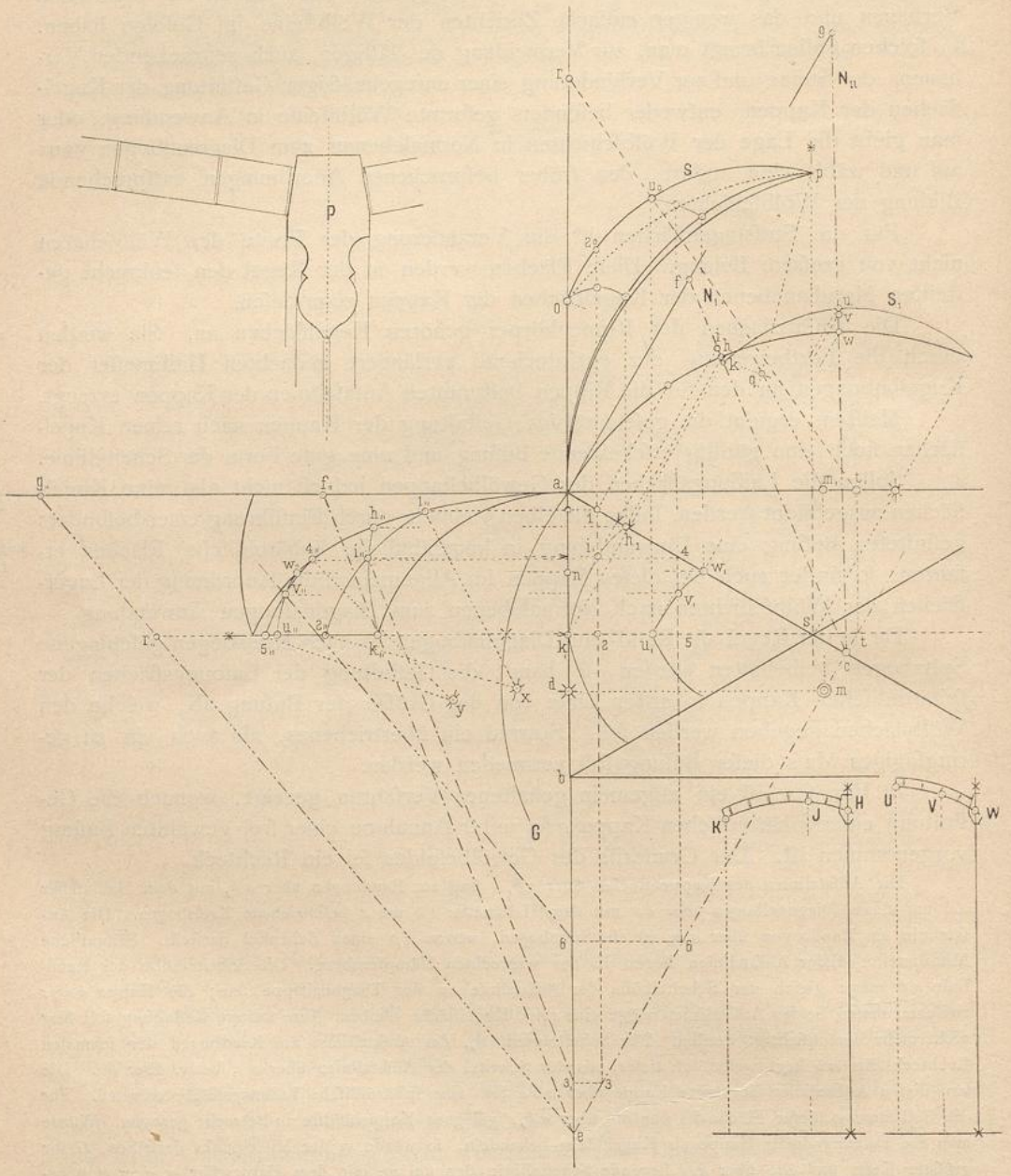
In Fig. 510 iſt ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Geſtaltung einer ſphäroidiſchen Kappe $a\,b\,s$ unter Annahme einer frei gewählten Buſung vorgenommen iſt. Der Grundriſs des Gewölbefeldes ſei ein Rechteck.

Die Anſatzlinien des Kappenſtückes über $a\,k, s$ ſind am Randbogen über $a\,k$, mit dem Halbmeſſer $d\,a$ um d, am Diagonalbogen über $a\,s$ mit dem Halbmeſſer $c\,a$ um c beſchriebene Kreisbogen. Die Anſatzlinie am Randbogen über $a\,m$, iſt ein Spitzbogen, wovon $a\,p$ einen Schenkel darſtellt. Sämmtliche Mittelpunkte dieſer Anſatzlinien liegen in der wagrechten Kämpferebene. Die Scheitelhöhe der Randlinie $a\,p$ möge gleich der Scheitelhöhe der Anſatzlinie an der Diagonalrippe ſein; die Kappe $a\,m, s$ zwiſchen dieſen beiden Anſatzlinien möge eine reine Kugelfläche bleiben. Ihre weitere Geſtaltung ſoll hier nicht mehr berückſichtigt werden. Der Scheitelpunkt $k_{,,}$ der Anſatzlinien am Randbogen der ſchmalen Rechtecksſeite $a\,b$ liegt weſentlich tiefer, als der Scheitel der Anſatzlinien über $a\,s$, bezw. über $b\,s$. Die von dieſen Anſatzlinien begrenzte Kappe über $a\,b\,s$ ſoll eine ſphäroidiſche Laibungsfläche erhalten. Für die Beſtimmung dieſer Fläche iſt nur die über $a\,k, s$ gelegene Kappenhälfte in Betracht gezogen. Würde man die Laibung dieſer Kappe als Kugelfläche behandeln, ſo würde m der Mittelpunkt derſelben, G ihr gröſster Kreis und die über k, s liegende Scheitellinie der um m, mit dem Halbmeſſer $m, o = m, p$ beſchriebene, punktirt gezeichnete Kreisbogen $o\,p$ ſein. Soll nun, entſprechend einer einzuführenden ſtärkeren oder geringeren Kappenbuſung, eine Umwandelung dieſer Scheitellinie $o\,p$ ſtattfinden, ſo kann dieſelbe durch irgend einen höheren oder flacheren Kreisbogen erſetzt werden oder auch durch irgend eine andere, nach oben ſtärker oder weniger ſtark gebogene, jedoch geſetzmäſsig geſtaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müſſen. Meiſtens wird für dieſe Scheitellinie ein Kreisbogen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

genommen. In der Zeichnung ift diefelbe als Kreisbogen S mit beliebig gewähltem Halbmeffer $oq = pq$ um q befchrieben. Durch diefe Scheitellinie S und durch die Anfatzlinien über ak, und as find die Begrenzungslinien der fphäroidifchen Kappenfläche über ak, s feft gelegt. Für die Erzeugung diefer Fläche felbft ift ein beftimmtes Gefetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorfchrift, dafs jede Schnittlinie,

Fig. 510.



welche auf diefer Fläche durch irgend eine parallel zur fenkrechten Ebene des Randbogens der Seite ab geführte Ebene hervorgerufen wird, ein Kreisbogen fein foll, deffen Halbmeffer ftets die Gröfse des Halbmeffers da der Anfatzlinie $ak_{\prime\prime}$ behält. Diefer Bedingung entfprechend, find z. B. vermittels der Ebenen in 12 und 45, nach Ausführung einfacher zeichnerifcher Darftellungen, welche fofort aus der Zeichnung zu erkennen find, die erzeugenden Schnittlinien $1_{\prime\prime}2_{\prime\prime}$ und $4_{\prime\prime}5_{\prime\prime}$ beftimmt. Ift auf dem angegebenen

Wege die Erzeugung und Darſtellung einer ſphäroidiſchen Gewölbfläche vorgenommen, ſo läfſt ſich ohne Schwierigkeit die Ausmittelung der Lager- und Stofskanten der Wölbſchichten bewirken, je nachdem dieſe oder jene der beſprochenen Anordnungen für den Fugenſchnitt der Wölbung getroffen werden ſoll. In der Zeichnung entſprechen die Projectionen $h, i, k,$, $h,, i,, k,,$, ſo wie $w, v, u,$, $w,, v,, u,,$ den Lagerkanten von Wölbſchichten, welche den Normalebenen $N,$, bezw. $N,,$ zum Diagonalbogen angehören. Die Beſtimmung dieſer Projectionen erfolgt nach bekannten einfachen Sätzen der darſtellenden Geometrie. Das Nähere hierfür iſt in der Zeichnung angegeben. Für das Austragen der wirklichen Geſtalt der Wölblinien als $H J K$ und $W V U$ der Normalebenen $N,$ und $N,,$, ſo wie des wirklichen Querſchnittes P der Diagonalrippe mit den entſtehenden Anſatzflächen, welche in gleichem Sinne ſtattfinden kann, wie bei Fig. 453 (S. 390) angeführt iſt, giebt die Zeichnung ebenfalls unmittelbar die nöthigen Anhaltspunkte.

β) Bufige Kappen mit Stelzung.

309. Geſtaltung.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenſyſtem der gothiſchen Kreuzgewölbe vorgeſchriebenen, meiſtens nach Spitzbogen geformten Anſatzlinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen nicht in einer gemeinſchaftlichen Kämpferebene, bezw. nicht in ein und derſelben Grundebene, oder ſind von vorn herein beſtimmte Anſatzlinien in ihren Scheitelpunkten in Bezug auf den höchſten Punkt des ganzen Gewölbkörpers in höherem oder geringerem Grade zu heben oder zu ſenken; ſo erhalten dieſe Anſatzlinien durch im Allgemeinen in lothrechter Richtung angefügte Fufslinien eine Stelzung. Dieſe Stelzung iſt ſowohl für die Geſtaltung und die Art des Einwölbens der Kappen, als auch für die Entwickelung und Conſtruction der Rippenanfänge von Bedeutung.

Durch die Anſatzlinien ſind die Leitlinien für die Erzeugung der Kappenflächen gegeben. Die Geſtaltung der bufigen Flächen hängt ab von der Form der als Erzeugende gewählten krummen Linie, von dem Geſetze ihrer Bewegung an den gegebenen Leitlinien und in vielen Fällen noch von dem Geſetze, wonach die Form der Erzeugenden einer Veränderung während ihrer Bewegung unterworfen werden mufs.

310. Beiſpiel 1.

Im Folgenden ſollen an einigen Beiſpielen die für die Geſtaltungen bufiger Kappenflächen mit Stelzung erforderlichen wichtigſten Grundzüge mitgetheilt werden.

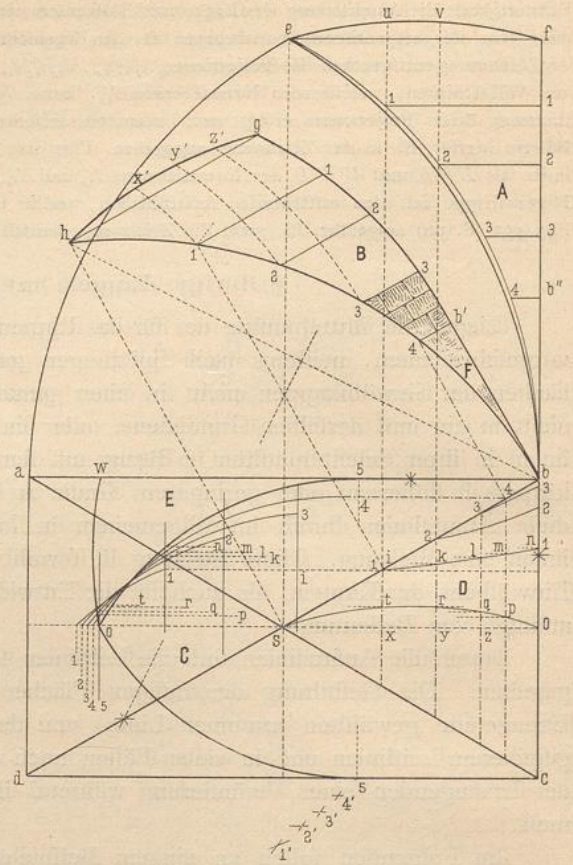
Das Kreuzgewölbe über dem rechteckigen Gewölbefelde $abcd$ (Fig. 511) ſoll in den Scheitelpunkten der ſpitzbogigen Anſatzlinien der Randbogen eine gleiche Höhenlage mit dem Scheitel der gleichfalls ſpitzbogigen Anſatzlinien am Diagonalbogen erhalten. Die als gegeben angeſehene Form dieſer Anſatzlinien möge eine Stelzung der Anſatzlinie 505 des Randbogens der ſchmalen Rechteckſeite bc um eine lothrechte Strecke $bs = bb, = bb,,$ erforderlich machen, während die Anſatzlinie bca am Randbogen der langen Seite ab ohne Stelzung bleibt.

Die Gewölbkappen an den langen Seiten können alſo ohne Weiteres nach den im Art. 301 (S. 435) unter α gemachten Mittheilungen geſtaltet werden. Die Scheitellinie dieſer Kappen ſei der Kreisbogen ow. Die Gewölbkappen C und D der ſchmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe D berückſichtigt wird, ſollen bufige Laibungsflächen mit Stelzung erhalten. Die frei gewählte Scheitellinie dieſer Kappen ſei der Kreisbogen ef.

Wie ſofort aus der Darſtellung eines Schnittes nach der Richtung der Diagonale bd hervorgeht, bildet ſich im Theile F der Kappe D eine am Fufse in einem Punkte begrenzte lothrechte Ebene, deren Höhe $bb,$ der Strecke der Stelzung $b5$, deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie $b,4$ entſpricht. Oberhalb dieſer Wagrechten $b,4$ möge die bufige Laibungsfläche B der Kappe D beginnen. Die Erzeugende dieſer Fläche ſei ein Kreisbogen, deſſen Halbmeſſer unveränderlich und gleich dem Halbmeſſer $55 = cb$ der Anſatzlinie 50 bleibt. Aufserdem ſoll dieſe Erzeugende bei ihrer Fortbewegung an der Anſatzlinie bh des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Anſatzlinie $b505c$ des Randbogens über bc und in ihrem höchſten Punkte in der Scheitellinie fe der Kappe D verbleiben. Führt man zur Befolgung dieſes Geſetzes durch den beliebigen Punkt x der Geraden os eine Ebene

parallel zur Seitenebene bc, so wird die Leitlinie bh, bezw. ihre andere Projection $b_4 e$ in 1, die Scheitellinie ef in u geschnitten. Trägt man weiter auf oo die Höhenlage 11 des Punktes 1 der Leitlinie bh von o aus ab, zieht man entsprechend die wagrechte Gerade E, so wird in derselben der Punkt 1 als Lage eines Punktes der gesetzlich vorgeschriebenen Erzeugenden, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, bekannt. Ein zweiter Punkt ist in 1 auf der verlängerten Geraden oo enthalten. Die Höhe $o1$, von bc aus gemessen, muss der lothrechten Entfernung des Punktes u auf der Scheitellinie ef von der Spur ab der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes gleich sein.

Fig. 511.

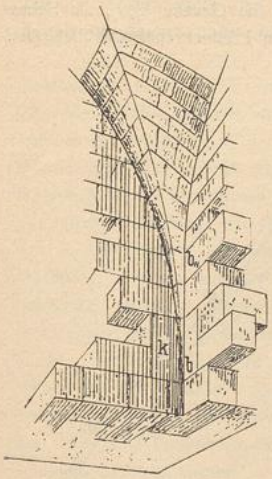


Beschreibt man aus diesen beiden Grenzpunkten 1 und 1 mit dem massgebenden Halbmesser $55 = cb$ des Spitzbogens 505 den Kreuzriss $1_{,}$, so ist der um $1_{,}$ geschlagene Kreisbogen 11 diejenige Erzeugende, welche der durch x geführten Ebene zukommt. In gleicher Weise sind die Erzeugenden 22 mit dem Mittelpunkte $2_{,}$, 33 mit dem Kreuzrisse $3_{,}$ u. s. f. für die durch y, bezw. z u. s. f. parallel zu bc gelegten Ebenen bestimmt. Zur weiteren Darstellung der Kappenfläche D sind oberhalb von 55 durch den Punkt o und durch die unteren Endpunkte $1, 2, 3$ u. s. f. der ermittelten Erzeugenden 11, 22, 33 u. s. f. wagrechte Ebenen gelegt. Die Durchstosspunkte o, t, r, q u. s. f. mit der wagrechten Ebene o liefern die lothrechten Projectionen einer Wölblinie der busigen Kappe in dieser Ebene. Die wagrechte Projection dieser Wölblinie ist also, wie die Zeichnung erklärt, durch den Linienzug $strqpo$ fest zu legen. Genau so ergiebt sich in Bezug auf die übrigen wagrechten Ebenen das Erforderliche zur Darstellung der wagrechten Projectionen der zugehörigen Wölblinien, wie $iklmn$ für die Ebene E oder $1_{,}$, 22 für die Ebene 2 u. s. f. f. In den lothrechten Projectionsebenen A und B erscheinen diese Wölblinien als gerade, parallel zu ab, bezw. bd geführte Linien ef, bezw. hg, 11 u. s. f. f. Nimmt man an der Ansatzlinie bh des Diagonalbogens oberhalb der wagrechten Abschlusskante $4b_{,}$ der lothrechten Wandfläche F eine Eintheilung in Wölbschichten vor, deren Lagerkanten in wagrechten Ebenen liegen sollen, so kann man unter Beachtung des Gesagten die Grundriss-Projectionen dieser Lagerkanten zeichnen. Die zugehörigen Lagerflächen werden windschief; denn die erzeugenden geraden Linien dieser Lagerflächen gehen z. B. für die Lagerkante $iklmn$ im Elemente i durch $1_{,}$ der Ebene x, im Elemente k durch $2_{,}$ der Ebene y u. s. f. f.

Für das Einwölben aus Quadermaterial würde hiernach die Bearbeitung der Lagerflächen der Wölbsteine einzurichten sein. Eine besonders kräftige Mauer-Construction erfordert der Gewölbefuss an der lothrechten Wand F, welcher als gemeinsamer Anfänger für die Bogen- und Kappenstücke an den Ecken des Gewölbefeldes am besten stets aus Quadern hergestellt wird, selbst wenn die busige Kappe oberhalb $4b_{,}$ aus Backsteinen gewölbt werden soll. Grösere Binder wie $b_{,,}$ k (Fig. 512), an welchen die Bogenlinien und Kappenflächen gleich mit angearbeitet werden, greifen möglichst tief in den Mauerkörper der Ecke b ein. Dasselbe gilt auch für Gewölbanfänger mit profilirten Rippen.

Soll oberhalb der Grenzlinie $4b_{,}$ der Wand F die Wölbung aus Backstein

Fig. 512.



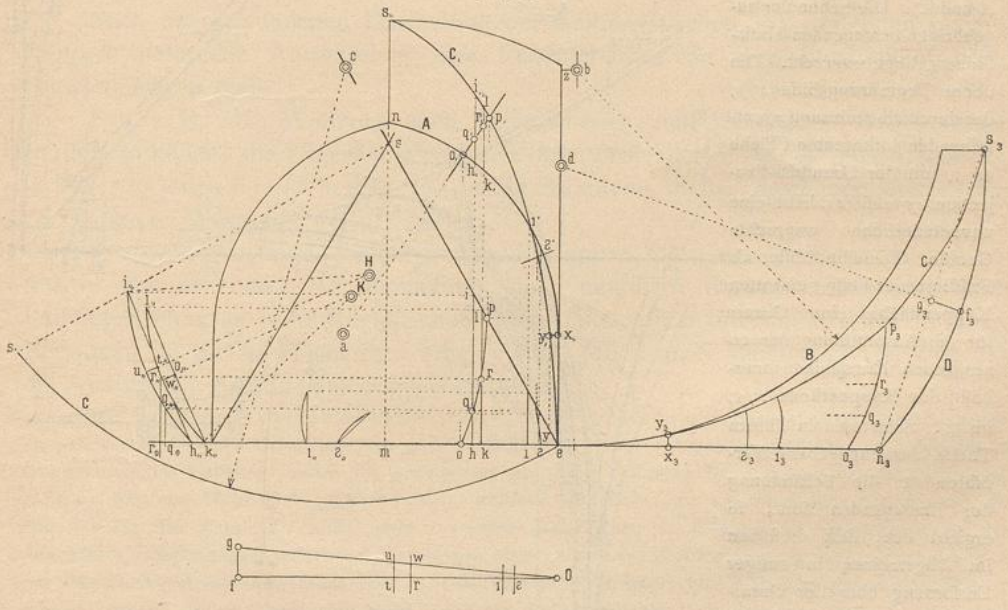
ausgeführt werden, ſo kann entweder der Fugenſchnitt nach Normalebenen zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Geſtalt der Gewölbefläche durch die Projectionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollſtändig beſtimmt iſt, ſo laſſen ſich auch die einzelnen, jenen Fugenſchnitten angepaſſten Wölbſchichten und eben ſo ihre Anſatzflächen an den Rippenkörpern auf zeichneriſchem Wege, wie im Vorhergegangenen gezeigt iſt, leicht darſtellen. Dieſe Ausmittelungen ſind alsdann für die praktiſche Ausführung der Gewölbekappen weiter zu verwerthen.

311. Beiſpiel 2.

Das Beſtreben, die ſphäroidiſchen Laibungsflächen der geſtelzten Gewölbekappen einer reinen Kugelfläche möglichſt nahe zu bringen, führt dazu, die Erzeugenden als Kreisbogen anzunehmen, deren Pfeilverhältniſs proportional wird dem Pfeilverhältniſs des als Scheitellinie der geſtelzten Kappe vorgeſchriebenen Kreisbogens. Die Ebenen der einzelnen Erzeugenden ſind dabei parallel der ſenkrechten Ebene der Scheitellinie.

In Fig. 513 ſei A die mit dem Halbmeſſer ax um a beſchriebene, in ex, geſtelzte Anſatzlinie eines Randbogens, der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die nicht geſtelzte Anſatzlinie am Diagonal-

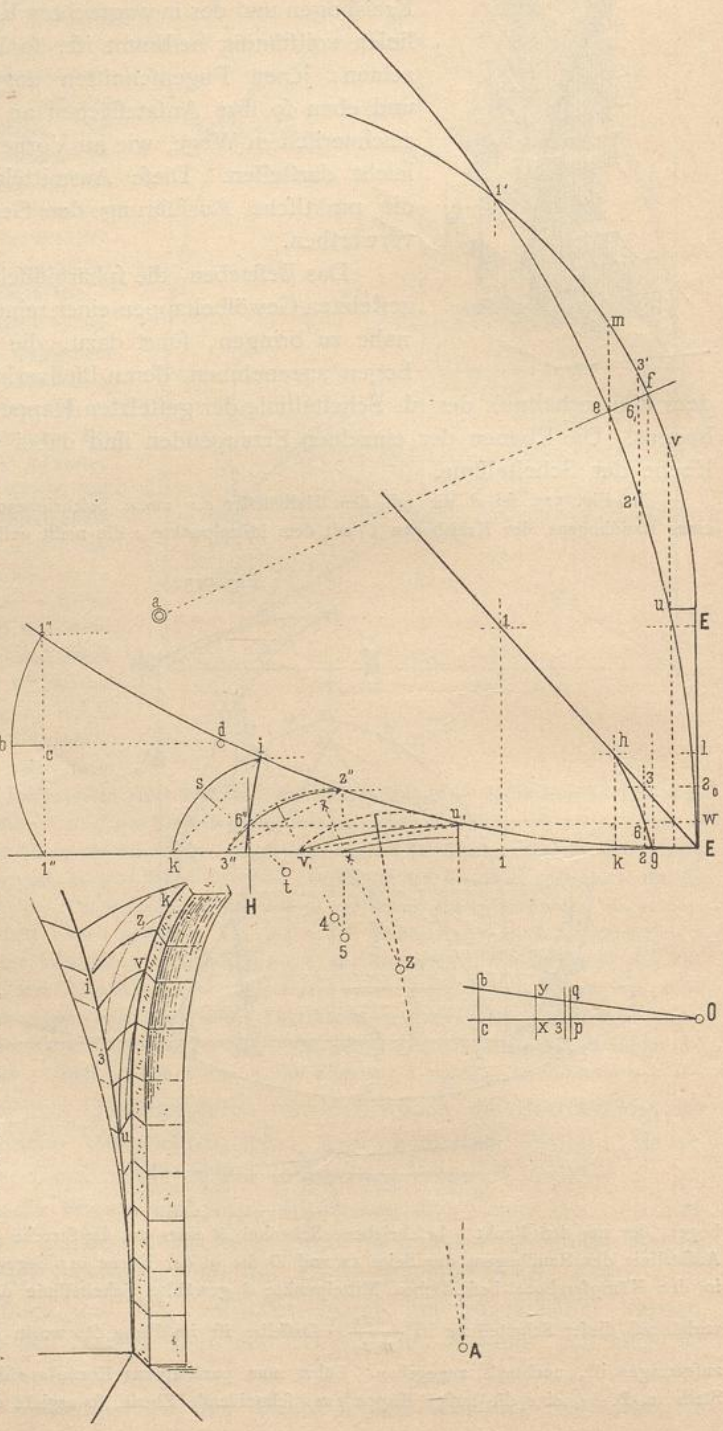
Fig. 513.



bogen, der um den Punkt b beſchriebene Schenkel B eines um die Strecke zb geſtelzten Spitzbogens die Anſatzlinie des Randbogens der Seite ez und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpferebene befindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems. Das Pfeilverhältniſs dieſer Scheitellinie iſt $\frac{f_3 g_3}{n_3 s_3}$. Daſſelbe iſt im Plane O, worin $fg = f_3 g_3$ und $Of = n_3 s_3$ aufgetragen iſt, nochmals angegeben. Führt man parallel zur Ebene ms der Scheitellinie an beliebiger Stelle, z. B. hi, eine die bufige Kappe ems ſchneidende Ebene, ſo ergiebt dieſelbe auf der Anſatzlinie A

den Punkt $h_{,}$, auf der Projection $C_{,}$ der Anfatzlinie C den Punkt $i_{,}$. Trägt man auf den in h und i zu hi errichteten Lothen die Strecken $hh_{,,} = hh_{,}$ und $ii_{,,} = hi_{,}$ ab, fo läfft fich die Gerade $h_{,,}i_{,,}$ als Sehne eines Kreisbogens anfehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältniffe behaftet, eine Erzeugende der fphäroidifchen Kappe bildet. Das Pfeilverhältnifs foll proportional dem Pfeilverhältnifs der Scheitellinie fein. Nimmt man $Ot = h_{,,}i_{,,}$, fo ergiebt die in t parallel zu fg gezogene Linie tu die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte $t_{,,}$ auf $h_{,,}i_{,,}$ errichtete Loth erhält die Länge $t_{,,}u_{,,} = tu$. Der durch die drei Punkte $h_{,,}u_{,,}i_{,,}$ gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünfchte Erzeugende. In gleicher Weife find die Erzeugenden $k_{,,}l_{,,}$, $1_{,,}$ und $2_{,,}$ für die Ebenen kl, 1 und 2 aufgetragen. Für die Ebene 1 ift $1_{,}$ die gemeinfchaftliche lothrechte Projection ihrer Schnitte mit den Anfatzlinien A und $C_{,}$. Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie $1_{,,}$ liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie $x,y,$ der durch die Stelzung $ex,$ entftehenden lothrechten Fläche $ex,y,$ mit der Grundrifs-Projection ey auf es bleibt eine unveränderliche wagrechte Gerade. Diefelbe bildet als Fufslinie der bufig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappentheils $x,y,$ bis $1_{,}$. Setzt man in diefem Theile das angegebene Verfahren für die Beftimmung der Erzeugenden fort, fo ergiebt fich, dafs diefelben im Allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie $x,y,$ mit einem gröfseren oder geringeren Bogenftücke über die Anfatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, alfo nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne Weiteres nicht beibehalten werden können.

Fig. 514.



Um dennoch eine gefetzmäfsige Erzeugung und bildliche Darftellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine fachgemäfse Ausführung ihres Gewölbkörpers zu erzielen, läfft man eine weitere Veränderung der bezeichneten Erzeugenden eintreten.

Ift in Fig. 514 $u, 1_{,,} 1_{,,}$ der Kappentheil, wofür nach und nach eine Veränderung der erzeugenden Kreisbogen erforderlich wird, fo kann diefe Veränderung z. B. für die lothrechte Ebene 23 in der folgenden Weife bewirkt werden. Die Ebene 23 liefert auf der Anfatzlinie $E1_{,,}$ des Diagonalbogens den Schnitt $2_{,,}$, wofür $2_0 2_{,,} = 22$, aus der Zeichnung zu entnehmen ift, und auf der Anfatzlinie $Ek1_{,,}$ des Randbogens den Schnitt $3_{,,}$, wofür $E3_{,,} = 23$, wird. Die Gerade $3_{,,} 2_{,,}$ ift die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane Obc die Beftimmung der Pfeilhöhe diefes Bogens nach proportionaler Theilung wie früher vor, fo wird, wenn Oc gleich der Sehne $1_{,,} 1_{,,}$ und cb die Pfeilhöhe des Kreisbogens $1_{,,} b 1_{,,}$ ift, bei der Länge $O3$ gleich der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$, die in 3 parallel zu cb gezeichnete, von Oc und Ob begrenzte Gerade, die gefuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit diefer Pfeilhöhe behaftete, punktirt eingetragene Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in 4 zu beftimmen war, fchneidet die Anfatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über $2_{,,}$, was für die Bildung der Kappenfläche unzuläffig ift. Für eine weitere Ausmittelung der Erzeugenden u, v, der lothrechten Ebene uv, wobei der Mittelpunkt z gefunden wurde, ift ein derartiges Durchfchneiden noch ftärker bemerkbar. In diefen Fällen find die Ordinaten $2_0 2_{,,}$, wu, der Endpunkte $2_{,,}$ der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$ und u, der Sehne v, u, als lothrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird 5 als Schnitt des im Halbirungspunkte der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$ errichteten Lothes mit der durch $2_{,,}$ gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens $3_{,,} 2_{,,}$ und A auf der durch u, ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden $v, u_{,}$.

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens v, u, find die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden u, A zu beftimmen, fobald nur wieder die Schnitte lothrechter, parallel zu 23 geführter Ebenen mit der Anfatzlinie $Ek1_{,,}$ und der wagrechten Grenzlinie u, bezw. u, der lothrechten Stelzungswand ermittelt find.

Nach der gewonnenen Darftellung der Laibungsflächen der geftelzten bufigen Kappen bietet die Ausmittelung des Fugenfchnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

Soll z. B. eine Wölbung nach Normalebenen zum Randbogen vorgenommen werden, fo können die Lagerfugenkanten in ihren Projectionen, wie für eine Ebene ap, in Fig. 513 oder für af in Fig. 514, auf bekanntem, in der Zeichnung unmittelbar verfolgbarem Wege feft gelegt werden.

312. Beifpiel 3.

Für eine Vereinigung nicht geftelzter Kappen mit einer gröfseren Anzahl geftelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichft ftarken Annäherung ihrer Laibungsflächen an reine Kugelflächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diefen Flächen zu bringen find, follen unter Benutzung von Fig. 515 die wichtigften Anhaltspunkte gegeben werden.

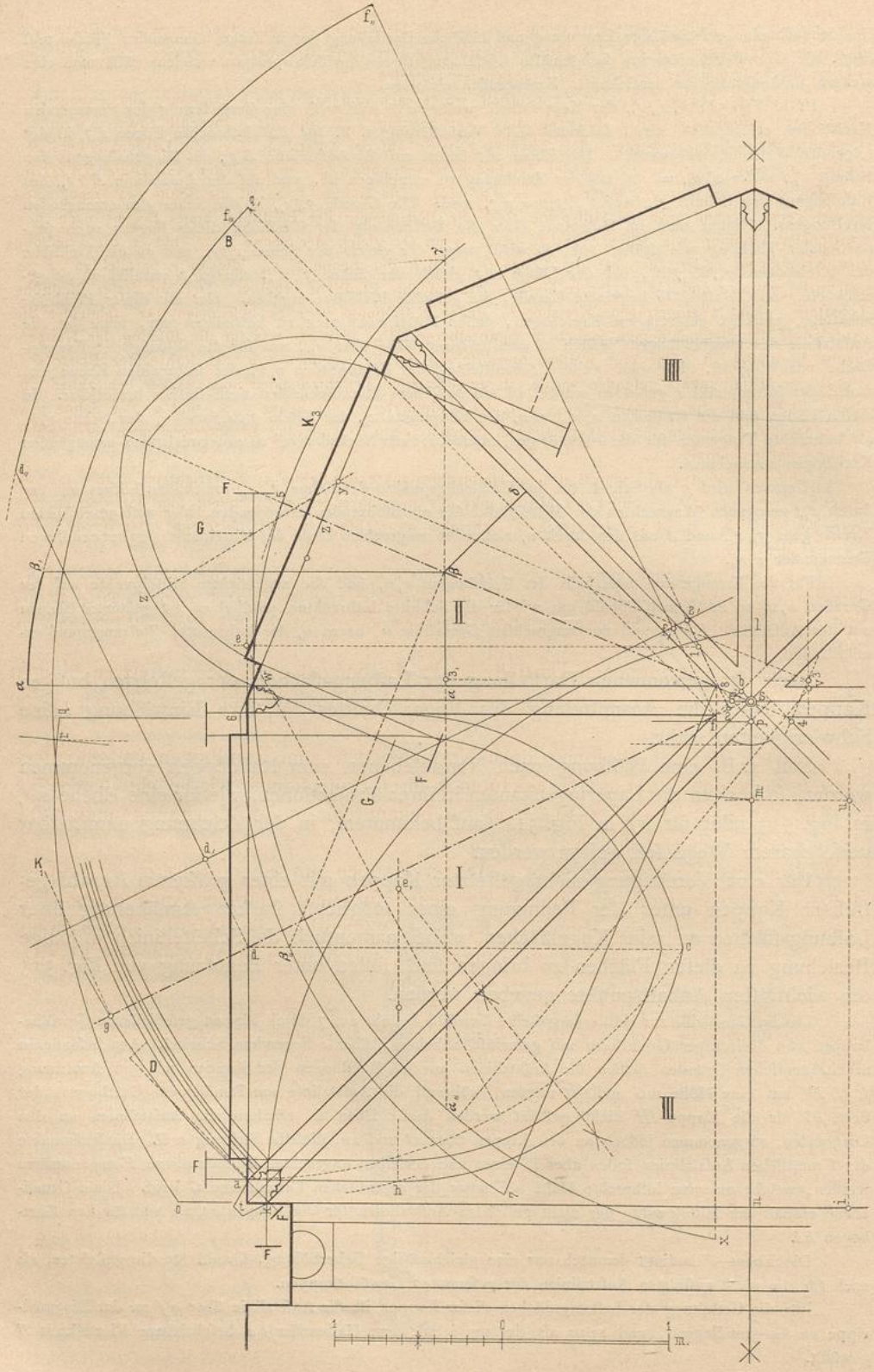
Das im Grundriffe zur Hälfte dargeftellte Gewölbe befteht aus 7 durch Rippen gefchiedenen Gewölbekappen von dreieckiger Grundform mit gemeinfchaftlichem, über s liegendem Scheitel. Aus befonderen architektonifchen Gründen müffen die Anfatzlinien an den Randbogen der Kappen mit der Anordnung I, II, IV um eine Höhe wG geftelzt werden, während die Anfatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der Seite ki für die Kappe III nicht geftelzt werden darf. Eben fo erhalten die Anfatzlinien an den Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über st und su, diefelbe Stelzung wG. Die Fufspunkte der fämmtlichen Anfatzlinien follen aber in einer und derfelben wagrechten Kämpferebene F angenommen werden, welche um eine lothrechte Höhe aF unter der eigentlichen Grundebene G liegt. Diefe Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht geftelzten Anfatzlinien für die Rippen st, su und für den Gurtbogen ki.

Die Ebene F bedingt demnach nur eine gleichmäfsige Ueberhöhung, fowohl für die geftelzten, als auch für die nicht geftelzten Anfatzlinien der gefammten Gewölbekappen.

Für die Geftaltung der Laibungsflächen diefer Kappen ift die Anfatzlinie über af an der Diagonalrippe st als grundlegend, und zwar als der um b mit dem Halbmeffer ba befchriebene Viertelkreis B gewählt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 515.

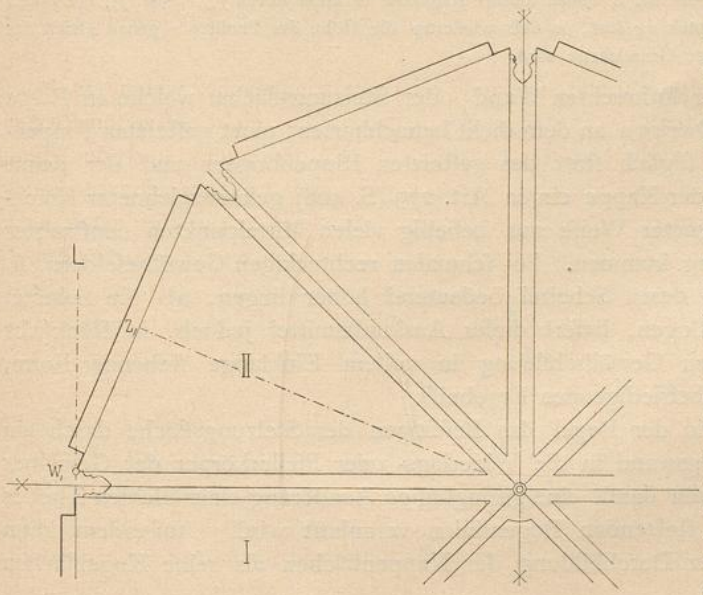


Sollte die Kappe *I* bei der von vornherein gegebenen Höhe cd einer an der Seite ag zu bildenden Anfatzlinie ohne Rückficht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, fo würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel ac mit dem Mittelpunkte e punktirt eingetragen ift, die erforderliche Anfatzlinie werden können. Alsdann ift der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte afd der Schnitt 1 der in b auf ab und in e auf ae errichteten Lothe. Die Punkte a, b, e und 1 liegen in der Grundebene *G*. Der um 1 mit dem Halbmeffer $1a$ befchriebene Kreisbogen ag ift ein Stück des gröfsten Kreifes diefer Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung fd geführten lothrechten Ebene liefert nach Beftimmung des Punktes 2 den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe *I*. Diefer Kreisbogen ift befonders als $d_{,,}f_{,,}$ ausgetragen und mit dem Halbmeffer $2,k_{,} = 2g$ um $2_{,}$ befchrieben. Als Probe der Richtigkeit mufs bekanntlich $f_{,}f_{,,} = ff_{,,,}$ und $d_{,}d_{,,} = dc$ erhalten werden.

Die Rückficht auf das Einführen eines ftumpferen Spitzbogens als Anfatzlinie am Randbogen der Seite ag und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch eine Umformung des vorläufig als Hilfslinie benutzten, nicht geftelzten Spitzbogens ac. Diefes neue Geftalten der Anfatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie $d_{,,}f_{,,}$ vorgenommen werden. Nimmt man die Lothrechte ah gleich der Stelzung wG, ermittelt man auf der durch h gelegten wagrechten Linie $he_{,}$ den Mittelpunkt $e_{,}$ des durch h und c gehenden Kreisbogens hc, fo erhält man den geftelzten ftumpferen Spitzbogen $ahcg$ als Anfatzlinie am Randbogen der Seite ag. Die Anfatzlinie am Diagonalbogen fg erfährt eine Stelzung wG; ihre Form wird aber von der Geftalt der Anfatzlinie der Kappe *II* an demfelben Diagonalbogen fg abhängig, und zwar follte fie in erfter Linie in Rückficht auf eine lothrechte Ebene $8w$ mit den in diefe Ebene projicirten, als Kreisbogen zu befchreibenden Begrenzungslinien der Rippenprofile des Diagonalbogens concentrifch fein. Die Punkte f und 8, auch die Punkte w und g, haben paarweife gleiche Höhenlage über der Grundebene *G*.

Liegt nun in Folge eines Einfchneidens der Seite wz in die Fufsfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt w mit dem Punkte g nicht in einer und derfelben lothrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewiffen Nachtheil hinweifen zu können, angenommen ift, fo kann offenbar die von f nach g zu führende, etwa als Kreisbogen zu beftimmende Anfatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen nicht mehr concentrifch mit der Anfatzlinie $8w$ verlaufen. Es entftände vielmehr an der lothrechten Profilebene der Seite gf des Diagonalbogens eine fichelförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abftande der beiden lothrechten Ebenen wF und ae zuletzt bei f in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Anfatzbildungen vor, fo laffen fich diefelben doch meiftens vermeiden, wenn vorweg eine regelmäfsige Geftaltung der Fufsfläche des Rippenkörpers $8fwg$, worauf fchon in Art. 293 (S. 427) hingewiefen ift, wie hier z. B. durch ein Zufammentreten der lothrechten Ebene ae mit der Ebene wF herbeigeführt wird. Verlegt man den Schnitt w von wz mit ae nach Fig. 516 derart, dafs durch ein geringfügiges Verrücken der Linie wz nach $w_{,}z_{,}$ der Punkt w nach $w_{,}$ in die Linie *L* fällt, welche mit der Geraden ae in Fig. 515 übereinftimmt, fo ift eine regelmäfsig geftaltete Fufsfläche des profilirten Rippenkörpers zu fchaffen. Grundriffe und Deckenbildung gehen in Rückficht auf conftructive Anordnungen alsdann Hand in Hand.

Fig. 516.



Sind die Anfatzlinien der Kappe *I* feft gelegt, fo wird die Geftaltung ihrer Laibungsfläche unter

Beibehalten der Scheitellinie $d_{,,} f_{,,}$ und der lothrechten Stelzfläche D am Diagonalbogen nach dem in Art. 311 (S. 453) Gefagten bewirkt. Die Laibungsfläche ift fphäroidifch; fie nähert fich der reinen Kugelfläche jedoch in bemerkenswerther Weife.

Die Gewölbeflächen der Kappen *II*, *IV* können aus reinen Kugelflächen zufammengefetzt werden. Die Fufspunkte fämmtlicher Anfatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäfsigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene G um die lothrechte Höhe Gw entfernt ift. Die Höhe $8x$ der Anfatzlinie wx am Diagonalbogen ift gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe $ff_{,,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,,}$ weniger Gw. Beftimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx, fo ergiebt derfelbe die Anfatzlinie über $w8$, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Anfatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen unmittelbar beeinflufft. Ift die Anfatzlinie der Kappe *II* am Randbogen oberhalb w als ftumpfer Spitzbogen gewählt, deffen Schenkel mit dem Halbmeffer yw befchrieben find, fo wird 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenftück $8wz$, K_3 ihr gröfster Kreis und folglich der mit dem Halbmeffer 45 um 4 befchriebene Kreisbogen $g7$ die Scheitellinie über $8z$. Die Fläche der zweiten Kappenhälfte ift nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach $\alpha\beta$ rechtwinkelig zu $w8$ ftehenden lothrechten Ebene mit der Kappenfläche $8w7$ ift der um 3_1 mit dem Halbmeffer $3_1\gamma$ befchriebene Kreisbogen $\alpha_{,}\beta_{,}$.

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte $\alpha_{,}$ und $\beta_{,}$ ift zu bemerken, dafs $\alpha\alpha_{,} = \alpha\alpha_{,,}$ und $\beta\beta_{,} = \beta\beta_{,,}$ fein mufs. Diefelbe Schnittlinie $\alpha_{,}\beta_{,}$ würde fich auch für eine lothrechte Ebene mit der Grundrifsfpur $\beta\delta$ ergeben.

Bei vollftändiger Regelmäfsigkeit der Fufsflächen der Diagonalrippen (Fig. 516) tritt ein concentrifcher Lauf der Anfatzlinien der Kappen mit den Grenzlinien der Profile diefer Rippen ein. Die Geftaltung der Gewölbefläche *IV* entfpricht der bei der Kappe *II* gegebenen Entwickelung.

Endlich ift auch die Laibungsfläche der Kappe *III* nach reinen Kugelflächen zu bilden. Die Anfatzlinie über kn der Seite ki am Gurtbogen fei der um i mit dem Halbmeffer ik befchriebene Schenkel kl eines gleichfalls ftumpf genommenen Spitzbogens. Die Anfatzlinie über kp am Diagonalbogen entfpricht dem Kreisbogen B. Der gemeinfchaftliche Fufspunkt k der beiden in Frage kommenden Anfatzlinien, welche für die Kappe *III* nicht geftelzt werden follen, liegt in der Grundebene G.

Nach bekanntem Verfahren wird u der Mittelpunkt der Kugelfläche über knp und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq, für welche $no = nl$ und $pq = bq$, ift. Von diefer Scheitellinie fällt durch Einfügen eines gröfseren Schlufsfteines bei s, deffen äufsere Randlinie in einer durch $f_{,,,}$, bezw. $f_{,,,}$ geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, fo dafs wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe $ff_{,,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,}$ über der Grundebene wird.

313. Befeitigen der Stelzungsflächen.

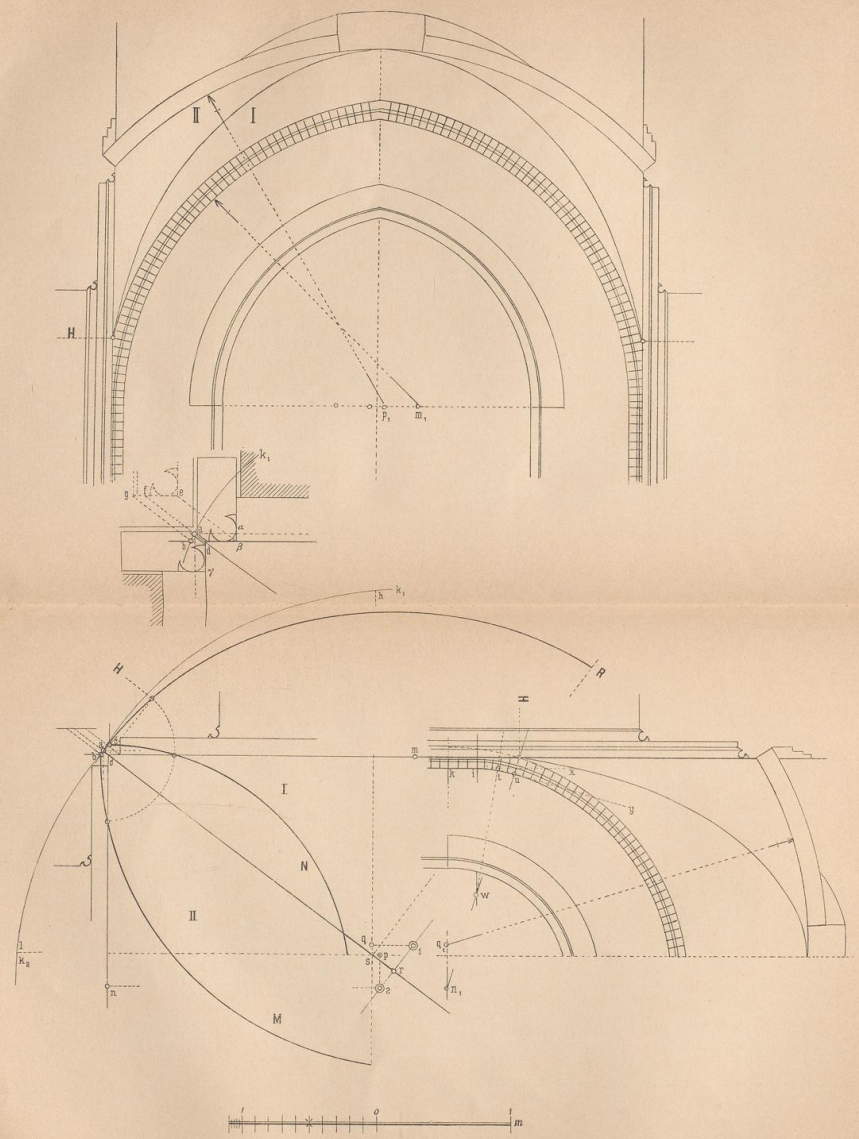
Zur Vermeidung der lothrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche in Folge der Stelzung einer Gewölberippe an dem dicht benachbarten, nicht geftelzten Rippenkörper entfteht, könnte füglich ftatt des geftelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Anfatzlinie der Kappe ein in Art. 279 (S. 408) gekennzeichneter Knickbogen oder ein in geeigneter Weife aus beliebig vielen Mittelpunkten conftruirter Korbbogen in Anwendung kommen. Bei fchmalen rechteckigen Gewölbefeldern, fo wie auch bei Gewölben, deren Scheitel bedeutend höher liegen, als die Scheitel der fonft zu ftelzenden Bogen, liefert diefes Auskunftsmittel jedoch, in Rückficht auf eine mit der ganzen Gewölbebildung in vollem Einklange ftehende Form, meiftens kein befonders befriedigendes Ergebnifs.

Weit beffer kann in der Regel das Befeitigen der Stelzungsfläche durch ein Zurückfetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, felbft wenn damit eine geringfügige Aenderung eines kleinen Theiles am Fufse der fonft zu ftelzenden Bogenlinien veranlafft wird. Aufserdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenflächen als reine Kugelflächen aufrecht erhalten werden.

Die Grundlagen für diefe Geftaltung find in Fig. 517 enthalten. Würde bei geftelzten Randbogen M, bezw. N der Seiten dm und dn eines Gewölbefeldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpferebene gleich dH werden, fo würde beim Einführen diefer Wand der Diagonalbogen R feinen Fufspunkt in d bekommen,

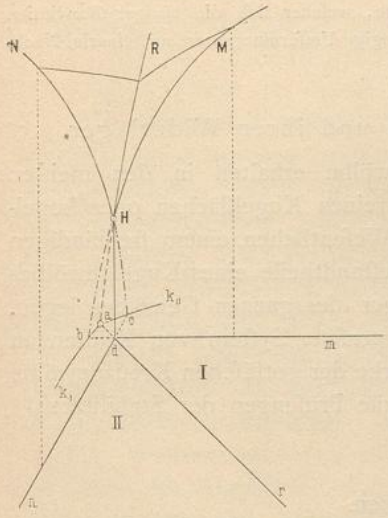
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.

Fig. 517.



und ein in der Höhe dH liegender Punkt dieſes Bogens würde in der Richtung dr um eine wagrechte Strecke ad vorgeſchoben ſein.

Legt man aber den Fuſspunkt des Bogens R um dieſelbe Strecke von d nach a zurück und ſetzt man gleichzeitig den Punkt a als Fuſspunkt für zwei andere Kreisbogen feſt, ſo wird die Stelzungswand in den Widerlagskörper gerückt und damit beſeitigt.

Beſchreibt man alsdann R und M als Kreiſe einer Kugel mit dem durch a gehenden gröſsten Kreiſe k_1 für die Kappe I und ferner N als Kreis einer Kugel mit dem ebenfalls durch a zu führenden gröſsten Kreiſe k_2 für die Kappe II, ſo wachſen die Bogen R, M und N aus dem gemeinſchaftlichen Punkte H hervor. Sie bilden die Anſatzlinien der nach Kugelflächen zu geſtaltenden Kappen. Dieſen Grundlagen entſprechend iſt auf neben ſtehender Tafel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbefelde gegeben.

Die profilirten Randbogen der Seiten dm und dn ſind in ihren Begrenzungslinien weſentlich concentriſch mit den Bogenlinien der oberen Abſchlüſſe der Lichtöffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R iſt der in a auf der Kämpferebene beginnende, als Kreisbogen um r mit ra beſchriebene Diagonalbogen. Punkt m_1 und demnach auch m iſt der gegebene Mittelpunkt des Fenſterbogens der Seite dm. Da m_1, bezw. m auch Mittelpunkt des Randbogens und damit zugleich die Anſatzlinie über dm für die Kappe I ſein ſoll, ſo ergiebt ſich im Schnitte 1 des in m auf dm errichteten Lothes mit dem in r auf ar gezogenen Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück I. Der um 1 mit dem Halbmeſſer $1a$ beſchriebene Kreisbogen k_1 bezeichnet ihren gröſsten Kreis. Die lothrechte Ebene md ſchneidet gehörig erweitert den Kreis k_1 in b und folglich wird der um m mit mb geſchlagene Kreis M die Anſatzlinie der Kappe I über der Seite dm; ſie vereinigt ſich mit dem Diagonalbogen R an der lothrechten Mauer- oder bei d in einer Höhe dH über der Kämpferebene. Unter Benutzung der Punkte n_1, bezw. n und r ergiebt ſich in 2 der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück II mit dem Halbmeſſer $2a$ und dem gröſsten Kreiſe k_2, ſo wie in dem um n mit dem Halbmeſſer nc beſchriebenen Kreiſe N die geſuchte, ebenfalls in der Höhe dH auslaufende Anſatzlinie der Kappe II für die Seite dn.

Die Scheitellinien der Kappen I und II ſind die um q, mit dem Halbmeſſer qh und um p, mit dem Halbmeſſer pl beſchriebenen Kreisbogen der zugehörigen Kugelflächen.

Zur Erzielung eines gleichartigen Emporſteigens der profilirten Randbogen iſt der Grundriſs der Anſätze dieſer Bogen zweckmäſsig unter Benutzung des gröſsten Kugelkreiſes k_1 und des Punktes b für die am weiteſten geſpannte Kappe I in der Weiſe zu entwickeln, daſs, wie im vergröſserten Plane bei ge gezeigt iſt, unter der hier genommenen Anordnung gleicher Profile, die Breite der Fuſsflächen $d\beta = d\gamma$ wird. Dieſe Annahme einer gleich groſsen Breite kann allerdings zur Folge haben, daſs ein mit dem Halbmeſſer $n_1 k$ um n_1 geſchlagener Kreisbogen, wobei der Punkt k dem Punkte γ in der Kämpferebene entſpricht, der Anſatzlinie N im Aufriſs an der ſchmalen Rechtecksſeite nicht mehr concentriſch bleibt. Solches iſt hier der Fall. Eine um n_1 mit der Anſatzlinie N concentriſche innere Begrenzungslinie des Randbogens fällt über k hinaus. Da aber hierdurch eine nicht beabſichtigte, auch nicht günſtige Verminderung der Breite $d\gamma$ der Fuſsfläche des Randbogens eintreten würde, ſo muſs eine Umgeſtaltung der inneren Begrenzungslinie für die Strecke ku ſtattfinden. Für die Fuſslinie $ktiu$ geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe H durch u nach n. Vom Scheitel dieſes Bogens bis u verläuft die Bogenlinie concentriſch mit ſämmtlichen übrigen Bogenlinien. Die Lothrechte kx ſchneidet die in u gezogene Tangente y im Punkte t. Nimmt man $tu = ti$ und zieht iw parallel zu kn_1, ſo wird w der Mittel-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

punkt eines kurzen Kreisbogens ui, und die Lothrechte ik ergiebt eine mäfsige, nicht ungünftig wirkende Ueberhöhung der nunmehr feft gelegten inneren Begrenzungslinie, welcher fich die übrigen Randlinien gleich laufend anzufchliefsen haben. Durch diefe an fich geringfügige Umformung werden keinerlei Nachtheile für die Gewölbebildung verurfacht.

8) Stärke der gothifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

314. Ueberficht.

Die Gewölbekappen der gothifchen Kreuzgewölbe erhalten in den meiften Fällen eine Bufung. Ihre Laibungsflächen gehören reinen Kugelflächen oder kugelförmigen Flächen an; ihre Wölbung entfpricht im Wefentlichen einem freihändigen Zufammenfügen der Wölbfteine in der Weife, dafs Beftandtheile eines Kugelgewölbes entftehen, welche fich gegen die Rippen als Träger des ganzen Gewölbes legen. Letztere liefern das gefammte im Gewölbe wach gerufene Syftem von Kräften an die Gewölbeftützen ab. Die zur Ermittelung der Stärke der gothifchen Kreuzgewölbe zu führenden Unterfuchungen umfaffen vorwiegend die Prüfungen der Stabilität:

α) der Gewölbekappen,

β) der Gewölberippen und

γ) der Gewölbewiderlager oder Gewölbeftützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte find noch befonders die bei den gothifchen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebe- oder Schwibbogen zu berückfichtigen.

α) Stabilität der Gewölbekappen.

315. Stabilität der Gewölbekappen.

Die bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe find, wie auch die Art ihrer Einwölbung befchaffen fein mag, im Wefentlichen als Beftandtheile eines Kugel-, bezw. eines Kuppelgewölbes anzufehen. Ihre ftatifche Unterfuchung und die damit verknüpfte Beftimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszuftande diefer befonderen Gewölbe zur Richtfchnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ift in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff. [183]) diefes »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen follen im Folgenden bei den ftatifchen Unterfuchungen der in Frage kommenden Gewölbekappen mit berückfichtigt werden.

Ein Kuppelgewölbe befteht im Allgemeinen aus concentrifchen Wölbfchichten oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringfchichten, welche nach und nach für fich gefchloffen und über einander gelagert werden. Ihre Lagerflächen find Kegelflächen mit einer gemeinfchaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stofsfugenflächen liegen in lothrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinfchaftliche Schnittlinie diefer Schar von Meridianebenen ift die lothrechte Kuppelaxe. Ein von zwei benachbarten Meridianfchnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergiebt einen Meridianftreifen.

Diefem befonderen Aufbau und Zerlegen der Kuppelgewölbe, wodurch fich diefelben wefentlich von der Herrichtung der cylindrifchen Gewölbe unterfcheiden, entfprechend, mufs bei der ftatifchen Unterfuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszuftand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diefe Kräftegruppen umfaffen erftens das auf die ebenen Stofsflächen der Wölbkränze einwirkende Kräftefyftem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen diefer Kränze gelangenden Kräfte.

[183]) 2. Aufl.: Art. 281 u. ff., S. 269 u. ff.

Da Kuppelgewölbe auch am Scheitel offen bleiben können, alſo ein Meridianſtreifen oben nicht bis zu der als lothrechte Gerade vorhandenen Scheitellinie zu reichen braucht, ſo iſt in erſter Linie die Unterſuchung des Gleichgewichtszuſtandes eines Wölbkranzes von maſsgebender Bedeutung.

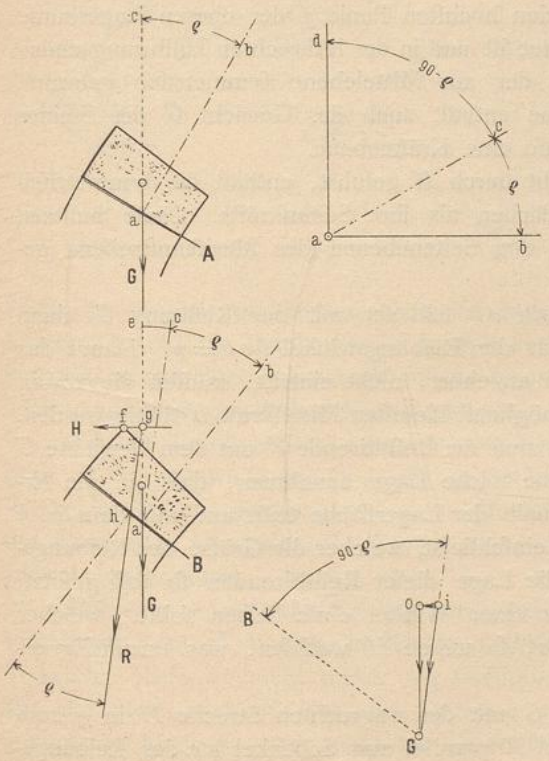
Hierbei kommt nun der Neigungswinkel der Erzeugenden der Lagerfläche des Kranzes und aufserdem, in Bezug auf die unteren Lagerkanten deſſelben, die Lage der Lothrechten, worin das Gewicht eines Kranzſteines, einſchlieſslich ſeiner etwa vorhandenen Belaſtung, wirkt, beſonders in Betracht; denn ſein Gleichgewichtszuſtand wird beeinfluſſt durch jenen Neigungswinkel in Rückſicht auf das Gleiten auf der Lagerfläche, durch die bezeichnete Lothrechte im Hinblick auf eine Drehung um eine Lagerkante des Kranzſteines.

Soll im vollſtändig geſchloſſenen Wölbkranze Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehung herrſchen, ſo werden durch die im Kranze lebenden Kräfte in den Stoſsfugen Preſſungen geweckt, welche, unter der Vorausſetzung eines geeigneten Wölbmaterials und einer genügenden Gewölbſtärke, fähig ſein müſſen, das Beſtreben des Abgleitens oder des Drehens der Kranzſteine zu verhindern. Sind dieſe Preſſungen für jeden Wölbkranz bekannt geworden und ſomit für jede Wölbſchicht eines Meridianſtreifens gefunden, ſo läſſt ſich dieſes Syſtem von Kräften, in entſprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsunterſuchung des ganzen Meridianſtreifens benutzen.

316. Preſſungen der Stoſsflächen. Erſter Fall.

Um die in den Stoſsflächen der Kranzſteine entſtehenden Preſſungen, wobei zunächſt auf die Elaſticität der Wölbſteine und auf die ſtärkere oder geringere Bindefähigkeit des Mörtels keine Rückſicht genommen werden ſoll, zu ermitteln, können die folgenden Fälle in Behandlung treten.

Fig. 518.



a) In Fig. 518 iſt Aa die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten ſei gleich dem Reibungswinkel $cab = \measuredangle \rho$ des Wölbmaterials. Die Richtungslinie G des im Schwerpunkte des Kranzſteines angreifenden Gewichtes treffe die Erzeugende A im Punkte a der Lagerfläche des Steines. Das in a auf Aa errichtete Loth ab ſchlieſse mit der Kraftrichtung G den Winkel $cab = \measuredangle \rho$ ein. In dieſem Falle iſt nach der Lehre von der ſchiefen Ebene die Grenzlage für die Erzeugende Aa erreicht, wobei eben noch ein Gleiten des Steines verhindert wird. Da aufserdem, vermöge der Lage des Punktes a der Kraftrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzſteines, durch die Kraft G

keine Drehung dieſes Steines um eine ſeiner Kanten eintreten kann, ſo werden im Syſteme eines derartig gelagerten und durch Gewichte beanſpruchten Kranzes keinerlei Preſſungen in den Stoſsfugenflächen erzeugt. Daſſelbe gilt, ſelbſt wenn die Kraftrichtung G durch eine Kante geht.

Schlieſst die Erzeugende Aa mit der Wagrechten einen kleineren Winkel als den Reibungswinkel ρ ein, bleibt a innerhalb des Gebietes der Lagerfläche, ſo können ebenfalls in den Stoſsflächen des Kranzes keine Preſſungen entſtehen.

317. Zweiter Fall.

b) Bleibt der Angriffspunkt a der Kraftrichtung G in der Lagerfläche, wird aber der Neigungswinkel der Erzeugenden Ba zur Wagrechten gröſser als der Reibungswinkel ρ, ſo hat der Kranzſtein kein Beſtreben, ſich um eine Lagerkante zu drehen; wohl aber iſt ſein Ruhezuſtand in Bezug auf das Herabgleiten geſtört. Um dieſes Abwärtsgleiten zu verhindern, müſſen im Kranzkörper Kräfte thätig werden, welche als Preſſungen in den ſeitlichen Stoſsflächen mit ſolcher Gröſse ſich einzuſtellen haben, daſs die aus dieſen Seitenkräften entſtehende Mittelkraft den Gleichgewichtszuſtand wieder herzuſtellen vermag.

Hinſichtlich der Gröſse dieſer Mittelkraft und danach auch der Gröſse der Preſſungen in den Stoſsflächen iſt zu bemerken, daſs dieſelbe ein ſolches Maſs anzunehmen hat, als zur Herſtellung des Gleichgewichtes eben nothwendig iſt, daſs alſo ein Mehraufwand in dieſem Kraftmaſse nicht berechtigt iſt. Dieſes eben nothwendige Kraftmaſs drückt mithin einen Grenzwerth für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; dieſer Grenzwerth hat demnach in jedem beſonderen Falle einen in Anwendung zu bringenden möglichſt kleinſten Werth, welcher eben ſo wohl frei von einem Kraftmangel, als auch frei von einem Kraftüberſchuſs aufzutreten hat.

Unter Bezugnahme auf Fig. 518 wird die erwähnte Mittelkraft H der Preſſungen möglichſt klein, wenn dieſelbe durch den höchſten Punkt f der oberen Lagerkante des Kranzſteines geht, wagrecht gerichtet iſt und in der lothrechten Halbirungsebene des Meridianſtreifens bleibt, welchem der zur Mittelebene ſymmetriſch geformte Stein zugewieſen iſt. Dieſe Mittelebene enthält auch das Gewicht G des Steines ſammt ſeiner etwaigen Belaſtung, iſt alſo eine Kräfteebene.

Eine zweite Kräfteebene, wagrecht durch H geführt, enthält die ſymmetriſch zu H gelegenen Preſſungen der Stoſsflächen als ihre Seitenkräfte. Dieſe beſitzen gleiche Gröſse und ſind ſenkrecht zu den Seitenebenen des Meridianſtreifens gerichtet.

Das in a auf Ba errichtete Loth ab ſchlieſst mit der Richtung G einen Winkel bae ein, welcher gröſser iſt, als der Reibungswinkel $bac = \rho$. Damit das Abgleiten des Kranzes, dem der Stein angehört, nicht eintritt, müſſen die vorhin bezeichneten Seitenpreſſungen mit der möglichſt kleinſten Mittelkraft H thätig werden.

Um dieſe Kraft H zu beſtimmen, muſs die Reſultirende R aus dem Gewichte G und der noch unbekannten Kraft H eine ſolche Lage annehmen, daſs ſie die Erzeugende Ba in einem Punkte h innerhalb der Lagerfläche trifft und mit dem in h auf Ba errichteten Lothe einen Winkel einſchlieſst, welcher die Gröſse des Reibungswinkels nicht überſchreitet. Würde die Lage dieſer Reſultirenden ſo feſt geſetzt, daſs dieſelbe mit dem Lothe auf Ba einen Winkel einſchlieſsen ſollte, welcher kleiner als der Reibungswinkel ausfiele, ſo würde H wachſen, was unzuläſſig erſcheinen muſs.

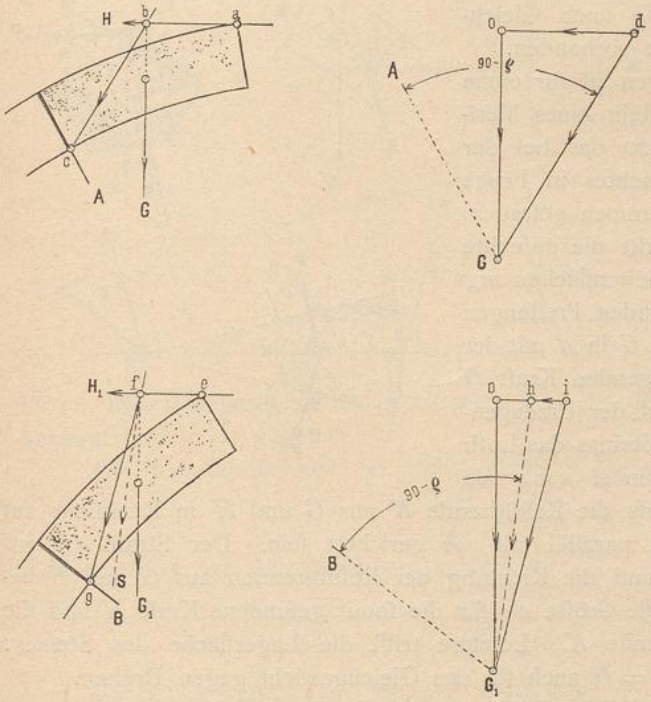
Bringt man daher die Richtung G mit der wagrechten Strecke H in g zum Schnitte, zieht man durch g den Strahl R parallel zum Schenkel ac des Reibungs-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

winkels ρ, deſſen zweiter Schenkel auf Ba lothrecht genommen wurde, ſo iſt die Lage der Mittelkraft aus G und H beſtimmt. Die Gröſse von R und von H iſt mit Hilfe des Kräfteplanes oGi leicht zu finden. In demſelben ſtellt oG die Gröſse des Gewichtes vom Kranzſteine dar; Gi iſt parallel zu R und oi parallel zu H gezogen, ſo daſs nunmehr iG gleich der Gröſse von R, io gleich der Kraft H iſt.

Um das Zeichnen der Schenkel des Reibungswinkels ρ am Wölbſteine zu vermeiden, hat man aus leicht erſichtlichen Gründen nur nöthig, im Kräfteplane ſelbſt den Strahl GB parallel zur Erzeugenden Ba zu ziehen und an GB den Winkel $90 - \rho$ anzutragen. Der Schenkel Gi dieſes Winkels muſs alsdann ebenfalls parallel zu ac ſein.

Fig. 519.



318. Dritter Fall.

c) Schneidet die Kraftrichtung G die Lagerfläche des Kranzſteines nicht, iſt der Neigungswinkel der Erzeugenden Ac in Fig. 519 zur Wagrechten gröſser als der Reibungswinkel ρ; ſo hat der Stein das Beſtreben, ſich um die Lagerkante c zu drehen und aufserdem auf der Lagerfläche zu gleiten.

Die Mittelkraft H der in den Stoſsfugen des Kranzes zur Herſtellung des Gleichgewichtszuſtandes wach gerufenen Preſſungen muſs alſo denjenigen möglichſt kleinen Werth annehmen, welcher ausreicht, jene Drehung und jenes Gleiten zu verhindern.

Die Reſultirende aus G und der durch den höchſten Punkt a der oberen Lagerkante des Steines gerichteten Kraft H muſs alſo zunächſt eine ſolche Lage bc annehmen, daſs ſie durch den Drehpunkt c der unteren vorderen Lagerkante geht und ſodann mit der Senkrechten auf Ac einen Winkel einſchlieſsen, welcher kleiner oder mindeſtens gleich dem Reibungswinkel ρ, aber niemals gröſser als ρ wird.

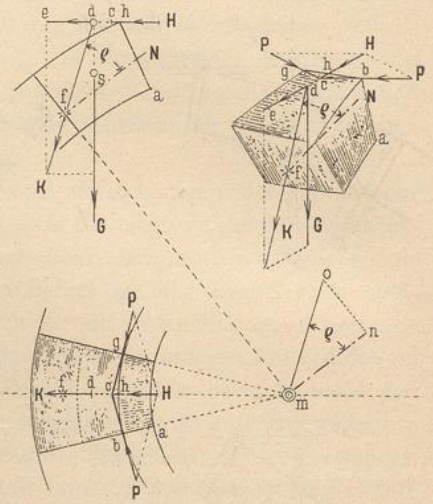
Für die Erzeugende Ac ergiebt ſich nach dem Kräfteplane, daſs die Mittelkraft dG in der Richtung bc auch mit der Senkrechten auf ac gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einſchlieſst, ſo daſs die Strecke do die Gröſse der Mittelkraft H ergiebt, welche ausreicht, um das Gleichgewicht des Kranzſteines aufrecht zu erhalten.

Für eine Erzeugende Bg dagegen würde, in Rückſicht auf Gleiten allein, eine Mittelkraft S aus G, und der im Kräfteplan hierfür gefundenen, in der Wagrechten ef wirkenden Kraft ho nicht durch den Drehpunkt g der unteren Lagerkante gehen; alſo der Stein nach wie vor eine Drehung um dieſe Kante vollziehen. Hiernach genügt die Kraft ho noch nicht zur Herſtellung des Gleichgewichtszuſtandes. Die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Preſſungen im Kranze müſſen wachſen, und zwar in der Weiſe, daſs ihre Mittelkraft H_1 für einen Stein des zugehörigen Meridianſtreifens eine Gröſse erhält, welche die Reſultirende aus G_1 und dieſer Kraft H_1 ſo weit zurück treibt, bis dieſe neue Reſultirende durch den Drehpunkt g läuft. Zieht man alſo durch den Schnitt f der Kraft G_1 und der Wagrechten ef den Strahl fg, ſo iſt hiermit die Lage der bezeichneten Reſultirenden gefunden. Zeichnet man im Kräfteplane $G_1 i$ parallel zu fg, ſo ergiebt ſich in iG_1 ihre Gröſse und zugleich in io die Gröſse der für das Gleichgewicht nothwendigen Mittelkraft H_1. Da die Reſultirende iG_1 in ihrer Richtung fg mit der Normalen einen Winkel einſchlieſst, welcher um $\sphericalangle iG_1h$ kleiner wird, als der Reibungswinkel ρ, ſo iſt bei dem Herrſchen der Kraft $H_1 = io$ auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Fig. 520.



Nach dieſen Erörterungen iſt für einen beliebig genommenen Kranzſtein eines Meridianſtreifens mgb in Fig. 520 das bei der Unterſuchung des Gleichgewichtes in Frage kommende Kräfteſyſtem zuſammen getragen.

In der Richtung he wirkt die geſuchte Mittelkraft H der in den Seitenflächen mg und mb in g und b entſtehenden Preſſungen P, P. Setzt man das Gewicht G in d mit der unbekannten, aber in he liegenden Kraft H zuſammen, errichtet man auf der Erzeugenden mf der Lagerfläche des Steines das Loth mn und trägt man den Winkel nmo als Reibungswinkel ρ an; ſo muſs die Reſultirende K aus G und H in Rückſicht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit om gerichtet ſein. Der Strahl df entſpricht dieſer Lage. Da G und die Richtung der Reſultirenden aus G und H bekannt ſind, ſo ergeben ſich die Gröſse de für die ſomit gefundene Kraft H und die Gröſse dK für die Reſultirende K. Letztere trifft die Lagerfläche des Steines; folglich genügt die Kraft $de = H$ auch für das Gleichgewicht gegen Drehen.

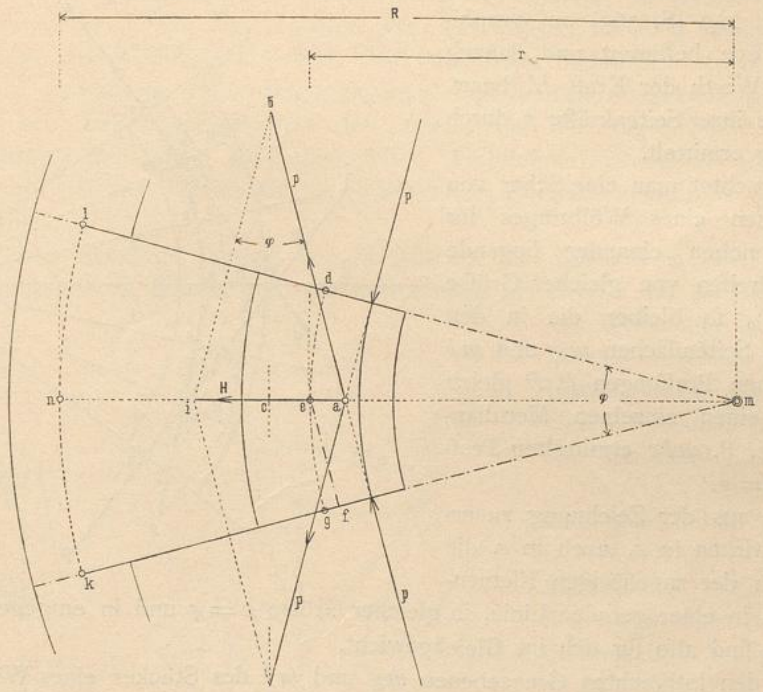
Die Preſſungen P, P ſind Seitenkräfte von H; ſie liegen mit H in einer wagrechten Ebene und ſind ſenkrecht zu den Seitenflächen mg, mb des Meridianſtreifens mgb gerichtet.

Zerlegt man die Kraft $H = de = Hc$ unter Benutzung der Strahlen Pc, Pc, die ihrer Lage und Richtung nach für die zu beſtimmenden Kräfte P, P maſsgebend werden, ſo liefert das Kräfte-Parallelogramm $HPcP$ in Pc und Pc die geſuchten Preſſungen P, P.

Gehört ein Meridianſtreifen einem reinen Kugelgewölbe an, ſo ergiebt ſich durch Rechnung eine einfache Beziehung zwiſchen den Preſſungen P und ihrer Mittelkraft H.

In Fig. 521 iſt mkl der Grundriſs eines ſolchen Meridianſtreifens mit der lothrechten Symmetrie-Ebene mn und dem ſehr kleinen Winkel φ. Der Gewölbefuſs dieſes Streifens beſitzt die mittlere Dicke kl; der Halbmeſſer des Bogens kl iſt R. Für einen Kranzſtein dieſes Streifens ſei die in der Kugelfläche, welcher der Bogen kl angehört, gelegene mittlere Dicke gleich gd, und der Halbmeſſer des Bogens gd

Fig. 521.



ſei r. Die Mittelkraft H der Preſſungen p, p an den Seiten des Kranzſteines ſei bekannt und in ai gegeben.

Aus der Aehnlichkeit der rechtwinkeligen Dreiecke acb und efm folgt

$$\frac{ab}{ac} = \frac{em}{ef},$$

d. h. auch, da ab der Preſſung p entſpricht,

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{ef}.$$

Bei der Kleinheit des Winkels φ kann die Gerade $ef = r \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$ mit dem Bogen $ge = r\,\frac{\varphi}{2}$ vertauſcht werden, ſo daſs

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{r\,\frac{\varphi}{2}} \quad \text{oder} \quad p = \frac{H}{\varphi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 247.$$

wird.

Bezeichnet man die mittlere Dicke dg mit d, ſo iſt $d = r\varphi$, alſo $\varphi = \frac{d}{r}$, mithin nach Gleichung 247 auch

$$p = \frac{Hr}{d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 248.$$

Wird kl mit D bezeichnet, ſo iſt ferner $\frac{r}{d} = \frac{R}{D}$, wodurch ſodann

$$p = \frac{HR}{D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 249.$$

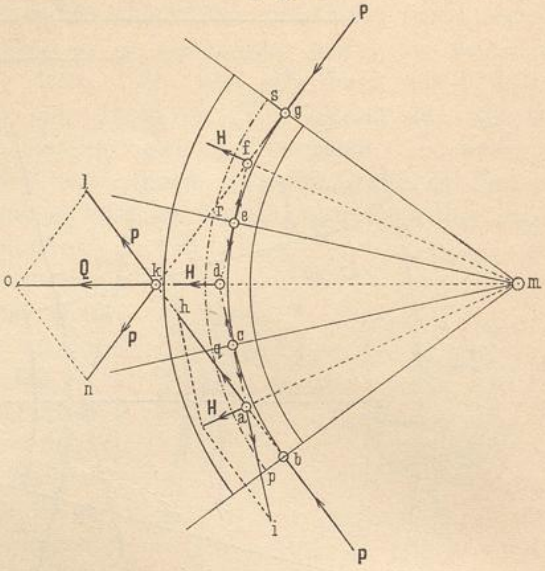
erhalten wird.

Das Gewicht G wird meiſtens nach Art. 249 (S. 363) auf graphiſchem Wege beſtimmt und danach auch der Werth der Kraft H, bezw. die Gröſse ihrer Seitenkräfte p durch Zeichnung ermittelt.

319. Wölbkranz.

Betrachtet man eine Schar von Kranzſteinen eines Wölbringes für mehrere neben einander liegende Meridianſtreifen von gleicher Gröſse (Fig. 522), ſo bleiben die in den äuſserſten Seitenflächen mg und mb vorhandenen Preſſungen P, P gleich den für einen einzelnen Meridianſtreifen, z. B. mbc ermittelten Preſſungen $p = q$.

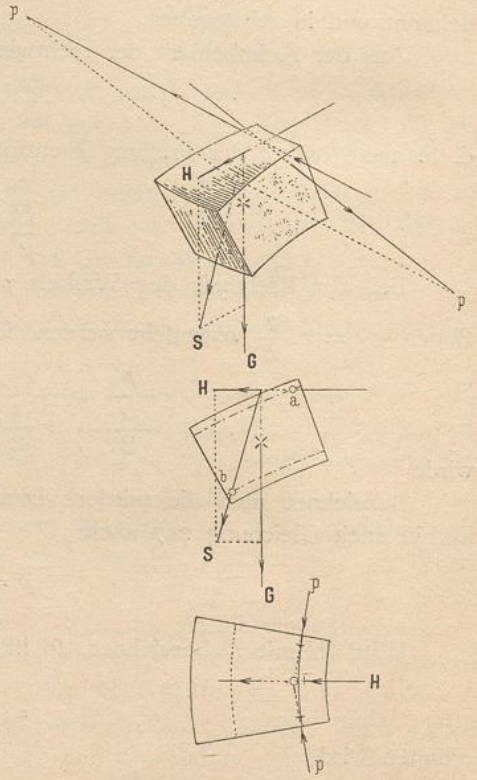
Fig. 522.



Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c, auch in e, die Preſſungen der zugehörigen Elementarſtreifen in einer geraden Linie, in gleicher Gröſse $p = q$ und in entgegengeſetzter Richtung, ſind alſo für ſich im Gleichgewicht.

An den lothrechten Grenzebenen mg und mb des Stückes eines Wölbkranzes bleiben alſo die Preſſungen P, P übrig, welche offenbar dieſelbe Gröſse wie die Seitenkräfte $p = q$ von H des Streifens mbc beſitzen müſſen. Dieſe Preſſungen P liegen in einer wagrechten Ebene, welche durch die obere Lagerkante gb am Wölbkranze geführt werden kann; ſie ſtehen je für ſich ſenkrecht zu den Ebenen mg, bezw. mb und laſſen ſich in k zu einer Mittelkraft Q vereinigen, welche zugleich die Reſultirende der Kräfte H der einzelnen Kranzſteine ſein muſs. Legte ſich das Kranzſtück mgb in den Seitenebenen mg und mb gegen beſondere Widerlagskörper, ſo hätten dieſe den Kräften P zur Herſtellung des Gleichgewichtes einen gleich groſsen Widerſtand zu leiſten.

Fig. 523.



320. Formänderung.

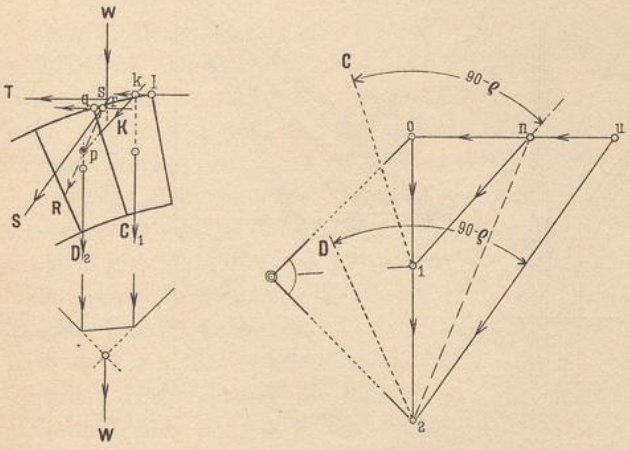
Bei den geführten Unterſuchungen ſind die Elaſticität des Wölbmaterials und die damit im Zuſammenhange ſtehende Formänderung des Wölbkörpers, welche die an einem Kranzſteine, bezw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, auſser Acht gelaſſen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 141 (S. 194) angeführt ſind,

kann man bei Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Materials die Angriffspunkte a von H und b von S, wie Fig. 523 ohne Weiteres erklärt, um eine gewiffe Strecke in das Innere des Wölbfteines rücken, fonft aber beim Beftimmen der Gröfsen der Kräfte H, S und p, wie im Vorhergegangenen mitgetheilt ift, vorgehen. Erfahrungsgemäfs ift auch bei Kuppelgewölben das Zurückziehen der Angriffspunkte a und b von den Kanten bei guten, hinlänglich feften Wölbfteinen nur äufserft gering. Die Angabe eines genauen Mafses für die Gröfse diefes Zurückziehens ift bis jetzt noch nicht möglich.

321. Preffungen der Lagerflächen.

Mit dem Ermitteln der an den Stofsflächen der Kranzfteine eines Meridianftreifens entftehenden Kräfte, geht die Beftimmung der Drücke auf die Lagerflächen der Wölbfteine diefes zugehörigen Streifens Hand in Hand. Ueber einander gelagerte Kranzfteine bilden den Meridianftreifen.

Fig. 524.



In Fig. 524 find zur Erklärung des bei der Stabilitäts-Unterfuchung eines Meridianftreifens einzufchlagenden Weges zwei über einander liegende Kranzfteine in ihrem Schnitte mit der Symmetrie- oder Kräfteebene vom Gewicht 1, 2 und mit den Lagerfugen oder Erzeugenden der Lagerflächen C, D angenommen.

Setzt man das Gewicht 1 nach Art. 318 (S. 463) mit der durch l ziehenden wagrechten Kraft no, welche unter Anwendung des Winkels $90 - \rho$ in bekannter Weife gefunden wird, zu der Mittelkraft $K = n1$ in k auf lk zufammen, fo trifft diefelbe die Fuge C. Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehen ift beim Herrfchen der Kraft no für den Stein oberhalb der Fuge C gewahrt. Setzt man weiter die Kraft K, welche den Druck für die Fuge C angiebt, mit dem Gewichte 2 im Punkte p zu einer Mittelkraft $R = n2$ des Kräfteplanes zufammen, fo fchneidet diefelbe die durch den höchften Punkt q des zweiten Kranzfteines gehende wagrechte, noch unbekannte Kraft im Punkte r. Zieht man zur Beftimmung diefer Kraft im Kräfteplane $2D$ parallel zur Erzeugenden D, trägt man an $2D$ den Winkel $90 - \rho$, fo begrenzt der Schenkel $2u$ diefes Winkels die durch o, bezw. n gelegte Wagrechte im Punkte u, und folglich wird nunmehr un die in r wirkende wagrechte Kraft und $u2$ die gleichfalls durch r ziehende Refultirende S der beiden wagrechten Kräfte un und $no = uo$ und der beiden Gewichte 1 und $2 = o2$, welche in ihrer Gefammtheit für die Fuge D in Wirkfamkeit treten. Auch diefe den Druck für die Lagerfuge D angebende Kraft S bekundet Gleichgewicht in Rückficht auf Gleiten und Drehung bis zur Fuge D des Meridianftreifens.

Die wagrechte Seitenkraft uo von S ift die Mittelkraft derjenigen Preffungen, welche bis zur Fuge D an den Seitenflächen des Meridianftreifens entftehen.

Setzt man diefes einfache Verfahren, welches im Folgenden — bei der be-

fonderen Betrachtung über Kuppelgewölbe — noch weiter verfolgt werden foll, unter Beobachtung der in Art. 315 (S. 460) behandelten und eintretenden Fälle

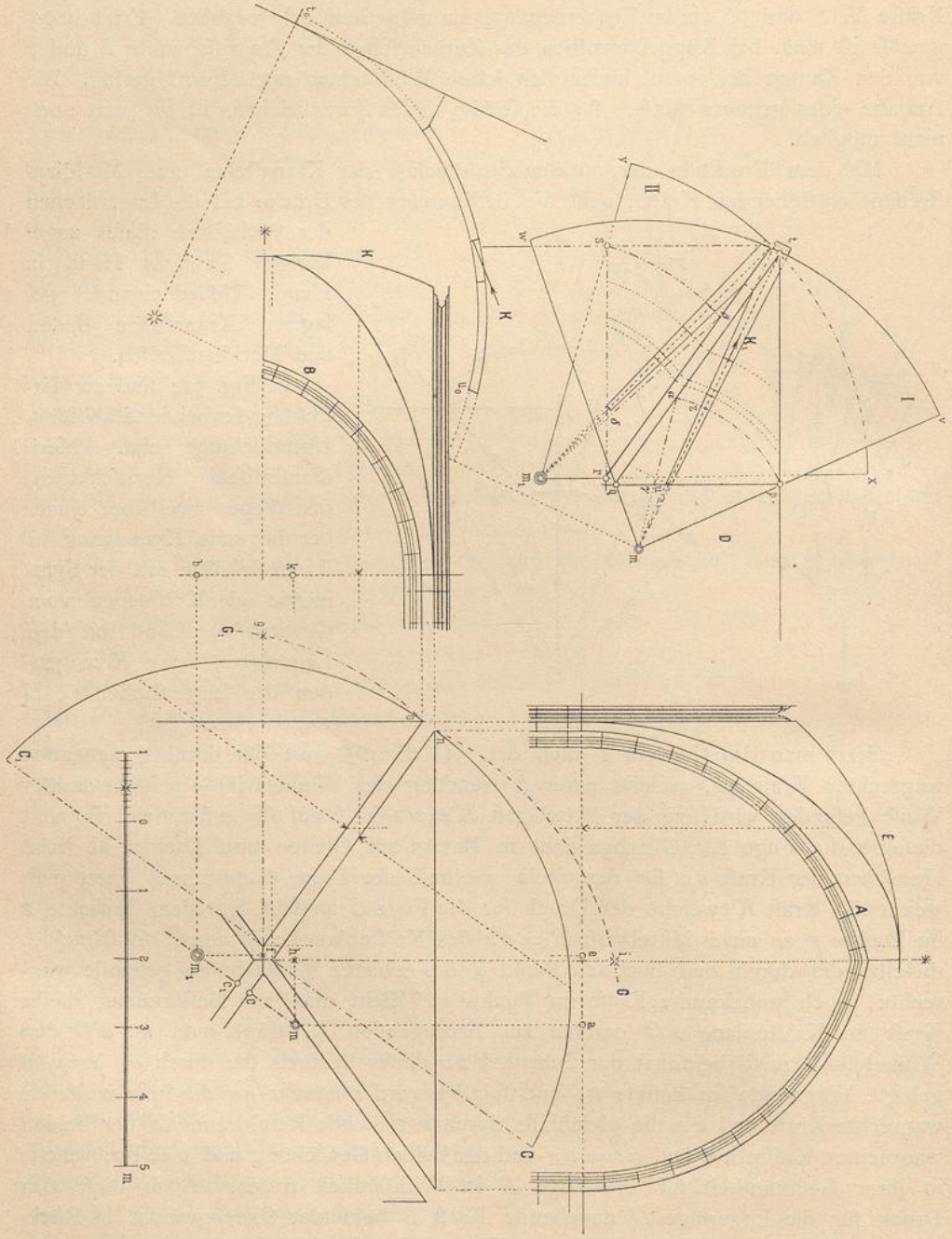


Fig. 525.

fort, fo gelangt die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens fowohl in Bezug auf die Preffungen in den Stofsflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerflächen zum Abfchlufs.

Hätte man die Kräfte no und un zu einer Mittelkraft T und eben so die Gewichte *1* und *2* zu einem resultirenden Gewichte W zusammengesetzt, diese in ihrem Schnitte s angreifen lassen, so würde die durch s parallel zu $u2$ gelegte Resultirende S ebenfalls durch den Punkt r gehen.

322. Gewölbekappen.

Die besprochenen, für die Stabilitäts-Untersuchung der Kuppelgewölbe wichtigsten Punkte lassen sich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe übertragen. Da die sphäroidischen, nicht nach reinen Kugelflächen gewölbten Kappen doch im Allgemeinen in Rücksicht auf ihre praktische Ausführung nur wenig von der Kugelfläche abweichen, sondern fast immer in ihren Laibungsflächen kugelähnlich gestaltet werden, so entsteht kein grosser Fehler, wenn auch diese sphäroidischen Kappen bei der statischen Untersuchung wie die mit Kugelflächen behafteten Kappen behandelt werden.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde in Fig. 525 sind A und C, bezw. B und C die nach Kreisbogen genommenen Ansatzlinien der Gewölbflächen. Die Mittelpunkte dieser Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpferebene; m und m_1 sind die Kugelmittelpunkte für das Kappenstück zwischen A und C, bezw. zwischen B und C. Der grösste Kreis des ersten Stückes ist in G, der des zweiten Stückes in G_1 auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der grösten Kreise werden die Kugelstücke der Kappen in schmale, lothrechte Meridianstreifen zerlegt. Für jede Kappe sind den einzelnen Streifen gleiche Winkel zu geben; auch ist, wie im Plane D gezeigt, thunlichst eine gleichmäfsige Anordnung in Bezug auf die Symmetrie-Ebenen mt und m_1t der längsten Streifen zu treffen. Ist die wagrechte und lothrechte Projection, wie ut, u_0t_0 eines grösten Meridianstreifens bestimmt, so ist dieses Gewölbstück für sich einer statischen Untersuchung zu unterwerfen, um danach ohne Weiteres die Stabilitätsverhältnisse der übrigen in den zugehörigen Kappenstücken noch vorhandenen, aber kürzeren Streifen, gleiche Stärke und Belastung vorausgesetzt, ableiten zu können.

Beim Zerlegen der Kappenstücke in Meridianstreifen ergeben sich weiter in Rücksicht auf die Scheitellinien qp der Kugelfläche I, mit dem grösten Kreise vw, und rs der Kugelfläche II, mit dem grösten Kreise xy, durch die Ringlinien $p\alpha$, bezw. $s\beta$ und durch die Scheitellinien qp, bezw. rs bestimmt begrenzte Gebiete $q\alpha p$ und $r\beta s$, welche die in den lothrechten Scheitelebenen pq und sr entstehenden Pressungen besonders beeinflussen.

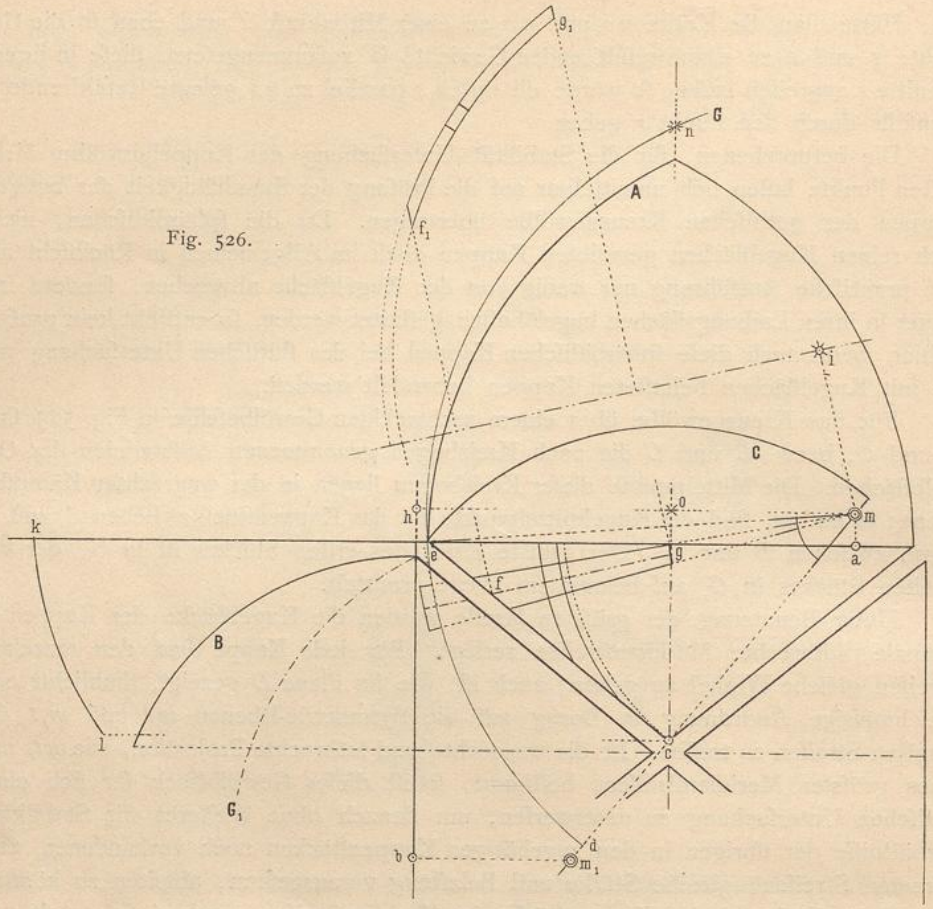
Steht die lothrechte Axe der Kugelfläche, welche die Laibung eines Kappenstückes liefert, wie in Fig. 526 bei m, aufserhalb des eigentlichen Gewölbefeldes, so ist nach dem Festlegen ihres grösten Kreises G wiederum nur ein zweckmäfsiges Zerlegen des Kappenstückes in schmale Meridianstreifen vorzunehmen. Der grösste dieser Streifen, wie z. B. gf mit der lothrechten Projection g_1f_1, ist für die statische Untersuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung ist die Ermittelung der Seitenpressungen, welche die busigen Kappen auf die stützenden Rippenkörper ausüben, von Bedeutung.

Ist nach Fig. 527 das Zerlegen der Kappen in Meridianstreifen vorgenommen, so kann man, z. B. für den grösten Streifen $hfeg$, die in der besonders stark gezeichneten Kranzschicht entstehende wagrechte Kraft H ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 319 (S. 466) und danach die Pressungen P an den Stofsflächen des zugehörigen Kranzsteines bestimmen. Diese Pressungen P sind für sämmtliche Kranzsteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Dieselben machen sich sowohl

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 526.



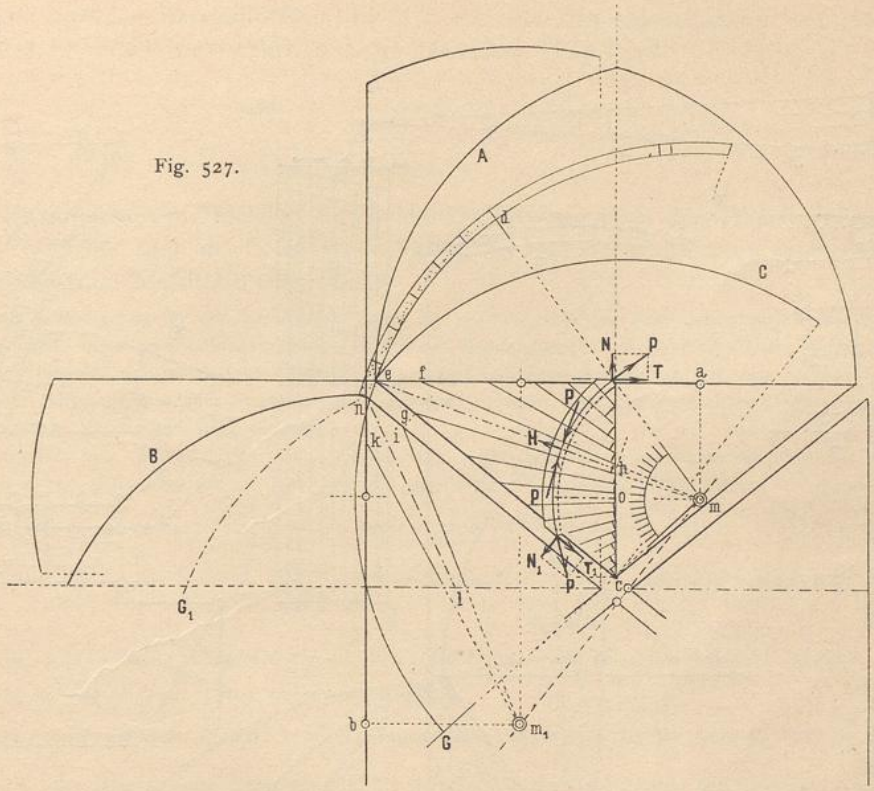
in den Anſatzflächen der Kränze, ſo fern die Kräfte in den Stoſsflächen bei einzelnen Ringſchichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite *ea*, als auch am Diagonalbogen *ec* geltend. Sie ſind auch hier bei einer normalen Stellung zu den äuſserſten Meridianebenen der Kranzſchicht wagrecht gerichtet und kennzeichnen unmittelbar die Beanſpruchung der ſtützenden Rippenkörper durch dieſe Kräftegruppe der Kappenwölbung.

Nach dem Zerlegen der Preſſungen P in die Seitenkräfte N und T, bezw. N_1 und T_1 rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bezw. in dieſe Ebene fallend, läſſt ſich hiermit unter Berückſichtigung des in Art. 253 (S. 375) Vorgetragenen die weitere ſtatiſche Unterſuchung dieſer Bogenkörper in Verbindung bringen.

Ergeben die Preſſungen P der Stoſsflächen der einzelnen Kranzſchichten auch ſofort die Gröſse der hierdurch eintretenden Seitenſchübe für die Rippenkörper, ſo ſind damit doch zunächſt die Preſſungen noch nicht klar gelegt, welche durch die innerhalb der bei Fig. 525 erwähnten Gebiete der Scheitellinien der Kappen befindliche Wölbung in den ſenkrechten Ebenen dieſer gekrümmten Scheitellinien bei dem Zuſammenſchnitt der Wölbſchichten entſtehen.

Die Beſtimmung der Gröſse dieſer nach den Scheiteln der Rand- und Diagonalbogen gelangenden Preſſungen ſoll beſonders nach Fig. 528 vorgenommen werden.

Fig. 527.

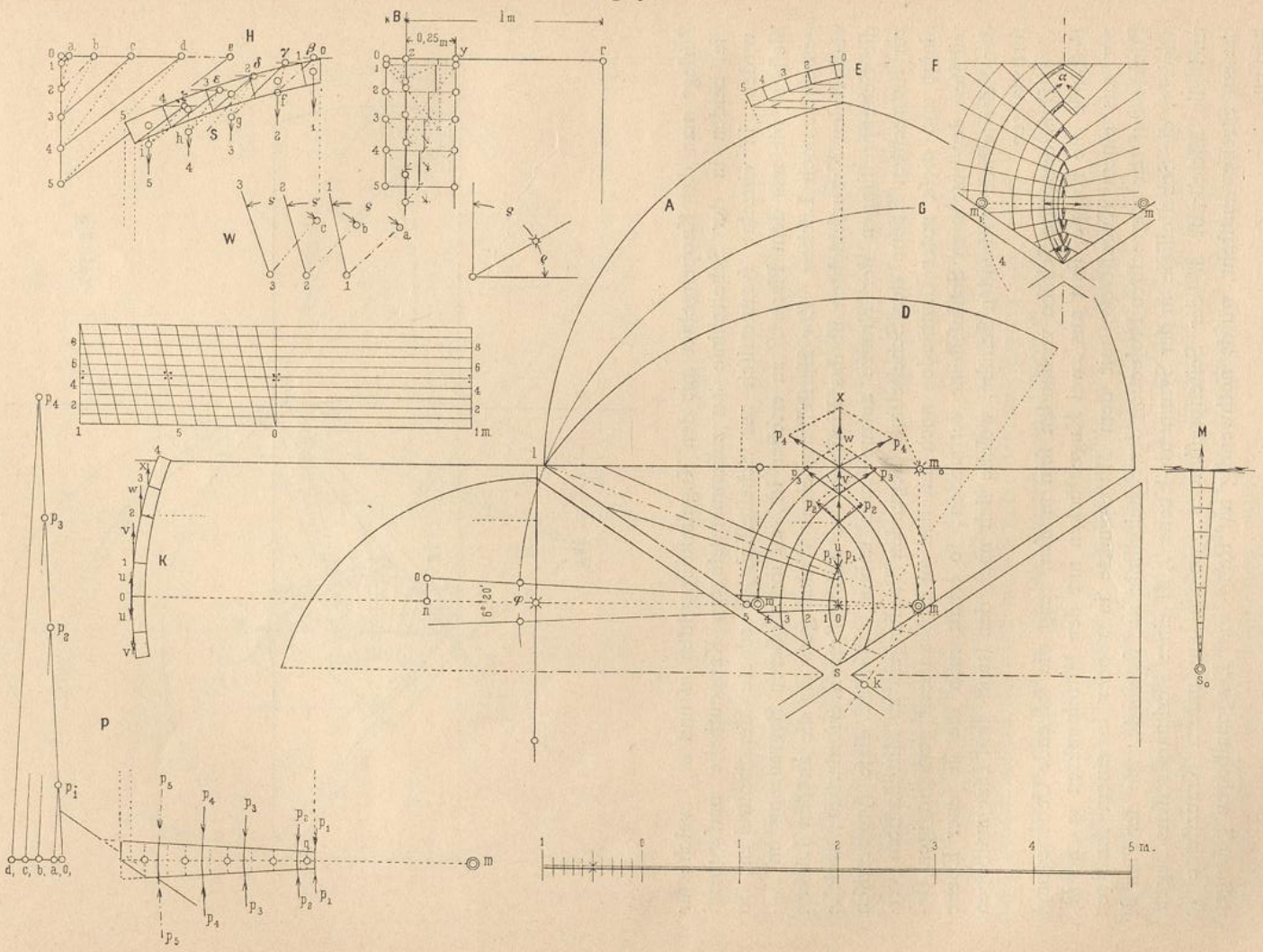


Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten m und $m_,$, welche für die beiden in der Scheitellinie sv zuſammengefügten Kappentheile maſsgebend werden, in einzelne ſymmetriſch zur Scheitellinie geordnete Meridianſtreifen, ſo bleiben, wie aus dem Plane F zu erſehen iſt, an ihrer oberen Begrenzung im Allgemeinen noch Lücken. Zur Herſtellung eines Widerlagers für die an den Lücken endigenden Kranzſchichten iſt das Einfügen von Schluſsſteinen erforderlich, welche die Seitenpreſſungen der Kränze aufzunehmen haben. Werden dieſe ſymmetriſch zur lothrechten Ebene der Scheitellinie liegenden Preſſungen zu Mittelkräften vereinigt und dieſe unter Umſtänden noch mit den an ſich äuſserſt geringfügigen Gewichten der einzelnen Schluſsſteine verbunden, ſo erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche ſich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpflanzen.

Daſs derartige Schübe vorhanden ſein müſſen, zeigt die folgende Ueberlegung. Beſtände die Kappe, ſtatt aus zwei Kugelſtücken mit den Mittelpunkten m und $m_,$, nur aus einem Kugelſtücke mit dem Mittelpunkte in s oder in einem ſonſtigen Punkte auf der wagrechten Projection der Scheitellinie sv, ſo würde, wie der Plan M angiebt, die Scheitellinie in der Symmetrie-Ebene $s_0 M$ eines Meridianſtreifens liegen, und die Mittelkraft M der Seitenpreſſungen, welche am untern Kranzſteine in dieſem Streifen entſteht, würde nothwendig auf Rand- und Diagonalbogen gelangen müſſen.

Für das Gebiet der Scheitellinie, welches in der Zeichnung durch die Fläche $v m_, s m v$ begrenzt iſt, ſind die Wölbkränze o bis 4 angenommen.

Fig. 528.



Der gröfste Meridianftreifen ift p, l mit der Symmetrie-Ebene ml. Sein Winkel φ ift mittels des rechtwinkeligen Dreieckes onm durch

$$\text{tang}\,\frac{\varphi}{2} = \frac{on}{nm} = \frac{0{,}275}{5} = 0{,}055\,,$$

d. h. $\frac{\varphi}{2} = 3^0 10'$ und $\varphi = 6^0 20'$ gefunden.

Die ftatifche Unterfuchung diefes Meridianftreifens ift in den Plänen H und P für 5 Wölbfteine nach der Grundrifs-Projection 05 und der lothrechten Projection E im vergröfserten Mafsftabe ausgeführt.

Um die Strecken für den Rauminhalt, bezw. für die Gewichte der Kranzfteine, welche nur $0{,}12$ m Höhe befitzen, ohne eine befonders grofse Zeichnung anzufertigen, doch in einer Gröfse darzuftellen, welche zur fcharfen grapho-ftatifchen Behandlung geeignet ift, kann man die in Art. 249 (S. 363) näher angegebene Beftimmung folcher Strecken noch mit einer weiteren, beliebig gewählten Vergröfserung in einfacher Weife durch Zeichnung verfehen.

Benutzt man zum Zwecke der Vergröfserung jener Strecken eine befondere Grundlinie zy kleiner als 1 m, alfo ftatt der im Art. 239 (S. 364) in Fig. 441 gezeichneten Strecke zo gleich 1 m, eine weit kleinere Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., fo entfteht nach Gleichung 232 (S. 363) $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$ nunmehr in Rückficht auf die Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{\frac{1}{n}} = \frac{w}{d}$, woraus $w = n\,x\,d$ folgt. Hiernach wird w in n-facher Vergröfserung erhalten. Im Plane H ift $zy = 0{,}25\,\text{m} = \frac{1}{4}\,\text{m}$ gewählt. Da $n = 4$ ift, fo wird w fofort 4-fach vergröfsert dargeftellt.

Da endlich die Bafis $B = 0{,}1 = \frac{1}{10}\,\text{m}$ angenommen wurde, fo ift im Ganzen durch $\frac{1}{n}\,B = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ eine 40-fache Vergröfserung der Strecke für die Rauminhalte der Kranzfteine in der Zeichnung gewonnen.

Im Uebrigen ift die Beftimmung der Rauminhalte, bezw. der Gewichte diefer Steinkörper nach den im Art. 249 (S. 363) gemachten Angaben getroffen.

Soll nun der Rauminhalt v, z. B. des Wölbfteines 3, zahlenmäfsig ausgedrückt werden, fo ift die zugehörige Strecke 23 im Inhalts- oder Gewichtsplane zu meffen. Ihre Länge beträgt $0{,}15$ m. Hiernach ift unter Berückfichtigung der 40-fachen Vergröfserung der Inhalt

$$v = 0{,}15 \cdot \frac{1}{40}\,\text{cbm} = 0{,}00375\,\text{cbm}.$$

Aus dem Grundrifs P des Meridianftreifens ergiebt fich für den Stein 3 durch Meffung eine mittlere Dicke, welche durch den Weg feines Schwerpunktes innerhalb des Streifens beftimmt ift, zu $0{,}125$ m; feine Querfchnittsfläche wird nach dem Plane H zu $0{,}12 \cdot 0{,}25\,\text{qm} = 0{,}03\,\text{qm}$ gefunden; folglich ift fein Inhalt $v = 0{,}03 \cdot 0{,}125\,\text{cbm} = 0{,}00375\,\text{cbm}$, wie vorhin. Wiegt 1 cbm Wölbmaterial, z. B. Backftein, 1600 kg, fo ift das Gewicht des Steines 3 gleich $0{,}00375 \cdot 1600\,\text{kg} = 6\,\text{kg}$.

In Uebereinftimmung mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Gefagten ift unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitäts-Unterfuchung des Meridianftreifens 05 im Plane H auf graphifchem Wege ausgeführt.

Für den erften Stein trifft die Gewichtslinie 1 die durch o geführte Wagrechte im Punkte β. Der Strahl βf, parallel mit dem Schenkel $1a$ des für die Fuge 1 feft gelegten Reibungswinkels $11a$ durch β gezogen, fchneidet die Fuge 1. Zieht man im Plane H den Strahl $1a$ parallel zu βf, bezw. parallel zum Schenkel $1a$ des Reibungswinkels $11a$, fo erhält man in der Strecke ao des Planes a die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines und in $a1$ den Druck auf die Lagerfläche 1. Die Kraftrichtung βf fchneidet die Gewichtslinie 2 im Punkte f.

Ein Strahl $f\gamma$, parallel zur Mittelkraft $a2$ der Kräfte ao und $o2$ geführt, liefert auf der durch 1 gezogenen Wagrechten den Punkt γ. Eine Linie γg parallel zum Schenkel $2b$ des für die Fuge 2 gezeichneten Reibungswinkels $22b$ genommen, trifft wiederum die Fuge 2. Man kann alfo ohne Weiteres auch im Plane H den Strahl $2b$ parallel zu γg oder, was daffelbe ift, parallel zum Schenkel $2b$ des

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Reibungswinkels $22b$ ziehen, um in ba die Mittelkraft der Seitenpreſſungen des zweiten Kranzſteines und in $b2$ den Druck für die Lagerfuge 2 zu erhalten. Beim dritten Kranzſteine ſchneidet die durch g parallel zu $b3$ geführte Kraftſtrecke die durch 2 gezogene Wagrechte im Punkte δ. Der durch δ parallel zum Schenkel $3c$ des Reibungswinkels $33c$ der Fuge 3 gelegte Strahl S trifft die Fuge 3 nicht mehr. Deſshalb muſs zur Beſtimmung der Mittelkraft cb der Seitenpreſſungen des dritten Kranzſteines nach dem in Art. 318 (S. 463) behandelten dritten Falle die von δ ausgehende Kraftrichtung δh durch den tiefſten Punkt der Fuge 3 gelegt werden. Nimmt man hiernach $3c$ parallel zu δh, ſo iſt cb die geſuchte Mittelkraft der Seitenpreſſungen des dritten Kranzſteines und $c3$ der Druck in der Lagerfuge 3. Da für die Fuge 3 der Reibungswinkel $33c$ die Beſtimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinflufſt, ſo kann die weitere Zeichnung der Reibungswinkel für die Fuge 4 u. ſ. f. unterbleiben. Der Strahl δh ſchneidet die Gewichtslinie 4 im Punkte h. Die durch h parallel zur Reſultirenden $c4$ der Kräfte $c3$ und 34 gezogene Gerade $h\varepsilon$ trifft die durch 3 gelegte Wagrechte in ε. Von ε aus braucht man nur einen Strahl εi durch den tiefſten Punkt 4 zu legen, um, nachdem im Plane H durch 4 eine Parallele zu εi gezogen iſt, in der Strecke $d'c$ die Mittelkraft der Seitenpreſſungen des vierten Kranzſteines und in $d4$ die Preſſung in der Lagerfuge 4 zu gewinnen. Fährt man in dieſer Weiſe fort, ſo kommt man an eine Fuge, welche ohne Weiteres bei genügender Gewölbſtärke nicht mehr aufserhalb, ſondern innerhalb ihrer Begrenzungspunkte von den Mittelkräften, wie ſolche in den Strahlen $c4$, $d5$ u. ſ. f. ſich ergeben, geſchnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzſteine keine Beſtimmungen von Seitenpreſſungen mehr ein. Durch einfache Zuſammenſetzung der für die noch folgenden Fugen in Frage kommenden Kräfte, welche im Allgemeinen nicht mehr unmittelbar von dem Reibungswinkel und den Lagerkanten abhängig gemacht werden, iſt alsdann, wie ſich ſpäter bei der Unterſuchung eines gröſseren Kuppelgewölbes noch zeigen wird, die Weiterführung der Stabilitäts-Ermittelungen in Bezug auf die Drücke in den Lagerflächen zu beſorgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte ao, ba, cb, dc der Seitenpreſſungen der Kranzſteine für die im Wölbgebiete vm, smv der Scheitellinie liegenden Ringſchichten bekannt geworden ſind, ſo laſſen ſich dieſe Preſſungen ſelbſt wiederum durch Zeichnung, wie der Plan P kenntlich macht, leicht beſtimmen. Die Preſſungen p_1, p_2 u. ſ. f. liegen in wagrechten Ebenen und ſtehen ſenkrecht zu den Seitenebenen des Meridianſtreifens.

Nimmt man im Plane P die Strecke $o,a,$ gleich der wagrechten Mittelkraft ao für die Seitenpreſſungen am erſten Kranzſteine des Planes H, zieht man $o,p,$ und $a,p,$ parallel zu den ſenkrechten Strahlen $p,$ des Meridianſtreifens m, ſo erhält man in den Strecken $o,p,,$ bezw. $p,a,$ die geſuchten Seitenpreſſungen.

Für den zweiten Kranzſtein iſt $o,b, = ba$ des Planes H. Die Strecken o_1p_2, bezw. p_2b geben die Seitenpreſſungen dieſes Steines u. ſ. f. Sollten die Seitenpreſſungen, z. B. für den dritten Stein, durch Rechnung unter Benutzung der hierfür auf graphiſchem Wege gefundenen Mittelkraft cb des Planes H beſtimmt werden, ſo iſt Gleichung 247 (S. 465) anzuwenden. Man erhält hiernach

$$p_3 = \frac{cb}{\varphi}.$$

Da der Winkel φ zu $6^0 20'$ ermittelt war, ſo iſt die Bogenlänge φ bei einem Halbmeſſer 1 gleich 0,1105. Die Strecke cb mifſt 0,19 Met., bezw. Cub.-Met. Hiernach wird

$$p = \frac{0{,}19}{0{,}1105} = \backsim 1{,}72 \text{ cbm}.$$

Die Zeichnung liefert $p_3 = o_1p_3 = 1{,}75$ cbm.

Die Rauminhalte, bezw. Gewichte ſind jedoch in 40-facher Vergröſserung gezeichnet; mithin iſt $p_3 = \frac{1{,}75}{40} = \backsim 0{,}044$ cbm zu ſetzen, wofür bei Backſteinmaterial ein Gewicht von $0{,}044 \cdot 1600\,\text{kg} = 70\,\text{kg}$ entſteht.

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes vm, smv wirkenden Seitenpreſſungen, wie in Art. 319 (S. 466) und in der Zeichnung angegeben iſt, der Reihe nach zu Mittelkräften u, v, w, x zuſammen, ſo ergiebt ſich aus dem Plane K die Beanſpruchung des Randbogens und der Diagonalbogen durch dieſes in der Scheitelebene sv wirkende Kräfteſyſtem.

Die Vereinigung dieſes Syſtemes mit den, meiſtens jedoch in geringer Gröſse auftretenden, Gewichten der Schluſsſteine der früher erwähnten Lücken α liefert alsdann die in der Scheitelebene sv liegenden reſultirenden Schübe für die Rand- und Diagonalbogen.

Bei Kappen mit ſphäroidiſcher Buſung kann der im Vorhergegangenen erklärte Gang der ſtatiſchen Unterſuchung beibehalten werden. Die gemeinſchaftliche loth-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

rechte Axe der Meridianebenen, welche das Zerlegen der zu unterſuchenden Kappenſtücke in ſchmale Meridianſtreifen angeben, iſt die durch den Gipfelpunkt der kugelähnlichen Kappe geführte Gerade. Der Fuſspunkt dieſer lothrechten Axe kann auf der Kämpferebene des Gewölbes innerhalb oder auſserhalb der zugehörigen Kappe liegen; für das Zerlegen dieſer ſphäroidiſchen Kappen bleiben die in Art. 322 (S. 469) für Kugelkappen angegebenen Maſsnahmen beſtehen.

In gleicher Weiſe iſt auch die ſtatiſche Unterſuchung der Kappen bei den flachen Kreuzgewölben, den Stern- und Netzgewölben, gleichgiltig, ob dieſelben nach reinen Kugelflächen oder nach ſphäroidiſchen Flächen geſtaltet ſind, zu führen.

323. Stärke der Kappen.

Die Stärke der Gewölbekappen kann für die Praxis nach der Gröſse der Preſſungen, welche auf die Stoſs-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden.

Wie aus der ſtatiſchen Unterſuchung des oberen Theiles eines Meridianſtreifens im Plane H in Fig. 528 hervorgeht, ſind für die Beſtimmung der Gewölbſtärke eines Kranzes, bei möglichſt ſtrengem Verfahren, die Abmeſſungen eines Kranzſteines zu berechnen, einmal in Rückſicht auf die normalen Preſſungen der Seitenflächen und ſodann in Bezug auf den Druck ſeiner Lagerfläche. Da es an einer genauen Bekanntſchaft von der wirklich ſtattfindenden Druckvertheilung am gepreſſten Steine und der entſtehenden Formänderung deſſelben mangelt, iſt die bereits in Art. 136 (S. 181) angegebene, auf Erfahrung geſtützte Grundlage für die weitere Durchführung der Rechnung in praktiſcher Beziehung zu verwerthen.

Dem Weſen der ſtatiſchen Unterſuchung der buſigen Kappen der gothiſchen Kreuzgewölbe entſprechend, kann aber bei der Berechnung der Gewölbſtärke nicht, wie bei den cylindriſchen Gewölben, von einem möglichſt kleinſten Werthe eines Horizontalſchubes in einer oberen Scheitelfuge, welcher bei Kuppelgewölben ſogar gleich Null iſt, ſondern nur von der Gröſse der normalen Preſſungen, welche die Stoſs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzſteines beeinfluſſen, füglich die Rede ſein. Deſshalb kann man für die Praxis die Gewölbſtärke nach den für Normaldruck ermittelten Gleichungen 148, bezw. 149 (S. 186) bei der Wölbung aus Quadern, ſo wie nach den Gleichungen 150, bezw. 151 (S. 187) bei Backſteinmaterial von guter Beſchaffenheit beſtimmen. Hierbei hat man, da die Gewölbſtärke in den meiſten Fällen für alle Kranzſchichten gleich groſs genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fuſsfläche des gröſsten Meridianſtreifens einer Kappe kommt. Aber wenn auch dieſelbe Gewölbſtärke nicht durchweg für alle Wölbſchichten, vermöge etwa ſehr ſtark nach dem Fuſse des Streifens anwachſender Drücke, beibehalten werden kann, ſo iſt man mit Hilfe der ſtatiſchen Unterſuchung und der erwähnten Gleichungen doch ſtets in der Lage, für irgend eine Kranzſchicht die Gewölbſtärke ausfindig zu machen.

324. Beiſpiel.

Beiſpiel. So iſt in Fig. 528 (S. 472) für den Stein 3 im Plane H eine normale Preſſung $p_3 = 0{,}044$ cbm gefunden. Die Breite der Kranzſchicht iſt bei der Theilung des Meridianſtreifens 05 zu $0{,}25$ m angenommen; mithin muſs, um die für den Normaldruck bei einer Tiefe gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stoſsflächen des Steines 3 berechnet werden, als

$$N_3 = \frac{p_3 \cdot 1}{0{,}25} = \frac{0{,}044 \cdot 1}{0{,}25} = 0{,}176 \text{ cbm}.$$

Setzt man dieſen Werth in Gleichung 150 (S. 187) für N, ſo ergiebt ſich bei Backſteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}176)\,0{,}176} = 0{,}065 \text{ m};$$

d. h. gleich einer Backſteindicke. In der Zeichnung iſt in Rückſicht auf eine gröſsere Normalpreſſung am Fuſse des gröſsten Meridianſtreifens die Kranzſtärke gleich $0{,}12$ m, gleich einer Backſteinbreite, genommen.

Der Druck $c\,3$ für die untere Lagerfläche des Steines 3 ergiebt ſich, unter Berückſichtigung der 40-fachen Vergröſserung der Kraftſtrecke $c\,3$, im Plane H zu $\frac{0{,}475}{40} = \sim 0{,}012$ cbm.

Nach dem Grundriſs m des Meridianſtreifens iſt die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich $0{,}15$ m. Die aus $c\,3$ für dieſe Fläche entſtehende normale Seitenkraft iſt etwas kleiner als $c\,3$, möge aber hier gleich der Strecke $c\,3$ geſetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu ſtellende Normaldruck für eine Tiefe gleich 1 m

$$N = \frac{0{,}012 \cdot 1}{0{,}15} = 0{,}08 \text{ cbm},$$

alſo kleiner, als der vorhin für die Stoſsflächen berechnete Werth N_3. In dieſem Falle iſt der Werth für N bei der Berechnung der Gewölbſtärke auſser Acht zu laſſen.

Umgekehrt aber iſt bei Kranzſchichten, deren Normalpreſſungen in den Stoſsflächen, die ſelbſt den Werth Null annehmen können, kleinere Gewölbſtärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berückſichtigen.

Hat das Gewölbe auſser ſeinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine ſonſtige ruhende Belaſtung aufzunehmen, ſo iſt dieſe Ueberlaſt, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weiſe zurückgeführt und bei der Lamellentheilung des Meridianſtreifens entſprechend berückſichtigt, bei der ſtatiſchen Unterſuchung eben ſo zu behandeln, wie früher bei den belaſteteten cylindriſchen Gewölben gezeigt wurde.

325. Empiriſche Regeln.

Im Allgemeinen bedürfen die unbelaſteten buſigen Kappen der gothiſchen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der groſsen Mannigfaltigkeit in der Geſtaltung dieſer Gewölbe ſind empiriſche Regeln, welche alle Fälle der verſchiedenen Gewölbeanlagen umfaſſen ſollten, für die Feſtſtellung der Kappenſtärke von keinem Werthe.

Hat das Rippen- und Kappenſyſtem in conſtructiver Beziehung eine richtige, ungekünſtelte Anordnung erfahren, ſo können bei der Verwendung von gutem Backſteinmaterial, welches jetzt vorzugsweiſe zur Wölbung der Kappen benutzt wird, ſorgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgeſetzt, unbelaſtete buſige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm, d. h. $^1/_2$ Backſtein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, ſo beträgt die Kappenſtärke in der Regel nicht unter 20 cm, welche ausnahmsweiſe bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu 10 cm herabſinkt. Bei belaſteten Kappen ſind die angegebenen Stärken zu vergröſsern. Den beſten Aufſchluſs über die anzunehmende Gewölbſtärke wird man immer durch die ohne groſse Mühe auszuführende ſtatiſche Unterſuchung der Kappen erhalten.

3) Stabilität der Gewölberippen.

326. Gewölberippen.

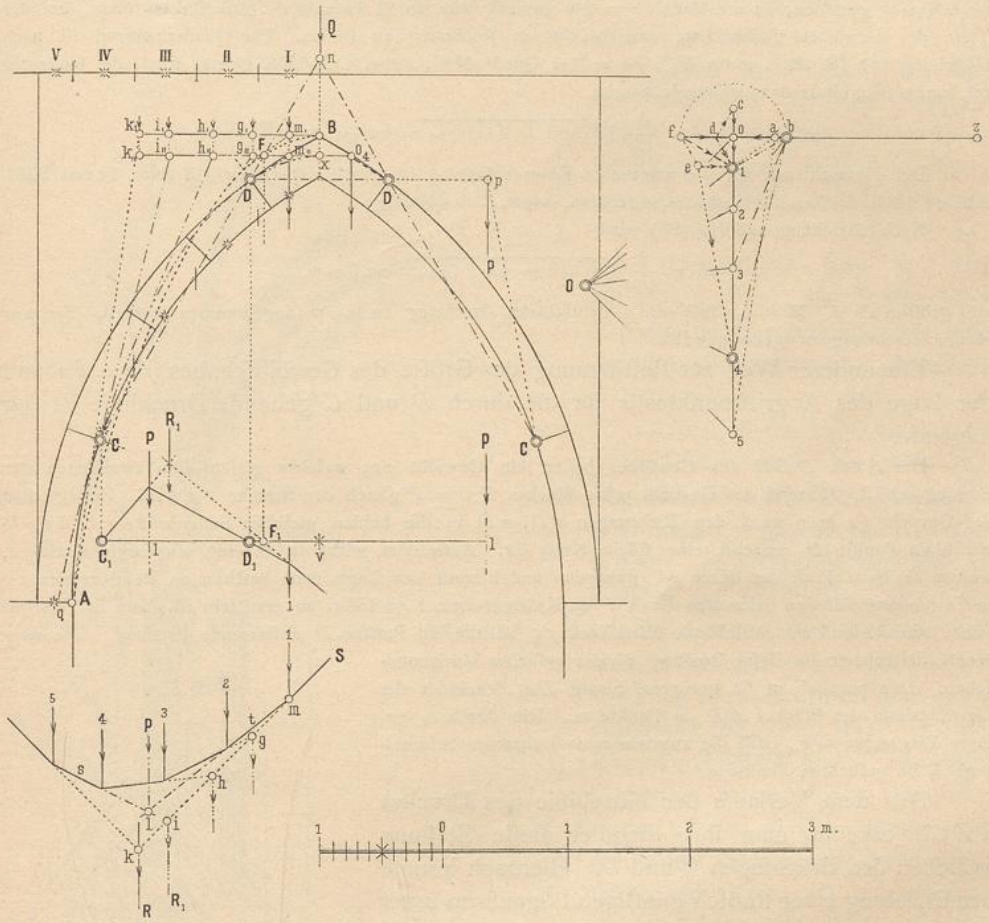
Die Rippenkörper der gothiſchen Kreuzgewölbe ſind in den meiſten Fällen Beſtandtheile cylindriſcher Gewölbe, deren Bogenlinie, abgeſehen von einem Halbkreiſe oder einem Korbbogen, am häufigſten als Spitzbogen mit Kreisbogenſchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derſelben lothrechten Ebene und iſt die Belaſtung beider Bogenſchenkel dieſelbe, ſo bildet der Rippenkörper ein cylindriſches, ſymmetriſch geformtes und ſymmetriſch belaſtetes Gewölbſtück. Eben ſo können auch Rippenkörper in beſonderen Fällen als einſchenkelige Theile eines Spitzbogens und ſomit als einhüftige oder anſteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an ſich Form, Anordnung und Belaſtung der Rippenkörper ſein mögen; ſtets ſind für ihre ſtatiſche Unterſuchung die für die

Ermittelung des Gleichgewichtes cylindrifcher Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtfchnur zu nehmen.

Für die Stabilitäts-Unterfuchung eines fymmetrifch geformten und fymmetrifch belafteten Spitzbogengewölbes ift Fig. 529 als Beifpiel in Betracht gezogen. 327. Spitzbogengewölbe.

Die Tiefe des Gewölbes fei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Theilftreifen *I*, *II* u. f. f. und Beftimmung der Gewichte *o1*, *12* u. f. f. diefer prismatifchen Theilkörper unter Benutzung der Reductions-Bafis $oz = 2$ m, ift unter Annahme eines möglichft kleinften, durch den höchften Punkt *B* der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbfchubes für die Gewölbhälfte *BA*

Fig. 529.



eine Mittellinie des Druckes für die Punkte *B* und den vorderen Punkt *A* der Widerlagsfuge gezeichnet. Diefelbe verläfft jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wölblinie; fie kennzeichnet in den Punkten *D* und *C* zwei Bruchfugen, und folglich ift der für diefe vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontalfchub *ao* noch nicht fähig, den Gleichgewichtszuftand im Wölbfyftem herzuftellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem gröfseren Horizontalfchube behaftet, durch die Punkte *D* und *C* geht und dem entfprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes *x* in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbfchub bedingt.

Zur Auffindung diefer Drucklinie und der Lage des Punktes *x* kann man das in Art. 146 (S. 208) Gegebene benutzen. Hiernach erhält man in der durch *C* und *D* geführten Geraden *Cn* die Polaraxe und im Plane *C, l* unter Verwerthung des Seilpolygons *S* in *F*, die wagrechte Projection des Fixpunktes *F*,

welcher für die Polaraxe Cu in Frage kommt. Durch den Punkt F muſs alſo der Strahl des Seilpolygons $o_4 i_{,,} C$ mit der Reſultirenden $R_{,} = o4$ im Gewichtsplane gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belaſtung der Gewölbſchenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x dieſer durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des geſuchten neuen Gewölbſchubes bo, welcher in ſeiner Gröſse auf bekanntem Wege als Strecke bo mittels des parallel zu $Ci_{,,}$ durch 4 gezogenen Strahles $4b$ erhalten wird. Die mit dem Gewölbſchube bo gezeichnete Drucklinie $xDCq$ verbleibt ganz innerhalb der Stirnfläche AB; mithin iſt der Gewölbſchub bo die nunmehr möglichſt kleinſte Horizontalkraft, welche nöthig und fähig iſt, den Gleichgewichtszuſtand gegen Drehung im Gewölbſyſtem aufrecht zu erhalten. Da eine Gefahr des Gleitens der Steine auf den Fugen nicht bekundet wird, ſo iſt die Stabilitäts-Unterſuchung abgeſchloſſen.

Für die Stärke des Gewölbes iſt zunächſt die Gröſse des Schubes bo zu berückſichtigen. Es iſt $bo = 0{,}47$ m gemeſſen; da die Baſis $oz = 2$ m gewählt war, ſo iſt $bo = 0{,}47 \cdot 2 = 0{,}94$ qm oder, bei der Tiefe des Gewölbes gleich 1 m, mit $0{,}94$ cbm in Rechnung zu ſtellen. Für Quadermaterial iſt nach Gleichung 142 (S. 185), wenn $H = bo = 0{,}94$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met. geſetzt wird, die ſenkrecht zur innern Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 0{,}94)\,0{,}94} = \sim 0{,}22 \text{ m}.$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A iſt gleich der Gewichtsſtrecke $o5$ mal Baſiszahl oz, d. h. $= 2{,}425 \cdot 2 = 4{,}85$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met.

Nach Gleichung 148 (S. 186) wird

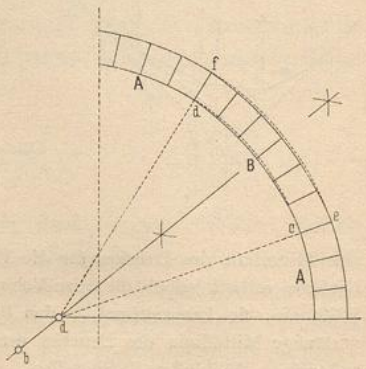
$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 4{,}85)\,4{,}85} = \sim 0{,}28 \text{ m},$$

alſo gröſser als d. Mithin würde die Gewölbſtärke durchweg zu $0{,}28$ m angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu $0{,}30$ m gewählt.

Ein anderer Weg zur Beſtimmung der Gröſse des Gewölbſchubes $fo = bo$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie iſt der folgende.

Das Stück DBD des Gewölbes beſitzt ein Gewicht $c1$, welches gleich dem zweifachen der Strecke $o1$ iſt, während das Gewicht jedes Stückes $DC = P$ gleich der Strecke 14 wird. Zerlegt man das Gewicht $c1$ in n nach den Richtungen nD, nD in die beiden gleichen Seitenkräfte cd, $d1$, ſo wirkt im Punkte D zunächſt eine ſolche Kraft $d1$. Aufserdem wirkt in D eine wagrechte Kraft $e1$, welche als Seitenkraft der durch pC gehenden und hiermit der Lage nach beſtimmten Reſultirenden $e4$ in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräftedreieck $14e$ ſofort zu ermitteln iſt. Die in D wirkſame, aus $d1$ und $e1$ entſtehende Mittelkraft $f1$ iſt die im Punkte D auftretende Preſſung. Die wagrechte Seitenkraft fo dieſer Preſſung iſt der geſuchte Horizontalſchub. Der parallel zu $f1$ gezogene Strahl Do_4 ſchneidet die Gewichtslinie des Stückes BD im Punkte o_4. Die durch o_4 gelegte Wagrechte $o_4 k_{,,}$ trifft die angenommene lothrechte Scheitelfuge B im geſuchten Punkte x.

Fig. 530.



Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes $xDCq$ erkennt man ihre ziemlich ſteile Stellung zwiſchen den Bruchfugen C und D. Hiernach könnte zur Erzielung einer ſtatiſch günſtigen Bogenform unter Umſtänden eine Umgeſtaltung des urſprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, daſs nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*[184]) der mittlere, überwiegende Theil B (Fig. 530) mit einem gröſseren Halbmeſſer bB beſchrieben würde, als die oberen und unteren kürzeren Bogenſtücke A, deren gemeinſchaftlicher Mittelpunkt in a liegt.

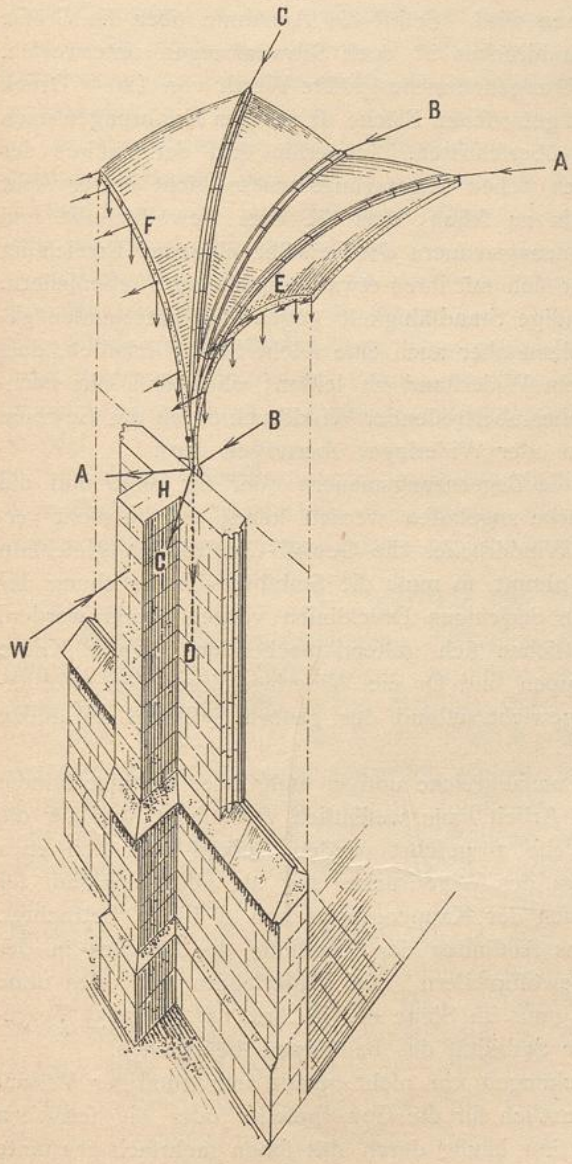
328. Statiſche Unterſuchung.

Iſt das geſammte Rippenſyſtem eines gothiſchen Kreuzgewölbes planmäſsig feſt gelegt, iſt die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

184) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raiſonné de l'architecture française etc.* Band 4. Paris 1866. S. 29.

zufällige Belaſtung des Gewölbes beſtimmt, ſo ſind zunächſt, den in Art. 315 (S. 460) unter α gegebenen Entwickelungen entſprechend, die von den Gewölbekappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Preſſungen zu ermitteln. Sodann ſind die hieraus reſultirenden Kräfte als äuſsere angreifende Kräfte für den Rippenkörper feſt zu ſtellen, und endlich iſt unter Berückſichtigung des Eigengewichtes, einſchlieſslich einer vielleicht vorhandenen beſonderen Belaſtung der Rippen, die eigentliche ſtatiſche Unterſuchung des Rippenſyſtems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogenform doch ihrem Weſen nach ganz in der Weiſe durchzuführen, wie in Art. 253 (S. 375) und 254 (S. 377) bei der Unterſuchung der Stabilität der Gratbogen cylindriſcher Kreuzgewölbe eingehend angegeben und durch Beiſpiele erklärt iſt.

Fig. 531.



329 Stärke der Rippen.

Eben ſo iſt nach der Beſtimmung des für den Rippenbogen entſtehenden Horizontalſchubes, bezw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 148 (S. 185 u. 186), bezw. der Gleichungen 145 u. 150 (S. 186 u. 187) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backſteinen zu berechnen.

330. Winddruck.

Unter beſonderen baulichen Verhältniſſen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölberippen oder auch des geſammten Gewölbſyſtems ein ſtarker Winddruck, welcher auf die Flächen der ſeitlichen Begrenzungen der Gewölbeanlage gelangt, von nachtheiliger Wirkung ſein. Beſtimmt man nach Anleitung von Fig. 531 für die Kappengebiete E und F mit ihrer Gurtrippe B und ihren Diagonalrippen A und C die für eine zugehörige ſeitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbſchübe, ſo läſſt ſich für dieſe den Widerlagskörper H des Gewölbes angreifenden Kräfte an ſich ein ſtandfähiges Widerlager ſchaffen. Wirkt nun aber auf dieſen Widerlagskörper von aufsen der Winddruck ein, deſſen reſultirende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Preſſung W die aus den Gewölb-

ſchüben entſtehende Mittelkraft an Gröſse übertrifft, ſo wird dieſer Ueberſchuſs des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenſchaft ziehen und, durch daſſelbe fliefsend, ſowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulenſyſtem, wie auch ſchliefslich die andere ſeitliche Aufsenmauer des Gewölbgebietes beſonders beanſpruchen. Während dieſes Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berückſichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewiſſenhafte Beſtimmung erſt Aufſchluſs über die nothwendige Stärke dieſer Gewölbtheile zu geben vermag. Mit dieſen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen ſtehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbeanlage in innigem Zuſammenhange. Eine durchweg ſcharfe und genaue Ermittelung dieſer ſämmtlichen Veränderungen iſt aber mit ſo groſsen Schwierigkeiten verknüpft, daſs man nur durch Näherung einigen Aufſchluſs über die erwähnten Einflüſſe des Winddruckes auf das Wölbſyſtem gewinnen wird. Selbſt die Annahme über die Gröſse des in Rechnung zu ſtellenden Winddruckes iſt noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutſchland noch mannigfach angenommene gröſste Werth von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde ſenkrecht getroffenen Fläche iſt neueren Erfahrungen nach bei herrſchenden Stürmen erheblich überſchritten. Immerhin darf der Einfluſs des Windes bei Gewölbeanlagen zwiſchen hohen Begrenzungsmauern nicht auſser Acht gelaſſen werden. Deſshalb iſt dahin zu ſehen, daſs die dem Gewölbſchube und dem Winddrucke ausgeſetzten Begrenzungsmauern der Gewölbeanlage zur Erreichung entſprechender Sicherheit an und für ſich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächſt vollſtändige Standfähigkeit gegen den antretenden geſammten Gewölbſchub beſitzen, ſodann aber auch eine ſolche Stärke erhalten, daſs ſie fähig ſind, dem Winddruck allein Widerſtand zu leiſten, ohne daſs ein nachtheiliger, die Gröſse des Gewölbſchubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe ſelbſt auf die übrigen Gewölbſtützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für dieſe und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelaſſen werden kann, welche nicht verhindert, daſs der Ueberſchuſs des Winddruckes die Gewölb-Conſtruction gleichſam für ſich als Laufbahn in Anſpruch nimmt, ſo muſs die Stabilitäts-Untersuchung der ganzen Anlage durch das Aufſuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittelung der ſämmtlichen ſich geltend machenden äuſseren Kräfte für die Gewölberippen, Gewölbekappen und für die Widerlagskörper den erforderlichen Aufſchluſs über den Gleichgewichtszuſtand des ganzen Syſtemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, ſehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann weſentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weiſe ausgeführt werden, ſobald man den etwa vorhandenen Ueberſchuſs der Gröſse des Winddruckes nur als allein wirkſam für den Gurtbogen B (Fig. 531) zwiſchen der Kappengruppe von E bis F betrachtet. Nach dieſer Annahme läſſt ſich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe B, den vorhandenen Gewölbpfeilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepfeilern, bezw. Strebebogen ganz im Sinne des in Art. 147 (S. 213) Vorgetragenen bewirken und hiernach die Stabilität des Baukörpers beurtheilen.

Stellt ſich bei dieſen Unterſuchungen ein nicht gerade ſehr günſtiger Verlauf der Mittellinien des Druckes, namentlich für die Gewölbpfeiler oder die ſeitlichen Widerlager, heraus, ſo kann man ſehr häufig durch das ſchon mehrfach erwähnte

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens *B*, unter Beachtung des in Art. 143 (S. 197) Gefagten, einen fachgemäfsen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach befondere Vortheile für eine geficherte Standfähigkeit der einzelnen Bautheile erzielen.

331. Empirifche Regeln.

Die äufserft mannigfaltig in gröfster Anzahl ausgeführten gothifchen Kreuzgewölbe zeigen hinfichtlich der Abmeffungen der Rippenquerfchnitte fo grofse Verfchiedenheiten, dafs das Aufftellen empirifcher Regeln für die Beftimmung der Stärke der Gewölberippen zwecklos erfcheinen mufs. Schon die aus architektonifchen Bedingungen hervorgehende Profilirung der Rippen veranlafft häufig einen weit gröfseren Rippenquerfchnitt, als die Preffungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günftigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entftehen.

Nimmt man zunächft eine gewiffenhaft durchgeführte ftatifche Unterfuchung der Gewölberippen vor und beftimmt man hiernach, wie in Art. 139 (S. 193) angegeben wurde, die Stärke der Rippen, fo läfft fich fchliefslich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerfchnittes, die geplante Profilirung deffelben vornehmen.

Oft ergiebt eine folche Unterfuchung allerdings auch fo geringe Querfchnittsgröfsen, dafs die praktifche Ausführbarkeit der Rippen gröfsere Abmeffungen erforderlich macht. Immerhin follte diefe ftatifche Unterfuchung nicht ohne Weiteres von der Hand gewiefen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10 m Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25 cm und, einfchliefslich des Rückenanfatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36 cm. Rippen aus Backfteinen oder befonderen, kleineren oder gröfseren Formfteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis 1½ Stein breit und mit dem Rückenanfatze 1½ bis 2 Stein hoch genommen werden.

Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerfchnitte mit 9 cm Breite und 15 cm Höhe ohne Rückenanfatz. Diefe Abmeffungen dürften felten noch eine weitere Verminderung erfahren.

γ) Stabilität der Widerlager.

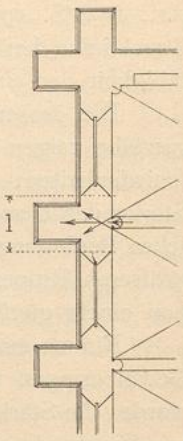
332. Widerlager ohne Strebebogen.

Werden die Umfangsmauern, die hauptfächlichften Widerlagskörper der Anlage eines gothifchen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 298 (S. 431) Gefagten in einzelnen Stützpunkten, mögen diefelben durch Strebepfeiler an fich fchon verftärkt fein oder nicht, durch die Kräfte beanfprucht, welche mit Hilfe der im Vorhergegangenen befprochenen ftatifchen Unterfuchung der Gewölbekappen und ihres Rippenfyftemes ihrer Lage, Gröfse und Richtung nach bekannt werden, fo läfft fich unter Verwendung diefer Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächft von einer befonderen Verfteifung derfelben durch Strebebogen ab, fo erfolgt die Fortführung der Stabilitäts-Unterfuchung und die damit im Zufammenhange ftehende Beftimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphifchen Statik auf demfelben grundlegenden Wege, welcher in Art. 236 (S. 378) zu gleichem Zwecke beim cylindrifchen Kreuzgewölbe gekennzeichnet ift. Beim Feftftellen der Grundrifsfläche des Widerlagskörpers wird die Grundrifslänge *l* (Fig. 532) unter richtiger Würdigung der gefchaffenen Planlage möglichft gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunften des Sicherheitsgrades des Stützkörpers angebahnte Verringerung feines Gewichtes in Rechnung zu ftellen. Die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Gewichtsbeſtimmung, ſo wie die Darſtellung der Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper erfolgt in bekannter Weiſe. Für den Verlauf der Drucklinie iſt zu beachten, daſs zur Erzielung einer entſprechenden Sicherheit die Querſchnittsfläche des Widerlagskörpers dieſe Linie an jeder Stelle innerhalb des ſog. Kernes[185]) des Querſchnittes birgt und daſs aufserdem eine Gefahr in Rückſicht auf Gleiten ausgeſchloſſen bleibt.

Fig. 532.



333. Empiriſche Regel.

Eine hier und dort angegebene empiriſche Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwiſchen $^1/_4$ bis $^1/_7$ der Spannweite der Gewölbe wechſelt, erſcheint, ohne eine Rückſichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerthe angegebenen, weit von einander abſtehenden Grenzen, nicht beſonders beachtenswerth. Eine leicht zu bewirkende Stabilitäts-Unterſuchung der Widerlager befreit von den Maſsnahmen der an ſich oft unſicheren empiriſchen Regeln.

334. Widerlager mit Strebebogen.

Auf etwas anderem, nunmehr zu berückſichtigendem Wege iſt die Stabilitäts-Prüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 299 (S. 432) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinſchaft mit Strebepfeilern als beſondere Stütz-Conſtructionen des eigentlichen Gewölbewiderlagers auftreten ſollen.

Das innere Weſen dieſer Stabilitäts-Unterſuchung ſtimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinſchaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verſchiedener Spannweite und ungleich groſser Belaſtung, welcher in Art. 147 (S. 213) bereits näher behandelt iſt, überein. Der meiſtens in der Form eines einhüftigen Gewölbes erſcheinende Strebebogen ändert die Richtſchnur des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitäts-Unterſuchung von einhüftigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berückſichtigung finden muſs, iſt in Art. 146 (S. 208) erklärt.

Der Gang, welcher bei der ſtatiſchen Unterſuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, ſoll unter Benutzung der Darſtellungen auf neben ſtehender Tafel beſprochen werden.

Der in der lothrechten, als Kräfteebene feſt geſetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers G und des Strebebogens $7o$ wirkende reſultirende Gewölbſchub S der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Geſagten vorweg zu beſtimmen iſt, vereinigt ſich mit dem Gewichte G des in ſeiner Grundriſsfläche und Höhenentwickelung im Gewölbeplane beſtimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft M. Gröſse, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, ſo fern der Gewölbſchub S und das Gewicht G keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach iſt alſo der Strahl Mm, worin die Mittelkraft M wirkt, eine feſte Gerade. Schneidet, wie hier der Fall iſt, dieſer Strahl die als feſt und vollſtändig tragfähig vorausgeſetzte Fuſsebene mf der Widerlagsmauer auſserhalb ihrer Grundfläche im Punkte m, ſo wird die Kraft M den Widerlagskörper um die Kante c drehen.

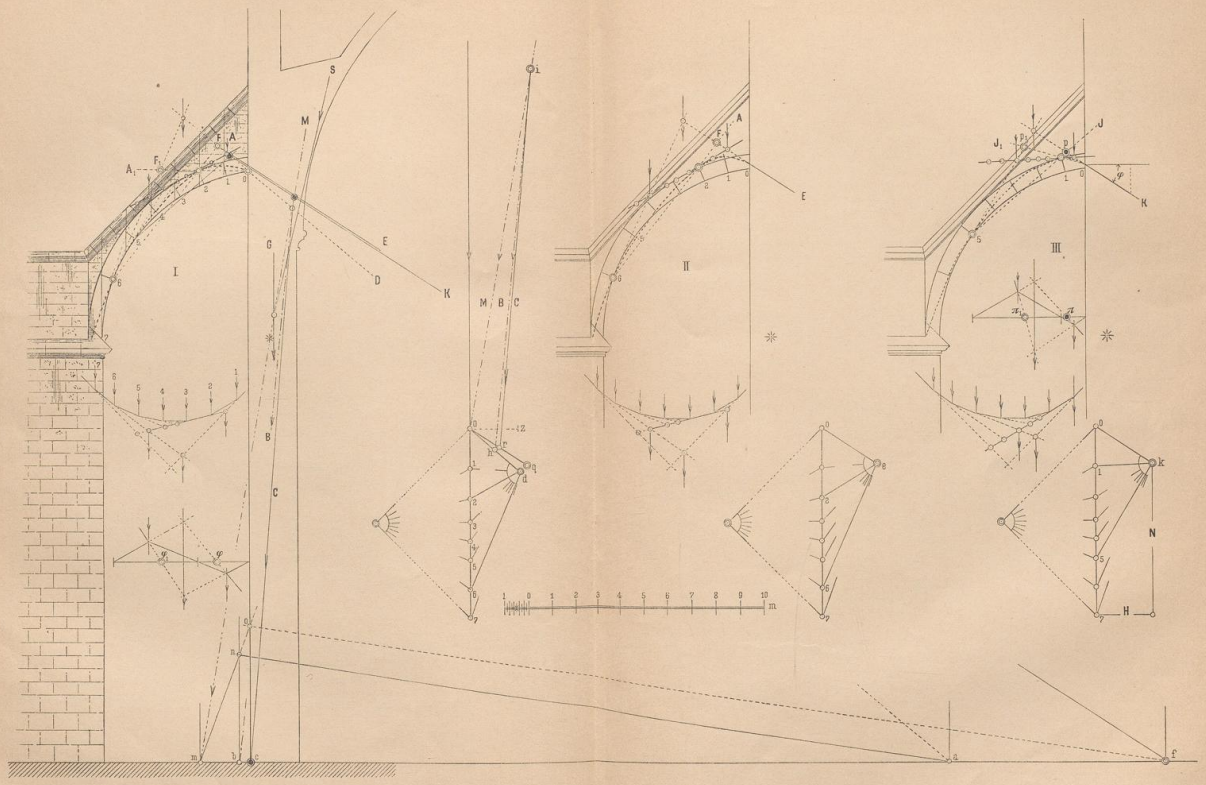
Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen $7o$ mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, ſo können die Einflüſſe, welche dieſer Strebebogen auf das Widerlager ausübt, und umgekehrt, die Einwirkungen, welchen der Strebebogen durch den Gewölbſchub S, bezw. durch die Mittelkraft M unterworfen iſt, in geeigneter Weiſe durch Zeichnung zur Erſcheinung gebracht werden.

Zunächſt iſt die ſtatiſche Unterſuchung des Strebebogens ſelbſt vorzunehmen. Die Tiefe deſſelben ſei gleich $1^{\,m}$.

Unter Einführung einer beliebig gewählten Baſis $oz = 2^{\,m}$ iſt, entſprechend den Angaben in Art. 146 (S. 208), ein Gewichtsplan $o7$ gezeichnet und unter Anwendung der Polaraxen $6A$ und oA_1 mit Hilfe der Fixpunkte F, bezw. F_1 die punktirt dargeſtellte Drucklinie ermittelt, welche einem möglich kleinſten Gewölbſchube $D = do$ zukommt. Dieſelbe verbleibt ganz in der eigentlichen Gewölbfläche des Strebebogens.

185) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88) dieſes »Handbuches«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Statiſche Unterſuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.

Beſitzt der Strebebogen eine gröſsere oder geringere Tiefe, als 1 m, ſo iſt der Gewichtsplan $o\,7$ offenbar nach der Vorſchrift in Art. 249 (S. 363) zu zeichnen. Die übrigen Beſtimmungen erleiden dadurch im Weſen keine Aenderungen.

Der Gewölbſchub D wirkt in der Richtung oD auf das Widerlager ein. Er vereinigt ſich mit M zu einer neuen Mittelkraft B. Um dieſe Kraft im vollſten Einklange mit der gewählten Baſiszahl $oz = 2$ m und mit dem Einheitsgewichte des Wölbmaterials des Strebebogens im Kräfteplane als Linie von richtiger Länge darſtellen zu können, iſt vor allen Dingen die Kraft M, welche aus der ſtatiſchen Unterſuchung des Hauptgewölbes und ſeines zugehörigen Widerlagsſtückes hervorgegangen iſt, im Kräfteplane in genauer Streckenlänge einzutragen. Iſt z. B. die Beſtimmung von M unter Benutzung einer anderen Baſiszahl und unter Berückſichtigung eines vom Einheitsgewichte des Materials des Strebebogens abweichenden Einheitsgewichtes des Materials des Hauptgewölbes oder auch des Widerlagskörpers, wie häufig der Fall iſt, erfolgt, ſo muſs die Länge der Strecke M eben ſo, wie in Art. 256 (S. 378) z. B. für das Feſtlegen des Druckes in einem Gratbogen geſchehen iſt, berechnet werden.

Eine Voruntersuchung und die zugehörige Berechnung haben für M eine Strecke von 30,4 m ergeben. Zieht man im Gewichts-, bezw. Kräfteplane durch o den Strahl io parallel zu Mm und nimmt man die Länge dieſes Strahles von o aus gleich der für M berechneten Strecke, ſo iſt die nothwendige Vereinigung von gleichartigen, auf eine und dieſelbe Reductionsbaſis oz und auf daſſelbe Baumaterial zurückgeführten Kräftelinien erreicht. In der Zeichnung iſt zur Vermeidung der weit hinauf gehenden Linienſtrecke von 30,4 m ein beſtimmter Theil, hier nur die Hälfte 15,2 m für io aufgetragen, und eben ſo iſt auch dem gemäſs die Strecke od des Schubes D in h halbirt, wodurch offenbar die Beſtimmung der Lage der Mittelkraft B aus M und D nicht beeinflusſt wird. Die Gröſse von B iſt hierbei gleich dem Zweifachen von ih.

Führt man im Plane I durch den Schnitt des Strahles D mit der feſt liegenden Geraden M die Parallele Bb zu ih des Kräfteplanes, ſo trifft dieſelbe die feſte Fuſsebene mf ebenfalls noch in einem auſserhalb der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkte b. Hierdurch zeigt ſich, daſs der einer Minimal-Drucklinie des Strebebogens $7o$ zukommende Gewölbſchub D vom Gewölbſchube S des Hauptgewölbes, bezw. von der Kraft M noch weit überwunden wird. Der Schub D iſt noch nicht im Stande, den Gleichgewichtszuſtand des gemeinſchaftlichen Widerlagers gegen Drehung hervorzubringen.

Sieht man vorläufig von einem Höherlegen des ſonſt unverändert zu laſſenden Strebebogens an der Widerlagsmauer ab, ſo folgt weiter, daſs durch die Einwirkung von S, bezw. M im Strebebogen ein gröſserer Gewölbſchub herrſchen muſs, wenn derſelbe fähig ſein ſoll, das Drehbeſtreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Auffuchen dieſes gröſseren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächſt in Rückſicht auf eine Grenzlage, wonach die aus M und dieſem Schube entſtehende Mittelkraft genau durch die äuſserſte Kante c der Grundfläche des Widerlagers geht, iſt in Uebereinſtimmung mit den Erörterungen in Art. 147 (S. 213) durch die Seilpolygone mna und mof der auch in dem dort Vorgetragenen erwähnte, bedeutungsvolle feſte Punkt f auf der Fuſsebene des Widerlagers ermittelt. Zieht man nun durch f und durch den Fixpunkt F der unverändert gelaſſenen Polaraxe A des Strebebogens einen Strahl E, ſo muſs in demſelben ein Gewölbſchub herrſchen, welcher, wenn mit ihm eine Drucklinie im Strebebogen entſteht, die ganz innerhalb der Gewölbfläche deſſelben bleibt, in Gemeinſchaft mit M eine durch die Kante c gehende Reſultirende liefert.

Im Plane II iſt Aufſchluſs über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche einem in der Richtung fF wirkenden Schube E von der Gröſse eo angehört, gegeben. Die Polaraxe A mit dem Fixpunkte F iſt ohne Weiteres aus dem Plane I übertragen. Die auf bekanntem Wege gezeichnete Mittellinie des Druckes verläſſt jedoch die Stirnfläche des Strebebogens oberhalb der Rückenlinie zwiſchen den Fugen 1 und 2 und unterhalb der Wölblinie in der Nähe der Fuge 5 in merkbarem Abſtande. Hieraus folgt, daſs der Gewölbſchub $E = eo$ in der angewieſenen Lage und mit der gefundenen Gröſse nicht fähig iſt, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens verläuft. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchfugen oberhalb des Stückes $o2$ und in der unteren Kante der Fuge 5. Berückſichtigt man ferner, daſs unter Beachtung dieſer Bruchfugen dennoch im Allgemeinen ein noch möglich kleinſter Gewölbſchub des Strebebogens eintreten kann, welcher, mit der Kraft M zuſammengeſetzt, eine Reſultirende giebt, welche durch die Kante c der Grundfläche des Widerlagers geht, ſo hat man nach dem Plane III eine neue Mittellinie des Druckes aufzuſuchen, welche durch den höchſten Punkt der als Bruchfuge angenommenen Fuge 1, durch den tiefſten Punkt der zweiten Bruchfuge 5 zieht, und welche auſserdem einem Gewölbſchube zukommt, deſſen Richtung durch den feſten Punkt f der Fuſsebene mf geht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Beſtimmt man auf der durch 5 und durch den höchſten Punkt der Fuge 1 gelegten Polaraxe $\mathfrak{Y}$ nach Art. 146 (S. 208) den Fixpunkt p mittels der Projection π; zieht man im Plane I, nachdem auch hier die Lage des Punktes p nach Plan III eingetragen und ſtark ausgeprägt wurde, durch dieſen Punkt und durch f der Fuſsebene mf den Strahl K: ſo iſt alles Nothwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane III zeichnen zu können. Für dieſelbe ergiebt ſich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher beſtimmten zweiten Polaraxe $\mathfrak{Y}_1$, welche durch den Angriffspunkt der Kraft K auf der Fuge o und durch den höchſten Punkt der Bruchfuge 1 gezogen werden muſs, nebſt ihrem Fixpunkte p_1, deſſen Projection in π_1 ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darſtellung dieſer Drucklinie benutzt werden können. Dieſelbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens. Die Gröſse ihres Gewölbſchubes K wird im Gewichtsplane der Darſtellung III als Strecke ko erhalten. Ueberträgt man ko in Lage und Gröſse nach dem Gewichtsplane der Hauptdarſtellung I als qo, halbirt man, weil io die Hälfte der Kraft M angiebt, auch qo in r und zieht man den Strahl ir, ſo muſs die durch den Schnitt von K mit M zu ir gezogene Parallele C genau durch den Punkt c der Kante der Widerlagsfläche gehen. Hierdurch wird bekundet, daſs der Strebebogen, ſobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbſchub die Lage K annimmt und deſſen Gröſse gleich $ko = qo$ iſt, fähig wird, den Grenzzuſtand des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Kante c der Grundfläche des Widerlagers herbeizuführen.

Soll der Punkt c mehr in das Innere dieſer Grundfläche, z. B. bis in den nach c zu gelegenen Kernpunkt des Querſchnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahin gehend angeſtellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch gröſserem Gewölbſchub für den Strebebogen möglich iſt, wobei die aus M und dem neuen Gewölbſchube entſtehende Mittelkraft ſich durch dieſen Kernpunkt legt; ſo iſt die Durchführung dieſer Unterſuchung, unter Ermittelung eines neuen feſten Punktes, ſtatt des für die Lothrechte co beſtimmten Punktes f in der Ebene mf, ganz in dem Sinne des Vorgetragenen zu bewirken.

Iſt in jedem einzelnen Falle die dem Gleichgewichte gegen Drehung entſprechende Mittellinie des Druckes gezeichnet, ſo iſt bekanntlich auch noch zu prüfen, ob dieſelbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entſpricht.

Namentlich kommt hierbei der Neigungswinkel φ der Kraft K mit der Normalen zur Anſatzfuge o des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da dieſer Winkel die Gröſse des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überſchreiten darf, ſo muſs, wenn die an ſich unveränderliche Lage des Gewölbſchubes K eine Ueberſchreitung der Gröſse dieſes Reibungswinkels bekunden ſollte, die Anſatzfuge o in ihrer Neigung in dem Maſse abgeändert werden, daſs eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden iſt. Für die übrigen Fugen tritt unter Umſtänden gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwiſchen den Wölbſteinen ein.

Die Stärke des Strebebogens iſt nach der Beſtimmung des Schubes K mittels des leicht nach Plan III zu findenden wagrechten Gewölbſchubes H, bezw. des Normaldruckes N für die am ſtärkſten gepreſſte Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Eben ſo macht die Stabilitäts-Unterſuchung des Strebepfeilers, welcher die Stütze des Strebebogens bildet, bei dem Bekanntſein des Schubes K keine Schwierigkeiten.

335. Anſatzhöhe der Strebebogen.

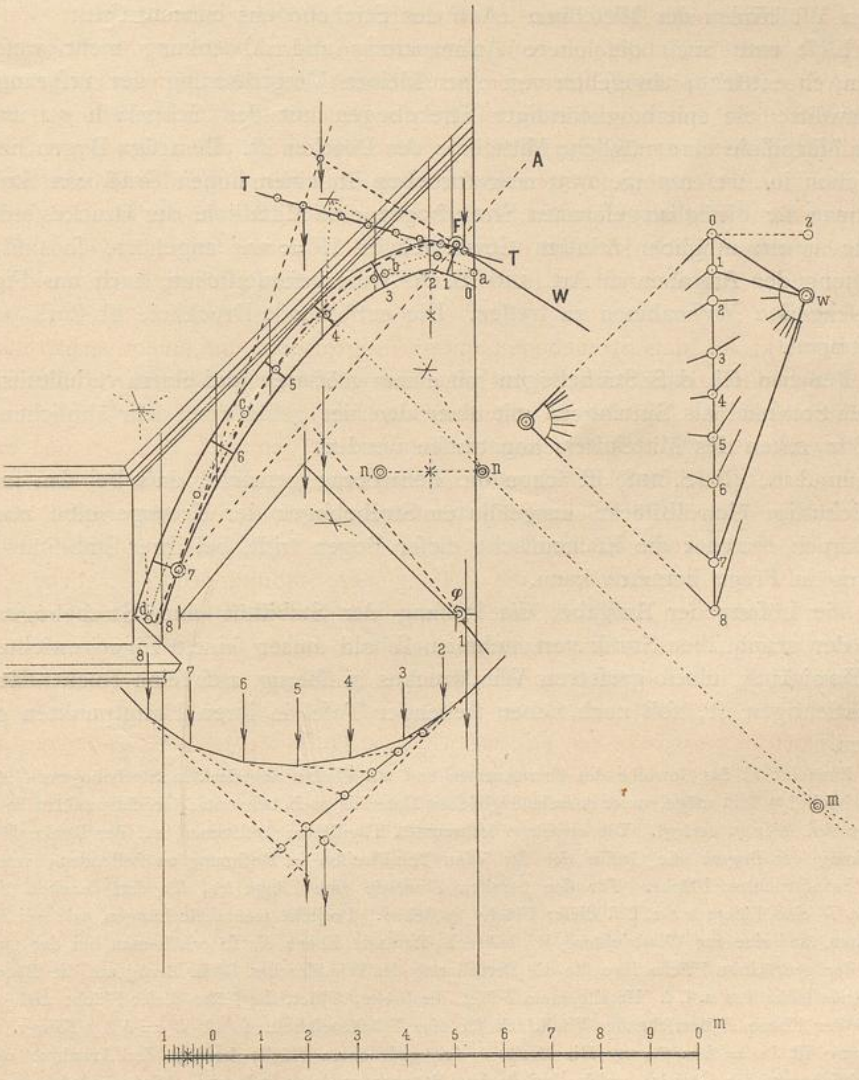
Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinſchaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanſpruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anſatzhöhe des Strebebogens geltend gelaſſen. Man erkennt aber aus der Darſtellung I auf der Tafel bei S. 482, daſs bei einem lothrechten Verſchieben des Strebebogens $o7$ an der äuſseren lothrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgeſtaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umſtänden auch der Gewölbſchub D, welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbſchüben des Strebebogens am kleinſten iſt, fähig ſein kann, bei ſeiner Zuſammenſetzung mit der Kraft M eine Reſultirende zu liefern, welche durch den Punkt c oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt c einen Strahl parallel zu Bb, bezw. ih ziehen, ſo müſste, im Allgemeinen genommen, dieſer Strahl die feſte Linie Mm in einem Punkte ſchneiden. Legte man durch dieſen Schnitt auf der Geraden Mm die Parallele zu der Richtung des

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Schubes D, ſo würde dieſelbe die neue Lage des Anſatzpunktes o des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in ſeiner Geſammtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei dieſer Verſchiebung eine durch die Kräfte S, G und D verurſachte Drucklinie ganz in der Fläche des Widerlagskörpers, bezw. innerhalb des Gebietes der Grenzlinien der Kernflächen ſeines Querſchnittes, ſo iſt auch hierdurch die Standfähigkeit des Syſtems bekundet. Bei vielen Bauwerken der deutſchen und franzöſiſchen Gothik findet man ſehr hoch an der Widerlagsmauer angeſetzte Strebebogen.

Werden zwei über einander liegende Strebebogen zur Abſteifung eines gemeinſchaftlichen Widerlagers angeordnet, ſo läſſt ſich die zugehörige Stabilitäts-Unterſuchung eines ſolchen Bauſyſtems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen ſchrittweiſe, ohne beſondere Hinderniſſe anzutreffen, ebenfalls vollziehen.

Fig. 533.



336. Umgeſtaltung der Strebebogen.

Die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Gewölbſchub K conſtruirte Mittellinie des Druckes nähert ſich einer Parabel, bezw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchſten Punkte der Bruchfuge *1* aus die beiden ſeitlichen Aeſte etwas ſpitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 533 dieſe Mittellinie des Druckes als Mittellinie *abcd* der Wölbfläche eines Strebebogens an und ſucht man, wie leicht geſchehen und aus der Zeichnung näher erſehen werden kann, die Mittelpunkte *m* für den Bogen von *d* durch *c* bis zur Fuge *4* und *n*, bezw. n_1 für die durch *b* und *a* gehenden Bogen, ſo läſſt ſich mit groſser Genauigkeit der Linienzug *abcd* durch einen am Scheitel ſpitzbogenförmig zuſammentretenden Korbbogen erſetzen. Behält man die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 533 in der Weiſe bei, daſs dieſelbe je zur Hälfte ſtets normal zum Korbbogen *abcd* nach oben und unten abgetragen wird, ſo ſind die aus den bezeichneten Mittelpunkten beſchriebenen, die Wölbſtärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie *abcd* des Strebebogens concentriſch.

Läſſt man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht weſentlich ändern, ſo entſteht, abgeſehen von einer kleinen Vergröſserung der urſprünglichen Spannweite, ein ſpitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln *02* und *28*, deſſen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes iſt. Derartige Bogen beſitzen, wie ſchon in Art. 127 (S. 153) ausgeſprochen iſt, einen hohen Grad von Stabilität. Will man für dieſen umgeformten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinſten Gewölbſchube $W = wo$ angehört, ſo ſind unter Befolgung der Angaben in Art. 146 (S. 208) die erforderlichen, auch aus Fig. 533 zu erſehenden Maſsnahmen zu treffen. Die entſtehende Drucklinie iſt ſtark punktirt eingetragen.

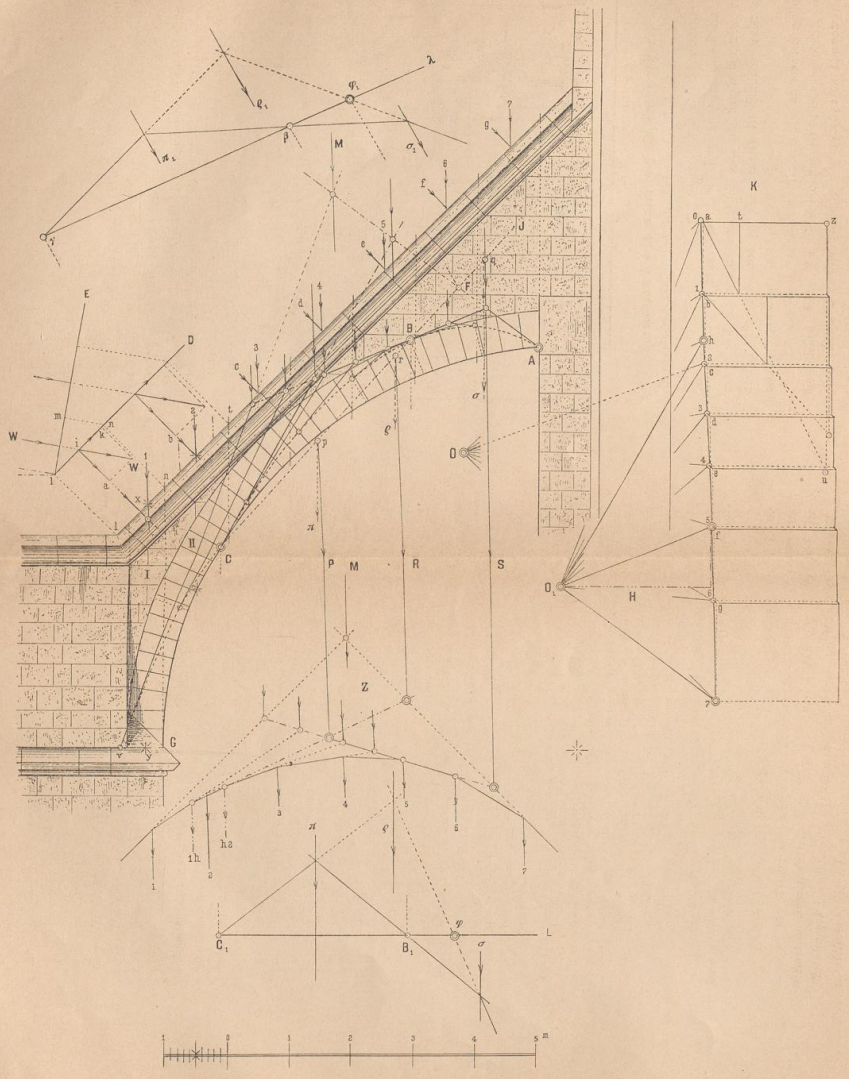
Bemerkt ſei, daſs Strebebogen mit einem gröſseren und einem verhältniſsmäſsig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen ſehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

337. Winddruck bei Strebebogen.

In Art. 146 (S. 208) iſt ſchon die Bemerkung gemacht, daſs bei den meiſtens als einhüftige Gewölbſtücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche dieſer Bogen trifft, bei ihrer Stabilitäts-Unterſuchung in Frage kommen kann.

Die Löſung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphiſchen Statik vorzunehmen, ſobald auſser ſeinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines gröſseren Winddruckes in Bezug auf ſeine Rückenfläche zu berückſichtigen iſt, ſoll nach neben ſtehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

Zunächſt iſt das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, deſſen Tiefe gleich 1 m ſein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Geſichtspunkten in ſchmale Theilſtreifen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lothrechten Theillinien beſtimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Gröſse der für jeden Theilſtreifen in Rechnung zu ſtellenden, vom Winddruck beanſpruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *ln*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. ſ. f. dieſer Fläche entſtehen. Projicirt man dieſe Längen, wie bei *D* und *E* geſchehen, auf eine zur Windrichtung *W* ſenkrecht ſtehende Ebene *E*, ſo erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *lm* u. ſ. f. Iſt allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe dieſer Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrſchende Winddruck für eine Flächeneinheit, ſo iſt $W = b\,h\,p$ Kilogr. In der Zeichnung iſt $lm = h = 0{,}9$ m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rückſicht auf die Gewalt, welche bei ſtarken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu



Statiſche Unterſuchung eines Strebebogens unter Berückſichtigung des Winddruckes.

die Strebebogen meiſtens zu zählen ſind, ausgeübt wird, möge $p = 300\,\text{kg}$ für $1\,\text{qm}$ gerechnet werden. Hiernach wird $W = 1 \cdot 0{,}9 \cdot 300 = 270\,\text{kg}$. Für den Strebebogen kommt die ſenkrecht zu ſeiner Rückenebene D wirkende Seitenkraft ia in Frage[186]). Dieſelbe ergiebt ſich zu $216\,\text{kg}$.

In gleicher Weiſe ſind die lothrechten Drücke b, c, d u. ſ. f. des Windes für die übrigen Theilſtreifen beſtimmt. Dieſe Drücke ſetzen ſich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Theilſtreifen zu einzelnen Mittelkräften zuſammen. Im Kräfteplane K ſind dieſelben unter Anwendung einer Baſis $az = 2\,\text{m}$ als $o1$, 12 u. ſ. f. bis 7 zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei iſt jedoch die Länge der Kräfteſtrecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt iſt, durch die Abmeſſung x Met. Höhe eines Steinprismas darzuſtellen, welches daſſelbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens beſitzt, deſſen rechteckiger Querſchnitt eine Breite von ſtets gleich $1\,\text{m}$, ſonſt aber eine Länge gleich der gewählten Maſszahl $2\,\text{m}$ der Baſis az des Gewichtsplans K erhält.

Wiegt $1\,\text{cbm}$ des Wölbmaterials $2400\,\text{kg}$, ſo iſt hiernach die Strecke oa des Planes K, welche die Gröſse des ſenkrecht auf der Rückenfläche des Theilſtreifens vorhandenen Winddruckes gleich $216\,\text{kg}$ angeben muſs, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als $oa = x = 0{,}045\,\text{m}$. Die Linie oa, parallel zu ia gezogen, hat dieſe Länge erhalten. Mit derſelben wurde das Gewicht $a1$ des erſten Theilſtreifens I, deſſen Breite als at, deſſen mittlere Höhe als $xy = zu$ gegeben iſt, nach bekannter Reduction auf die Baſis az, zu der Reſultirenden $o1$ zuſammengeſetzt. In ganz gleicher Weiſe ſind alle übrigen Theilſtreifen behandelt.

Im Plane des Strebebogens ſind die für die einzelnen Theilſtreifen aus Winddruck und Gewicht entſtehenden Mittelkräfte als 1 parallel $o1$, 2 parallel 12 u. ſ. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet; und es iſt für dieſelben unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon Z feſt gelegt. Nach einer vorläufigen Prüfung über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche unter der Einwirkung der ermittelten, im Allgemeinen in nicht paralleler Lage auftretenden Kräfte für den möglich kleinſten Gewölbſchub des Strebebogens entſteht, ſind in A, B und C Punkte von Bruchfugen erhalten. Dieſe können für die weitere Durchführung der graphiſch-ſtatiſchen Unterſuchung zunächſt benutzt werden.

Bei der Anwendung der ſog. Fixpunkt-Methode ſind entweder durch B und C oder durch B und A Polaraxen zu führen. Hier iſt durch die Punkte B und C eine Polaraxe $\mathfrak{J}$ gelegt. Für das Stück AB des Strebebogens ergiebt ſich mit Hilfe des Seilpolygons Z eine reſultirende Kraft S gleich und parallel der Verbindungsgeraden 5 bis 7 im Kräfteplane K. Für das Stück CB iſt P die Reſultirende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden h bis 5 im Plane K. Die Mittelkraft R aus P und S iſt parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten h und 7 des Gewichtsplans K. Um für die nicht einander parallelen Kräfte P und S mit ihrer Mittelkraft R ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte A, B und C zu legen, kann man zur Beſtimmung des Fixpunktes F auf der Polaraxe $\mathfrak{J}$ das folgende Verfahren einſchlagen.

Man bringt die Strahlen P, R und S mit der Polaraxe $\mathfrak{J}$ in p, r und q zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte P, R, S in dieſen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade $C\mathfrak{J}$ fallend und ſonſt parallel zu einer beliebig gewählten Axe CC_1 genommen, ſo mögen die Geraden π, ρ und σ, nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projicirt man die Punkte B gleichfalls parallel zu CC_1 auf eine beliebig von C_1 ausgehende, jedoch die Strahlen π, ρ und σ ſchneidende Axe L, ſo läſſt ſich ganz auf dem in Art. 146 (S. 208) angegebenen Wege die Projection φ des geſuchten Fixpunktes F auf der Axe L ermitteln.

Projicirt man φ parallel zu CC_1 nach F auf $\mathfrak{J}$, ſo iſt nunmehr wiederum ganz im Sinne von Art. 146 (S. 208) die Mittellinie des Druckes für den Strebebogen GA zu beſtimmen.

Hätte man das Auffinden des Fixpunktes F unter Benutzung der Axen $C\gamma$ und $\gamma\lambda$ bewirken wollen, ſo ſind die Seitenkräfte von P, R und S, welche nicht in die Polaraxe $C\mathfrak{J}$ fallen, von p, r und q aus parallel $C\gamma$ als π_1, ρ_1 und σ_1 feſt zu legen und B parallel $C\gamma$ auf λ nach β zu projiciren, um alsdann in üblicher Weiſe auch den Punkt φ_1 auf λ als Projection von F zu erhalten.

Wird ſtatt der durch B und C gelegten Polaraxe $\mathfrak{J}$ eine durch A und B geführte Gerade als Polaraxe angenommen, ſo iſt das Auffinden des auf dieſer Axe gelegenen Fixpunktes ganz nach den für die Polaraxe $\mathfrak{J}$ gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte B der Gewölbſchub $O_1 5$, bezw. $5 O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens iſt die wagrechte Seitenkraft H von $O_1 5$, bezw.

---

186) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21) dieſes »Handbuches«.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am ſtärkſten gepreſſte Wölbfuge in bekannter Weiſe zu verwerthen.

Die punktirt eingetragene Mittellinie des Druckes $A\,B\,C$ u. ſ. f. durchſchneidet die Rückenlinie des Strebebogens in der Nähe und in geringer Höhe über der Widerlagsfuge G. Ihr Endpunkt v liegt bereits im Körper des für den Strebebogen erforderlichen Strebepfeilers. Will man dieſe Lage von v nicht als gerade günſtig anſehen, ſo kann man ſachgemäſs die Stärke des Strebebogens nach dem Widerlager zu etwas über v hinaus vergröſsern.

338. Gewölbepfeiler.

Die Gewölbepfeiler, Mittel- oder Zwiſchenpfeiler, bilden die Stützen für an einander gereihte Gewölbeanlagen. Sie haben den Gewölbſchub von den in gröſserer Zahl am Pfeiler zuſammentretenden oder ſich anſchmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben ſich die wagrechten Seitenkräfte der ſämmtlichen Gewölbſchübe auf, vereinigen ſich alle lothrechten Seitenkräfte derſelben zu einer Mittelkraft, welche mit der lothrechten Axe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zuſammenfällt, ſo hat der Querſchnitt des Pfeilers nur eine ſolche Gröſse nöthig, daſs unter Berückſichtigung ſeines eigenen Gewichtes der Pfeiler nicht zerdrückt, bezw. nicht zerknickt wird. Dieſe durch die geſammte Gewölbeanlage bedingte günſtigſte Beanſpruchung der Pfeiler tritt aber in Folge der in mannigfaltigem Wechſel ſtattfindenden Gewölbedurchbildung im Ganzen ſelten ein. Die Gewölbſchübe der Gurt-, Scheide-, Kreuz-, Zwiſchenrippen u. ſ. f. wirken meiſtens in ſich kreuzenden geraden Linien, liefern alſo, wie ſchon in Art. 293 (S. 427) erwähnt iſt, ein im Raume gelegenes Kräfteſyſtem, welches im Weſentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem reſultirenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In ſolchen Fällen hat, in ſtatiſcher Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäſsigſten und einfachſten unter Einführung beſonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn ſelbſt treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben groſsen Querſchnitt zu erhalten, eine Geſtaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaares herbeiführt und welche zuläſſt, daſs die nun verbleibende Mittelkraft der Gewölbſchübe, mit dem Eigengewichte des Pfeilers vereint, einen günſtigen Verlauf der Drucklinie im Pfeilerkörper hervorruft. Die hier erwähnte Uebermauerung wird als vorzügliches Hilfsmittel meiſtens Platz greifen müſſen, ſo bald durch die Ausmittelung der Gewölbſchübe eine ungünſtige Beanſpruchung der Gewölbepfeiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölberippen nach höher oder geringer aufſteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günſtige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rückſicht auf die architektoniſche Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszuſchlieſsen iſt.

Eine ſorgfältig durchgeführte ſtatiſche Unterſuchung der Gewölbekappen und des Rippenſyſtems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbepfeiler treffen. Ihre Vereinigung zu einer gemeinſchaftlichen Mittelkraft allein oder zu einer Mittelkraft nebſt einem reſultirenden Kräftepaare läſſt ſich nach den Lehren der Statik unmittelbar bei der Stabilitäts-Unterſuchung der Pfeiler in den Vordergrund bringen. Durch ihre Verbindung mit den Gewichten der nach Lage und Gröſse geeignet geſchaffenen Uebermauerungen der Gewölbe, namentlich der trichterartigen Gewölbezwickel über den Pfeilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Anſätze am Pfeiler, läſſt ſich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität dieſer Gewölbepfeiler vornehmen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

9) Ausführung der gothiſchen Kreuzgewölbe.

339. Gewölbekappen.

Für die praktiſche Ausführung der gothiſchen Kreuzgewölbe, ſowohl der einfachen, als auch der Stern- oder Netzgewölbe iſt unter 7 (S. 435) ſchon eine gröſsere Zahl von wichtigen Anhaltspunkten gegeben, welche namentlich für die zwiſchen ſelbſtändigen Rippen zu wölbenden Kappen zu beachten ſind.

340. Zellengewölbe.

Eine beſondere Ausführung der Kappen macht ſich dagegen bei einer Gruppe von Kreuz-, beſonders Netzgewölben ohne ſelbſtändig hergerichtete Rippenkörper geltend, welche den Namen »Zellengewölbe« führen. Die Laibungsflächen dieſer Gewölbe gehören geraden Kegelflächen an, deren Baſis-, bezw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchſchneiden ſich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer beſonderen Firſt- oder Zellenkante, welche in Gemeinſchaft mit den beiden von den Rippenlinien ſattelförmig aufſteigenden Wölbflächen die Geſtaltung von falten- oder zellenartigen Gewölbekappen bedingt. Hierbei ſind für jede Rippenlinie zwei gerade Kegelflächen vorhanden, welche in dieſer Linie eine gemeinſame Leitlinie beſitzen. Die Spitzen dieſer Kegel liegen auf den in einer einzigen Geraden zuſammenfallenden Kegelaxen ſymmetriſch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmeſſer der Baſislinie gleichen Abſtande.

Daſs ein Verhauen der als Wölbſteine benutzten Backſteine bei den ſog. rippenloſen Gewölben thunlichſt zu vermeiden iſt, läſſt ſich bei den vorzugsweiſe in den Oſtſeeländern während des Mittelalters ausgeführten Zellengewölben, deren Kappen ſelbſt bei einer reichen Durchbildung [187]) im Allgemeinen nach geraden Kegelflächen angeordnet ſind, erkennen. Da die Stellung der ſchmalen Wölbſchichten in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebenen zur gemeinſchaftlichen Baſislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äuſserſt einfach erfolgen kann, da aufserdem die Lagerkanten alsdann Seitenlinien dieſer Kegel bleiben; ſo ſchlieſsen die für ſich zuſammentretenden Lagerkanten vermöge der vorhin bezeichneten ſymmetriſchen Anordnung der Kegelſpitzen an jeder Stelle eines Normalſchnittes am Rippenbogen einen rechten Winkel ein. Ein beſonderes Zuſchärfen oder ein umſtändliches Verhauen der Backſteine iſt alſo im Gegenſatz zu der Einwölbung auf Schwalbenſchwanz-Verband nicht erforderlich.

Da die Anwendung der Zellengewölbe bei Deckenbildungen der Neuzeit nicht auszuſchlieſsen iſt, ſo ſoll für die Geſtaltung und Einwölbung dieſer intereſſanten Gewölbe in Fig. 534 das Nähere angegeben werden. Der im Grundriſs quadratiſch genommene Raum $abcd$ iſt durch die ſtark ausgezogenen Rippenlinien ae, ah u. ſ. f. nebſt den Scheitellinien eg, hf zunächſt im Sinne von Art. 286 (S. 416) mit einer einfachen Netzgewölbbildung verſehen.

Die ſämmtlichen Rippenlinien ae, ah u. ſ. f. ſind beliebige Kreisbogen B mit gleichem Halbmeſſer βa. Die Randbogen ab, bc u. ſ. f. ſind Spitzbogen mit Schenkeln A, deren Halbmeſſer αb gleichfalls beliebig angenommen iſt.

Die Mittelpunkte α, β dieſer Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet bfq treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie A für bq und der Leitlinie D für bz mit dem Halbmeſſer δb gleich βa des Bogens B zuſammen. Die Spitze des Kegels für bq iſt S im Lothe αS auf bc, wobei $\alpha S = \alpha b$, während die Spitze des Kegels für bf der Punkt S_1 des Lothes δS_1 auf $b\delta$ iſt. Auch hierbei muſs $\delta S_1 = \delta b$ genommen werden.

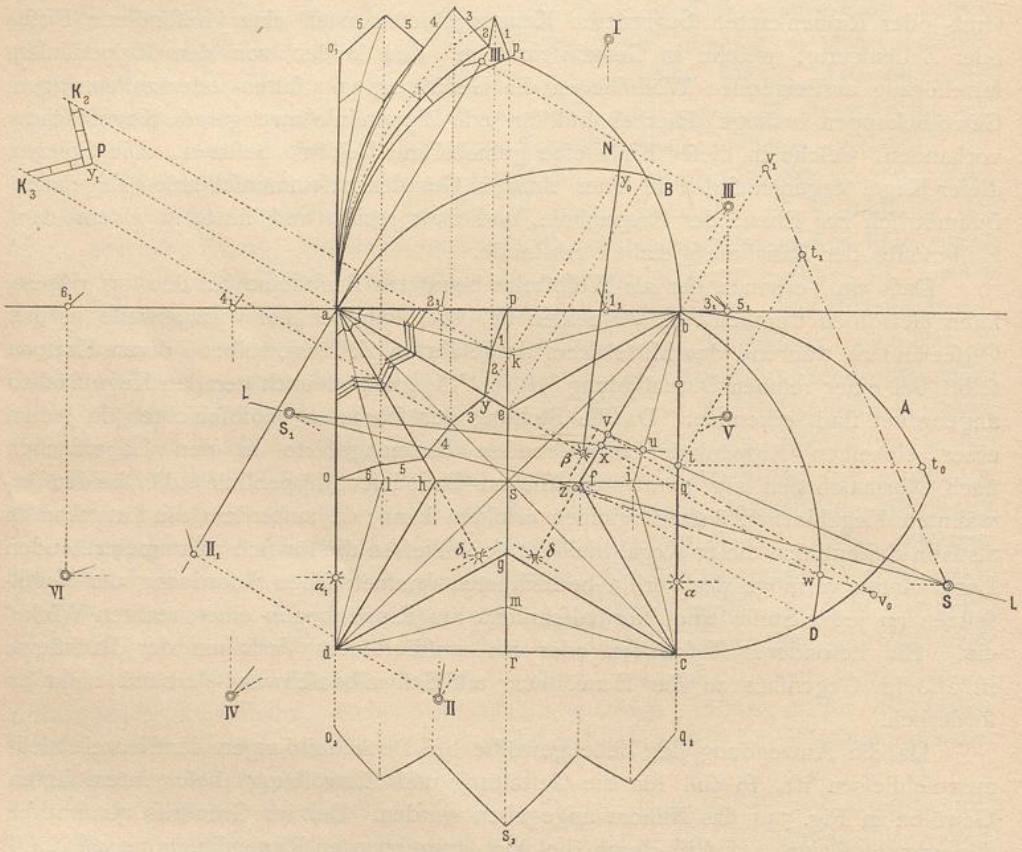
187) Siehe auch: Bisanz. Studie über ein Zellengewölbe. Allg. Bauz. 1888, S. 30.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Beide Kegelflächen, deren Leitlinien A und D hier verfchiedene Halbmeffer befitzen, durchfchneiden fich nach einer in der wagrechten Projection dargeftellten Linie bi, welche die Grundrifs-Projection der Zellenkante der Kappe bfq liefert. Die Linie bi ift im vorliegenden Falle noch in einzelnen Zwifchenpunkten, wie z. B. in u, näher zu beftimmen. Verbindet man die Spitzen S und S_1 der beiden für A und D in Betracht kommenden Kegelflächen durch eine Gerade LL, fo kann diefelbe als Drehungsaxe einer Ebene angefehen werden.

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, fchneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diefe ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelflächen. So ruft eine um LL gedrehte Ebene auf der Kegelfläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projection Sv ift, hervor. Der

Fig. 534.



Durchftofspunkt $v_{,,}$ diefer Seitenlinie mit der lothrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens bf liegt um $vv_0 = vv_{,,}$ wie ohne Weiteres mit Hilfe des verlängerten Strahles St_1, für welchen $tt = tt_0$ ift, gefunden wird, über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Die durch LL und Sv gehende Ebene fchneidet die Ebene des Bogens D in der Geraden zv_0, welche wiederum den Bogen D im Punkte w trifft. Die wagrechte Projection des Punktes w ift der Punkt x auf bf. Durch x und S_1 mufs die Seitenlinie $S_1 x$ gehen, welche durch die bezeichnete Ebene LSv auf der Kegelfläche für die Leitlinie D entfteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie $S_1 x$ mit der Seitenlinie Sv ift die wagrechte Projection eines Punktes der Zellenkante bi. In gleicher Weife können beliebig viele Punkte der Grundrifs-Projection diefer Zellenkante beftimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäfsig geftalteten Netzes $aebfcgdh$ gehören gerade Kegelflächen mit vollftändig gleichen Leitlinien (Rippenlinien) an. Die wagrechten Projectionen der aus

dem Durchſchneiden der einzelnen Kegelflächen entſtehenden Zellenkanten werden gerade Linien as, bs, cs und ds, welche im vorliegenden Falle als Halbirungslinien der Winkel eah, ebf u. ſ. f. mit den Diagonalen des Grundriſſes zuſammenfallen.

Sind die ſämmtlichen Grundriſs-Projectionen der Zellenkanten eingetragen, ſo laſſen ſich die Lagerkanten der Wölbſchichten der einzelnen Kappen mit Hilfe der wagrechten Projectionen der Spitzen der Kegelflächen, welche für die Gewölbekappen maſsgebend geworden ſind, im Grundriſs feſt legen.

So iſt zur Erfüllung der Vorſchrift, wonach die Lagerflächen der Wölbſchichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, ſtets Normalebenen zu dieſer Rippenlinie angehören ſollen, für einen Punkt y_0 einer Wölbſchicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufriſsſpur βN und der wagrechten Spur $II\,\beta\,III$ beſtimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebenen des Bogens B unverändert.

Den zuſammengefügten Kappenſtücken ake und ase entſpricht dieſelbe Leitlinie B, beſchrieben mit dem Halbmeſſer βa. Für das Stück ake iſt die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt II, welcher auf der wagrechten Spur $II\,\beta\,III$ der Normalebene βN im Abſtande βII gleich dem Halbmeſſer βa des Bogens B liegt. Die Gerade βII iſt die Kegelaxe. Eben ſo iſt $\beta III = \beta II = \beta a$ die Kegelaxe für das Kappenſtück ase und III die Spitze der zugehörigen Kegelfläche. Die Grundriſs-Projection des Punktes y_0 iſt y. Zieht man durch y von II aus den Strahl yz im Kappenſtücke ake und eben ſo von III aus den Strahl $y3$ im Kappenſtücke ase, ſo ſind in den Linien 2 und 3 die wagrechten Projectionen der Lagerkanten einer Wölbſchicht der Normalebene $y_0 N$ gefunden. Iſt nun der Bogen B mit den Theilpunkten der einzelnen Wölbſchichten nach den Backſteindicken verſehen, ſo kann, unter Verfolgung des für den Punkt y_0 angegebenen Weges, die geſammte Schar der Lagerkanten der Wölbſteine des Kappengebietes $akesa$ gezeichnet werden.

Die wirkliche Geſtalt des Normalſchnittes βN iſt im Plane P dargeſtellt. In demſelben iſt $ay_1 = \beta y_0 = \beta a$. Die Lagerkante $y_1 K_2$ geht erweitert durch den Punkt II_1, während die Lagerkante $y_1 K_3$ nach III_1 gerichtet iſt. Da $ay_1 = a\,II_1 = a\,III_1$ iſt, ſo ſteigen die Kanten $y_1 K_2$ und $y_1 K_3$ unter 45 Grad zur lothrechten Ebene ay_1 des Rippenbogens B an, bilden alſo in y_1 einen rechten Winkel $K_2 y_1 K_3$.

Um den Zug der Lagerkanten 2 und 3 für die übrigen angrenzenden Kappengebiete akp, ash, ahl und alo im Grundriſs fortſetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwickelungen nur nöthig, die Axen und Spitzen der entſprechenden Kegelflächen in der Grundriſs-Projection zu beſtimmen.

So erhält man für das Stück akp die Gerade $1, I = 1, a = b\alpha$ als Kegelaxe und I als Kegelſpitze. Zieht man vom Schnitte der Kante 2 mit der Zellenkante ak aus den Strahl 1 nach I, ſo iſt die wagrechte Projection der Lagerkante 1 im Gebiete akp im Zuſammenhange mit dem Zuge $2,3$ erhalten. Für die Lagerkante 4 iſt IV, für 5 iſt V und für 6 iſt VI, wie aus der Zeichnung ſofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufriſs-Projection $p, 1\,2\,3\,4\,5\,6\,o$, des bezeichneten Zuges der zuſammengehörigen Lagerkanten ergiebt ſich unter Benutzung der Aufriſs-Projectionen der einzelnen Kegelſpitzen 1_1, 2, u. ſ. f. bis 6, nach Maſsgabe der Zeichnung, welche alsdann auch die eigenthümliche, aber ſehr einfache Zellenbildung des Gewölbes noch näher erkennen läſst.

Da alle in Anwendung kommenden Kegelflächen vollſtändig beſtimmt ſind, ſo können auch die Austragungen der in der lothrechten Ebene oq enthaltenen Kegelſchnitte im Zuge o, s, q, und ſomit die wirklichen Bildungen der Zellenkanten über oh, hf und fq leicht vorgenommen werden.

Die gegebenen Regeln für die Geſtaltung der Zellengewölbe über quadratiſchem Grundriſs finden auch Anwendung bei rechteckigen, ſonſtigen regelmäſsigen und bei unregelmäſsigen Grundriſſen.

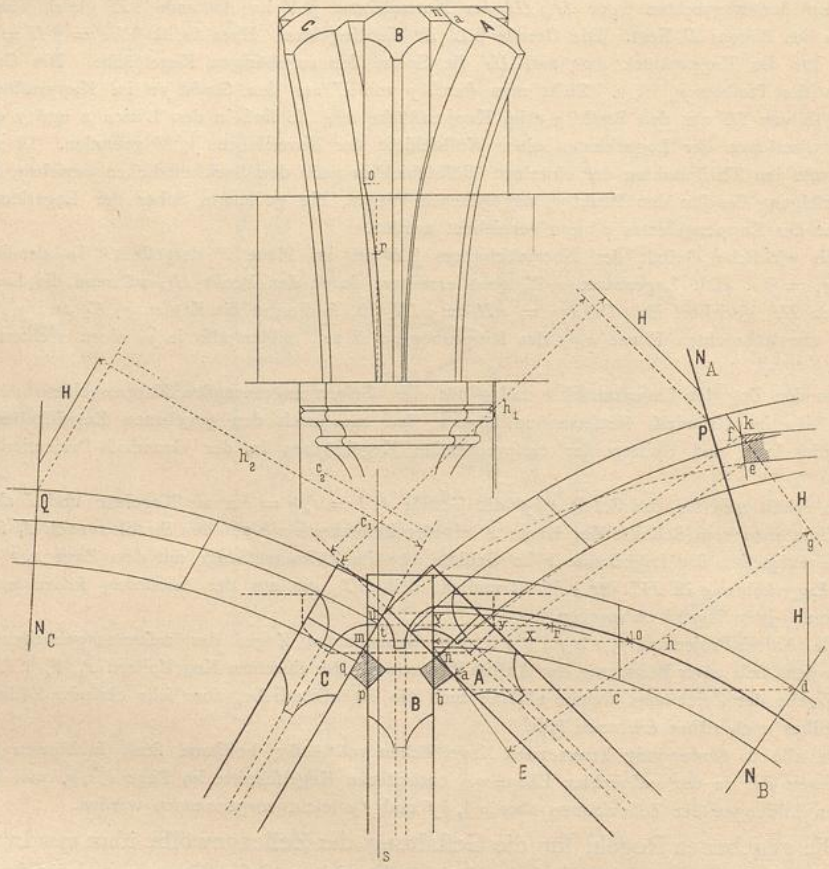
Für die Ausführung dieſer Gewölbe ſind vorzugsweiſe Backſteinmaterial und gut bindender Mörtel zu benutzen. Lehrbogen ſind nur für die Rippen-, bezw. Randbogen nöthig. Die Kappen werden freihändig gemauert und hierbei ergeben ſich die Zellenbauten ohne Weiteres. Ueber den Zellenkanten läſst man die einzelnen Schichten, ſo lange ſie noch unter einem Winkel zuſammenſtoſsen, welcher ihr Ineinandergreifen geſtattet, nach Art des Schwalbenſchwanz-Verbandes vermauern, während bei einem faſt nach gerader Linie erfolgenden Zuſammentreten der Schichten nur ein einfaches Zuſammenſtoſsen der Steine vorgenommen wird.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Gewölbeanfätze an den Ecken des Raumes werden am zweckmäfsigften als Quaderanfänger, etwa mit einer Höhe von 1,0 bis 1,5 m über der Kämpferebene aufhörend, angefertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meiftens nur $^1/_2$ Backftein. Zur Vermeidung fehr weit gefpannter Zellenkappen, welche, abgefehen von der Einführung einer gröfseren Stärke, ein zu bedeutendes Divergiren der Lagerkanten veranlaffen, ift das Syftem der Rippenlinien fo anzuordnen, dafs fich verhältnifsmäfsig kleine Zellengebiete geltend machen.

Als Wölbmaterial für die Kappen dienen von den künftlichen Baufteinen hauptfächlich gute Backfteine, voll oder durchlocht, ferner fog. poröfe Backfteine

Fig. 535.



von nicht zu geringer Feftigkeit und aufserdem die fehr gefchätzten, meiftens 25 cm langen, 12 cm breiten und 10 cm dicken, bei Andernach am Rhein angefertigten fog. Schwemmfteine.

Von den natürlichen Baumaterialien gelangen leichtere Sand- und Kalkfteine, kryftallinifche Schiefergefteine und die Tuffe, fobald damit ein freihändiges Wölben möglich ift und ihre Anfchaffung billiger wird, als die der Backfteine, zur Verwendung.

Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein forgfältig zubereiteter, verlängerter Cementmörtel.

341. Rippen.

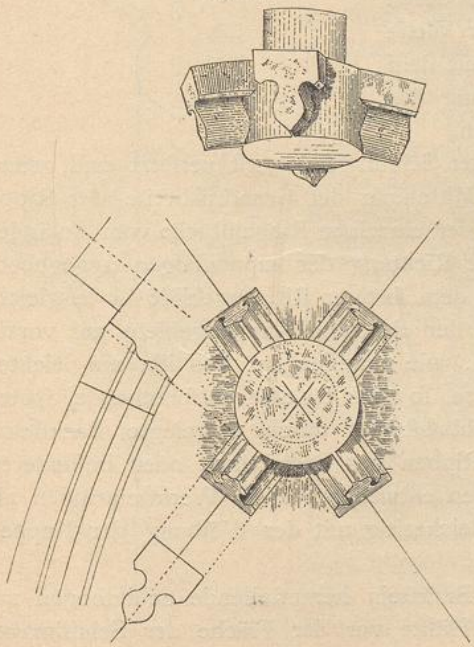
Für die Rippen ſind ſtets, mögen dieſelben aus Backſteinen oder aus Werkſtücken ausgeführt werden, Lehrbogen zur Unterſtützung aufzuſtellen. Letztere ſind möglichſt einfach, jedoch in ſich kräftig und tragfähig nach den im Allgemeinen auch hier geltenden Leitſätzen in Art. 152 (S. 220) herzurichten und ſachgemäſs zu unterlagern. Iſt für ein ausgedehnteres Rippenſyſtem eine Vereinigung mehrerer Lehrbogen erforderlich, welche das Aufſtellen eines Mönches oder Mäklers bedingen, ſo iſt das in Art. 265 (S. 385) in Bezug auf die Lehrbogen der Grate cylindriſcher Kreuzgewölbe Geſagte zu beachten.

Die Einrüſtung und Ausführung der Rippen muſs ſtets für eine gröſsere Zahl, mindeſtens drei, der benachbarten Gewölbefelder vorgenommen werden; auch iſt ſorgfältig durch Anbringen von Abſteifungen ein Verſchieben der Rippen, bezw. der Gewölbetheile, ſobald das Einwölben der Kappen beginnt, in den noch nicht mit Wölbung zu ſchlieſsenden Feldern zu verhüten. Werden die Rippen aus Werkſtücken angefertigt, ſo erhalten dieſelben eine Länge von 0,5 m bis etwa 1,0 m. Die Anfänger zuſammentretender Werkſteinrippen ſind zweckmäſsig aus einem gröſseren Quader herzuſtellen, an welchem in geeigneter Weiſe die Rippen- und auch die Kappenanſätze angearbeitet werden. In Fig. 535 iſt ein ſolcher Anfänger für eine Querrippe B und zwei Kreuzrippen A und C, welche von der Umfangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei über einander liegenden Schichten gegeben.

Die untere Schicht iſt durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche H im Abſtande $h = h_1 = h_2$ über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebenen N_A, N_B, N_C beſtimmten Anſatzflächen der Rippen A, B, C und Kappenanſätze, wie n, zeigt. Die Ausmittelung dieſer Anſatzflächen kann ohne Schwierigkeit unmittelbar aus der Zeichnung entnommen werden.

Eben ſo werden die Schluſsſteine der im Scheitel des Gewölbes zuſammentretenden Rippen als ſelbſtändige Werkſtücke in mannigfachſter, oft äuſserſt reicher, ſelbſt phantaſtiſcher Art als beſondere volle oder durchbrochene Werkſtücke gearbeitet. In Fig. 536 iſt ein einfacher Schluſsſtein mit cylindriſchem Kern und beſonders angearbeiteten Rippenanſätzen dargeſtellt. Der Durchmeſſer des cylindriſchen Kernes iſt ſtets ſo groſs zu nehmen, daſs ein häſsliches Ineinanderſchneiden der Begrenzungslinien oder der Seitenflächen der Rippen vermieden wird. Häufig werden, wie Fig. 537 angiebt, auch die Rippenprofile an den Seitenflächen des cylindriſchen Kernes mit angearbeitet. Die Anordnung, Form, Ausſchmückung der Schluſsſteine iſt der gröſsten Freiheit unterzogen worden. Gleiche Maſsnahmen können bei den gemeinſchaftlichen Zwiſchenſtücken ſich kreuzender Rippen der Stern- und Netzgewölbe getroffen werden. Die Bauwerke der Gothik bieten hierfür eine ganz erhebliche Anzahl von Beiſpielen.

Fig. 536.

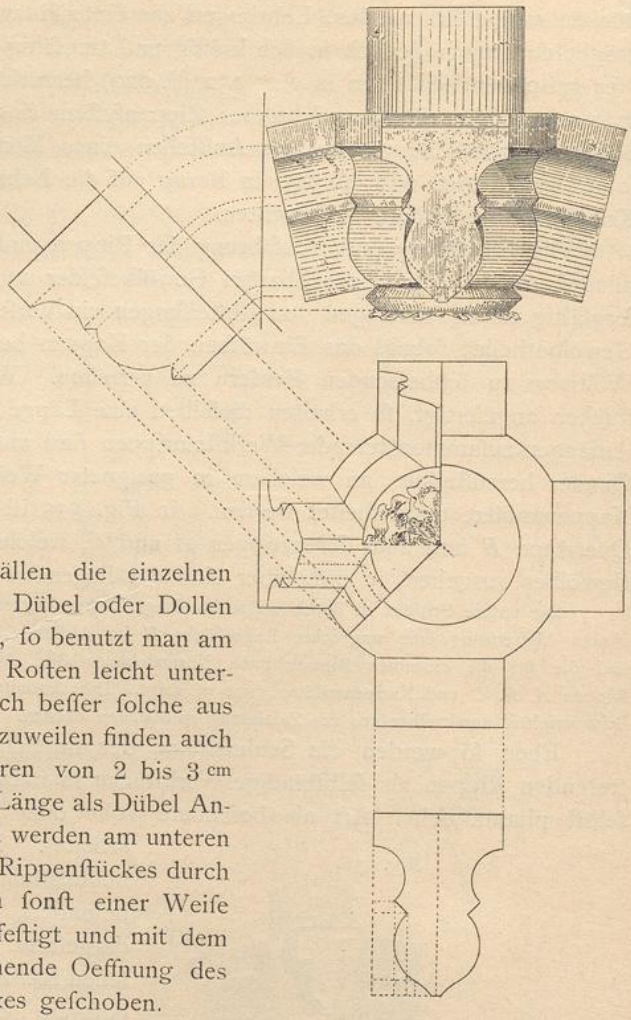


Für das Verſetzen der Werkſtücke der Rippen iſt das Einlegen dünner Blei-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

platten bei den Fugenflächen ſehr zweckmäſsig. Dabei treten die Ränder der Bleiplatten überall um 1 cm ringsum von den Kanten der zuſammentretenden Lagerflächen der Rippenſtücke zurück. Hierdurch entſteht eine ringsum laufende, 1 cm tiefe, offene Fuge, die ein durch Kantenpreſſungen ſonſt leicht erfolgendes Abſplittern von Kantentheilen möglichſt verhindert. Beim Verſetzen der Rippenſtücke in Mörtel findet das in Art. 170 (S. 246) Vorgetragene Berückſichtigung.

Fig. 537.



Sollen in beſonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch ſog. Dübel oder Dollen mit einander verbunden werden, ſo benutzt man am beſten, ſtatt der eiſernen, dem Roſten leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, noch beſſer ſolche aus Kupfer, Bronze oder Meſſing; zuweilen finden auch Meſſingröhren oder Kupferröhren von 2 bis 3 cm Durchmeſſer und 10 bis 12 cm Länge als Dübel Anwendung. Die einzelnen Dübel werden am unteren Lagerflächentheile eines oberen Rippenſtückes durch Einbleien, Eingypſen oder in ſonſt einer Weiſe der Hälfte der Länge nach befeſtigt und mit dem freien Theile in eine entſprechende Oeffnung des darunter liegenden Rippenſtückes geſchoben.

Bei Werkſteinrippen wird meiſtens der Schluſsſtein zuerſt verſetzt und genau gerichtet. Durch genaues Vorreiſsen der Mittellinie der Grundriſsbreite der Rippe auf ihrem Lehrbogen wird beim Verſetzen der einzelnen Rippenſtücke vom Anfänger aus die in ſorgſamſter Weiſe zu wahrende Richtung der Rippenbogen angegeben.

Das Einwölben der Kappen zwiſchen dem fertigen Rippengebilde iſt in gleichmäſsigem Fortſchritte von allen Anfängen der einzelnen Kappengebiete aus vorzunehmen. Zeigt ſich bei dieſem Einwölben, wie zuweilen der Fall iſt, ein leichtes Heben der Rippen nach dem Schluſsſteine zu, ſo muſs für eine entſprechende, ſpäter wieder zu beſeitigende Belaſtung des Schluſsſteines durch aufgelegte Backſteine rechtzeitig geſorgt werden. Werden die Rippen aus Backſteinen oder beſonderen Formſteinen ausgeführt, ſo können dieſelben entweder wie die Werkſteinrippen als ſelbſtändige Bogen behandelt oder auch gleichzeitig mit der Wölbung der Kappen hergerichtet werden.

Sollen beſondere, aus Quadern oder Backſtein herzuſtellende Schildbogen angeordnet werden, welche demnächſt zur Hälfte vor der Fläche der Schildmauer

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

liegen ſollen, ſo ſind in dieſer Mauer ſchon während ihrer Ausführung die zur Aufnahme der rückliegenden Hälfte dieſer Schildbogen erforderlichen Nuthen oder Falze zu bilden. Solche Falze ſind auch für die Anſatzflächen der an die Schildmauern tretenden buſigen Kappen zu ſchaffen. Nach Schluſs der Gewölbe findet ein Uebergieſsen mit dünnflüſſigem Kalk- oder Cementmörtel zur Erzielung eines vollſtändigen Schluſſes der hier und dort mit Lücken behafteten Fugen des Wölbmauerwerkes ſtatt. Etwa anzubringende Ausmauerungen der Gewölbzwickel oder Uebermauerungen der Rippen, Pfeiler u. ſ. f. ſind in regelrechtem Verbande herzuſtellen. Ueber die Zeit der Ausführung, über die Maſsnahmen der Trockenhaltung, ſo wie über die Ausrüſtung der gothiſchen Kreuzgewölbe ſind alle in Kap. 9, unter c bei der Beſprechung der Ausführung der Tonnengewölbe angegebenen Geſichtspunkte wiederum zu beachten.

15. Kapitel.

Fächer- oder Trichtergewölbe.

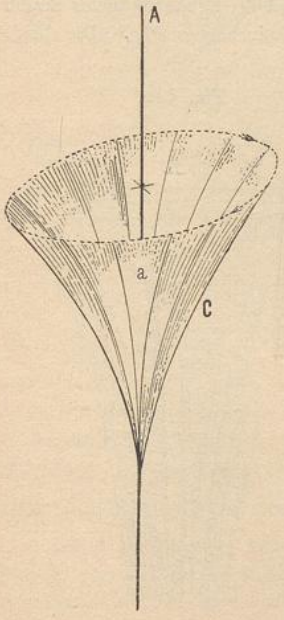
a) Geſtaltung der Fächergewölbe.

Das Fächergewölbe, auch Trichter-, Palmen- oder Strahlengewölbe genannt, beſitzt als Laibungsfläche eine Umdrehungsfläche. Dieſelbe wird durch Drehung einer geſetzmäſsig gebildeten ebenen Curve um eine in ihrer Ebene angenommene, feſte, lothrechte Axe erzeugt, welcher ſie in jeder neuen Stellung ihre convexe Seite zukehrt. Hierdurch entſteht eine kegel-, bezw. trichterartige Gewölbeform. 342. Form.

Die allgemeine Grundgeſtaltung der Laibungsflächen *a* dieſer Gewölbe iſt in Fig. 538 mit der erzeugenden Curve *C* und der feſten lothrechten Axe *A* gekennzeichnet.

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bezw. ein Viertelkreis, eine elliptiſche Linie, bezw. eine Viertelellipſe, ein Korbbogen u. ſ. w. gewählt. Meiſtens wird die erzeugende Curve ſo geſtellt, daſs in ihrem Fuſspunkte die Führung einer lothrecht gerichteten Tangente möglich wird. An den ſpätgothiſchen Bauwerken Englands tritt bei den Fächer- oder Trichtergewölben vorzugsweiſe eine gedrückte, ziemlich flache, in der Erſtreckung am Scheitel mäſsig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines ſog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende auf.

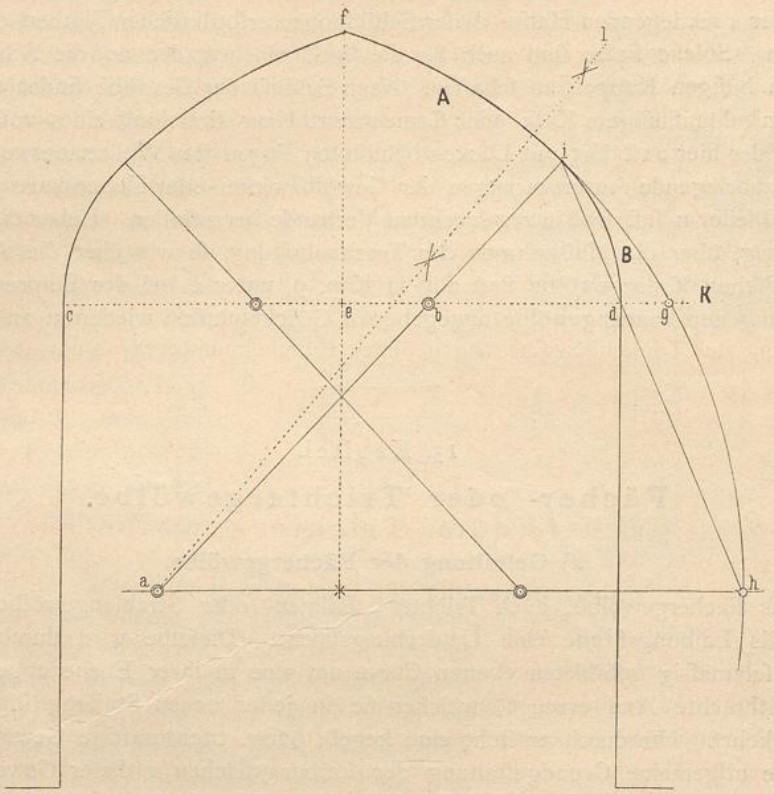
Fig. 538.



Der Tudorbogen iſt im Allgemeinen ein Knickbogen; Fig. 539 zeigt hierfür eine Conſtruction. Sind die Spannweite *cd* und die Pfeilhöhe *ef* vorgeſchrieben, ſo kann das Zeichnen des Bogens in folgender Weiſe vorgenommen werden.

Auf der Verbindungsgeraden *K* der Kämpferpunkte *c*, *d* wähle man aufserhalb der Spannweite *cd* den Punkt *g* beliebig, jedoch, falls eine längere flache Bogenlinie *A* nach dem Scheitel zu vorherrſchen ſoll, in einem nicht zu groſsen Abſtande *dg* vom Kämpferpunkte *d*. Durch dieſen Punkt *g* und den Scheitelpunkt *f* lege man einen Kreisbogen, deſſen Mittelpunkt *a* auf der in bekannter Weiſe zu beſtimmenden Geraden *l* ſo gewählt wird, daſs die Bogenlinie *fg* die gewünſchte mäſsig

Fig. 539.

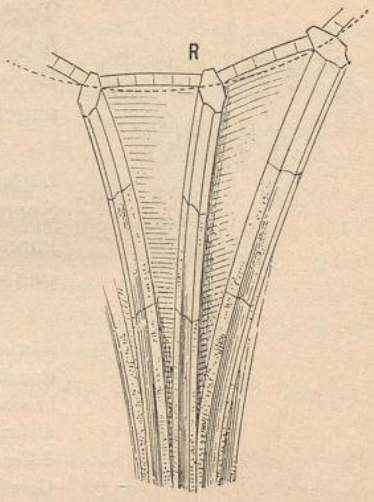


gekrümmte Form *A* erhält. Der ſonſt beliebig anzunehmende Punkt *a* liegt zweckmäſsig auf der Linie noch innerhalb des Gebietes der Spannweite *cd*.

Ergänzt man den Kreisbogen *fg* zu einem Viertelkreiſe *fh*, zieht man den Strahl *hd* bis zum Schnitte *i* mit dem Bogen *fg*, und führt man zuletzt den Strahl *ia*; ſo wird der Schnitt *b* dieſes Strahles mit der Geraden *cd* der Mittelpunkt des Anſatzbogens *B* des halben Tudorbogens *dif*. Die beiden Kreisbogen *A* und *B* beſitzen in *i* eine gemeinſchaftliche Tangente.

Der vollſtändige Tudorbogen iſt alſo im Beſonderen ein gedrückter, aus 4 Mittelpunkten beſchriebener Spitzbogen.

Fig. 540.



343. Rippenſyſtem.

Setzt man an die Stelle der erzeugenden Bogenlinie wirkliche Rippenkörper *R* (Fig. 540), ſo laſſen ſich dieſe in ihrer Geſammtheit auf die erwähnte Umdrehungsfläche zurückführen.

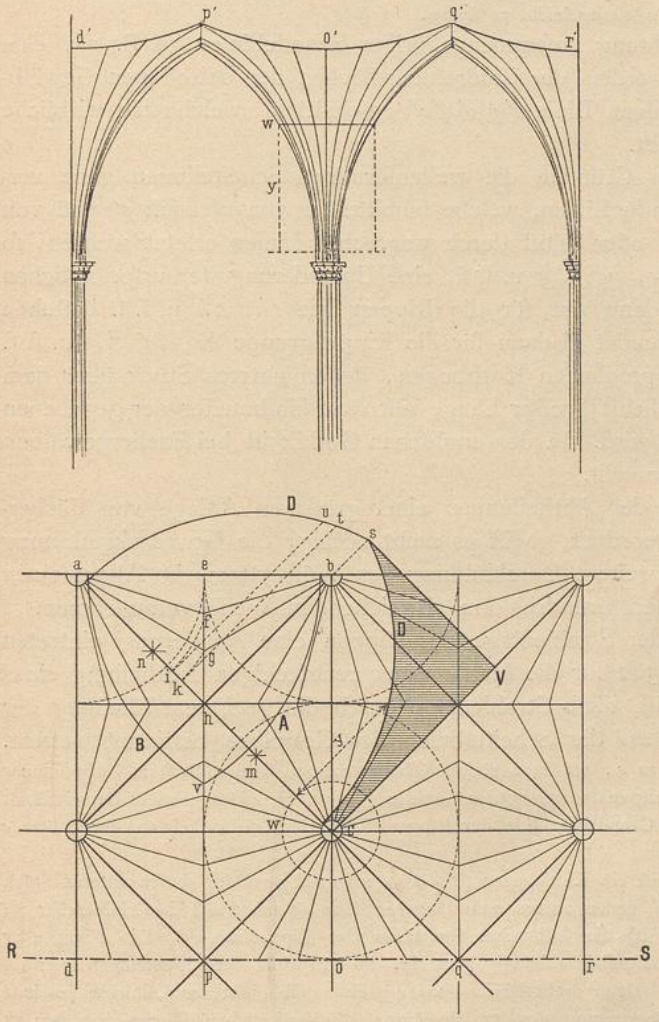
Nimmt man den in der Kämpferebene der Rippen gelegenen Fuſspunkt der lothrechten Umdrehungsaxe als gemeinſchaftlichen Ausgangspunkt ihrer Grundriſslinien (Axenlinien) an; giebt man den Grundriſswinkeln der ſtrahlenförmig neben einander liegenden Rippenzüge möglichſt dieſelbe Gröſse, ſo entſteht das geordnete Rippenſyſtem des eigentlichen Fächer-, Strahlen- oder Palmengewölbes.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zwiſchen den Rippen liegen die verhältniſsmäſsig gering geſpannten, ohne Schwierigkeit einzuwölbenden oder ſonſt in einfacher Weiſe zu ſchlieſsenden Gewölbefelder (Gewölbekappen), Gewölbfache oder die ſog. Fächer. Die gemeinſchaftliche Stütze des derart angeordneten Rippen- und Kappenkörpers tritt als Pfeiler oder als Säule auf. Die lothrechte Axe dieſer Stütze iſt die Verlängerung der Umdrehungsaxe des zugehörigen Gewölbſtückes.

Je gröſser die Zahl der von einer Stütze ausgehenden Rippen iſt, je mehr ſich dieſelben wie Palmzweige ſchlank und nach oben gerichtet fächerförmig ausbreiten, um ſo ſchöner und ausdrucksvoller erſcheinen dieſe Deckenbildungen.

Fig. 541.



Iſt ein Raum von ausgedehnter Grundfläche mit Fächergewölben zu überdecken, ſo iſt durch Pfeiler- oder Säulenſtellungen das Zerlegen dieſer Grundfläche in Abtheilungen vorzunehmen. Die Grundriſsflächen der Abtheilungen ſind möglichſt von gleicher Gröſse als Quadrate oder als Rechtecke an einander zu reihen. Die lothrechten Axen der Wand- und Zwiſchenpfeiler, bezw. Säulen beſtimmen dann ſofort auch die Stellung der Axen für die Umdrehungsflächen des Gewölbeſyſtems, welches nunmehr eine Gruppe gleichmäſsig geſtalteter Fächergewölbe umfaſst.

344. Quadratiſche Grundform.

Hiernach iſt in Fig. 541 im Grundriſs und im Schnitt nach RS die Geſtaltung einer Anlage von Fächergewölben über Abtheilungen mit quadratiſcher Grundfläche vorgenommen. Die verlängerte lothrechte Axe der Säule c giebt die in den Grundriſs niedergelegte Umdrehungsaxe V. Als erzeugende Curve der Umdrehungsfläche des Rippenſyſtems iſt der um n beſchriebene Schenkel D eines in der diagonalen Richtung ac ſtehenden Spitzbogens frei gewählt.

Eine in beliebiger Höhe y durch die Erzeugende D geführte wagrechte Ebene ſchneidet die entſtanden gedachte Umdrehungsfläche nach einem Kreiſe w. Dieſer iſt als Theilkreis für die Grundriſſe der Axenlinien der von c ſtrahlenförmig ausgehenden Gewölberippen benutzt. In der Zeichnung ſind die

Grundrifswinkel der Rippenlinien nach gleicher Gröfse feft gefetzt. Verfährt man in Rückficht auf das Feftlegen der Rippenftrahlen in übereinftimmender Weife bei allen Axen der Wand- oder Freiftützen, welche als Eckbildungen der einzelnen Abtheilungen des gefammten Deckenkörpers zu gelten haben, fo ergiebt fich, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu entnehmen ift, der Grundrifs für fämmtliche Rippenlinien, welche, für eine Abtheilung an fich betrachtet, ftrahlenartig zufammentreten. Dabei treffen fich die Rippenlinien ae und be im Punkte e an der Stirnfeite ab der Abtheilung h. Der Stirnbogen diefer Abtheilung ift der Spitzbogen AB mit dem Scheitelpunkte v. Seine Schenkel A, bezw. B find mit dem unveränderlichen Halbmeffer ns des erzeugenden Kreisbogens D zu befchreiben. Die Schnitt-, bezw. Vereinigungspunkte e, f, g, h u. f. f. der einzelnen, entfprechend gelegten Rippenlinien liegen vermöge der unveränderlichen Form der Erzeugenden D in verfchiedenen Höhen über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Sie beftimmen aber die Scheitellinien der Gewölbe für die einzelnen Abtheilungen. Die Höhen iu für den Punkt f, kt für den Punkt g u. f. f. find unter Benutzung der Erzeugenden D nach der in der Zeichnung enthaltenen Anleitung leicht zu finden.

Führt man in der Richtung zufammengehöriger Scheitellinien, z. B. dr, eine lothrechte Ebene RS, fo werden die Umdrehungsflächen der betroffenen Gewölbtheile nach einer wellenförmigen Linie $d'p'o'q'r'$ gefchnitten, welche die wirkliche Form der Scheitellinie ergiebt.

Sollten aus befonderen Gründen die wellenförmigen Scheitellinien ganz vermieden, vielmehr durch gerade Linien, welche unmittelbar von d' nach p' und von o' nach p' u. f. f. aufftеigen, oder felbft durch wagrechte Linien erfetzt werden, fo mufs für die Rippen, wie be, bf, bg u. f. f., eine Umänderung der urfprünglichen Erzeugenden D, welche alsdann nur für die Rippen wie ch, ah u. f. f. beftehen bleibt, eintreten. Man verwendet alsdann für die Rippengruppe be, bf, bg u. f. f. den in Art. 288 (S. 418) befprochenen Korbbogen, deffen unteres Stück über dem Gewölbekörper aber in möglichft grofser Länge mit dem Halbmeffer der gegebenen Erzeugenden D befchrieben wird. In der englifchen Gothik ift bei Fächergewölben diefe Anordnung häufig gebraucht.

345. Rechteckige Grundform.

Werden die Grundriffe der Abtheilungen einer gröfseren Anlage von Fächergewölben als Rechtecke angeordnet, fo ift es nicht nöthig, die Grundrifsgeftaltung der Rippenftrahlen und die weitere Durchbildung des Wölbfyftems im Allgemeinen in einer von der quadratifchen Grundrifsform abweichenden Weife vorzunehmen.

Will man hinfichtlich der Strahlenlage der Rippen eine Aenderung eintreten laffen, fo kann, wie in Fig. 542 für die Hälfte einer rechteckigen Abtheilung eines Fächergewölbes angegeben ift, diefe Strahlenlage durch die geeignete Theilung der wagrechten Projectionen fl, ml der Scheitellinien des Gewölbes beftimmt werden.

Hier ift die Scheitellinie fl in 4, ml in 2 gleiche Theile zerlegt. Die z. B. vom Fufspunkte c der Umdrehungsaxe nach jenen Theilpunkten gezogenen Geraden cg, ch, ci, ck ergeben in Gemeinfchaft mit der Diagonalenftrecke cl das Grundrifsgebilde der Rippen. Die Grundrifswinkel an der Stütze c find ungleich grofs.

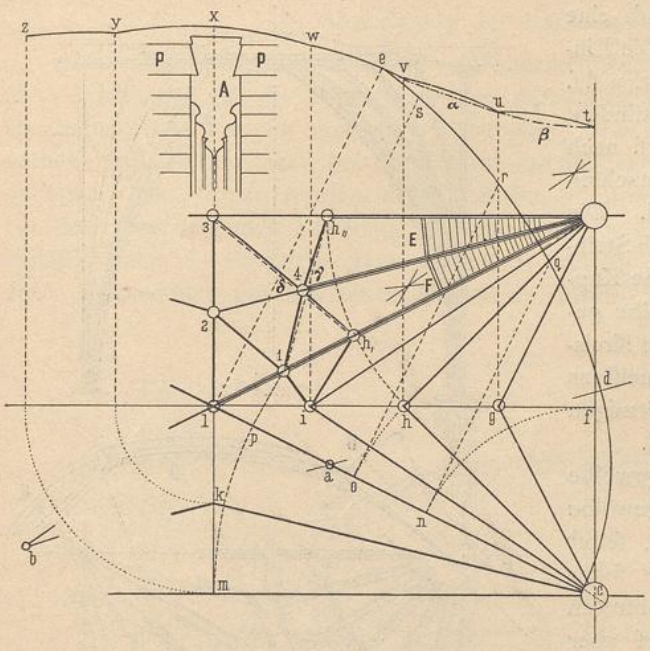
Als Erzeugende der Rippen ift ein Knickbogen (Tudorbogen) cde gewählt, deffen unteres Stück bis d um a mit dem Halbmeffer ad, deffen oberes, weit längeres Stück de um b mit dem Halbmeffer bd befchrieben wurde. Diefer Bogen ift die lothrechte Projection der Rippenlinie cl. Die Form aller übrigen Rippenbogen ift hiervon unmittelbar abhängig gemacht. So entfpricht der Rippenbogen über ch dem Knickbogen bis zum Punkte r. Denn dreht man ch um c nach co, fo giebt der Schnitt r des in o auf cl errichteten Lothes or die Begrenzung des für die Rippe cl erforderlichen Theiles von dem zu Grunde gelegten erzeugenden Knickbogen an. In demfelben Sinne hat man zu verfahren, um z. B. in cds den halben Stirnbogen über cm oder in cdq den halben Stirnbogen über cf, wie aus der Zeichnung zu entnehmen ift, zu erhalten.

Die nach der Linie fl lothrecht geftellte Ebene fchneidet die Gewölbfläche nach der wellenförmigen Scheitellinie tx. Zur Beftimmung derfelben ift z. B. $ft = nq$, $lx = le$, $hv = or$ u. f. f. aufzutragen.

Hierbei ergeben fich, je nach der Form des erzeugenden Knickbogens, zuweilen auch nach unten

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 542.



gebogene Stücke β, bezw. α. Diese sind alsdann durch gerade ansteigende Linien tu, uv oder durch mäfsig nach oben gebogene Kreislinien zu ersetzen.

Die Scheitellinie der Ebene lm wird als Wellenlinie zy, yx mittels des erzeugenden Knickbogens, wie bei der Scheitellinie über fl gezeigt ist, ermittelt.

Sollen in der Nähe des Scheitels in das strahlenförmige Rippensystem noch Zwischenrippen ih_1, $i1$, 12 u. s. f. eingefügt werden, so geht man zweckmäfsig mit diesem Einfügen von einem Punkte h_1 des längsten Rippenstrahles aus.

In der Zeichnung ist zunächst $h_1 l$ im Punkte 1 halbirt. Die Gerade $i1$ ist die Grundrifs-Projection einer Zwischenrippe. Eben so wird in der Geraden 12 die Grundrifslinie einer neuen Zwischenrippe erhalten.

Bewegt man den Punkt h_1 nach h_{11}, so ergiebt sich in h_{11} die wagrechte Projection eines Rippenpunktes, welcher genau so hoch, und zwar um or, über der Kämpferebene des Gewölbes liegt, als die den Projectionen h und h_1 zugehörigen Rippenpunkte.

Verbindet man 1 mit h_{11} und h_1 mit 3 durch gerade, hier punktirt gezeichnete Linien, so schneiden dieselbe den Rippenstrahl 2, welcher die Gewölbflächen E und F trennt, in den Punkten γ, bezw. δ, also im Allgemeinen nicht in einem gemeinschaftlichen Punkte. Um die hier einzuschaltenden Zwischenrippen mit einem gemeinschaftlichen Anschlufspunkte auf der Rippe 2 zu erhalten, wird die Strecke $\gamma\delta$ im Punkte 4 halbirt und nunmehr 4 als gemeinsamer Punkt für die nach $4h_1$, 41, $4h_{11}$ und 43 gerichteten Zwischenrippen zu Grunde gelegt.

Das Austragen der wirklichen Gestalt der Bogenlinien der verschiedenen Zwischenrippen ist unter steter Benutzung des erzeugenden Knickbogens auf bekanntem Wege vorzunehmen.

Die Ermittelung der Normalschnitte und der zugehörigen Kappenfalze p, welche der gewählten Art der Einwölbung zu entsprechen haben, kann für irgend einen Rippenkörper A nach dem in Art. 301 bis 308 (S. 435 bis 449) Gesagten leicht bewirkt werden.

346. Umformung des Fächergewölbes.

Eine Umformung, aber gleichzeitig auch eine etwas gekünstelte Gestaltung des Fächergewölbes ergiebt sich, sobald die nach einer gegebenen, unveränderlichen Erzeugenden gleichförmig gebildeten, strahlenförmig sich erhebenden Rippen mit ihrem oberen Ende gegen wagrecht liegende, nach Viertelkreisen gekrümmte Abschlufsrippen gesetzt werden.

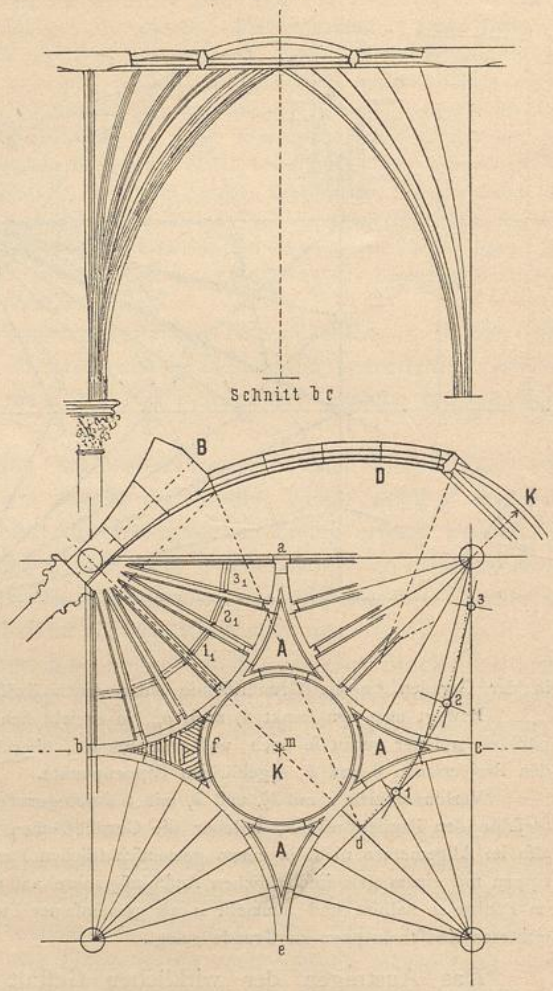
Diese Gewölbebildung, welche in der spätesten Zeit der Gothik entstand und ab und an noch Verwendung findet, ist in Fig. 543 dargestellt.

Die Erzeugende D gilt für alle Rippen des Fächergewölbes. Die nach Viertelkreisen geformten, wagrechten Abschlufsrippen ab, ac, eb, ec umschliefsen ein gröfseres Zwickelfeld $abce$, das durch eine die Abschlufsrippen mit verspannende

Kranzrippe f in kleinere dreieckförmige Nebenzwickel A und eine Kreisfläche K zerlegt wird. Die Einwölbung der Gewölbfache 1_1, 2_1 u. f. f. kann nach Kugelflächen ſtattfinden, deren Mittelpunkte 1, 2 u. f. f. nach den in Art. 285 (S. 413) gemachten Angaben zu beſtimmen ſind. Die Gewölbzwickel A können durch Steinplatten oder durch ganz flache Kappengewölbe oder Kloſtergewölbe geſchloſſen werden, während die Kreisfläche m, der ſog. Spiegel, meiſtens mit einem flachen, tellerförmigen Kugelgewölbe überdeckt wird.

Das eigentliche Fächergewölbe und das umgeformte Fächergewölbe geſtatten eine äuſserſt reiche, ſelbſt üppige Durchbildung, welche ſogar an das Phantaſtiſche herantreten kann. In keinem Falle darf aber die Fülle der Formen die grundlegenden, dem Gewölbebau ſtreng entſprechenden Conſtructionsregeln in den Hintergrund drängen, damit Geſtaltung und Ausführung der Fächergewölbe nicht in eine Spielerei ausarten. Durch geeigneten Farbenſchmuck kann den Fächergewölben ein erhöhter Reiz verliehen werden.

Fig. 543.



b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager.

347. Gewölbſtärke.

Das Rippenſyſtem der Fächergewölbe entſpricht im Weſentlichen demjenigen des Sterngewölbes und damit auch demjenigen des gothiſchen Kreuzgewölbes. Eben ſo ſind die Einwölbungen der Gewölbfache bei den Fächergewölben in der Form im Allgemeinen als buſige Kappen, wie bei den genannten Kreuzgewölben, zu behandeln.

Aus dieſem Grunde gelten alle diejenigen Unterſuchungen, welche zur Prüfung der Stabilität und zur Beſtimmung der Stärke der Rippen und Kappen für die bezeichneten Kreuzgewölbe in Art. 314 bis 330 (S. 460 bis 481) näher beſprochen ſind, auch für die Fächergewölbe.

348. Widerlagsſtärke.

Auch für die Ermittelung der Stärke der Widerlager der Fächergewölbe kommen wiederum alle in dieſer Beziehung bei den gothiſchen Kreuzgewölben in Art. 332 bis 338 (S. 481 bis 488) behandelten Punkte ohne Weiteres zur Geltung.

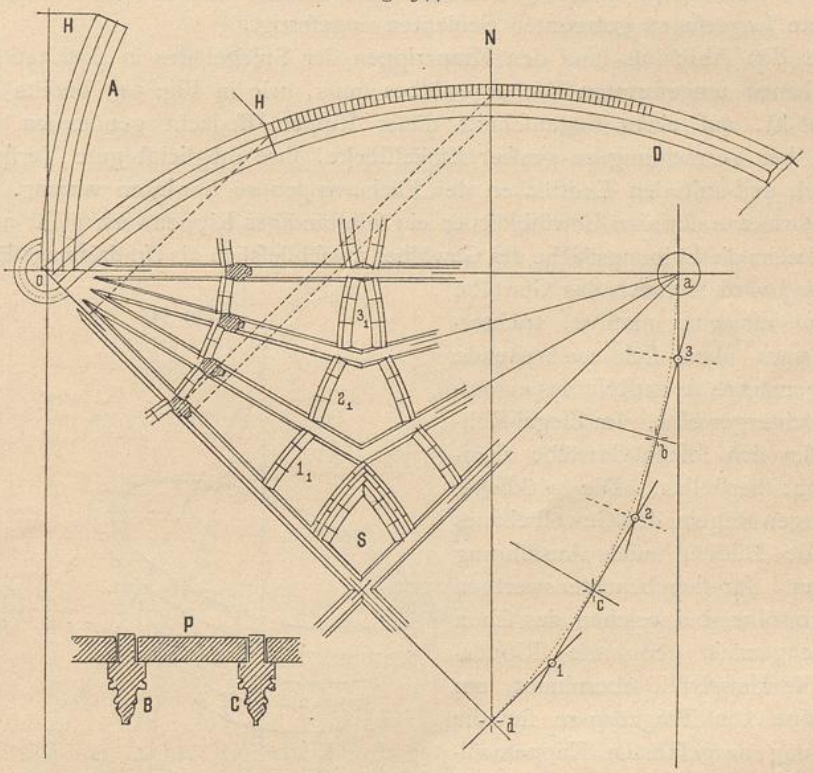
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

c) Ausführung der Fächergewölbe.

349. Gewölbekappen.

Die ſämmtlichen Vorſchriften und Maſsnahmen, welche in Art. 339 bis 341 (S. 489 bis 495) für die Ausführung der gothiſchen Kreuzgewölbe hinſichtlich der Herſtellung der Kappen und der Anfertigung, bezw. Aufſtellung der Rippen mitgetheilt ſind, werden auch bei der Ausführung der eigentlichen Fächergewölbe innegehalten. Die Rippen werden durch Lehrbogen unterſtützt. Die Kappen, welche bei den einer fremden Belaſtung meiſtens nicht ausgeſetzten Fächergewölben gewöhnlich nur ½ Backſtein ſtark ausgeführt werden, ſind freihändig mit Buſung unter Verwendung gut bindenden Mörtels zu mauern.

Fig. 544.



In Fig. 544 ſind die Grundriſs-Projectionen einiger Wölbſchichten der Kappen, welche hier eine Buſung nach reinen Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, *3* und dem Kugelhalbmeſſer *do* der Erzeugenden *D* der Rippenkörper erhalten haben, gegeben. Hiernach iſt $od = oc = ob$. Die in *d* auf *od* und in *c* auf *oc* u. ſ. f. errichteten Lothe liefern in ihren Schnitten *1*, *2* u. ſ. f. jene Kugelmittelpunkte der einzelnen Gewölbfache 1_1, 2_1, 3_1. Nach der an der Rippe *D* vorgenommenen Theilung der Wölbſchichten und Anordnung der Lagerflächen in der radialen Richtung *dN* ergeben ſich ſofort die nöthigen Anhaltspunkte für die Darſtellung der Wölbſchichten im Grundriſs. In den Scheitellinien der einzelnen Gewölbfache treten die Wölbſchichten auf Schwalbenſchwanz-Verband, wie bei *S* ſich zeigt, zuſammen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Sollen die Gewölbfache unverputzt bleiben oder gar in verſchieden gefärbten Backſteinen als Schmuck beſondere Muſter erhalten, ſo iſt ſtets eine ſorgfältig angefertigte Zeichnung dieſer Wölbſchichten der Ausführung zu Grunde zu legen.

Tritt bei kleinen Gewölbfachen ſtatt der Wölbung eine Plattendeckung p ein, ſo erhalten die tragenden Rippenkörper A, C bei einer hinlänglichen Stärke entſprechend tiefe, 5 bis 8 cm breite Falze. Die meiſtens nur ſchmalen Platten ſind ſorgſam in Mörtel zu verſetzen.

350. Rippen.

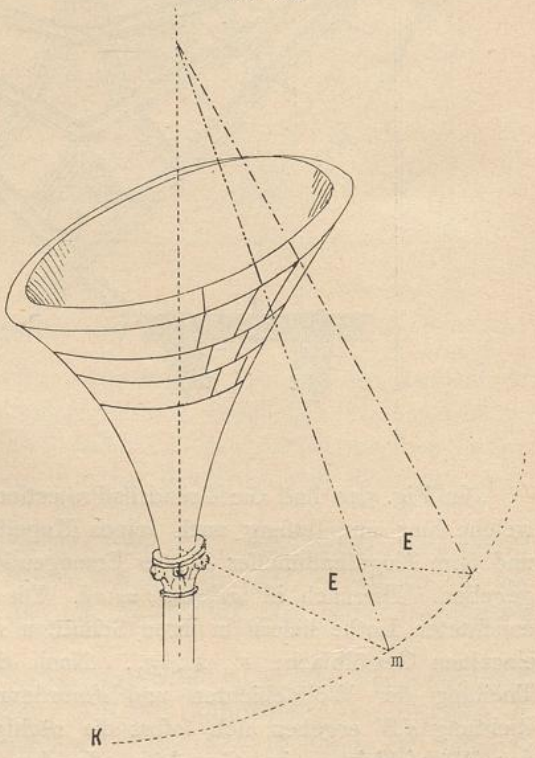
Die Rippen der Fächergewölbe können aus Backſtein oder Hauſtein hergeſtellt werden. Zweckmäſsig werden die Kämpferſtücke A (Fig. 544) der über den Wand- oder Zwiſchenſtützen zuſammentretenden, ſich vielfach hier abzweigenden Rippen bis zu einer Höhe H, in welcher eine regelrechte Kappenwölbung beginnen kann, ſelbſt für Backſteinrippen aus Quadern in einem Stücke oder aus mehreren, durch wagrechte Lagerfugen getrennten Schichten angefertigt.

Bei den Abſchluſs- und den Kranzrippen der Spiegel des in Art. 346 (S. 499) beſchriebenen umgeformten Fächergewölbes muſs, wie in Fig. 543 bereits mit angegeben iſt, auf einen Fugenſchnitt dieſer Rippen Bedacht genommen werden, welcher, bei Vermeidung zu groſser Einzelſtücke, ihre möglichſt gute Verſpannung unter ſich und mit den Endſtücken der Fächerrippen zu bewirken vermag.

351. Gewölbe ohne Rippen.

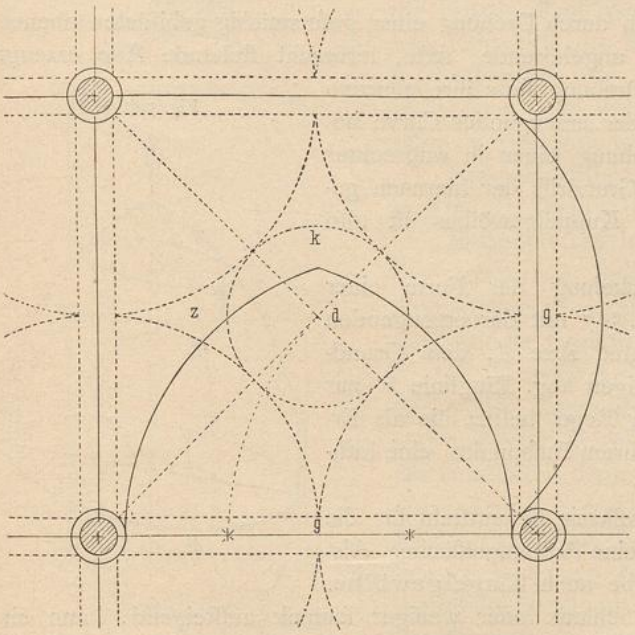
Führt man für den Gewölbkörper ein ſelbſtändiges Rippenwerk nicht aus, läſſt man vielmehr die Laibungsfläche des Gewölbes ausſchlieſslich als Umdrehungsfläche beſtehen und wird hiernach das Gewölbe gleichſam als eine maſſive, trichterförmig nach oben ſich ausbreitende Schale gemauert, ſo entſteht das eigentliche Trichtergewölbe. Im Ziegel-Rohbau laſſen ſich ſolche Gewölbe ziemlich leicht herſtellen. Die wirkliche, auf ſtrengen Regeln des Gewölbebaues beruhende Bildung und Ausführung der an und für ſich beachtenswerthen Fächergewölbe, bei welchen das ſchön und ſachgemäſs geordnete Rippenſyſtem die Hauptrolle übernimmt, um als Gruppe von Tragkörpern für die mit Buſung ausgeführten Kappenwölbungen dienen zu können, wird bei den Trichtergewölben jedoch zu ſehr in den Hintergrund gedrängt. Gehören auch die Lagerflächen des Gewölbkörpers in Rückſicht auf die jedesmalige Umdrehungsaxe geraden Kegelflächen an, deren gemeinſchaftliche Baſis in der wagrechten Kämpferebene als der Kreis K (Fig. 545) auftritt, welchen der Mittelpunkt m bei der Drehung der Erzeugenden der Trichterfläche beſchreibt, ſo liegen andererſeits die Stoſsflächen der Wölbſchichten in lothrechten Ebenen E, welche ſich ſämmtlich in

Fig. 545.



der Umdrehungsaxe ſchneiden. Die Lagerkanten zwiſchen den Stoſsflächen müſſen demnach an der Seite des Steines, welche der Umdrehungsaxe zugekehrt iſt, kürzer ſein, als an der in der Laibungsfläche des Trichterkörpers liegenden Seite, ſo daſs ein Abrutſchen der Steine der einzelnen Wölbſchichten auf den nach innen geneigten Lagerflächen leicht eintreten kann. Die durch die Geſtaltung des Wölbkörpers geforderte Anordnung der Stoſsfugenflächen entſpricht aber nicht dem wahren Gefüge und dem inneren Weſen des Gewölbebaues. Um das Abrutſchen der Wölbſteine zu verhindern, iſt die Anwendung eines ſtark bindenden Mörtels, nicht allein für die Vermauerung der Steine der Trichterſtücke, ſondern auch für den Wölbkörper der zwiſchen den Trichtern liegenden Spiegel, geboten, ſo daſs im Allgemeinen das ſorgſam herbeigeführte Feſtkleben der Steine durch Mörtel vorherrſchend iſt. Aus dieſem Grunde nähern ſich derart ausgeführte Trichtergewölbe den ſog. Gufsgewölben. Der Fuſs der einzelnen Trichterſtücke wird in wagrechten, nach und nach vorgekragten Schichten, zweckmäſsig in ſog. Rollſchichten, in ſolcher Höhe ausgeführt, bis eine ausreichende Lagerfläche für die ringförmigen oberen Wölbſchichten entſtanden iſt. Statt dieſes aus Backſtein gemauerten Anfängers iſt beſſer ein Anfänger aus Quadern zu verwenden.

Fig. 546.



Bei der Mauerung der Gewölbe, welche ſelten eine Spannweite über 4 m in den einzelnen Abtheilungen erhalten und meiſtens nur als Ziergewölbe ohne weitere fremde Belaſtung gelten, werden nur leichte, einfache Lehrbogen an den Seiten und in der Richtung der Diagonalen der zugehörigen Abtheilungen aufgeſtellt. Dieſe Hilfsbogen und eine nach der Erzeugenden der Umdrehungsfläche begrenzte, drehbare Brettſchablone ermöglichen das Innehalten der Gewölbeform. Die Stärke dieſer Gewölbe iſt meiſtens gleich $^1/_2$ Backſtein.

Die eben beſprochene Herſtellung der Trichtergewölbe wird hinſichtlich ihrer Standfähigkeit einigermaſsen durch Gurtbogen *g* (Fig. 546), welche die Abtheilungen der Gewölbe an den Seiten begrenzen, verbeſſert. Aufserdem iſt die Einwölbung des Kranzes *k* im Spiegel und die Ausführung der Zwickelgewölbe *z* mit kleinen, buſigen Kappen, ſo wie der Schluſs innerhalb des Kranzes mit einem ganz flachen Kugelgewölbe rathſam. Eine weitere Verbeſſerung kann, namentlich bei Gewölben über 4 m Spannweite, noch durch Hinzufügen von Gurtbogen in der Richtung der Diagonalen *d* der Abtheilungen herbeigeführt werden. Die einzelnen Gurtbogen

erhalten zur Aufnahme der Wölbſchichten die in Fig. 450, II (S. 387) bereits angegebene Verzahnung.

Die Laibungsflächen dieſer Gewölbe werden geputzt, häufig cannelirt, auch entſprechend mit Stuck oder Malerei geſchmückt. Die in Folge der Richtung der Stoſsfugen beſtehenden Mängel ihrer Conſtruction werden hierdurch wohl verſchleiert, aber nicht beſeitigt.

---

16. Kapitel.

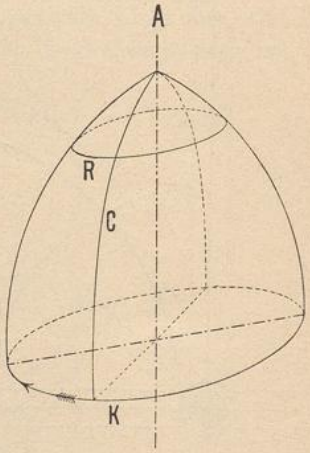
Kuppelgewölbe.

a) Geſtaltung der Kuppelgewölbe.

352. Form.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes iſt eine Umdrehungsfläche. Dieſelbe kann in ihrer einfachſten Form durch Drehung einer geſetzmäſsig gebildeten ebenen Curve um eine ihrer Ebene angehörende, feſte, lothrecht ſtehende Axe erzeugt werden, welcher ſie bei der Drehung ſtets ihre concave Seite zuwendet. Jeder Punkt der erzeugenden Curve beſchreibt nach vollendeter Drehung einen in wagrechter Ebene liegenden Kreis. Der Grundriſs der hiernach geſtalteten Laibungsfläche des Kuppelgewölbes iſt alſo gleichfalls ein Kreis.

Fig. 547.

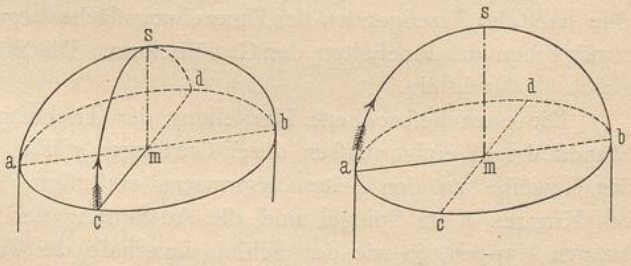


Dieſe einfachſte Entwickelung der Form einer Kuppelgewölbfläche iſt in Fig. 547 mit der erzeugenden Curve *C*, der feſten lothrechten Axe *A*, dem Grundriſskreiſe *K* und einer beliebigen ſog. Ringlinie *R* zur Anſchauung gebracht. In der Regel beſitzt die als Erzeugende gewählte Curve in ihrem Fuſspunkte eine lothrechte Tangente.

Iſt dieſe Curve ein Viertelkreis, ſo entſteht für die Laibung des Kuppelgewölbes eine Halbkugelfläche. Alsdann heiſst das Kuppelgewölbe auch Kugelgewölbe.

Die erzeugende Curve, ſchlank oder weniger ſchlank aufſteigend, kann ein Kreisbogen, eine Viertelellipſe, ein Korbbogen, eine Parabel u. ſ. f. ſein. Je nach der Wahl derartiger Erzeugenden iſt die mehr oder weniger zum kräftigen Ausdruck zu bringende Form der Laibungsfläche der Kuppelgewölbe zu geſtalten.

Fig. 548.



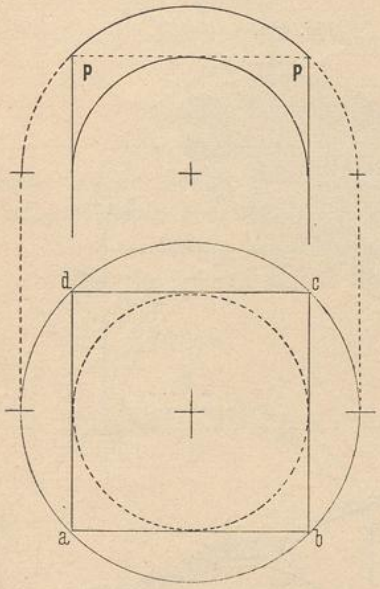
Bedingt die angegebene Weiſe der Erzeugung der Kuppelgewölbfläche einen Kreis als Grundriſs, ſo läſst ſich doch ſelbſt bei elliptiſchem Grundriſſe die Laibung des ſog. elliptiſchen Kuppelgewölbes nach Fig. 548 durch Drehung der halben Ellipſe *a b c* um die groſse, in wagrechter Ebene liegende

Axe ab oder auch durch Drehung der halben Ellipſe cda um die zugehörige kleine Axe cd ebenfalls leicht erzeugen. In erſterem Falle giebt jede rechtwinkelig zu ab ſtehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt, während jede lothrechte, parallel zu ab ſtehende Ebene die Laibungsfläche nach halben Ellipſen ſchneidet. Entſprechend würden derartige Schnitte von Ebenen bei der zweiten angegebenen Erzeugungsart der Gewölbfläche zu beſtimmen ſein. Hier giebt jede rechtwinkelig zu cd ſtehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt.

Durch die beſchriebenen Geſtaltungen der Kuppelgewölbflächen iſt jedoch die Ausbildung der Kuppelgewölbe über kreisrunden oder elliptiſchen Grundriſſen allein keineswegs beſchränkt.

Mögen die Kuppelgewölbe in früheſter Zeit, abgeſehen jedoch von der Ausführung in der Deckenbildung ſelbſt, vorwiegend über Räumen mit reinem Kreisgrundriſſe hergeſtellt ſein, weil dieſe Anordnung naturgemäſs am nächſten lag, ſo zeigt ſich beim Verfolgen des Weges, welchen die Entwickelung des Gewölbebaues eingeſchlagen hat, ſehr bald die Spur, welche darauf hinweist, Kuppelgewölbe über zehneckigen, achteckigen, alſo vieleckigen, und weiter über quadratiſchen Grundriſſen in Anwendung zu bringen.

Fig. 549.



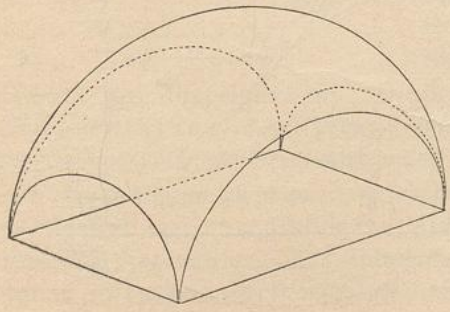
Baugeſchichtliche Anhaltspunkte hierfür ſind in Theil II, Band 2 dieſes »Handbuches« geboten.

353. Stutz- oder Hängekuppel: Erſtes Syſtem.

Beſondere, nach verſchiedenen Seiten ſich geltend machende Syſteme in der Geſtaltung der Kuppelgewölbe werden im Allgemeinen durch die quadratiſche Grundriſsform veranlaſſt.

Bleibt zuerſt die Umdrehungsfläche als Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beſtehen, wie ſolches einem Kreisgrundriſſe angehören würde, ſo geht der Grundkreis dieſer Kuppelfläche (Fig. 549) durch die Ecken a, b, c, d des quadratiſchen Grundriſſes. In den Seiten ab, bc u. ſ. f. aufgeſtellte lothrechte Ebenen ſchneiden von der Gewölbfläche genau beſtimmbare Stücke ab, ſo daſs die Fuſspunkte a, b, c, d der Kuppel die Anfänge von Kuppelzwickeln P, Pendentifs genannt, ſind, welche ſeitlich durch die Schnittlinien der Ebenen ab, bc u. ſ. f. begrenzt werden. Dieſe Schnittlinien bilden die Stirnbogen der Kuppelgewölbfläche. Hierdurch entſteht das Syſtem der ſog. einfachen Stutzkuppel oder Hängekuppel. Im Beſonderen kann die Geſtaltung derartiger Stutzkuppeln auch über rechteckigen Grundriſſen (Fig. 550) oder über vieleckigen Grundriſſen, deren Ecken dann aber zweckmäſsig, zur Vermeidung ungleicher Höhenlage der Fuſspunkte der Kuppelzwickel, im Grundkreiſe der Kuppelflächen liegen, Platz greifen.

Fig. 550.



Müſſen die Fuſspunkte der Kuppelzwickel

in besonderen, von der Grundrissbildung der zu überdeckenden Räume abhängigen Fällen eine ungleiche Höhenlage erhalten, so ist die Gestaltung der Kuppelgewölbfläche mit Pendentifs füglich doch bei jedem beliebig begrenzten Grundrisse möglich, wenn nur der in der Ebene der Grundrissfigur liegende Grundkreis der Kuppelfläche im Allgemeinen die Grundrissfläche des Raumes umzieht.

354. Zweites System.

Geht man wiederum von einem quadratischen Grundrisse aus, so erfolgt ein zweites System der Gestaltung der Hängekuppel, sobald über einer Kuppelfläche P (Fig. 551), deren Grundkreis bcd dem Quadrat umschrieben ist und welche dabei in ihrer Laibung die Kuppelzwickel P allein liefert, noch eine zweite Kuppelfläche K gebildet wird, deren Grundkreis den eingeschriebenen Kreis des Quadrats als wagrechte Projection besitzt.

Bei der Annahme der Kuppelflächen als Kugelflächen ist in Fig. 552 die zeichnerische Durchbildung dieses zweiten Systems der Gestaltung der Hängekuppel über einem quadratischen Grundrisse näher angegeben. Das Kreisstück G kennzeichnet den umschriebenen, für die Gestaltung der Pendentifs P der unteren Kuppelfläche massgebenden Grundkreis, während das Kreisstück B, dem eingeschriebenen Kreise angehörend, die wagrechte Projection des Grundkreises der aufgesetzten Kuppelfläche bedingt.

Will man statt der Kugelflächen P und K andere, gesetzmäsig gestaltete und in günstiger Form auftretende Umdrehungsflächen als Kuppelgewölbflächen anwenden, so bleiben die Grund-

Fig. 551.

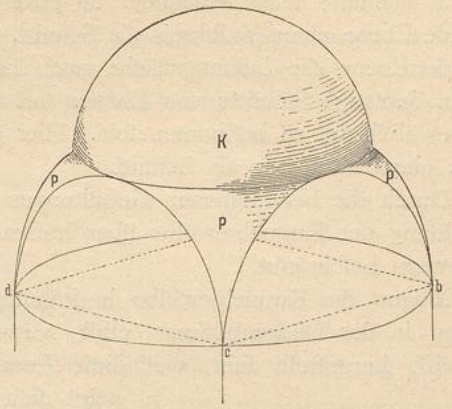


Fig. 552.

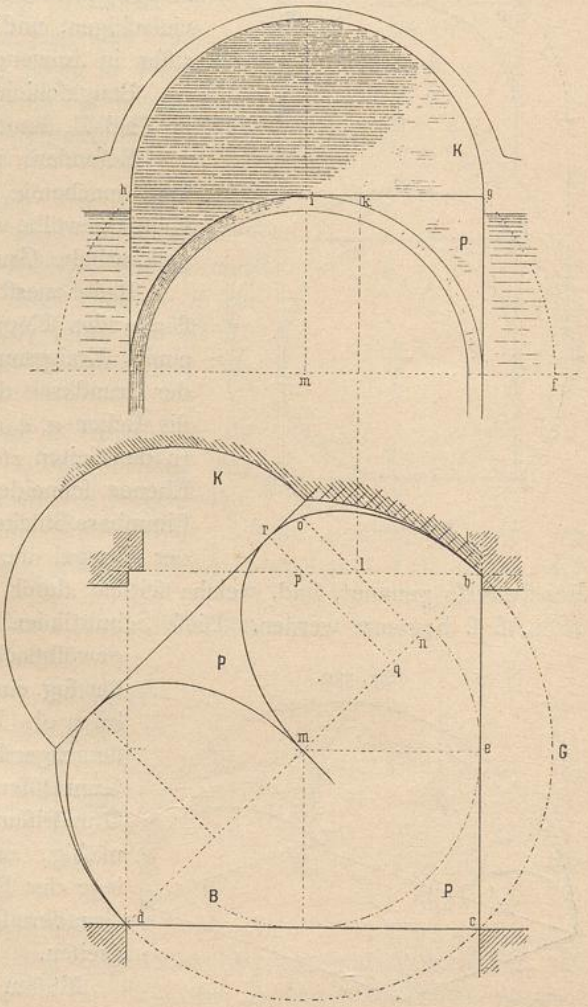
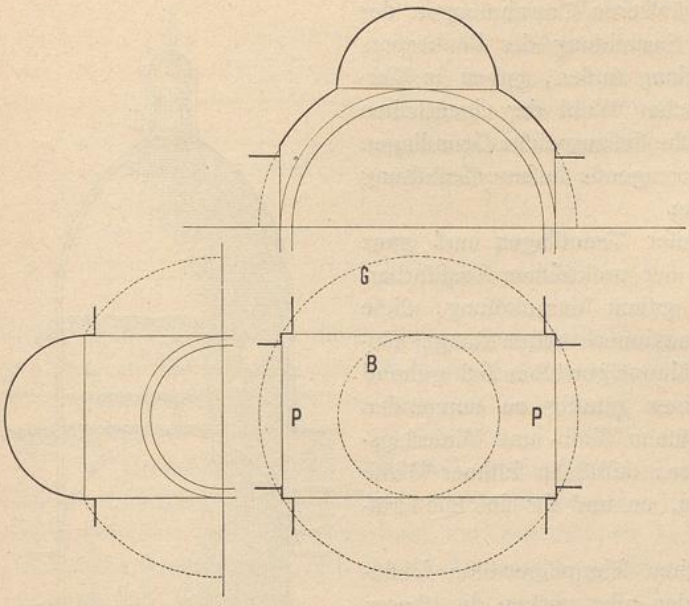


Fig. 553.



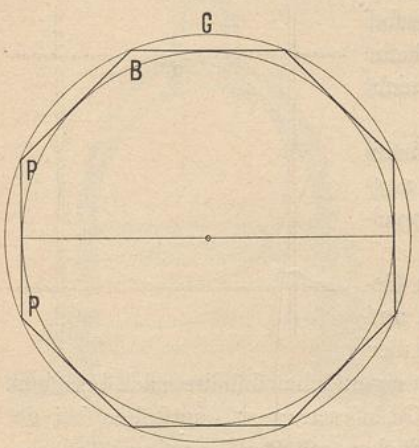
kreiſe G und B unverändert beſtehen.

Dieſes zweite Syſtem der Geſtaltung der Hängekuppel kann unter entſprechender Beachtung und Einfügung der Grundkreiſe G und B auch über rechteckigen Grundriſſen (Fig. 553) oder mehrſeitigen regelmäſsigen Grundriſſen (Fig. 554) zur Durchführung gelangen. Zahl und Form der hierbei auftretenden Pendentifs P ſind ſofort zu erkennen. Beim Feſtlegen des Grundkreiſes B kann auch ſelbſt von ſeiner Berührung mit den beiden langen Seiten der Grundriſsbegrenzung durch Verkleinerung ſeines Halbmeſſers Abſtand genommen werden.

355. Drittes Syſtem.

Wird zwiſchen dem unteren, die Pendentifs enthaltenden Theile der Hängekuppel und der oberen aufgeſetzten Kuppelfläche noch eine lothrechte cylindriſche Gewölbfläche T, Trommel oder Tambour genannt (Fig. 555), eingefügt, welcher der Grundkreis B als Leitlinie zugewieſen wird, ſo entſteht das Syſtem der ſog. Hängekuppel mit Tambour.

Fig. 554.



In der Regel werden in dem Tambour, deſſen Höhe, der architektoniſchen Durchbildung der geſammten Kuppelanlage gemäſs, ſehr verſchieden ausfallen kann, Lichtöffnungen zur Erhellung der Kuppel durch Tageslicht angebracht.

356. Lichtring.

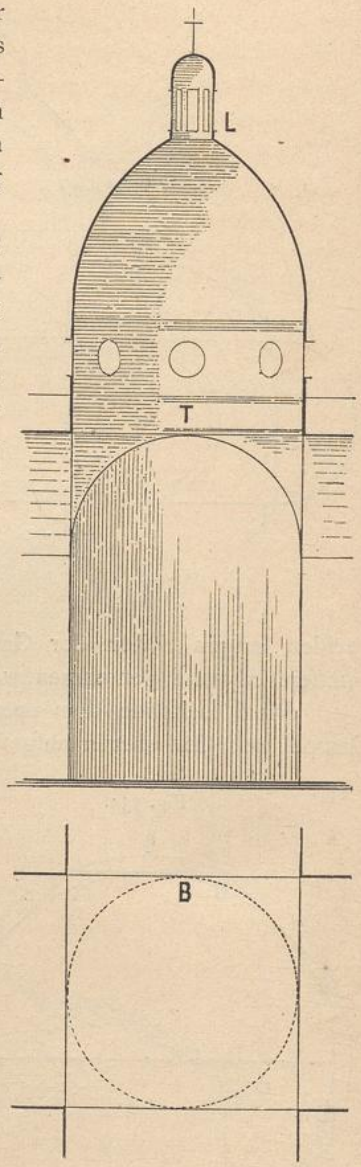
Die bei den Kuppelgewölben ganz beſonders beachtenswerthe Einwölbungsart nach concentriſchen Ringſchichten, worauf bereits in Art. 315 (S. 460) näher hingewieſen iſt, geſtattet die Schaffung einer freien Oeffnung als Abſchluſs des Kuppelgewölbes. Die Ringſchicht, welche dieſe Oeffnung begrenzt, heiſst Lichtkranz, Lichtring, auch Schlufsring. Die Oeffnung ſelbſt, in irgend einer Weiſe als Deckenlicht verwerthet, geſtattet die Beleuchtung der Kuppel durch Tageslicht in nicht zu unterſchätzender Weiſe.

Benutzt man den Lichtkranz als Träger eines beſonderen, in einfacher oder reicher Art ausgeführten, mit Lichtöffnungen verſehenen Kuppelaufſatzes L, Laterne genannt, ſo entſteht das Kuppelgewölbe mit Laterne (Fig. 555).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Krönungen der Kuppeln, mögen dieſelben in der Formgebung der äuſseren Umrahmungen der Lichtkränze oder in der Ausbildung des Baukörpers der Laternen ihren Ausklang finden, geben in Verbindung mit einer glücklichen Wahl der eigentlichen Bogenlinie der Kuppelfläche belangreiche Grundlagen für die würdige und hervorragende äuſsere Geſtaltung bedeutungsvoller Bauwerke.

Fig. 555.



Die Erkenntniſs dieſer Grundlagen und ganz beſonders die Einfachheit der praktiſchen Ausführbarkeit der Kuppelgewölbe gaben Veranlaſſung, dieſe Gewölbe als »Groſs-Conſtructionen« erſten Ranges einzuführen. Durch die bei Kuppelgewölben ſich geltend machenden, im Allgemeinen günſtig zu nennenden ſtatiſchen Verhältniſſe zwiſchen Wölb- und Widerlagskörper fand das Beſtreben, ſelbſt in kühner Weiſe Kuppelbauten zu errichten, an und für ſich die kräftigſte Unterſtützung.

357. Stichkappen.

Sollen im eigentlichen Kuppelgewölbe Lichtöffnungen angebracht werden oder reichen die oberen Abſchluſsbogen von Fenſter- bezw. Thüröffnungen über den Fuſs des Kuppelgewölbes hinauf, ſo werden für dieſe Anlagen wieder die ſog. Stichkappen erforderlich. In den meiſten Fällen gehören die Laibungen der Stichkappen Kegelflächen an, deren Axen nach dem Mittelpunkte des Grundkreiſes der mit Stichkappen zu verſehenden Kuppelflächen gehen. Hierbei iſt jedoch die Wahl einer Cylinder- oder Kugelfläche für die Laibungen der Stichkappen durchaus nicht ausgeſchloſſen.

Das über die Ausmittelung der Stichkappen beim Tonnengewölbe in Art. 164 bis 167 (S. 235 bis 243) Geſagte bleibt im Weſentlichen auch beim Kuppelgewölbe geltend.

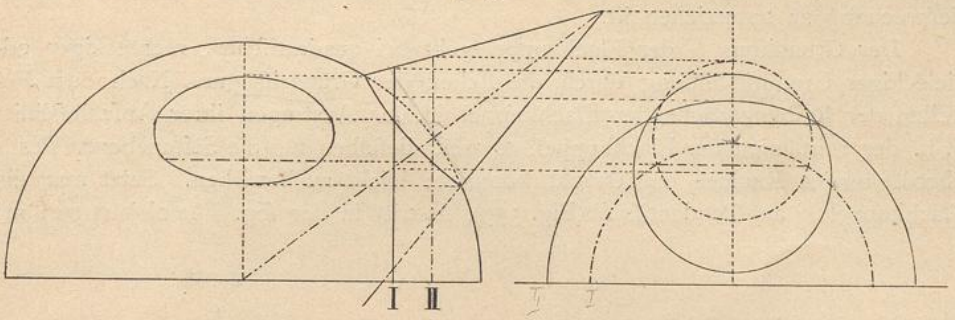
Eben ſo bleiben auch hier die ſämmtlichen Geſichtspunkte, welche beim Kloſtergewölbe in Art. 206 (S. 306), bezw. in Art. 207 (S. 307) für die Bildung der Stichkappen oder Lunetten aufgeſtellt ſind, ihrem eigentlichen Inhalte nach beſtehen.

Vollſtändig ringförmige Stichkappen, ſog. Ochſenaugen, entſtehen bei der Durchdringung von Kegelflächen, bezw. Cylinderflächen mit der Kuppelgewölbfläche. Meiſtens werden Kegelflächen gewählt. Die Leitlinie der Kegelflächen kann ein Kreis oder eine Ellipſe ſein. Die Kegelaxen ſind wiederum zweckmäſsig nach dem Mittelpunkte der zu durchdringenden Kuppelfläche gerichtet. Die Spitzen der Kegelflächen der runden Stichkappen liegen in entſprechender Entfernung oberhalb der Rückenfläche des Kuppelgewölbes.

Die Ausmittelung dieſer ringförmigen Stichkappen erfolgt durch die an und für ſich einfache Beſtimmung der Schnittlinien der Kegelflächen mit der Kuppel-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 556.



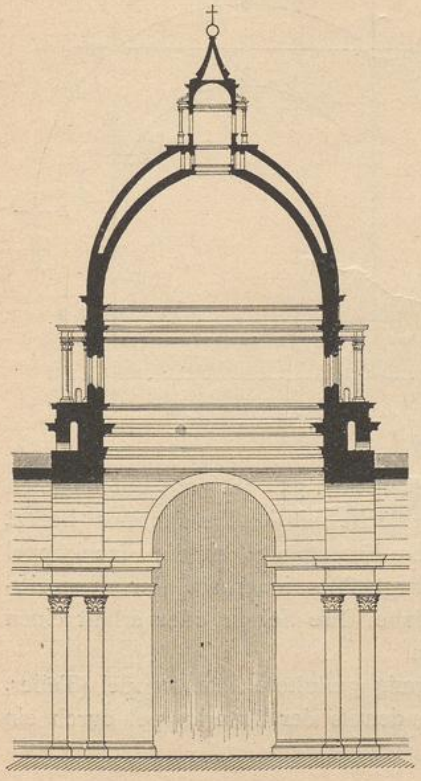
fläche. Die Anleitung zu dieſer Beſtimmung giebt Fig. 556, wobei für das Hauptgewölbe eine Kugelfläche, für die Laibung der runden Stichkappe eine Kegelfläche, deren Schnitte durch die lothrechten Ebenen *I*, *II* u. ſ. f. Kreiſe werden ſollen, angenommen iſt.

Die Ermittelungen der inneren Begrenzungen und die damit in Verbindung ſtehenden allgemeinen Geſtaltungen des Ochſenauges bieten auch bei anderen Laibungsflächen des Gewölbes und der Stichkappen keine Schwierigkeiten. Die geſchaffene Lichtöffnung wird durch einen im Kuppelgewölbe liegenden Wölbkranz umrahmt.

358. Doppelkuppel.

Erheben ſich über einem gemeinſchaftlichen Grundriſſe zwei in geringerer oder gröſserer Entfernung über einander liegende ſelbſtändige Kuppelgewölbe mit von einander verſchiedenen Umdrehungsflächen, ſo entſtehen die ſog. Doppelkuppeln. Ihre Beſtandtheile ſind das gemeinſchaftliche Widerlager, die innere Kuppel und die äuſsere Kuppel oder die Schutzkuppel. Letztere bildet gleichſam das Dach, um ſchädliche Witterungseinflüſſe vom inneren Kuppelgewölbe fern zu halten. In der Regel treten beide Kuppelgewölbe in geringer Höhe über ihrem Widerlager zu einem gemeinſchaftlichen Gewölbſtücke zuſammen und zweigen ſich erſt von dieſem Fuſskörper aus nach oben hin von einander ab.

Fig. 557.



Ein hervorragendes Bauwerk einer Doppelkuppel mit Pendentifs, Tambour und Laterne iſt die bekannte Kuppel der *Peters*-Kirche in Rom (Fig. 557). Die gleichfalls berühmte Doppelkuppel des Domes zu Florenz iſt ihrer Geſtaltung nach, wie aus dem in Art. 204 (S. 302) Geſagten näher gefolgert werden kann, als eine dem Kloſtergewölbe angehörende Haubenkuppel oder Walmkuppel mit Tambour und Laterne anzuſehen.

359. Flachkuppel.

Iſt die Erzeugende der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes irgend ein Flachbogen *ab* (Fig. 558), ſo entſteht die einfache Flach-

kuppel, welche ſpäter als ſog. böhmiſches Kappengewölbe noch einer näheren Beſprechung zu unterziehen iſt.

Der Grundkreis *G* der Flachkuppel geht bei quadratiſcher, rechteckiger oder vieleckiger Grundriſsbildung durch die Ecken der Grundriſsfigur. Nach dem Feſtſtellen der Laibungsfläche der Flachkuppel iſt das Austragen ihrer Anſchlufslinien, d. h. der Stirnlinien der Flachkuppel, ſo weit dieſelben für die Seitenebenen des zu überdeckenden Raumes in Betracht kommen, leicht zu bewirken. Setzt man eine Flachkuppel *F* auf Pendentifs *P* (Fig. 559), ſo tritt in der ſog. Flachkuppel mit

Fig. 558.

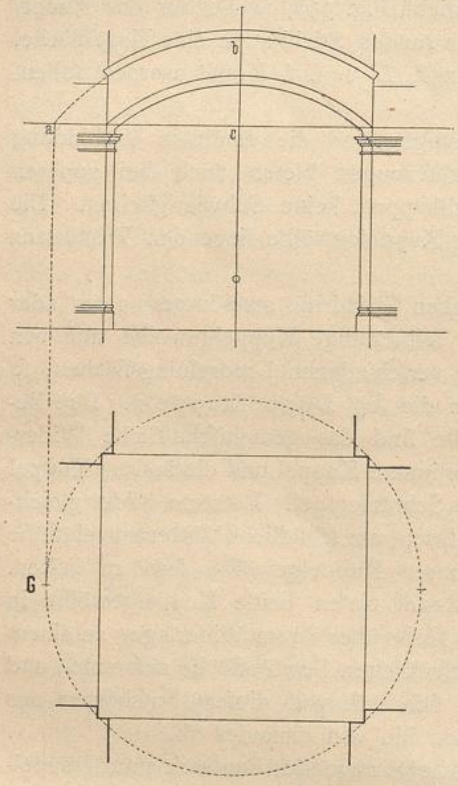
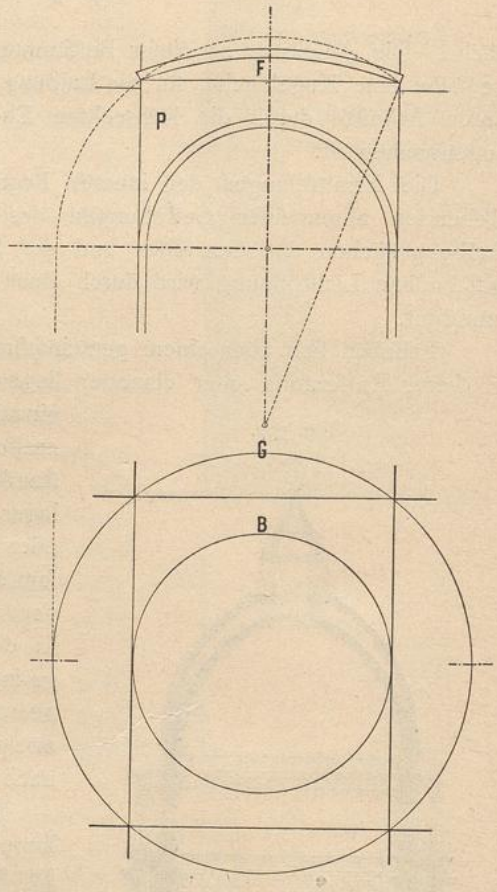


Fig. 559.



Pendentifs nur eine geringe Umgeſtaltung des in Art. 354 (S. 506) bezeichneten zweiten Syſtems der Hängekuppel ein. Die Kuppelfläche mit den Pendentifs *P* beſitzt neben ihrem beſonderen Grundkreiſe *G* eine andere Erzeugende, als die Flachkuppel mit dem ſelbſtändigen Grundkreiſe *B*. Dieſer liegt ſtets innerhalb der Grundriſsfläche des zu überwölbenden Raumes, berührt dabei ihre Seiten oder erhält einen gröſseren oder geringeren Abſtand von denſelben.

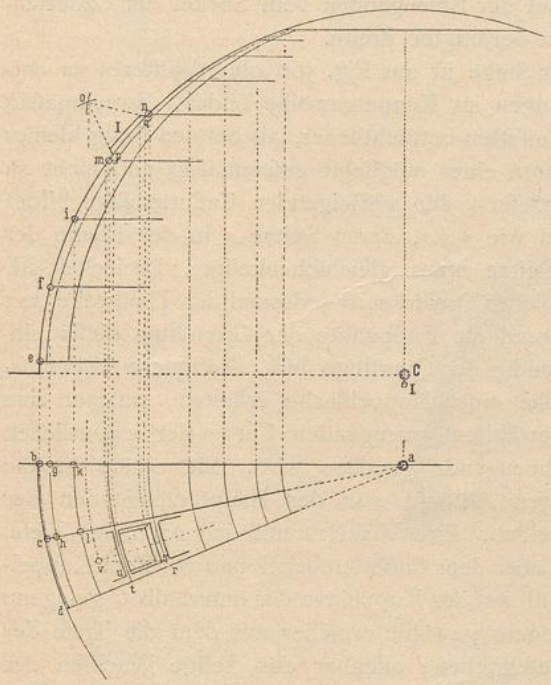
Die häufig ſehr niedrig gehaltene, tellerförmig geſtaltete Flachkuppel (Teller, Nabel, Calotte) wird oft vortheilhaft von den Pendentifs der Unterkuppel durch ein ringförmig geführtes Geſims getrennt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

360. Caſſettirte Kuppelgewölbe.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes kann in mannigfaltigſter Weiſe durch Malerei, Stuck, vortretende Rippen u. ſ. w. verziert werden. Vielfach erfolgen Ausſtattung und Gliederung der Laibung der Kuppelgewölbe durch die ſchon beim Tonnengewölbe in Art. 163 (S. 234) erwähnten Caſſetten. Dieſelben können mit ihren Stegen die wechſelvollſten Formen annehmen, dabei beſonders geordnete, neben einander liegende oder mit einander verſchlungene Felder bilden und in mancherlei Weiſe mit Gliederungen, Roſetten, Arabesken, figürlichen Darſtellungen in einfacher oder reicher Ausſtattung verſehen werden. In der Nähe des Scheitels des Kuppelgewölbes läſſt man zur Vermeidung der hier zu klein erſcheinenden Caſſetten den ſog. Spiegel oder Nabel der Kuppel meiſtens ohne Caſſettentheilung. Je nachdem der Scheitel des Gewölbes mit einem Deckenlicht verſehen wird oder ſeine urſprüngliche Gewölbebildung behält, iſt eine entſprechende Ausſchmückung des Gewölbſpiegels vorzunehmen.

Fig. 560.



361. Caſſetten-Anordnung: I. Verfahren.

Für die Anordnung der Caſſetten ſollen einige Grundlagen mitgetheilt werden, welche im Allgemeinen die möglichſte Einfachheit bewahren.

Das zeichneriſche Ausmitteln der Caſſetten mit den trennenden Stegen kann nach Fig. 560 auf folgendem, ſehr einfachem Wege vorgenommen werden.

Auf dem Grundkreiſe oder der Kämpferlinie $b\,d$ der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beſtimmt man gleiche Theilweiten $b\,c$, $c\,d$ u. ſ. f. und ſetzt die nach den Theilpunkten b, c, d u. ſ. f. gezogenen Halbmeſſer $a\,b$, $a\,c$, $a\,d$ u. ſ. f. als wagrechte Projectionen der Mittellinien der nach dem Scheitel der Kuppel aufſteigenden Stege feſt. Soll den Caſſetten eine nahezu quadratiſche Form gegeben werden, ſo trägt man auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beſchriebener Viertelkreis mit dem Halbmeſſer $a\,b$ gewählt, zugleich die lothrechte Projection der Mittellinie des Stegs $a\,b$ iſt, unter Beachtung einer paſſenden Entfernung über die Kämpferebene des Gewölbes, z. B. von e aus, die Theilweite $b\,c$ des Grundkreiſes $b\,d$ als $e\,f$ ab. Hierauf ermittelt man die Grundriſs-Projection des Punktes f auf $a\,b$ in g und beſchreibt um a mit dem Halbmeſſer $a\,g$ einen Kreis. Derſelbe giebt die Grundriſs-Projection der Mittellinie des erſten, concentriſch mit der Kämpferlinie der Kuppel ziehenden Caſſettenſteges. Seine Schnitte g, h mit den Steglinien $a\,b$, $a\,c$ u. ſ. f. ſind die oberen Eckpunkte der Theilriſſe der erſten Caſſettenreihe. Die unteren Eckpunkte der Theilriſſe dieſer Reihe erhält man nach Ermitteln der Grundriſs-Projection des Punktes e auf $a\,b$. Die Schnitte des Kreiſes, welcher durch dieſe Grundriſs-Projection beſtimmt und in der Zeichnung punktirt dargeſtellt iſt, mit den Geraden $a\,b$, $a\,c$ u. ſ. f., ſind die geſuchten Endpunkte.

Liegt bei einer ſog. Ueberhöhung der Kuppel die Kämpferebene unter C, ſo erhält die Caſſettenanlage in Folge der günſtigen Annahme des Punktes e in zweckmäſsiger Weiſe einen entſprechend hohen Sockel. Hierdurch iſt ſelbſt bei einem kräftig ausladenden Kämpfergeſims die untere Caſſettenreihe noch deutlich und vollſtändig vom Fuſsboden des überwölbten Raumes aus zu erkennen.

Für die Theillinien der zweiten Caſſettenreihe wird die Weite $g\,h = f\,i$ auf der Erzeugenden abgetragen und nunmehr wiederum ganz im Sinne des für das Ausmitteln des erſten Caſſettenzuges Geſagten verfahren. Auf dem beſchriebenen Wege erhält man nach und nach die ſämmtlichen Netzlinien für die Caſſetten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Sollen über Ecke geſtellte oder vieleckig begrenzte Caſſetten angewendet werden, ſo kann das ſoeben beſprochene Netz als Hauptnetz für das Einzeichnen der Theillinien beliebig geformter Caſſetten leicht benutzt werden.

Die Stege zwiſchen den aufſteigenden Caſſettenreihen treten vom Caſſettenſockel bis zum Kuppelſpiegel mit ſtetig verjüngter Breite auf. Ihre Grenzlinien ſind Meridianbogen der Kuppelfläche. Setzt man die gewünſchte Breite dieſer Stege unter Beachtung der Mittellinien des Hauptnetzes im Grundriſſe am Sockel der Caſſettenreihen feſt, ſo ergeben ſich durch Ziehen der zugehörigen Halbmeſſer die wagrechten Projectionen der Seitenlinien, wie z. B. $s\,u$, der aufſteigenden Stege.

Die Breite der ſämmtlichen Querſtege der Caſſetten wird in der Grundriſs-Projection meiſtens gleich groſs genommen. In der Aufriſs-Projection zeigen ſich dieſe Querſtege dann in Abſchnitten auf der Erzeugenden vom Sockel der Caſſettenanlage bis zum Spiegel der Kuppel in verjüngter Breite.

Die zeichneriſche Darſtellung der Stege iſt aus Fig. 560 ohne Weiteres zu entnehmen. Die Caſſetten ſollen Vertiefungen im Kuppelgewölbe bilden. Zweckmäſsig iſt die Vertiefung bei den gröſseren Caſſetten beträchtlicher, als bei den ſtetig kleiner werdenden Caſſetten. Zum Herbeiführen einer möglichſt geſetzmäſsig und nicht zu ſchroff erfolgenden Abnahme der Vertiefung der aufſteigenden Caſſettenzüge bildet man die Vertiefungen nach Pyramiden wie $p\,q\,o$, deren Spitze o in der Ebene der Erzeugenden der Kuppelfläche die Spitze eines gleichſchenkeligen Dreieckes iſt. Die Länge der Schenkel $p\,o$ und $q\,o$ ſolcher Dreiecke iſt jedesmal der Theilweite $m\,n$ der zugehörigen Caſſette gleich, während die Endpunkte der Grundlinie dieſer einzelnen Dreiecke die inneren Punkte p und q der Querſtege ſind. Die innere Abſchluſsfläche der Caſſetten wird durch Stücke einer Kuppelfläche erhalten, welcher eine beſondere, in der Form von der gewählten erzeugenden Curve der eigentlichen Laibungsfläche etwas abweichende Erzeugende gegeben wird. Sie erhält für die unteren Caſſettenreihen einen gröſseren Abſtand von der Haupterzeugenden der Kuppel, als für die oberen Caſſettenreihen. Ihre Wahl richtet ſich nach der Tiefe, welche man den Caſſetten unmittelbar über dem Caſſettenſockel und vor dem Kuppelſpiegel geben will. In der Zeichnung iſt auf der Kuppelaxe der unterhalb C gelegene Punkt I als Mittelpunkt eines Kreisbogens gewählt, welcher mit dem die Tiefe der Caſſetten feſt legenden Halbmeſſer beſchrieben, offenbar das ſtetige Wachſen der Vertiefungen der Caſſetten vom Kuppelſpiegel bis zum Caſſettenſockel bedingt. Für eine Caſſette über $p\,q$ iſt ein Stück I dieſes Bogens gezeichnet.

Iſt für eine aufſteigende Caſſettenreihe die Spitze o der zugehörigen Pyramide, iſt aufserdem die Abſchluſslinie I der einzelnen Caſſetten durch die Aufriſs-Projection in einer Meridianebene beſtimmt, ſo laſſen ſich die wagrechten Projectionen der einzelnen Caſſetten finden. Für die Caſſette über $p\,q$ iſt v die wagrechte Projection der Pyramidenſpitze o. Mit Benutzung des Punktes v und der Aufriſs-Projectionen der Caſſette $p\,q$ wird, wie aus der Zeichnung unmittelbar zu erkennen iſt, die Darſtellung des Grundriſſes der Caſſetten leicht ermöglicht.

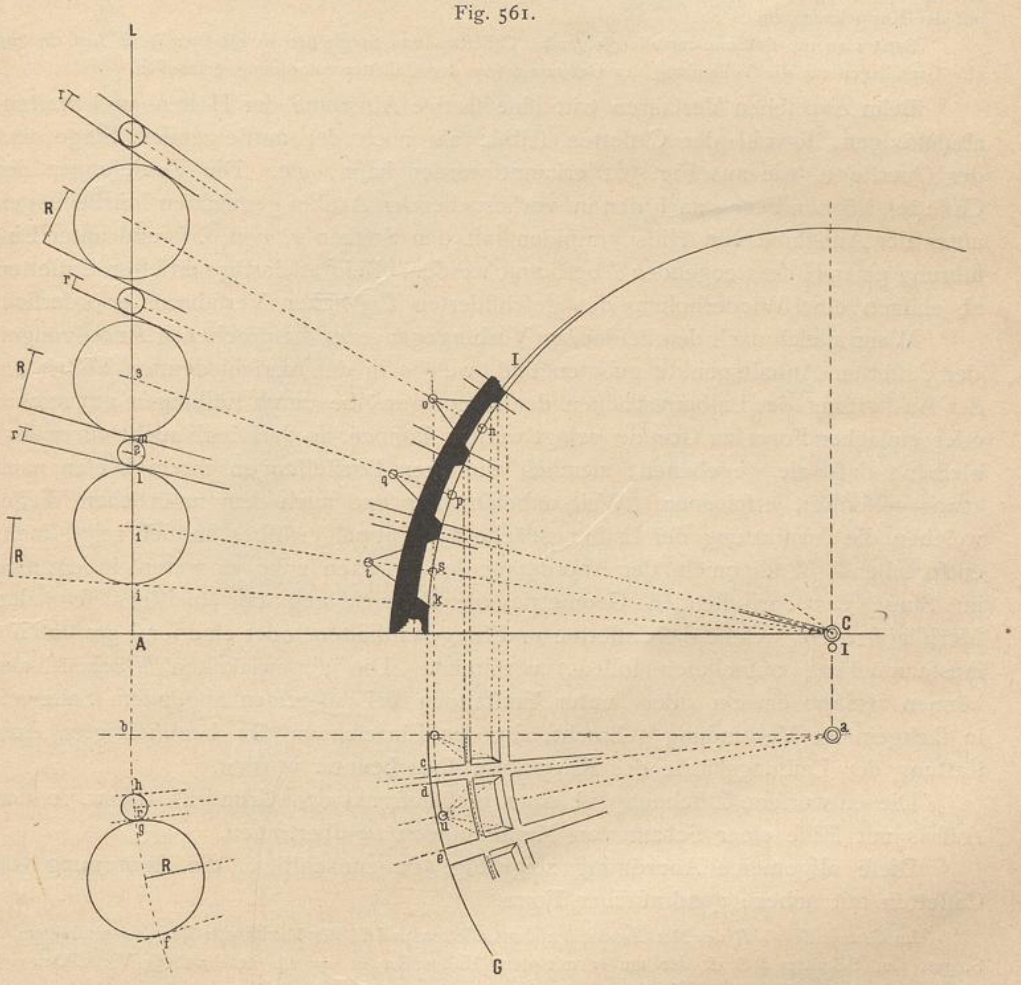
Sollen die Caſſetten ſtaffelartig angelegte Umrahmungen erhalten, ſo iſt das für die Ausmittelung der Caſſetten angegebene Verfahren nur der Zahl der Staffeln entſprechend oft zu wiederholen.

362. II. Verfahren. Ein zweites Verfahren für die Geſtaltung der Caſſetten mit ihren Stegen iſt unter der Bezeichnung »*Emy*'ſches Verfahren« bekannt. Hierbei wird nach Fig. 561 der Kreis G der oberen Kante k des Caſſettenſockels als Theilkreis für die Weiten $e\,d$

der unteren Caſſettenreihe und der Breiten cd des Fuſses der Stege zu Grunde gelegt. Die Meridianſchnitte ac, ad, ae u. ſ. f. beſtimmen die Begrenzungen der Caſſettenreihen.

Für die Aufriſſe der Caſſetten und Stege auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beſchriebener Viertelkreis angenommen iſt, werden Hilfskreiſe mit dem Halbmeſſer R für die Caſſetten und dem Halbmeſſer r für die Stege benutzt, welche mit den Theilbreiten de und cd des Theilkreiſes G in Abhängigkeit gebracht werden. Hierzu beſchreibt man im Grundriſſe mit dem beliebigen, entſprechend groſs gewählten Halbmeſſer ab um a den Kreisbogen bf und erweitert die Strahlen ac, ad, ae bis zu ihren Schnitten h, g, f mit dem Kreisbogen bf. Die Linien ah und ag ſollen Tangenten des kleinen Kreiſes mit den Berührungspunkten h und g werden.

Fig. 561.



Der Schnitt der hier nicht gezeichneten Lothe in h auf ah und in g auf ag beſtimmt den Mittelpunkt dieſes Kreiſes und die Gröſse ſeines Halbmeſſers r. Auſserdem ſollen die Linien ag und af Tangenten des groſsen Kreiſes mit den Berührungspunkten g und f werden. Lothe in g auf ag und in f auf af ſchneiden ſich im Mittelpunkte des geſuchten Kreiſes, wonach alsdann die Gröſse des Halbmeſſers R zu beſtimmen iſt.

Für den Aufriſs wird in der Meridianebene CA der Kuppel die Länge $CA = ab$ abgetragen und in A auf CA das Loth AL errichtet. Durch den gegebenen, in der oberen Sockelkante der Caſſettenreihen liegenden Punkt k wird die entſprechend verlängerte Gerade Ci gezogen. Das auf Ci an beliebiger Stelle errichtete Loth R erhält die Länge des Halbmeſſers R des für die Caſſettenbreite feſt geſtellten Hilfskreiſes gf. Zieht man durch den Endpunkt des Lothes R die Parallele zu Ci, ſo trifft

dieſelbe die Gerade AL im Punkte 1. Der um 1 mit dem Halbmeſſer R beſchriebene Kreis wird für die Höhe der erſten Caſſettenreihe maſsgebend. Die verlängerte Gerade Ck iſt aus Gründen, welche, wie leicht erſichtlich, durch die Zeichnung an und für ſich bedingt ſind, eine Tangente des Kreiſes. Zieht man von C aus eine zweite Tangente Cl dieſes Kreiſes, ſo wird die Höhe der erſten Caſſettenreihe auf der Kuppelerzeugenden erhalten.

Zum Feſtlegen der nun folgenden Steghöhe wird wiederum in einem beliebigen Punkte der Tangente Cl das Loth r von der Länge des Halbmeſſers r des für die Stege ermittelten Hilfskreiſes hg errichtet und durch den Endpunkt dieſes Lothes eine Parallele zu Cl gezogen, um im Schnitte 2 dieſer Parallelen mit AL den Mittelpunkt des für die Steghöhe maſsgebenden Kreiſes mit dem Halbmeſſer r zu erhalten. Eine von C aus an dieſen Kreis gezogene Tangente Cm ſchneidet die geſuchte Steghöhe auf der Kuppelerzeugenden ab.

Setzt man die Beſtimmung aller folgenden Caſſetten- und Steghöhen in gleicher Weiſe fort, ſo ſind alle Grundlagen für die Vollendung des Geſammtnetzes der Caſſetten-Anordnung geſchaffen.

Beim *Emy*'ſchen Verfahren tritt eine ſtetige Abnahme der Höhen- und Breitenabmeſſungen, ſowohl der Caſſetten ſelbſt, als auch der aufſteigenden Stege und der Querſtege, wie aus Fig. 561 erkannt werden kann, ein. Die Vertiefungen der Caſſetten können genau nach den im vorhergehenden Artikel gemachten Mittheilungen unter der Annahme von Hilfspyramiden mit den Spitzen o, q u. ſ. f. und unter Einführung einer Hilfserzeugenden I beſtimmt werden. Bei ſtaffelartig vertieften Caſſetten iſt einfach eine Wiederholung des geſchilderten *Emy*'ſchen Verfahrens erforderlich.

363. III. Verfahren.

Wenn gleich nach den beiden, im Vorhergegangenen beſprochenen Anordnungen der Caſſetten Anhaltspunkte geboten ſind, welche in den verſchiedenſten Fällen bei der Ausſtattung der Laibungsflächen der Kuppelgewölbe durch Füllungen mit reicher oder einfacher Form zu Grunde gelegt werden können, ſo darf doch nicht unerwähnt bleiben, daſs die gegebenen, ziemlich einfachen Darſtellungen ihrem Weſen nach etwas gekünſtelt erſcheinen. Weit unbefangener und auch dem natürlichen Wege, welchen die Ausſtattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes an ſich zeigt, mehr entſprechend, iſt allgemein der Anordnung der Caſſetten nahe zu treten, indem man im Sinne der darſtellenden Geometrie die Abwickelung der meiſtens ſchmalen Meridianſtreifen, welche die Caſſetten und Stege enthalten, oder eine ſonſt gewünſchte Ausſchmückung aufnehmen ſollen, vornimmt. Die abgewickelten Flächenſtücke können alsdann einzeln oder, unter Umſtänden bei zuſammenhängendem Schmuck in ſachgemäſse Verbindung gebracht, für das Einzeichnen der beabſichtigten Ausſtattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes benutzt werden.

Die entworfene Zeichnung iſt dann rückläufig in den Grundriſs, bezw. in den Aufriſs mit Hilfe einer Schaar von Meridianlinien zu übertragen.

Dieſe allgemeine Anordnung zeigt Fig. 562 zunächſt für die Anordnung von Caſſetten mit nahezu quadratiſcher Form.

Im Grundriſſe iſt B der Meridianſtreifen der Caſſetten und A der Meridianſtreifen des aufſteigenden Steges. Im Schnitte BC iſt der um m mit dem Halbmeſſer $mo = Co$ beſchriebene Viertelkreis $o9$ die Erzeugende des Kuppelgewölbes.

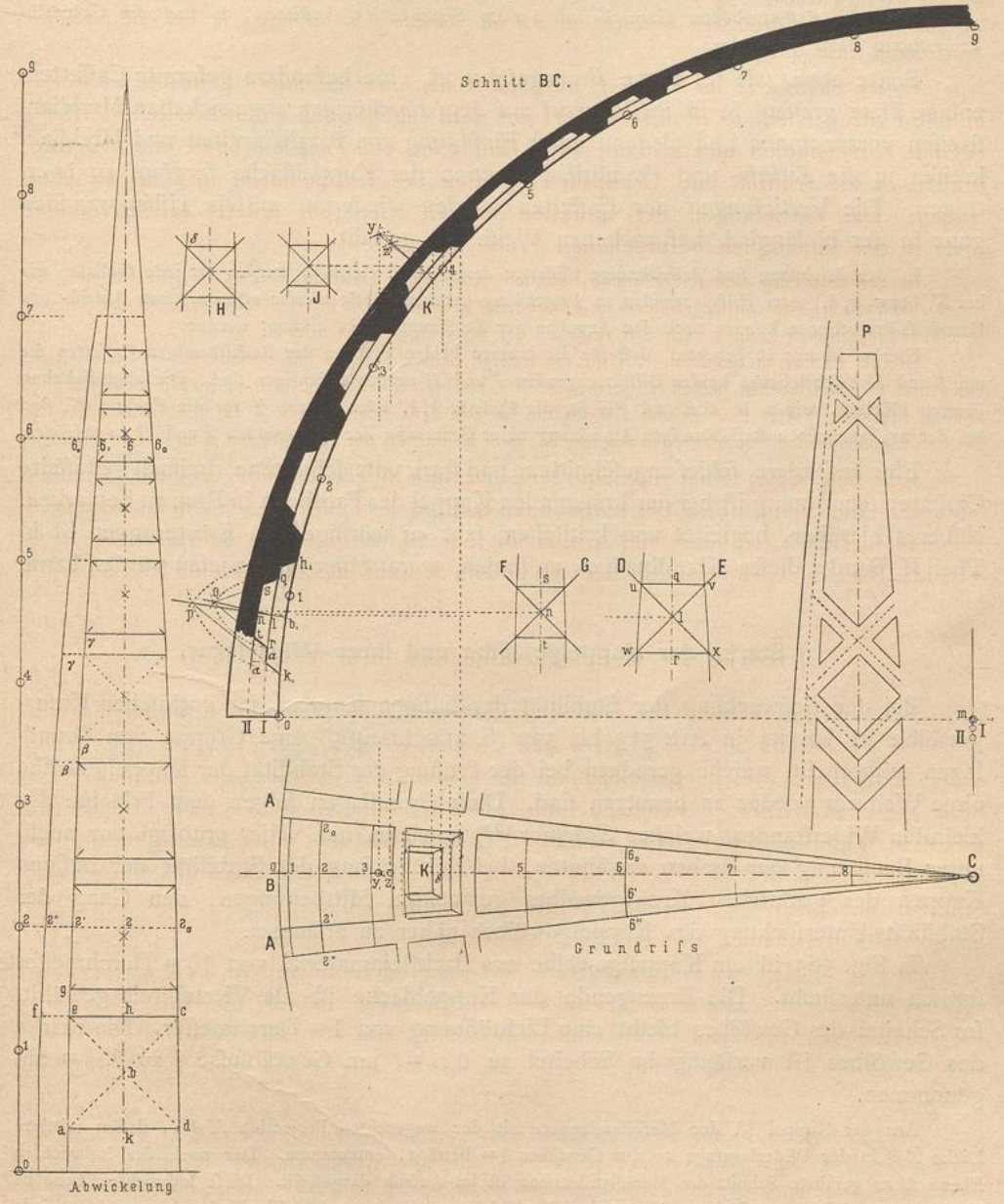
Der Viertelkreis $o9$ iſt in 9 gleiche Theile getheilt. Im Plane der Abwickelung ſind die Erſtreckungen $o1$, 12 u. ſ. f. gleich den Bogenlängen $o1$, 12 u. ſ. f. auf der lothrechten Linie $o9$ abgetragen.

Durch die Punkte o, 1, 2 u. ſ. f. gezogene Wagrechte müſſen bei der durch k lothrecht gelegten Erſtreckung der Meridianlinie über Co des Grundriſſes die erſtreckten Bogenlängen der durch o, 1, 2 u. ſ. f. um C im Grundriſſe beſchriebenen Bogen der Parallelkreiſe der Kuppelfläche je zur Hälfte nach links und rechts von der Linie k aus, ſo weit dabei die Meridianſtreifen A und B in Betracht kommen, aufnehmen. So iſt z. B. bei der durch 2 angenommenen wagrechten Linie $22_0 = 22$, gleich der Erſtreckung der Bogenlänge $22_0 = 22$, im Grundriſſe für den Meridianſtreifen B. Eben ſo iſt hier für den Meridianſtreifen A die Länge $2,2_{,,}$ gleich der erſtreckten Bogenlänge $2,2_{,,}$ im Grundriſſe. In gleicher Weiſe iſt noch bei der wagrechten Linie 66_0 in der Abwickelung und dem Bogen $6_0 6_{,,}$ im Grundriſſe verfahren.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ist die Abwickelung der Meridianstreifen *B* und *A* vollständig gezeichnet, so kann das Eintragen der unteren und oberen Seitenlinien der Cassetten in folgender Weise geschehen. In der Höhe *k* der Abwickelung über dem Fusse *o* des Kuppelgewölbes ist *a d* als erste untere Cassettenlinie fest gelegt. Von *a* und *d* aus sind unter einem Winkel von 45 Grad zu *a d* die Linien *a c* und *d e* gezogen. Die Wagrechte *e c* bestimmt die obere Linie der nahezu quadratisch geformten Cassette.

Fig. 562.



Um die Breite des nun folgenden Querstteges zu erhalten, ist die Gerade *e c* bis zur Abwickelungslinie des Meridianstreifens für den aufsteigenden Steg nach *f* zu führen und in *f* eine Linie *f g* unter 45 Grad zu *c f* zu ziehen. Die durch *g* gelegte Wagrechte giebt die untere Seite der zweiten Cassettenreihe. Auf diesem Wege schreitet man nach und nach vor, um, wie aus dem Plane der Abwickelung

genau zu verfolgen ift, die Caffetten- und Steganlage vollftändig in der Abwickelung zur Darftellung zu bringen.

Das Zurückführen der unteren und oberen Seitenlinien der Caffetten auf die Gewölbfläche wird mittels der Erzeugenden $o\,q$ im Schnitte $B\,C$ vorgenommen. Hier ift z. B. die Bogenlänge $k, b,$ durch Benutzung kleiner Theilftrecken der Länge $k\,b$ gleich der Erftreckung $k\,b$ der Abwickelung abzutragen. Eben fo ift die Bogenlänge $b, h,$ fo abzumeffen, dafs diefelbe der Erftreckung $b\,h$ gleich wird. Gleiches gilt für die Stegbreiten.

Sind alle Caffettenhöhen hiernach auf $o\,q$ im Schnitte $B\,C$ beftimmt, fo find die Grundrifs-Projectionen leicht anzugeben.

Sollte etwa, wie im Plane P ausgeführt ift, eine befonders geformte Caffettenanlage Platz greifen, fo ift ihr Entwurf auf dem zugehörigen abgewickelten Meridianftreifen vorzunehmen und alsdann unter Einfügung von Parallelkreifen und Meridiankreifen in die Aufrifs- und Grundrifs-Projection der Kuppelfläche forgfam zu übertragen. Die Vertiefungen der Caffetten werden wiederum mittels Hilfspyramiden ganz in der hinlänglich befprochenen Weife feft geftellt.

In der Zeichnung find ftaffelförmige Caffetten dargeftellt. Defshalb wurden für jede Caffette, wie bei K, bezw. $k, h,$, zwei Hilfspyramiden in Anwendung gebracht. Die hierfür erforderlichen Aufrifs- und Grundrifs-Projectionen können nach den Angaben der Zeichnung leicht erkannt werden.

Hierbei ift nur zu beachten, dafs für die inneren beiden Flächen der ftaffelförmigen Caffetten die um I und II befchriebenen beiden Hilfserzeugenden I und II zu berückfichtigen find. Die abgewickelten inneren Flächen, wie z. B. $D\,E$ und $F\,G$ für die Caffette $k, h,$ oder H und J für die Caffette K, find bei der angenommenen ftaffelförmigen Anordnung unter Benutzung der Erzeugenden I und II zu zeichnen.

Eine befondere, fchief angefchnittene und ftark unterfchnittene, dreifach geftaffelte Caffetten-Anordnung ift bei der kreisrunden Kuppel des Pantheon in Rom zu bemerken. Näheres hierüber, begleitet von kritifchen, fehr zu würdigenden Erörterungen ift in Theil II, Band 2 diefes »Handbuches« zu finden, worauf hier hingewiefen werden kann.

b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager.

364. Stabilität der Kuppelgewölbe.

Bei der Befprechung der Stabilität der bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe ift bereits in Art. 315 bis 322 (S. 460 bis 469) eine Gruppe von Grundlagen mitgetheilt, welche geradezu bei der Prüfung der Stabilität der Kuppelgewölbe ohne Weiteres wieder zu benutzen find. Diefe Grundlagen folgen dem Principe des kleinften Widerftandes, welches *Scheffler*[188]) bewiefen hat. Hier erübrigt nur noch, unter Benutzung der foeben erwähnten, bei der Prüfung der Stabilität der bufigen Kappen des gothifchen Kreuzgewölbes gemachten Mittheilungen, den Gang der Stabilitäts-Unterfuchung des Kuppelgewölbes näher zu erläutern.

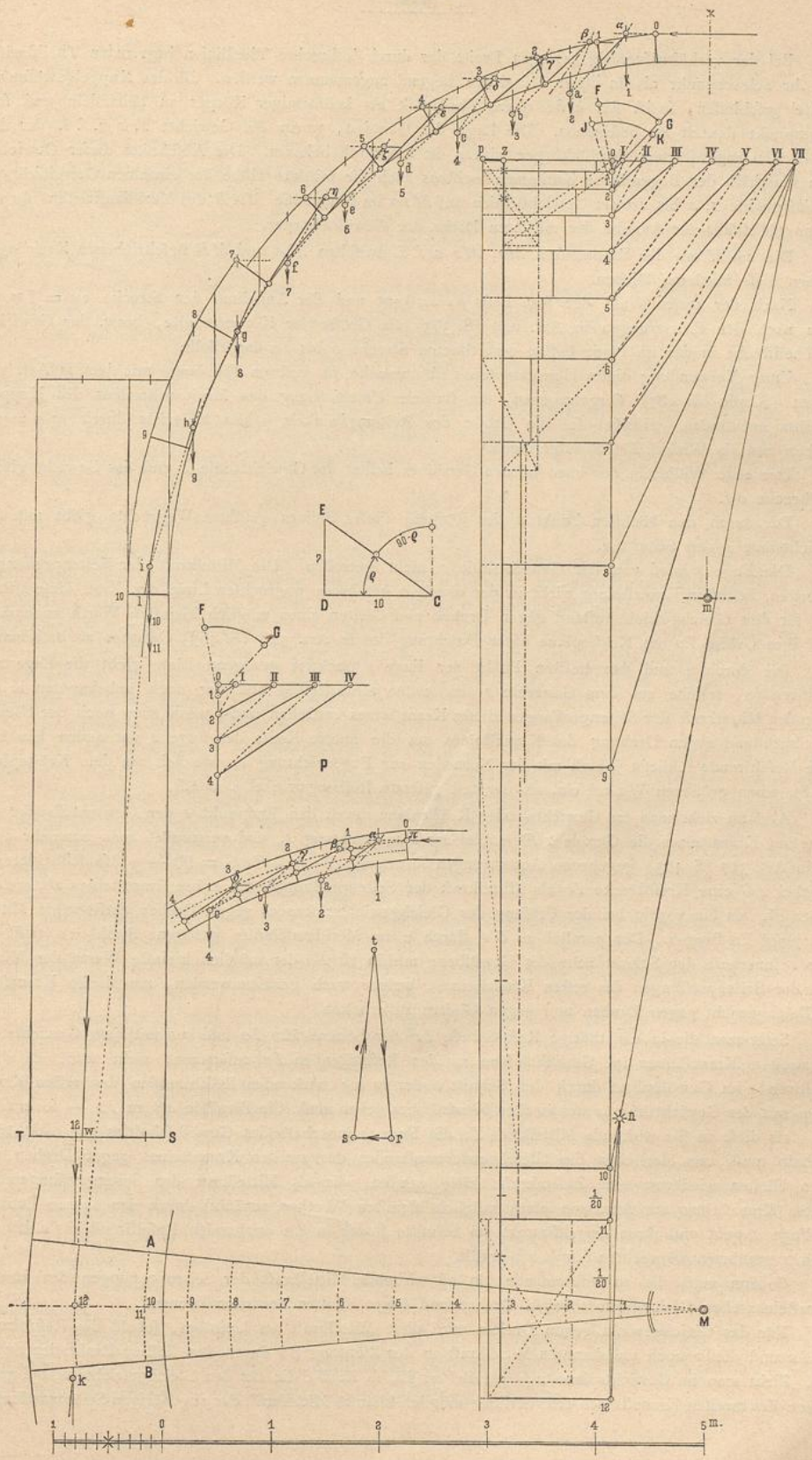
In Fig. 563 ift ein Kuppelgewölbe aus Backfteinmaterial von 10 m Durchmeffer ftatifch unterfucht. Die Erzeugende der Kuppelfläche ift als Viertelkreis gewählt. Im Scheitel des Gewölbes bleibt eine Lichtöffnung von 1 m Durchmeffer. Die Stärke des Gewölbes ift vorläufig im Scheitel zu 0,25 m, am Gewölbfufse l zu 0,38 m angenommen.

Aus der Kuppel ift der Meridianftreifen mit der wagrechten Projection $M\,A\,B$, deffen mittlere Dicke $A\,B$ in der Widerlagsfuge $1o$ des Gewölbes 1 m beträgt, entnommen. Der nach der lothrechten Ebene $M\,1o$ geführte Schnitt des Meridianftreifens ift im Aufrifs dargeftellt. Diefe lothrechte Ebene ift Kräfteebene. Die Bogenfläche o bis $1o$ des Gewölbkörpers ift in 10 Theilftreifen zerlegt und für jede Theillinie nach den in Art. 143 (S. 200) gegebenen Ausführungen die zugehörige, nach m gerichtete Wölbfuge eingezeichnet.

188) Siehe: SCHEFFLER, H. Die Hydraulik auf neuen Grundlagen. Leipzig 1891.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 563.



Bei der verhältnifsmäfsig geringen Breite der durch lothrechte Theillinien begrenzten Theilftreifen kann ihr Schwerpunkt als in ihrer Mittellinie liegend angenommen werden. Ift das Kuppelgewölbe im Scheitel gefchloffen, fo ift das erfte obere Theilftück als keilförmiger Körper zu behandeln und fein Schwerpunkt danach zu beftimmen. Die Lage der Geraden, worin die Gewichte *1*, *2* u. f. f. der den Theilftreifen zugewiefenen Gewölbkörper wirken, ift hierdurch bekannt. Die Abfchnitte diefer Gewichtslinien innerhalb der Bogenfläche beftimmen meiftens auch die mittlere Höhe der einzelnen Gewölbkörper. Die Fufspunkte *1*, *2* bis *10* der Gewichtslinien auf *M 10* im Grundriffe *M A B* des Meridianftreifens dienen alsdann gleichfalls zur Angabe der mittleren Dicke der Gewölbekörper.

Die um *M* mit den Halbmeffern *M 1*, *M 2* u. f. f. zwifchen *M A* und *M B* befchriebenen Kreisbogen ergeben diefe mittleren Dicken.

Nach der freien Wahl der fog. Bafis $p z = 0{,}2^{\,m}$ und der Annahme der Strecke $z o = 1^{\,m}$ ift genau nach den Erörterungen in Art. 249 (S. 363) die Gröfse der Körperinhalte, bezw. der Gewichte der Theilftücke in der im Plane bei *m* gezeichneten Strecke *o* bis *10* dargeftellt.

Unter Verwendung diefes Gewichtsplanes ift nunmehr, im vollften Einklange mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Vorgetragenen, die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens des Kuppelgewölbes anzuftellen. Hierbei fei die Gröfse des Reibungswinkels ϱ des Materials durch $\operatorname{tg} \varrho = 0{,}7$ gegeben und als Winkel *D C E* aufgetragen.

Der erfte Wölbftein des oben offenen Gewölbes befitzt die Gewichtslinie *1* und das Gewicht gleich der Strecke *o 1*.

Die durch den höchften Punkt *o* des Rückens diefes Steines geführte Wagrechte giebt mit der Gewichtslinie *1* den Schnitt α.

Die Fuge *1* wird von der Gewichtslinie *1* nicht getroffen. Die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften, höchften Kranzfteines wirkt in der durch *o* geführten wagrechten Linie $o\alpha$. Soll diefe Mittelkraft für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen und Gleiten einen möglich kleinften Werth annehmen, fo ift ihre Gröfse *1o* im Kräfteplane unter Beachtung des in Art. 318 (S. 463) Gefagten zu beftimmen.

Die durch α und den tiefften Punkt der Fuge *1* punktirt gezogene Linie giebt die Lage der Refultirenden, welche aus dem Gewichte *1* des erften Kranzfteines und der noch unbekannten in $o\alpha$ wirkenden Mittelkraft der Seitenpreffungen diefes Kranzfteines entftehen mufs, wenn eben noch der Gleichgewichtszuftand gegen Drehung des Kranzfteines um die untere Kante der Fuge *1* vorhanden fein foll. Diefe Refultirende fchliefst jedoch mit der Normalen zur Fugenrichtung *1*, wie fich aus dem Kräfteplane ergiebt, einen gröfseren Winkel ein, als der feft gefetzte Reibungswinkel ϱ zuläfft.

Alsdann zieht man im Gewichts- oder Kräfteplane durch den Endpunkt *1* der Gewichtsftrecke *o 1* des erften Kranzfteines die Gerade *1 F* parallel zur Fugenrichtung *1*, und verwendet man nunmehr nach den in Art. 317 (S. 463) gegebenen Ausführungen fofort den Winkel $F1G = 90 - \varrho$, fo fchneidet der Schenkel *1 G* eine Kraftftrecke *1o* als Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines ab, welche gröfser ift, als die vorhin bei der Prüfung des Gleichgewichtszuftandes gegen Drehen entftehende Mittelkraft jener Preffungen. Der parallel zu *G 1* durch α im Meridianfchnitte gezogene Strahl αa trifft die Fuge *1* innerhalb der Schnittfläche des Gewölbes; mithin ift *1o* der möglich kleinfte Werth der Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines, welche wach gerufen werden, um diefen Kranzftein im Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten zu erhalten.

Setzt man die in αa thätige Refultirende *I 1* der Seitenkräfte *1o* und *o 1* mit dem Gewichte *1 2* des zweiten Kranzfteines im Gewichtsplane zu der Refultirenden *I 2* zufammen; zieht man, da diefe Refultirende im Gewölbplane durch den Schnitt *a* der in αa wirkenden Refultirenden des erften Kranzfteines mit der Gewichtslinie *2* des zweiten Kranzfteines gehen mufs, die Parallele $a\beta$ zu *I 2* — fo erkennt man, dafs diefe in βa wirkende Mittelkraft *I 2* die Fuge *2* innerhalb des Gewölbfchnittes gar nicht trifft. Defshalb mufs zum Herftellen des Gleichgewichtszuftandes des zweiten Kranzfteines gegen Drehen und gegen Gleiten wiederum eine Zufatzkraft thätig werden, die als Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines zur Annahme eines möglich kleinften Werthes zunächft durch den oberen Punkt *1* der Fuge *1* geht und ihren Angriffspunkt im Schnitte β der in $\beta\alpha$ wirkenden Refultirenden *I 2* mit der durch *1* geführten wagrechten Linie 1β erhält.

Sodann mufs die zu beftimmende, in 1β wirkende Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines eben Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten bewirken können.

Für das Gleichgewicht gegen Drehen wird diefe Mittelkraft am kleinften, fobald die Refultirende aus *I 2* und diefer noch unbekannten Mittelkraft in der Richtung βb durch den tiefften Punkt der Fuge *2* geht. Zieht man im Gewichtsplane *2 II* parallel zu βb, fo ift *II I* die für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen des zweiten Kranzfteines erforderliche möglich kleinfte Mittelkraft der zugehörigen Seitenpreffungen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für das Gleichgewicht gegen Gleiten ift diefe Mittelkraft aber fo zu beftimmen, dafs die Richtung der Refultirenden aus der Kraft *I 2* und diefer noch unbekannten Mittelkraft mit der Normalen zur Fugenrichtung *2* keinen den Reibungswinkel ρ überfchreitenden Winkel einfchliefst.

Zieht man durch den Punkt *2* im Gewichtsplane die Gerade *2 J* parallel zur Fugenrichtung *2* und verwendet man in bekannter Weife den Winkel $J2K = 90 - \rho$, fo ergiebt fich, dafs die durch β parallel mit *2 K* geführte Gerade die Bogenfläche des Gewölbes innerhalb der Fuge *2* nicht trifft, dafs daher zum Feftfetzen der Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines die Prüfung des Gleichgewichtszuftandes gegen Drehung allein hier fchon mafsgebend wird.

Für alle folgenden Fugen tritt eine Berückfichtigung des Reibungswinkels nicht mehr ein (vergl. Art. 322, S. 473 und Fig. 528).

Für die Fuge *3* kommt zunächft die in βb wirkende Refultirende *II 2* in Betracht. Diefelbe fetzt fich alsdann in *b* mit dem Gewichte *2 3* des dritten Kranzfteines zu einer Refultirenden *II 3* zufammen. Die Gerade γb parallel zu *II 3* durch *b* im Gewölbplane geführt, giebt ihre Lage für die Bogenfläche des Gewölbes. Sie fchneidet die durch den oberen Punkt *2* der Fuge *2* gezogene Wagrechte in γ. Die durch γ und den tiefften Punkt der Fuge *3* geführte Gerade γc bedingt die Lage der für das Gleichgewicht gegen Drehen des dritten Kranzfteines eintretenden Refultirenden, deren Seitenkräfte als *II 3* und als die noch zu beftimmende wagrechte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines fich geltend machen. Zieht man *3 III* im Gewichtsplane parallel zu γc, fo ift *III II* die gefuchte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines.

Auf ganz gleichem Wege fährt man in der Zufammenfetzung der für die folgenden Kranzfteine in Frage kommenden Kräfte fort, um in den Strecken *IV III*, *V IV*, *VI V* und *VII VI* die Mittelkräfte der Seitenpreffungen für den 4., 5., 6. und 7. Kranzftein durch Zeichnung zu beftimmen. Für den 8. Kranzftein oberhalb der Fuge *8* kommt eine wagrechte Mittelkraft von Seitenpreffungen nicht mehr in Thätigkeit. Die in der Richtung ηg bis zur Fuge 7 auftretende Refultirende *VII 7* fetzt fich in *g* mit dem Gewichte *7 8* des 8. Kranzfteines zu der Mittelkraft *VII 8* zufammen. Die durch *g* parallel zu *VII 8* geführte Gerade *g h* trifft bereits die Fuge *8* innerhalb der Bogenfläche, fo dafs fchon ohne Eintritt einer Mittelkraft von Seitenpreffungen in der durch den oberen Punkt 7 geführten Wagrechten für diefen Kranzftein Sicherung gegen Drehen vorhanden ift.

Das Gleiche gilt für den 9. und 10. Kranzftein.

Aus dem Kräfteplane ergiebt fich in *I 1*, *II 2* u. f. f. bis *VII 7*, *VII 8*, *VII 9* und *VII 10* der Reihe nach jedesmal der Druck auf die entfprechende Lagerfläche der Fugen *1*, *2* u. f. f. bis *7*, *8*, *9* und *10*.

Würden diefe refultirenden Drücke der Lagerfugenflächen über die äufseren, in der Rückenlinie des Meridianftreifens liegenden Fugenkanten hinausfallen oder mit der Normalen der zugehörigen Fuge von unten einen Winkel einfchliefsen, welcher gröfser als der Reibungswinkel ρ ift, fo ift das unterfuchte Kuppelgewölbe nicht ftandfähig, da im erften Falle kein Gleichgewicht gegen Drehen, im letzten Falle kein Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden ift.

Die Refultirende aller wagrechten Mittelkräfte der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine ift gleich der Summe diefer Mittelkräfte, alfo gleich der Strecke *VII o*. Sie giebt die Gröfse des wagrechten Schubes an, welcher vom Meridianftreifen des Kuppelgewölbes in der Widerlagsfuge *10* auf den Widerlagskörper übertragen wird.

Zu bemerken ift, dafs diefer refultirende wagrechte Schub feinen gröfsten Werth *VII o* bereits für die Fuge 7 erreicht hat. Die Fuge, welcher überhaupt der gröfste refultirende wagrechte Schub zunächft zu theil wird, heifst auch beim Kuppelgewölbe Bruchfuge oder Brechungsfuge. In der Zeichnung ift alfo Fuge 7 die Bruchfuge. Unterhalb der Bruchfuge müffen bei einem ftabilen Gewölbe die Angriffspunkte der einzelnen Lagerfugendrücke $gh = VII\,8$, $hi = VII\,9$ und $il = VII\,10$ für die zugehörigen Fugen *8*, *9* und *10*, wie hier der Fall ift, innerhalb der Bogenflächen bleiben.

Wird die Forderung erhoben, dafs fowohl die Angriffspunkte der Lagerfugendrücke, als auch die wagrechten Linien, worin die Mittelkräfte der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine wirken, das Gebiet des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianftreifens nicht verlaffen follen, fo kann, wie der Plan *P* in Fig. 563 fofort erkennen läfft, die Stabilitäts-Unterfuchung des Kuppelgewölbes unter Beachtung des Flächenftückes, welches dem inneren Drittel der Bogenfläche entfpricht, dem Wefen nach ganz fo vorgenommen werden, wie im Hauptplane gezeigt ift. Zugleich kann hierbei auf Art. 320 (S. 466) verwiefen werden.

365. Stabilität der Widerlager.

In unmittelbarem Zufammenhange mit der ftatifchen Unterfuchung des Meridianftreifens kann die Prüfung der Stabilität des Widerlagers des Kuppelgewölbes in einfacher Weife durch Zeichnung vorgenommen werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der in Fig. 563 im Grundriſſe und Schnitte dargeſtellte Widerlagskörper iſt aus 2 Theilſtreifen mit den Gewichten *11* und *12* gebildet. Die Gewichtsſtrecken *10 11* des Theilkörpers *11* und *11 12* des Stückes *12* ſind im Gewichtsplane zur Vermeidung ſehr langer Kräfteſtrecken nur in $^1/_{20}$ ihrer ſonſt erforderlichen Längen aufgetragen.

Der in der Linie *il* auf die Widerlagsfuge gelangende Druck *VII 10* ſetzt ſich mit dem Gewichte *11* des unterhalb der Fuge *10* vorhandenen Widerlagstheiles zu einer durch den Schnitt *i* der Gewichtslinie *11* mit dem Strahle *il* gehenden Mittelkraft zuſammen. Um dieſe Mittelkraft zu beſtimmen, muſs, da das Gewicht des Theilſtreifens *11* in $^1/_{20}$ ſeiner Gröſse dargeſtellt iſt, auch die Kraftſtrecke *VII 10* nur in $^1/_{20}$ ihrer Gröſse benutzt werden.

Die Strecke *n 10* iſt $^1/_{20}$ der Strecke *VII 10*; mithin iſt *n 11* die geſuchte Mittelkraft ebenfalls in $^1/_{20}$ ihrer Gröſse.

Zieht man die Gerade *ik* parallel zur Linie *n 11*, ſo ergiebt ſich in *ik* die Lage der fraglichen Mittelkraft. Sie trifft die Gewichtslinie *12* im Punkte *k*. Die Zuſammenſetzung von *n 11* und *11 12* ergiebt die Mittelkraft *n 12*. Zieht man durch *k* die Gerade *wk* parallel zu *n 12*, ſo iſt im Strahle *wk* die Lage dieſer Mittelkraft im Plane des Widerlagers beſtimmt. Sie trifft die als feſt vorausgeſetzte Fuſsebene *S T* des Widerlagskörpers im Punkte *w*. Da der Abſtand *Tw* hier noch etwas gröſser als $^1/_3$ *S T* gefunden iſt, ſo iſt entſprechende Sicherheit des angenommenen Widerlagers gegen Drehung vorhanden. Da die Richtung *wk* mit der Normalen zu *ST* einen Winkel einſchlieſst, welcher weit kleiner als der Reibungswinkel ϱ bleibt, ſo iſt auch Gleichgewicht gegen Gleiten bekundet.

Will man die Stabilität des Widerlagers unter Beachtung des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianſtreifens prüfen, ſo erleidet das Weſen der hierbei zu verfolgenden Schritte, welche aufserdem mit der in Art. 142 (S. 197) beſprochenen Beſtimmung der Widerlagsſtärke des Tonnengewölbes in vollſter Uebereinſtimmung ſtehen, keine Beeinträchtigung.

366. Gewölbſtärke.

Auf Grund der Ergebniſſe der ſtatiſchen Unterſuchung des Meridianſtreifens des Kuppelgewölbes iſt die Gewölbſtärke in der in Art. 323 (S. 475) angegebenen Weiſe näher feſt zu ſtellen.

Die gröſste wagrechte Mittelkraft der Seitenpreſſungen der einzelnen Kranzſteine iſt die Kraft *IV III* der vierten Kranzſchicht. Trägt man *sr = IV III* auf, zieht man durch *r* die Lothrechte zu *MB* und durch *s* die Lothrechte zu *MA* des Grundriſſes *MAB* vom Meridianſtreifen, ſo erhält man in *st*, bezw. *tr* die normalen Seitenpreſſungen des 4. Kranzſteines. Für alle übrigen Kranzſteine ſind derartige Seitenpreſſungen kleiner, weil alle übrigen zugehörigen Mittelkräfte kleiner als *IV III* ſind.

Aus praktiſchen Gründen, namentlich zur Vermeidung einer zu bedeutenden Zahl ungleich ſtarker Wölbſchichten, geht man für die Berechnung der von den normalen Seitenpreſſungen zunächſt abhängigen Gewölbſtärke von den gröſsten dieſer Preſſungen aus. Dieſe normalen Preſſungen *st = tr* ſind im Plane gemeſſen gleich $1{,}_{75}$ m. Die Baſis iſt $pz = 0{,}_2$ m; folglich iſt die normale Preſſung gleich $1{,}_{75} \cdot 0{,}_2 = 0{,}_{35}$ cbm. Die zwiſchen den Fugen *3* und *4* des Meridianſtreifens gegebene mittlere Breite des 4. Kranzſteines miſſt $0{,}_{58}$ m.

Zur Anwendung der beim Normaldrucke bei einer Tiefe gleich 1 m abgeleiteten Gleichung 150 (S. 187) iſt *N* für die Stoſsflächen des 4. Kranzſteines zu berechnen als

$$N = \frac{0{,}_{35} \cdot 1}{0{,}_{58}} = 0{,}_6 \text{ cbm}.$$

Nach der eben bezeichneten Gleichung ergiebt ſich für Backſteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}_6)\, 0{,}_6} = 0{,}_{12} \text{ m},$$

d. h. gleich einer Backſteinbreite.

Der Lagerfugendruck für die Fuge *4* iſt gleich *IV 4*. Sieht man dieſen Druck vermöge ſeiner nur geringen Abweichung von der normalen Stellung zur Fugenrichtung *4* ſofort als zugehörigen Normaldruck an, ſo wird, da *IV 4* = $1{,}_{25}$ m miſſt und die mittlere Dicke der Lagerfugenfläche *4* nach dem Grundriſſe *MAB* des Meridianſtreifens zu $0{,}_5$ m erhalten wird, unter Beachtung der Baſis $pz = 0{,}_2$ m die Maſszahl des Normaldruckes der Lagerfuge *4* für die Tiefe gleich 1 m gefunden als

$$N = \frac{1{,}_{25} \cdot 0{,}_2 \cdot 1}{0{,}_5} = 0{,}_5 \text{ cbm}.$$

Dieſer Werth giebt nur eine Stärke

$$d_2 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 = 0{,}_5)\, 0{,}_5} = \infty\, 0{,}_{11} \text{ m}.$$

Da ſonach d_2 kleiner als d_1 wird, ſo iſt in erſter Linie die Stärke $d_1 = 0{,}_{12}$ m zu berückſichtigen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für die Fuge 7 ift der Lagerfugendruck gleich $VII\,7 = 3{,}1$ m und die mittlere Dicke gleich $0{,}8$ m; folglich wird, da ηg als Parallele zu $VII\,7$ als Normale zur Fugenrichtung 7 beibehalten werden kann, für die Tiefe gleich 1 m berechnet

$$N = \frac{3{,}1 \cdot 0{,}2 \cdot 1}{0{,}8} = 0{,}775 \text{ cbm} = \sim 0{,}8 \text{ cbm}.$$

Hierfür wird die Gewölbftärke

$$d_3 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}8)\ 0{,}8} = \sim 0{,}14 \text{ m},$$

alfo gröfser als eine halbe Backfteinlänge.

Für die Widerlagsfuge *10* ift der Normaldruck nach Meffung der Gewichtsftrecke $o\,10 = 9{,}35$ m bei der mittleren Dicke gleich 1 m zu berechnen als

$$N = \frac{9{,}35 \cdot 0{,}2 \cdot 1}{1} = 1{,}87 \text{ cbm}.$$

Diefer Normaldruck erfordert eine Gewölbftärke

$$d_4 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 1{,}87)\ 1{,}87} = 0{,}21 \text{ m},$$

alfo nahezu eine Backfteinlänge.

Die im Vorftehenden berechneten Gewölbabmeffungen find durchweg kleiner als die in der Zeichnung angenommenen Stärken. Sie liefern gewiffe Grenzwerthe, welche bei einer nunmehr zum zweiten Male durchzuführenden Stabilitäts-Unterfuchung des Kuppelgewölbes in Betracht zu ziehen find.

Zu diefem Zwecke wird für den neuen Meridianftreifen, da für die Fuge 7 fchon $0{,}14$ m Stärke eintreten müffte, bis zur Fuge *6* eine Gewölbftärke zu $^1/_2$ Backftein, von Fuge *6* bis zur Widerlagsfuge *10* dagegen eine Gewölbftärke zu 1 Backftein angenommen und nunmehr ganz in der bei Fig. 563 angegebenen Weife die Stabilitäts-Unterfuchung diefes fchwächeren Meridianftreifens durchgeführt.

Im vorliegenden Falle ergiebt diefe hier nicht weiter dargeftellte Unterfuchung jedoch den Ausweis, dafs die Gewölbftärken im Allgemeinen und befonders in der Widerlagsfuge *10* wieder zu vergröfsern find, fo dafs die in Fig. 563 vorweg angenommenen Gewölbftärken zweckmäfsig beibehalten werden.

367. Widerlagsftärke.

Die in Fig. 563 enthaltene ftatifche Unterfuchung des Widerlagers, abhängig gemacht von den im Meridianftreifen wach gerufenen Kräften, welche zur Herftellung des Gleichgewichtszuftandes einem möglich kleinften Werthe entfprechen, liefert das Ergebnifs der ficheren Standfähigkeit des Stützkörpers, da der Angriffspunkt w der letzten in Betracht zu ziehenden Refultirenden wk noch innerhalb des inneren Drittels der Stärke $S\,T$ des Widerlagers liegt, da aufserdem die Mittellinie des Druckes die Widerlagsfläche nicht verläfft und da endlich auch eine Gefahr des Gleitens nicht bekundet ift.

Sollte die Strecke Tw genau gleich $\frac{S\,T}{3}$ werden, fo könnte die Breite des Theilftreifens *12* fogar noch etwas verkleinert werden.

Eine noch gröfsere Sicherheit für die Standfähigkeit des Widerlagers läfft fich einführen, fobald, wie im Plane P von Fig. 563 angedeutet ift, die im Meridianftreifen zu ermittelnden Preffungen unter der Benutzung des inneren Drittels der Bogenfläche beftimmt und bei der fortgefetzten ftatifchen Unterfuchung des Widerlagers in bekannter Weife derart benutzt werden, dafs der Angriffspunkt w den Abftand gleich ein Drittel der Widerlagsftärke von der Aufsenkante des Stützkörpers erhält.

In dem in der Zeichnung behandelten Falle ift die Stärke $S\,T$ des Widerlagers gleich $1{,}25$ m. Der Durchmeffer des betrachteten Kuppelgewölbes ift 10 m; mithin ift die Widerlagsftärke gleich $\frac{1{,}25}{10} = \frac{1}{8}$ diefes Durchmeffers.

368. Fufsring.

Der refultirende wagrechte Schub, welcher vom Meridianftreifen bei der mittleren Dicke 1 m am Fufse in der Widerlagsfuge des Kuppelgewölbes auf den

Widerlagskörper übertragen wird, kann durch einen um den Gewölbefufs gelegten eifernen Ring aufgenommen und vernichtet werden.

Durch diefen Fufsring wird die Sicherung des Gewölbefufses, bezw. die verminderte Beanfpruchung des Widerlagers erreicht.

Die Berechnung des meiftens rechteckig genommenen Querfchnittes des Fufsringes, welcher eine Zugfpannung von der Gröfse der zu vernichtenden, normal zu den Seitenebenen des Meridianftreifens ftehenden Seitenkräfte des refultirenden wagrechten Schubes aufzunehmen hat, erfolgt unter Anwendung der Gleichung 249 (S. 465)

$$p = \frac{HR}{D}.$$

Hierin ift p nunmehr als Gröfse der Zugfpannung, welche der Querfchnitt des Fufsringes aufzunehmen hat, in Kilogramm zu beftimmen, indem zuvor der refultirende wagrechte Schub H in Kilogramm berechnet ift. Bei $\frac{R}{D}$ kann R als Halbmeffer des Bogens AB der mittleren Dicke der Widerlagsfuge und D als diefe mittlere Dicke felbft in Metern bleiben.

H wird in der Zeichnung, wie hier in *VIIo*, als Linie erhalten, welche die Höhe des Steinprismas vom Wölbmaterial angiebt, deffen rechteckige Grundfläche eine Länge von 1 m, aber eine Breite gleich der Bafiszahl, welche beim Auftragen der Gewichtsftrecken der Theilftreifen des Gewölbes benutzt wird, befitzt.

Bezeichnet B die Bafiszahl (in Met.), γ das Gewicht von 1 cbm des Wölbmaterials (in Kilogr.), fo wird

$$p = \frac{H \cdot 1 \cdot B\gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

Ift ferner f die gefuchte Querfchnittsfläche (in Quadr.-Centim.), s die zuläffige Zugfpannung (in Kilogr.) für 1 qcm, fo ift

$$p = fs = \frac{HB\gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

und folglich

$$f = \frac{HB\gamma R}{sD} \text{ Quadr.-Centim.} \quad \ldots \ldots \quad 250.$$

Beifpiel. In Fig. 563 ift $H = VIIo$ zu 1,7 m gemeffen; ferner ift $B = 0{,}2$ m, $\gamma = 1600$ kg, $R = 5{,}2$ m und $D = 1$ m; s fei $= 700$ kg für 1 qcm. Alsdann ift

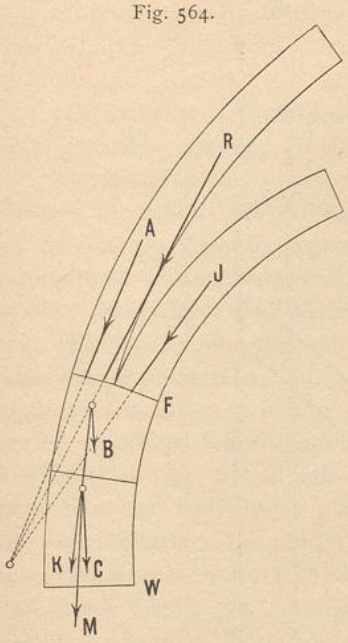
$$f = \frac{1{,}7 \quad 0{,}2 \cdot 1600 \cdot 5{,}2}{700 \cdot 1} = 4{,}04 \text{ qcm}.$$

Ein fchmiedeeiferner Fufsring mit einem rechteckigen Querfchnitte von 1 cm Breite und 4 cm Höhe würde den refultirenden wagrechten Schub vernichten.

369. Doppelkuppel.

Bei Doppelkuppeln ift die ftatifche Unterfuchung auf dem in Art. 364 (S. 516) befchriebenen Wege für die Innen- und Aufsenkuppel befonders vorzunehmen. Vereinigen fich beide Kuppeln oberhalb ihres Gewölbefufses in einer gemeinfchaftlichen Fuge F (Fig. 564), fo erfolgt die getrennte ftatifche Unterfuchung der äufseren und inneren Kuppel bis zu diefer Fuge F. Ift $\mathfrak{J}$ der refultirende Fugendruck der Innenkuppel und A der refultirende Fugendruck der Aufsenkuppel, fo find diefe für die Fuge F vorhandenen Drücke zunächft zu einer Refultirenden R zufammenzufetzen, um alsdann durch ihre Vereinigung mit den Gewichten B, C u. f. f. der Theile des gemeinfchaftlichen Kuppelgewölbftückes, welches zwifchen der Fuge F und der

Fig. 564.



Widerlagsfuge W liegt, nach und nach unter Einführung der entſtehenden Mittelkräfte K, M u. ſ. f. die Stabilitäts-Unterſuchung zu vollenden.

Der reſultirende wagrechte Schub, welcher vom Meridianſtreifen der Doppelkuppel in der Widerlagsfuge auf den Widerlagskörper übertragen wird, iſt gleich der Summe der ſämmtlichen wagrechten Mittelkräfte der Seitenpreſſungen der einzelnen Kranzſteine der Aufsen- und Innenkuppel. Die Prüfung der Stabilität des Widerlagers ſelbſt erfolgt auch für Doppelkuppeln in der in Art. 365 (S. 519) angegebenen Weiſe. Eben ſo richtet ſich die Beſtimmung der Gewölbſtärke beider Kuppeln nach dem in Art. 366 (S. 520) Vorgetragenen.

370. Stutz- oder Hängekuppel.

Die ſtatiſche Unterſuchung der Stutz- oder Hängekuppel (Art. 353, S. 505) iſt, wie beim gewöhnlichen Kuppelgewölbe, in der Weiſe durchzuführen, als zunächſt ein am weiteſten geſpannter Meridianſtreifen der Hängekuppel, deſſen mittlere lothrechte Meridianebene in den meiſten Fällen durch eine Ecke des als Quadrat, Rechteck oder Vieleck gegebenen Grundriſſes des Gewölbes gehen muſs, der erforderlichen Prüfung unterworfen wird.

Die Ergebniſſe dieſer Prüfung ſind unmittelbar auf die weniger weit geſpannten Meridianſtreifen, welche natürlich in ihrer mittleren Fuſsdicke im Grundkreiſe der Kuppel und in ihrer Belaſtung, wie gewöhnlich der Fall, keine Abweichung vom Hauptſtreifen aufweiſen müſſten, zu übertragen.

Hiernach treten dieſelben Geſichtspunkte, welche in Art. 322 (S. 469) bei der Zerlegung der buſigen Kappen gothiſcher Kreuzgewölbe angeführt ſind, im Weſentlichen wieder in den Vordergrund. Auch die Beſtimmung der Gewölbdrücke, welche von den verſchieden weit geſpannten Meridianſtreifen auf die Widerlagskörper gelangen, iſt unter Beachtung des in dem bezeichneten Artikel Vorgetragenen zu treffen.

371. Kuppel mit Laterne.

Wird das oben offene, durch den Lichtring im Scheitel begrenzte Kuppelgewölbe mit einer Laterne, deſſen Träger meiſtens der Lichtring ſelbſt iſt, verſehen, ſo erfährt das Kuppelgewölbe hierdurch eine beſondere Belaſtung, welche je nach dem Gewichte der Laterne von geringem oder erheblichem Einfluſs auf die Stabilität und die Stärke des Gewölbes ſein kann.

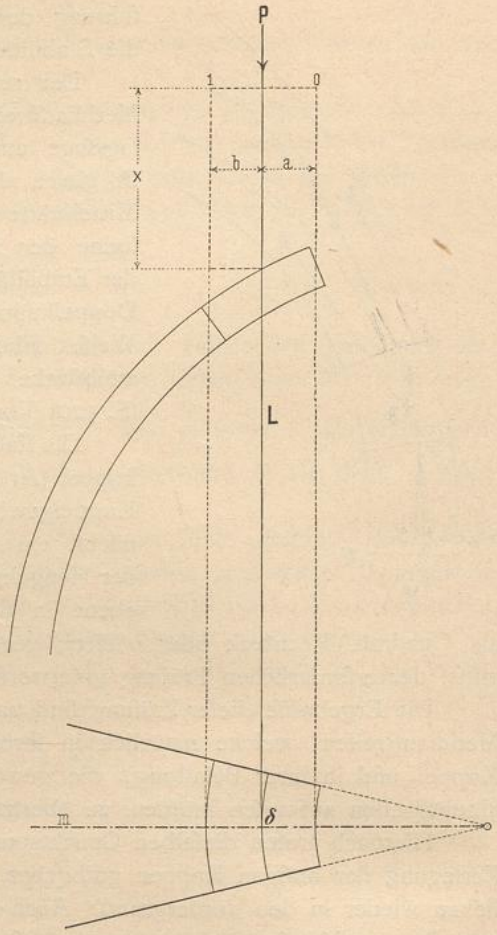
Wird das auf den Kranzſtein des Meridianſtreifens entfallende Gewicht des zugehörigen Laternenſtückes durch das Gewicht eines Steinprismas des Wölbmaterials erſetzt und mit dem Gewichte des Kranzſteines vereinigt, ſo iſt die Belaſtung dieſes Kranzſteines, bezw. des Theilſtückes im Meridianſtreifen bekannt. Die unter Beachtung dieſer Belaſtung einzuleitende ſtatiſche Unterſuchung des Meridianſtreifens weicht im Weſen von den zu Fig. 563 (S. 517) gegebenen Erläuterungen nicht ab.

Iſt z. B. L in Fig. 565 die lothrechte Schwerlinie des für den zu Grunde gelegten Meridianſtreifen m in Frage kommenden Laternenſtückes, ſo muſs dieſe Linie L auch Schwerlinie oder, genau genug, die Mittellinie des erſten Theilſtreifens für den zugehörigen Kranzſtein bleiben.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Man hat alſo den Abſtand a der Lothrechten L von der bekannten erſten Theillinie o zu benutzen, um durch $b = a$ die zu beſtimmende zweite Theillinie 1 feſt zu legen. Hiermit iſt die Breite $a + b = 2a$ der Steinſäule gefunden, welche das Gewicht P Kilogr. des Laternenſtückes erſetzen ſoll. Ferner iſt durch die Lage von L auch die mittlere Dicke δ des zugehörigen Kranzſteines und ſomit gleichzeitig dieſelbe mittlere Dicke δ für die Steinſäule beſtimmt.

Fig. 565.



Die Grundfläche dieſer Steinſäule kann mit hinlänglicher Genauigkeit als ein wagrecht liegendes Rechteck von der Länge $2a$ Met. und der Breite δ Met. angenommen werden. Das Gewicht von 1 cbm Wölbmaterial ſei γ Kilogr. Die zu berechnende mittlere Höhe x Met. der Steinſäule, welche das Gewicht P Kilogr. beſitzen ſoll, ergiebt ſich aus dem Ausdruck

$$2a\,\delta\,x\,\gamma = P$$

mit

$$x = \frac{P}{2a\,\delta\,\gamma} \text{ Met.} \quad . \quad 251.$$

Hiermit iſt die Beſtimmung der Belaſtung der Kuppel durch die Laterne getroffen. Die auf bekanntem Wege aufzufindenden Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke der einzelnen Kranzſteine geben weiteren Aufſchluſs über die einzuführende Gewölbſtärke.

Bei bedeutendem Gewichte der Laterne können die Seitenpreſſungen für den oberen Kranzſtein, alſo für den Lichtring, eine Gewölbſtärke erfordern, welche unter Umſtänden bei der Ausführung nicht geſtattet werden ſoll. Alsdann iſt die Durchbildung der Laterne mit geringerem Gewichte nothwendig.

Wird ein Kuppelgewölbe in irgend einer Ringſchicht durch ein Einzelgewicht belaſtet, ſo iſt ſein Einfluſs auf die Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke der Kranzſteine in dem beſonderen Meridianſtreifen, deſſen Symmetrieebene die lothrechte Schwerlinie der Einzelbelaſtung enthält, unter entſprechender Berückſichtigung von Gleichung 249 (S. 465) und unter Anwendung der ſonſt erforderlichen graphiſchen Ausführungen zu beurtheilen.

372. Winddruck.

Frei gelegene, kräftig emporſteigende Kuppelgewölbe haben bei ſtarken Stürmen Beanſpruchungen zu erleiden, welche eine Formänderung der Kuppel und eine Aenderung der vor der Einwirkung des Windes vorhandenen Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke bewirken können.

Die genaue Beſtimmung ſolcher Form- und Kräfteänderungen durch Winddruck iſt bislang noch nicht gelungen. Man wird daher bei der ſtatiſchen Unterſuchung

von Kuppelgewölben, welche neben ihrem Eigengewicht und ihrer ſonſtigen ruhenden Belaſtung noch vom Winddrucke beanſprucht ſind, einen Näherungsweg betreten müſſen.

Die einzelnen Meridianſtreifen der halben Kuppel, welche von der Windrichtung getroffen werden, erhalten durch den Winddruck ungleich groſse Belaſtungen. Der Meridianſtreifen, deſſen lothrechte Symmetrieebene zugleich Ebene des Windſtromes iſt, erfährt die gröſste Beanſpruchung. Ermittelt man unter Berückſichtigung der in Art. 337 (S. 486) gegebenen Anleitung die auf den Rückenflächen der einzelnen Kranzſteine dieſes Meridianſtreifens eintretenden lothrecht ſtehenden, im Schwerpunkte der gedrückten Flächen angreifenden Winddrücke; ſetzt man dieſelben einzeln mit den Gewichten und der ſonſt etwa vorhandenen Belaſtung der zugehörigen Kranzſteine zuſammen, um hierdurch für jeden Kranzſtein die Reſultirende der ihn angreifenden äuſseren Kräfte zu erhalten: ſo laſſen ſich unter nunmehriger Benutzung dieſer einzelnen Reſultirenden ganz im Sinne der in Art. 364 (S. 516) gegebenen Darlegungen die ſämmtlichen Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke des im Allgemeinen am ungünſtigſten beanſpruchten Meridianſtreifens ermitteln und hiernach die Gewölbſtärken des durch Winddruck mit belaſteten Kuppelgewölbes bemeſſen.

373. Kuppelgewölbe zwiſchen Gurtbogen.

Werden mehrere Kuppelgewölbe als Stutzkuppeln neben einander angeordnet und durch Gurtbogen getrennt, ſo kommen für die Beanſpruchung dieſer Gurtbogen und ihrer gemeinſchaftlichen Pfeiler ähnliche Verhältniſſe in Betracht, wie ſolche in Art. 258 (S. 381) beim Kreuzgewölbe berückſichtigt ſind. Tritt in Folge von ungleich weit geſpannten und ungleich belaſteten Gurtbogen, die als Widerlager einzelner, neben einander gereihter Hänge- oder Stutzkuppeln von verſchiedener Spannweite dienen und gruppenweiſe von einem gemeinſchaftlichen Gurtpfeiler getragen werden, ein ungünſtiger Verlauf der Mittellinie des Druckes im Pfeiler ein, ſo iſt auch hier, wie beim Kreuzgewölbe, durch entſprechende Ausmauerung der Gewölbzwickel oberhalb des Pfeilers eine Sicherung der Stabilität des Stützkörpers einzuführen. Die ſtatiſche Unterſuchung der Gurtbogen und ihrer Pfeiler erfolgt nach den bekannten Grundlagen.

374. Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke.

Form und Belaſtung der Kuppelgewölbe bedingen unter Beachtung der Feſtigkeit und der ſonſtigen Eigenſchaften des Wölbmaterials die Gewölbſtärke. Den hierbei obwaltenden verſchiedenen Verhältniſſen können empiriſche Regeln für die Stärke der Kuppelgewölbe nicht ſofort gerecht werden.

Die Ergebniſſe dieſer Regeln ſollen im Allgemeinen nur als Ausgangswerthe dienen, welche der ſtatiſchen Unterſuchung und der damit zuſammenhängenden Beſtimmung der Stärke der Kuppelgewölbe vorläufig zu Grunde zu legen ſind.

Für kleinere, mäſsig belaſtete Kuppelgewölbe aus gutem Backſteinmaterial über quadratiſchem Grundriſs können folgende Gewölbſtärken als Ausgangswerthe Berückſichtigung finden:

Spannweite bis:	4	6	8	10	Met.
Gewölbſtärke im Scheitel:	$\frac{1}{2}$	1	1	1	Backſtein
» am Kämpfer:	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	»

Aehnliche Abmeſſungen können auch für die Stärke kleinerer Kuppelgewölbe aus Backſtein über Kreisgrundriſſen gewählt werden.

375. Empiriſche Regeln für die Widerlagsſtärke.

Für die Ermittelung der Widerlagsſtärke der Kuppelgewölbe ſind die nach empiriſchen Regeln anzunehmenden Werthe gleichfalls nur als vorläufige Abmeſſungen anzuſehen, welche für die Stabilitäts-Unterſuchung der im Querſchnitte oft nach

besonderen baulichen Verhältnissen angeordneten Widerlagskörper den ersten Anhalt gewähren.

Bei verschiedenen Grosconstructionen der Kuppelgewölbe älterer und neuerer Zeit schwankt die Stärke der Widerlager zwischen $^1/_6$ bis etwa $^1/_{11}$ ihrer Spannweite.

Rondelet stellte die Regel auf, dass dem Kuppelgewölbe die Hälfte der Widerlagsstärke des Tonnengewölbes von gleicher Spannweite als Widerlager zugewiesen werden soll.

Allgemein genommen, kann man die Widerlagsstärke der Kuppelgewölbe näherungsweise zu $^1/_6$ bis $^1/_8$ des Kuppeldurchmessers wählen.

Wird in besonderen Fällen der in Art. 368 (S. 521) erwähnte Fusring zur theilweisen oder gänzlichen Vernichtung des in der Widerlagsfläche des Kuppelgewölbes wirkenden wagrechten Gewölbschubes angebracht, so kann die Stärke des Widerlagskörpers in geeigneter Weise herabgesetzt werden. Beruhigenden Aufschluss über die alsdann einzuführende Widerlagsstärke hat die anzustellende statische Untersuchung zu geben.

c) Ausführung der Kuppelgewölbe.

376. Allgemeines.

Die Ausführung der Kuppelgewölbe mit über einander gelagerten concentrischen Ring- oder Kranzschichten, deren Lagerflächen durch normal zur Laibungsfläche der Kuppel gerichtete gerade Linien erzeugt werden, deren Stossflächen lothrechten Meridianebenen des Gewölbes angehören, ist im Allgemeinen sehr einfach und in vielen Fällen bei nicht zu grossen Spannweiten der Kuppeln und bei geeignetem Wölbmaterial ohne Schwierigkeiten selbst in freihändiger Mauerung zu beschaffen. Der Bildung der Lager- und Stossfugen entsprechend, erhält jeder Wölbstein im Wesentlichen eine doppelt keilförmige Gestalt.

Ueber die Ausführungsweise der Kuppelgewölbe der früheften Zeit und der Zeit der Römer über kreisrunden und vieleckigen Räumen sind in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« eingehende Mittheilungen, worauf hier verwiesen werden muss, gemacht. Die dort näher gegebene Beschreibung der aus Quadern ohne oder mit Mörtel, aus Backsteinen, aus Backsteinen mit Gussgemäuer, aus Gussgemäuer mit Backsteinverblendung, aus Töpfen mit Gussmauerwerk oder aus eigenartig geformten Töpfen allein hergestellten Kuppelgewölbe bietet eine Fülle von Angaben über die verschiedensten Arten ihrer Ausführung dar.

Die hauptsächlichsten Baumaterialien für Kuppelgewölbe der Jetztzeit sind gewöhnliche Backsteine, Hohl- oder Lochsteine, poröse Backsteine, Quader, lagerhafte, plattenförmige Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein.

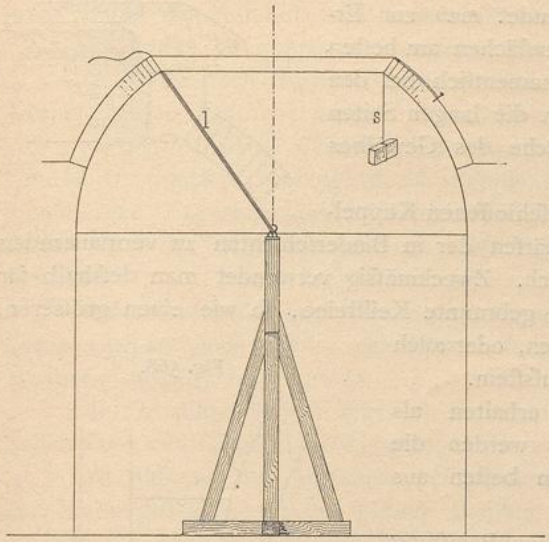
377. Rüstungen.

Besondere Einrüstungen durch Lehrbogen mit Schalung werden wohl für grössere aus Quadern oder Bruchsteinen zu wölbende Kuppeln in Anwendung gebracht. Bei Backsteinkuppeln, welche in über einander gelagerten Kranzschichten gemauert werden, ist eine derartige Einrüstung meistens nicht erforderlich.

Gehört die Laibung der Kuppel einer Kugelfläche an, so benutzt man beim Wölben die sog. Leier *l* (Fig. 566) von der Länge des Halbmessers des Kugelgewölbes. Die Leier, eine Leiste oder Latte aus Tannenholz mit etwa 5 cm Durchmesser, ist am unteren Ende mit einem Haken in eine Oese gehängt, welche auf dem Kopfe eines fest stehenden Pfostens oder des Ständers eines Bockgerüstes genau im Mittelpunkte des Gewölbes angebracht ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 566.



Durch Drehen der Leier um diese Oese wird die Lage der einzelnen Kranzschichten und die Richtung der Stossflächen der Wölbsteine in einfachster Weise angegeben. Beim Wölben selbst muss, da vor dem vollständigen Schlusse des einzelnen Kranzringes, sobald die Neigung der unteren Lagerfläche zu gross wird, leicht ein Abgleiten der Wölbsteine eintritt, das Bestreben des Gleitens durch Verwendung eines guten, möglichst schnell bindenden Mörtels verhindert werden. In der Nähe des Gewölbescheitels ist das Bestreben des Abgleitens am stärksten.

Das bessere Haften des einzelnen Wölbsteines einer zu vermauernden Kranzschicht auf seiner Lagerfläche wird zweckmäßig durch eine besondere Belastung des immer zuletzt versetzten Steines unterstützt. An einem Nagel, der in einer tief gelegenen Fuge am Rücken des Gewölbes eingeschlagen ist, wird eine Schnur *s* befestigt. Das andere Ende dieser Schnur wird mit einem Gewichte, gewöhnlich mit einem Backstein verbunden. Die über den Wölbstein gelegte Schnur beschleunigt mittels des Gewichtes des frei im Inneren des Gewölbes herabhängenden Backsteines seine Mörtelverkittung auf der Lagerfläche.

Sind beim Einwölben mehrere Arbeiter thätig, so wird von jedem derselben statt der Leierlatte eine an der Oese des Ständers befestigte Schnur, auf welcher die Länge des Kugelhalbmessers genau bezeichnet ist, als Richtschnur für die Lager- und Stossfugen des Gewölbes benutzt.

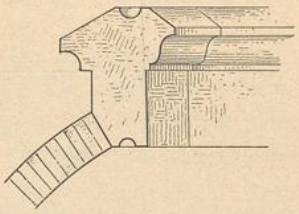
Bei grösseren Kugelgewölben, namentlich aber bei Kuppelgewölben, für deren Erzeugende der Mittelpunkt ausserhalb der lothrechten Scheitelaxe der Gewölbfläche gewählt ist, werden Leier, bezw. Schnüre nicht gebraucht. An ihre Stelle tritt ein um die Scheitelaxe drehbarer, möglichst einfach hergerichteter Lehrbogen oder unter Umständen die Einrüstung durch eine Schar von radial gestellten Lehrbogen mit Schalung.

Bei der Verwendung der gewöhnlichen Backsteine, der Hohl- oder Lochsteine oder der porösen Backsteine zur Wölbung der Kuppeln ist unter der Voraussetzung, dass nur gutes Material benutzt wird, die der Gewölbfläche entsprechende richtige Stellung der Lager- und Stossflächen beim Wölben der Kranzschichten streng zu beachten. Die durch Wasser angenässten Steine werden mit gut und hinlänglich schnell bindendem Mörtel (verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel) versetzt. Da jeder Stein, genau genommen, doppelt keilförmig sein soll, so muss ein entsprechendes Zuhauen der Steine vorgenommen werden. Bei kleineren Gewölben ist dieses Zuhauen kaum zu vermeiden. Bei grösseren Gewölben beschränkt sich das Zuhauen in der Regel nur auf die Stossflächen der Ringschichten, da bei den Lagerflächen die keilförmige Ausgleichung oft schon durch die Mörtelfüllung erzielt werden kann. Im Ganzen soll aber bei sorgfältiger Ausführung dem sach-

378. Kuppelgewölbe aus Backsteinen.

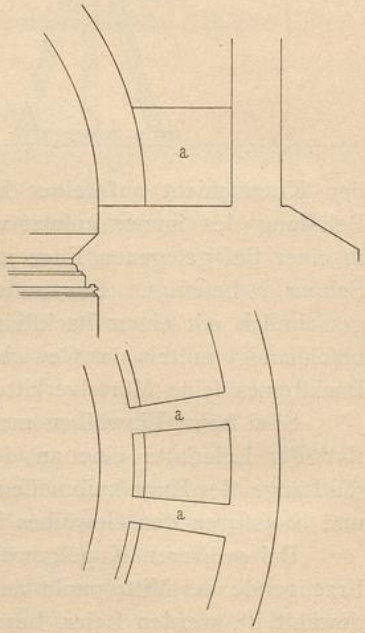
gemäfsen Zurichten der Wölbfteine Rechnung getragen werden. In den meiften Fällen wendet man zur Erzielung richtiger Lager- und Stofsfugenflächen am beften nur Binderfchichten an, weil fonft, namentlich bei den Kränzen mit geringerem Durchmeffer, die langen Seiten der Backfteine fich der Laibungsfläche des Gewölbes nicht gut anpaffen können.

Fig. 567.



In der Nähe des Scheitels des gefchloffenen Kuppelgewölbes wird das keilförmige Zufchärfen der in Binderfchichten zu vermauernden gewöhnlichen Backfteine etwas mifslich. Zweckmäfsig verwendet man defshalb für die oberen Kranzfchichten befonders gebrannte Keilfteine, fo wie einen gröfseren, entfprechend geformten und gebrannten, oder auch aus einem Quader bearbeiteten Schlufsftein.

Fig. 568.



Oben offene Kuppelgewölbe erhalten als Abfchlufs einen Lichtring. Hierfür werden die Wölbfteine, wie Fig. 567 zeigt, am beften aus gutem Quadermaterial angefertigt.

379. Sporen.

Zur Vermeidung einer erheblichen Belaftung des unteren Theiles eines gröfseren Kuppelgewölbes und feines Widerlagers durch volle Hintermauerung zwifchen dem Rücken des Gewölbes und der Innenfeite des etwa noch reichlich hoch über der Kämpferebene der Kuppel aufzumauernden Widerlagskörpers bringt man oft fog. Sporen an. Die zwifchen diefen Sporen *a* (Fig. 568) entftehenden Hohlräume oder Zellen vermindern das Gewicht der eigentlichen Hintermauerung in erwünfchtem Mafse.

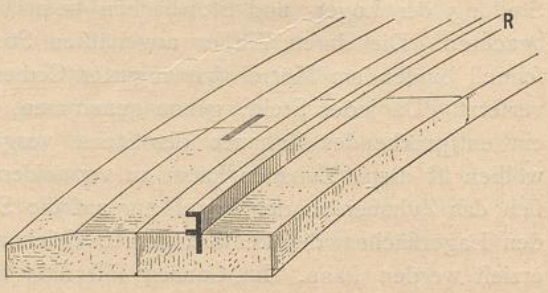
In gleicher Weife können folche Sporen am Fufse der Mauerung der Doppelkuppeln zwifchen der äufseren und inneren Kuppelfchale angebracht werden.

380. Verftärkungsgurte.

Läfft man unter Beachtung gleich grofser Theilweiten des Kuppelfufses rippenartig nach dem Scheitel oder dem Lichtkranze der Kuppel anfteigende Wölbftreifen mit gröfserer Stärke als die dazwifchen liegenden Gewölbftücke befitzen, ausführen, fo entftehen die fog. Verftärkungsgurte der Kuppel. In der Regel treten diefe etwa durchweg $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein breiten Verftärkungsgurte um $\frac{1}{2}$ Steinftärke an der Rückenfläche des Gewölbes vor.

Als lehrreiches Beifpiel eines Kuppelgewölbes mit Verftärkungsgurten und mit zweckmäfsiger Einführung eines Fufsringes zur Vernichtung des für den Widerlagskörper nachtheiligen wagrechten Gewölbfchubes ift die über der kreisrunden Vorhalle des ftädtifchen Bades zu Karlsruhe von *Durm*[189]) ausgeführte

Fig. 569.



189) Siehe: Zeitfchr. f. Bauw. 1874, S. 123.

Kuppel mit Lichtring zu betrachten. In Fig. 569 ist für diese Kuppel die Anordnung des in einem Kranz von Sandsteinquadern eingelassenen, mit Blei vergossenen schmiedeeisernen Fussringes R veranschaulicht.

381. Elliptische Kuppeln.

Bei elliptischen Kuppelgewölben sind die Lagerfugenkanten der einzelnen Kranzschichten Ellipsen, welche durch Schnitte wagrechter Ebenen mit der Gewölbelaibung erhalten werden. Die Lagerfugenflächen der Wölbkränze bilden windschiefe Flächen, erzeugt durch gerade Linien, welche in jedem Punkte der zugehörigen Lagerfugenkante normal zur Oberfläche des Ellipsoids der Kuppel stehen und in Folge hiervon verschiedene Neigung zur wagrechten Ebene annehmen.

Beim Mauern der Wölbkränze kann übrigens das Windschiefe der Lagerflächen durch entsprechende Stärke der Mörtelfüllung ohne erhebliche Nachtheile für die Wölbung ausgeglichen werden.

Die Stossfugenflächen liegen in Meridianebenen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe der elliptischen Kuppel geführt werden.

Um während der Ausführung elliptischer Kuppelgewölbe die richtige Bildung der Laibungsfläche und die genaue Stellung der Lager-, bezw. Stossfugenflächen aufrecht zu erhalten, sind, von der lothrechten Hauptaxe der Kuppel strahlenförmig auslaufend, mehrere Lehrbogen aufzustellen, deren äussere Begrenzungslinien nach den ihnen zukommenden Meridianschnitten zu bestimmen sind.

382. Cassettirte Kuppelgewölbe.

Die Mauerung cassettirter Kuppelgewölbe in einzelnen Kranzschichten, wobei die Kranztheile der Cassetten nur in geringerer Stärke, als die Cassettenstege auszuführen sind, erfolgt wie bei den nicht cassettirten Kuppelgewölben.

Ist unter besonderen Verhältnissen bei diesen Gewölben eine vollständige Einrüstung mit Schalung nothwendig, so sind für die Cassetten Holzkasten als Hilfsrüstung auf der Schalung zu befestigen. Diese Holzkasten sind im Allgemeinen in der in Art. 163 (S. 234) beschriebenen Weise anzufertigen.

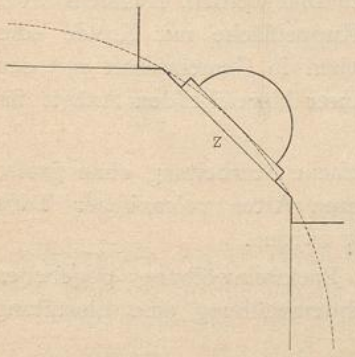
383. Hänge- oder Stutzkuppeln; Pendentifs.

Die Ausführung der Hänge- oder Stutzkuppeln weicht von der Herrichtung der vorhin besprochenen Kuppelgewölbe nicht ab.

Besondere Beachtung verdienen jedoch die bei diesen über quadratischen, recht- oder vieleckigen Räumen eintretenden Stutzkuppeln in Frage kommenden Eckzwickel oder Pendentifs, deren Gestaltung in Art. 353 bis 355 (S. 505 bis 507) näher gekennzeichnet ist.

In aller Strenge ist der Fuss des Eckzwickels eine gerade Linie, wenn nicht, wie z. B. bei der Kuppel der Peters-Kirche in Rom, veranlasst durch eine besondere Grundrissbildung der Widerlagskörper des Gewölbes, die Eckzwickel z nach Fig. 570 eine ausgebreitete Grundfläche erhalten.

Fig. 570.

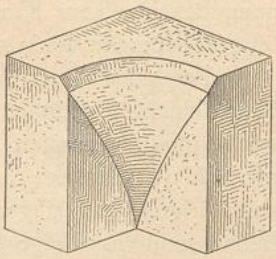


Zur Vermeidung des in einer Schneide auslaufenden Ansatzes der Eckzwickel wird auch bei Hängekuppeln aus Backsteinmauerwerk als Anfänger dieser Zwickel am besten ein gröfserer, regelrecht bearbeiteter Quader (Fig. 571) versetzt, welcher dem unteren Backsteinringe ein geeignetes Auflager bietet. Aufserdem kann aber auch in nicht unzweckmäfsiger Weise die Aufmauerung der Gewölbzwickel

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

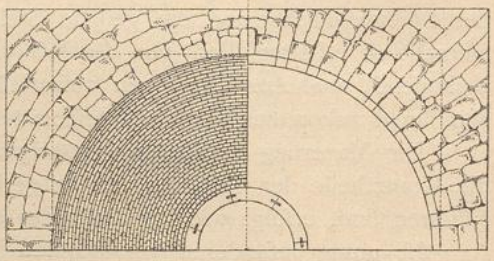
in wagrechten Schichten mit allmählicher, der Laibungsfläche des Gewölbes entſprechender Vorkragung, wie Fig. 572 angiebt, vorgenommen werden. Die Stoſsfugenflächen dieſer Zwickelmauerung werden nach lothrechten Meridianebenen der Kuppel geordnet. In dieſer Weiſe wurden von *Moller* die Pendentifs der Kuppelgewölbe über den Treppenhäuſern im Theater zu Mainz ausgeführt.

Fig. 571.



Vorkragungen *C* in wagrechten Schichten mit darüber gelegten, nach und nach vorgeſchobenen Mauerbogen *A*, *B* zeigt die Pendentif-Anordnung in Fig. 573. Hierbei entſteht zwiſchen der Aufmauerung *C* und dem unteren Mauerbogen *A* eine beſonders zu ſchlieſsende gröſsere Fuge *h*. Zwiſchen dem höchſten Mauerbogen *1 2 3 4* und dem hier aus Quadern angenommenen Fuſskranze der nach Art. 354 (S. 506) geſtalteten Oberkuppeln bleiben bei *2* im Grundriſſe nur noch kleine Zwickelſtücke, welche durch wagrechte Schichten mit Vorkragung oder durch Ringſchichten geſchloſſen werden können.

Fig. 572.



Im Allgemeinen zeigt dieſe Herſtellung der Pendentifs, welche in ähnlicher Weiſe z. B. bei den Kuppeln der Marcus-Kirche in Venedig vorkommt, einige Nachtheile. Der Schub der Mauerbogen *A*, *B* u. ſ. f. bewirkt für die Gurtbogen der Stirnſeiten der Unterkuppel eine ungünſtige Beanſpruchung welche leicht eine Verdrückung und Verdrehung der Gurtbogen im Gefolge haben kann.

384. Kuppel mit Tambour.

Wird zwiſchen den Pendentifs und der Oberkuppel der ſog. Tambour, welcher als cylindriſcher, röhrenförmiger Mauerkörper nur einen erhöhten Fuſs für die Oberkuppel bildet, eingefügt, ſo ſetzt ſich dieſer Tambour unmittelbar auf die von den Pendentifs getragene erſte Kranzſchicht.

385. Einrüſtung.

Die Einrüſtung für das Wölben der Hängekuppeln kann, falls nicht ſehr groſse Spannweiten in Betracht kommen, auf die in der Richtung der Diagonalen des zu überwölbenden Raumes aufzuſtellenden Lehrbogen beſchränkt werden, nachdem zuvor am Mauerwerk der Stirnſeiten die Stirnlinien der Kuppelfläche mit Kreide oder Kohle genau aufgezeichnet ſind. Dieſe Stirnlinien geben in Gemeinſchaft mit den Rückenlinien der Diagonal-Lehrbogen für geübte Maurer hinreichenden Anhalt für die regelrechte Ausführung des Gewölbes.

386. Kuppelgewölbe aus Bruchſteinen.

Gute und lagerhafte Bruchſteine, wenn deren einfache Bearbeitung ohne groſse Mühe zu erreichen iſt, namentlich aber die leichteren Arten vulcaniſcher Tuffe können zur Herſtellung der Kuppelgewölbe gebraucht werden.

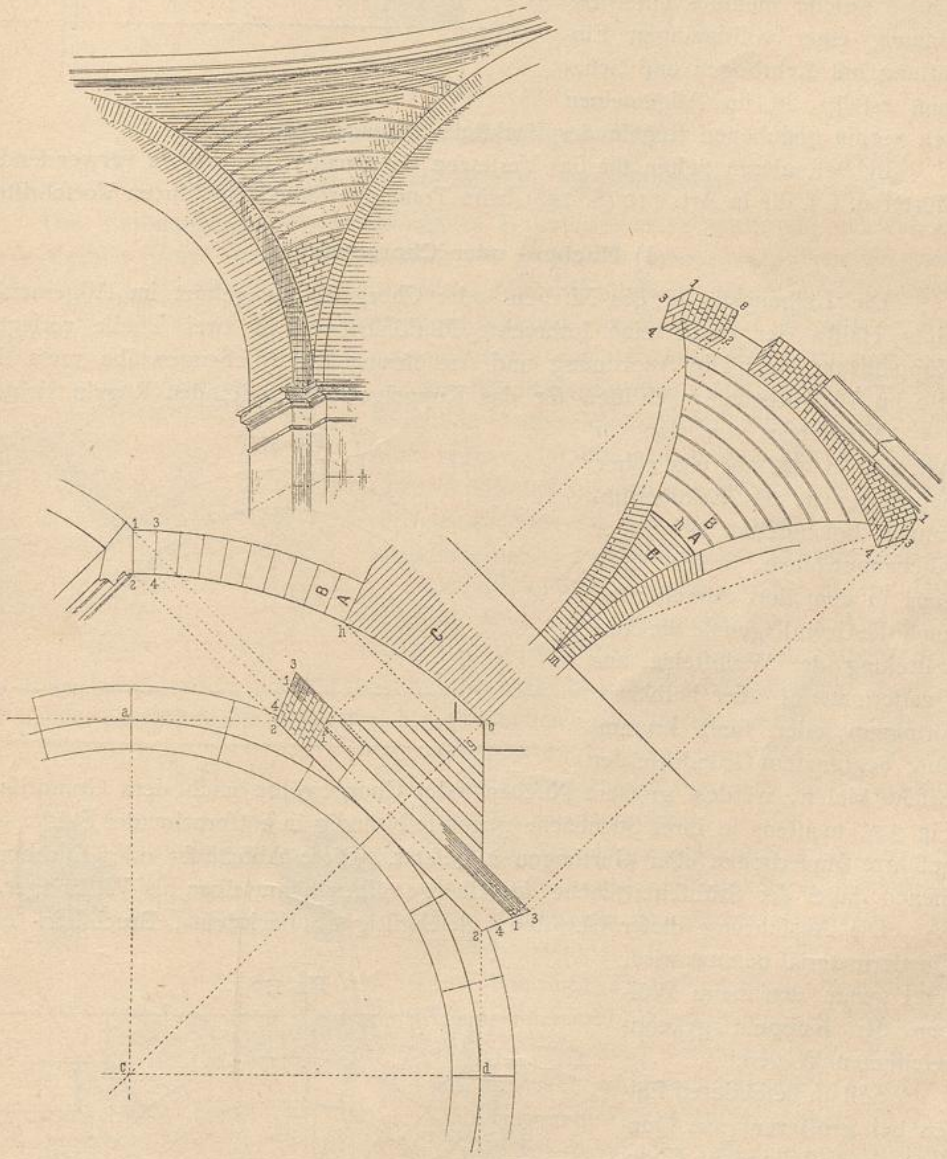
Die Ausführung der Wölbung folgt den für Backſteinwölbung gegebenen Grundlagen. In den meiſten Fällen wird bei Bruchſteinwölbung eine Einrüſtung durch Lehrbogen mit Schalung erforderlich.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

387. Kuppelgewölbe aus Quadern.

Kuppelgewölbe aus Quadern werden gleichfalls in über einander gelagerten Kranzfchichten hergeftellt. Die ftets zu beachtende Beftimmung, wonach die Erzeugenden der Lagerflächen der Wölbfteine normal zur Laibungsfläche der Kuppel ftehende gerade Linien fein follen, während die Stofsfugenflächen in Meridianebenen

Fig. 573.

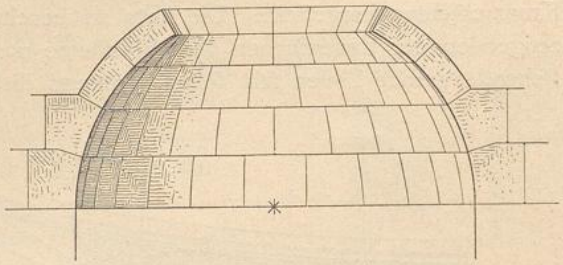


liegen müffen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe des Gewölbes gelegt werden, bedingt den Fugenfchnitt der Wölbquader.

Die Stofsfugen find bei den über einander liegenden Kränzen nach Fig. 574 in gegenfeitigen, auf Kuf geordneten Verband zu bringen. Die Ausmittelung der

Brettungen der Kranzſteine iſt nach den einfachſten Lehren der darſtellenden Geometrie vorzunehmen. Auſserdem iſt die Bearbeitung der Wölbſteine nicht ſchwierig.

Fig. 574.



Die Ausführung der Wölbung, welche meiſtens unter Benutzung einer vollſtändigen Einrüſtung mit Lehrbogen und Schalung erfolgt, iſt im Allgemeinen den vorhin gegebenen Regeln der Backſteinwölbung entſprechend.

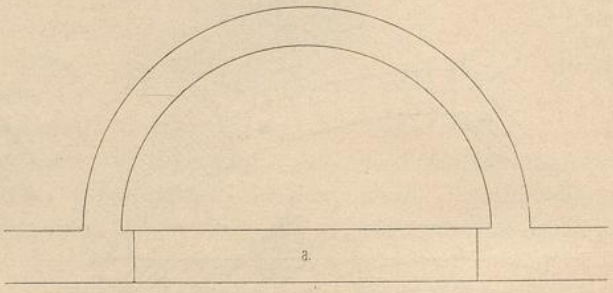
Im Beſonderen gelten für das Verſetzen der Quader, für den zu verwendenden Mörtel u. ſ. f. die in Art. 170 (S. 246) beim Tonnengewölbe angeführten Vorſchriften.

d) Niſchen- oder Chorgewölbe.

388. Allgemeines.

Die Laibungsfläche des Niſchen- oder Chorgewölbes gehört im Allgemeinen einer Hälfte der durch eine lothrechte Meridianebene in zwei Theile zerlegten Kuppelfläche an. Die Anordnung und Ausführung der Niſchengewölbe muſs ſich alſo im Weſentlichen nach den für das Kuppelgewölbe geltenden Regeln richten.

Fig. 575.

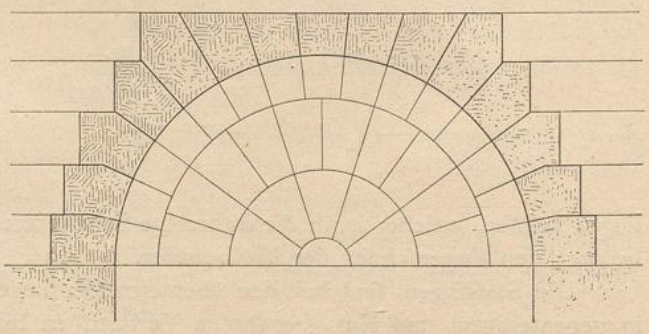


Abgeſehen von den in Art. 220 (S. 328) bereits näher beſprochenen, als Ecküberführungen behandelten Eck- oder Niſchengewölben, welche übrigens in dem dort Angeführten auch die Grundlagen für die Ausmittelung der Wölbſteine aus Quadermaterial über halbkreisförmigem oder ſonſt krummlinig begrenztem Grundriſſe der Niſche bieten, werden gröſsere Niſchen- oder Chorgewölbe nach dem Grundriſs in Fig. 575 meiſtens in ihrer Stirnfläche gegen ſelbſtändig in entſprechender Stärke ausgeführte Mauerbogen oder Gurtbogen *a* geſetzt. Dieſe Abſchluſs- oder Stirnbogen dienen dabei der Stirnſchnittfläche des Chorgewölbes unmittelbar als Widerlager.

389. Ausführung.

Die Ausführung dieſer Gewölbe, gleichgiltig ob Backſtein-, Bruchſtein- oder Quadermaterial benutzt wird, folgt genau den beim Wölben der Kuppeln gekennzeichneten Wegen.

Fig. 576.



Soll in beſonderen Fällen bei gröſseren, aus Quadern herzuſtellenden Chorgewölben ein nach Fig. 576 gebildeter Fugenſchnitt gewählt werden, welcher ohne Anwendung eines ſelbſtändigen Abſchluſsbogens die

Wölbung ohne Einführung von Kranzſchichten mit wagrechten Lagerkanten geſtattet, ſo entſpricht dieſe Anordnung hinſichtlich der Ausmittelung des Fugenſchnittes im Allgemeinen dem in Art. 220 (S. 328) Vorgetragenen.

Sollen Chorgewölbe caſſettenartig gegliedert werden, ſo iſt das in Art. 382 (S. 529) Geſagte gleichfalls zu befolgen.

Eben ſo entſprechen ihre Stabilitäts-Unterſuchung und die Beſtimmung ihrer Gewölbſtärke den hierüber beim eigentlichen Kuppelgewölbe gemachten Angaben.

17. Kapitel.

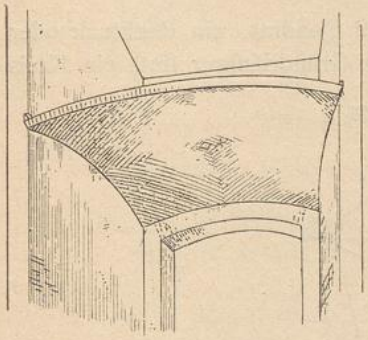
Böhmiſche Kappengewölbe.

a) Geſtaltung der böhmiſchen Kappengewölbe.

390. Form.

Die Laibungsfläche des böhmiſchen Kappengewölbes entſpricht derjenigen einer flachen Stutz- oder Hängekuppel. Im Gegenſatz zum preuſsiſchen Kappengewölbe, deſſen Wölbfläche einem Cylindermantel angehört, beſitzt das böhmiſche Kappengewölbe eine ſphäriſche oder ſphäroidiſche Laibungsfläche.

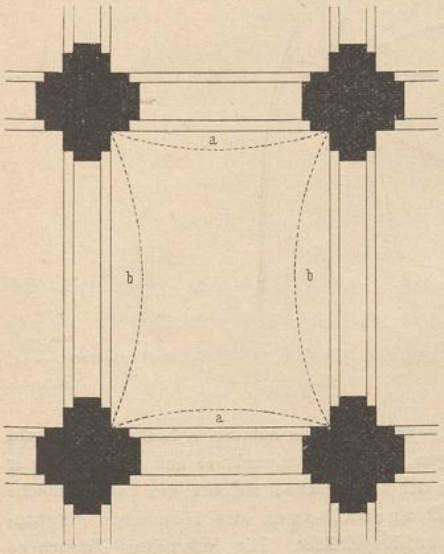
Fig. 577.



Das böhmiſche Kappengewölbe, auch böhmiſche Kappe, in Oeſterreich Platzelgewölbe genannt, kann über regel- oder unregelmäſsig geſtalteten Grundriſſen in Anwendung kommen. Regelmäſsige Grundriſſe haben aber die einfachere und ſchönere Entwickelung der Form dieſer Gewölbe im Gefolge.

Das böhmiſche Kappengewölbe iſt zur Herrichtung einer maſſiven Decke mit geringer Pfeilhöhe und mäſsiger Stärke vorzüglich geeignet. In der Regel wird jedoch, um die Gewölbſtärke nicht über $^1/_2$ Backſteinlänge zu ſteigern, die gröſste Gewölbeweite ſelten über 5 m genommen. Die Pfeilhöhe wird zu $^1/_8$ bis $^1/_{12}$, meiſtens zu $^1/_{10}$ der Länge der gröſsten Diagonale der Grundriſsfigur des zu überwölbenden Raumes gewählt.

Fig. 578.



Die Stirnbogen, alſo die an allen Umfangsmauern des Raumes auftretenden Kämpferlinien des böhmiſchen Kappengewölbes (Fig. 577) ſind Flachbogen.

Hierdurch wird die Anlage von gröſseren Thür- oder Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern erleichtert oder auch nach Fig. 578 bei mehrfach an einander gereihten Gewölben die Auflöſung der Widerlagsmauern in Eckpfeiler mit dazwiſchen geſpannten Gurtbogen, deren Wölblinien den Stirnbogen *a*, *b* zweckmäſsig angepaſſt werden, in einfacher Weiſe möglich.

391. Darſtellung.

Für die Darſtellung der Laibungsfläche des böhmiſchen Kappengewölbes iſt, abge-

ſehen davon, ob ein Theil einer reinen Kugelfläche oder einer kugelförmigen Fläche als Wölbfläche eingeführt werden ſoll, die gegenſeitige Höhenlage der tiefſten Punkte der Kämpferlinien, alſo der Kämpfer- oder Fuſspunkte des Gewölbes vorzuſchreiben. Hierfür gelten folgende Annahmen: die ſämmtlichen Kämpferpunkte liegen in einer einzigen wagrechten Ebene, der eigentlichen Kämpferebene, oder die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen. Sollen ſämmtliche Kämpferpunkte in einer ſchiefen Ebene liegen, ſo entſteht das ſteigende böhmiſche Kappengewölbe. Dieſen Annahmen folgend ſoll die Geſtaltung der Laibungsflächen des böhmiſchen Kappengewölbes näher beſprochen werden.

α) Sämmtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene.

392. Kugelfläche.

Die Laibungsfläche ſoll einem Theile einer Kugelfläche angehören.

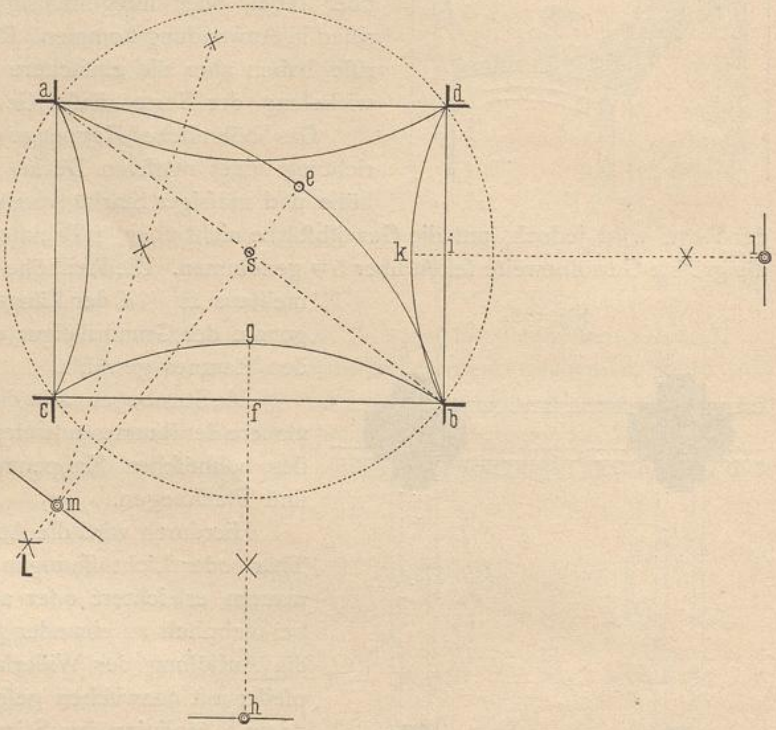
Läſſt ſich durch die ſämmtlichen Ecken der Grundriſsfigur des zu überwölbenden Raumes ein Kreis legen, welcher als Parallelkreis der ihrem Halbmeſſer nach noch näher zu beſtimmenden Kugelfläche zu gelten hat, ſo gehört dieſer Parallelkreis der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes an, und ſämmtliche Fuſspunkte der Kämpferlinien ſind Punkte dieſes Parallelkreiſes.

Iſt der Grundriſs des Gewölbes ein Dreieck, ein Quadrat, ein Rechteck oder ein regelmäſsiges Vieleck, ſo iſt durch die Ecken der Grundriſsfigur ſtets ein Kreis zu beſchreiben.

393. Rechteckiger Grundriſs.

In Fig. 579 iſt das Rechteck *abcd* der Grundriſs des Gewölbefeldes und *s* der Mittelpunkt des durch die Ecken *a*, *b*, *c* und *d* gehenden Parallelkreiſes. Die beliebig durch *s* geführte, hier mit der Diagonalen *ab* ſich deckende Gerade *ab* iſt der Durchmeſſer dieſes Parallelkreiſes irgend einer Kugelfläche.

Fig. 579.



Der Mittelpunkt dieſer Kugelfläche liegt auf einer in *s* lothrecht auf der Ebene des Parallelkreiſes ſtehenden Geraden *L*. Trägt man die frei gewählte Pfeilhöhe *se* des Gewölbes auf dieſer Lothrechten *L* ab, ſo hat man durch die 3 Punkte *a*, *e*, *b* einen Kreis zu legen, deſſen Mittelpunkt *m* auf *L* in bekannter Weiſe zu ermitteln iſt. Der Punkt *m* iſt der Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher die Laibungsfläche des Gewölbes angehört. Der Kreisbogen *aeb*, der fog. Diagonalbogen des böhmiſchen Kappengewölbes, iſt ein Theil des gröſsten Kreiſes der ermittelten Kugelfläche. Die lothrechten Ebenen *cb*

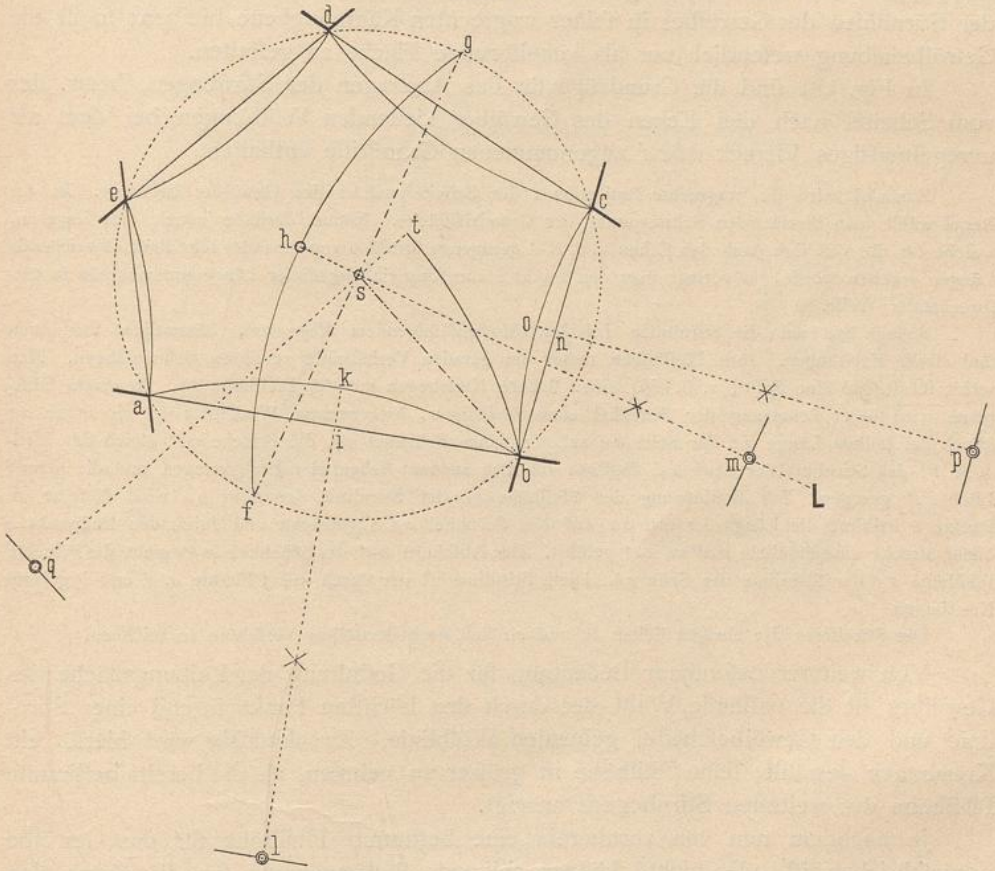
und bd der Widerlager des Gewölbes ſchneiden die Kugelfläche nach Kreiſen, deren Theile cgb, bezw. bkd die Stirnlinien des Gewölbes an den langen Seiten cb, ad, bezw. an den kurzen Seiten bd, ca des rechteckigen Raumes werden. Errichtet man im Halbirungspunkte f der Seite cb das Loth fh, ſo iſt, da der Mittelpunkt m der Laibungsfläche des Gewölbes von der wagrechten Kämpferebene den Abſtand sm erhalten hat, die Länge $fh = sm$ auf dem Lothe fh abzutragen, um in h den Mittelpunkt für den Stirnbogen cgb zu beſtimmen. Die Pfeilhöhe dieſes Bogens iſt fg.

Für die Ausmittelung des Stirnbogens bkd iſt der gleiche Weg zu verfolgen. Hierbei iſt $il = fh = sm$ zu nehmen, ſo daſs l der Mittelpunkt, ik die Pfeilhöhe dieſes Stirnbogens wird.

394. Vieleckiger Grundriſs.

Iſt die Grundriſs-Projection des Gewölbes ein regelmäſsiges Vieleck, ſo iſt die Beſtimmung der Kreisbogen für die Stirnlinien und Diagonalbogen, wie im vorhergehenden Artikel für das Rechteck gezeigt wurde, vorzunehmen. Dieſe Beſtimmungen

Fig. 580.



ſind auch beim unregelmäſsigen Vieleck zu treffen, ſobald, die gleiche Höhenlage der Kämpferpunkte vorausgeſetzt, die Grundriſs-Projection des Gewölbes die Führung eines durch ſämmtliche Ecken gehenden Kreiſes, wie in Fig. 580 angenommen iſt, geſtattet.

Dieſer durch die Ecken des unregelmäſsigen Fünfecks $abcde$ gelegte Kreis mit dem Mittelpunkte s iſt der Parallelkreis der für die Laibung des Gewölbes feſt zu legenden Kugelfläche.

Die beliebig durch s geführte Gerade fg iſt als eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Sehne eines gröſsten Kreiſes der Kugelfläche anzunehmen. Auf dem in s auf fg errichteten Lothe L

wird sh als gewählte Pfeilhöhe abgetragen und hiernach der Mittelpunkt m auf L für den durch die 3 Punkte f, h und g gehende Kreis beſtimmt. Alsdann iſt mh der Halbmeſſer der für die weitere Geſtaltung des Gewölbes maſsgebenden Kugelfläche.

Für den Stirnbogen der Seite ab iſt das im Halbirungspunkte i auf ab errichtete Loth il gleich dem Abſtande sm zu nehmen. Der um l mit dem Halbmeſſer la beſchriebene Kreisbogen akb iſt ſofort der geſuchte Stirnbogen mit der Pfeilhöhe ik. Der Stirnbogen boc mit der Pfeilhöhe no hat den Mittelpunkt p. Die Länge des in n auf bc errichteten Lothes np iſt wiederum gleich $sm = il$.

In gleicher Weiſe ſind die Stirnbogen ſämmtlicher Seiten des Gewölbes auszutragen. Für irgend einen, z. B. von s nach der Ecke b ziehenden Wölbbogen iſt auf dem in s auf bs errichteten Lothe die Strecke $sq = sm$ zu nehmen, um dieſen Wölbbogen in dem mit dem Halbmeſſer qb um q beſchriebenen Kreisbogen bt, deſſen Pfeilhöhe st offenbar gleich sh werden muſs, zu erhalten.

395. Kugelförmige Fläche.

Läſſt ſich durch die Ecken der vieleckigen Grundriſs-Projection des böhmiſchen Kappengewölbes kein Kreis legen, ſollen aber dennoch die ſämmtlichen Fuſspunkte der Stirnlinien des Gewölbes in ſeiner wagrechten Kämpferebene bleiben; ſo iſt die Gewölbelaibung weſentlich nur als kugelförmige Fläche zu geſtalten.

In Fig. 581 ſind die Grundzüge für das Austragen der Stirnbogen, bezw. der vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes ziehenden Wölbbogen bei dem als unregelmäſsiges Viereck $abcd$ angenommenen Grundriſſe enthalten.

Zunächſt wird die wagrechte Projection s des Scheitelpunktes des Gewölbes beſtimmt. In der Regel wählt man hierfür den Schwerpunkt der Grundriſsfläche. Nimmt derſelbe jedoch eine Lage an, welche für die von ihm nach den Ecken a, b, c, d gezogenen Strahlen von einander ſehr ſtark abweichende Längen ergeben würde, ſo verlegt man den Punkt s zur Ausgleichung dieſer Längenunterſchiede in entſprechender Weiſe.

Sodann legt man die Stirnlinien des Gewölbes auf folgendem Wege feſt. Sämmtliche Stirnlinien ſind flache Kreisbogen. Ihre Pfeilhöhen ſtehen im geraden Verhältniſſe zu ihren Sehnenlängen. Man wählt für irgend eine Seite, z. B. ad, einen flachen Kreisbogen mit der Pfeilhöhe $1e$. In einem Hilfsplane wird unter Benutzung der Schenkel eines beliebigen, hier rechten Winkels $4o4'$ ein Stück $o1$ gleich der halben Länge $a1$ der Seite ad auf dem einen Schenkel $o4$, die Strecke $o1'$ gleich der Pfeilhöhe $1e$ der Stirnlinie der Seite ad dagegen auf dem anderen Schenkel $o4$ abgetragen und die gerade Linie $11'$ gezogen. Zur Beſtimmung der Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab wird dieſelbe im Punkte 2 halbirt, die Länge $a2$ von $o2$ auf dem Schenkel $o4$ abgetragen und durch den Endpunkt 2 dieſer Strecke eine Parallele $22'$ zu $11'$ geführt. Der Abſchnitt $o2'$ des Schenkels $o4'$ giebt die geſuchte Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab. Dieſe Stirnlinie iſt der durch die 3 Punkte a, f und b gelegte Kreisbogen.

Die Stirnlinien der übrigen Seiten bc und cd ſind nach demſelben Verfahren zu zeichnen.

Von weiterer beſonderer Bedeutung für die Geſtaltung der Laibungsfläche des Gewölbes iſt die paſſende Wahl der durch den höchſten Punkt irgend einer Stirnlinie und den Gewölbeſcheitel gehenden Wölblinie. Zweckmäſsig wird hierfür ein Kreisbogen gewählt; ſeine Pfeilhöhe iſt gröſser zu nehmen, als die bereits beſtimmte Pfeilhöhe des weiteſten Stirnbogens anzeigt.

Je nachdem nun von vornherein eine beſtimmte Pfeilhöhe für das Gewölbe vorgeſchrieben iſt oder nicht, können folgende Beſtimmungen für die durch den Gewölbeſcheitel gehende Wölblinie getroffen werden.

Bleibt der Gewölbepfeil noch willkürlich, ſo legt man der Richtung der längſten Seite der Grundriſsfigur, z. B. cd, entſprechend, eine Gerade A durch s und durch den Halbirungspunkt 1 oder 3 der mit dieſer längſten Seite zuſammentreffenden Seiten da oder cb. In der Zeichnung iſt der Punkt 1 angenommen. Die Gerade A ſoll in der wagrechten Kämpferebene liegen und als Spur einer lothrechten Ebene angeſehen werden, welche in ihrem Schnitte mit der Gewölbfläche die vorhin erwähnte Wölblinie als Kreisbogen liefern ſoll.

Die Ebene ſchneidet den Stirnbogen der Seite ad in e und den Stirnbogen der Seite bc in x. Errichtet man in 1 und 3 Lothe auf A, nimmt man $1m = 1e$ und $kl = kx$, ſo ſind m und l zwei feſte Punkte der geſuchten, bis zur Kämpferebene niedergedrehten Wölblinie. Projicirt man parallel zur

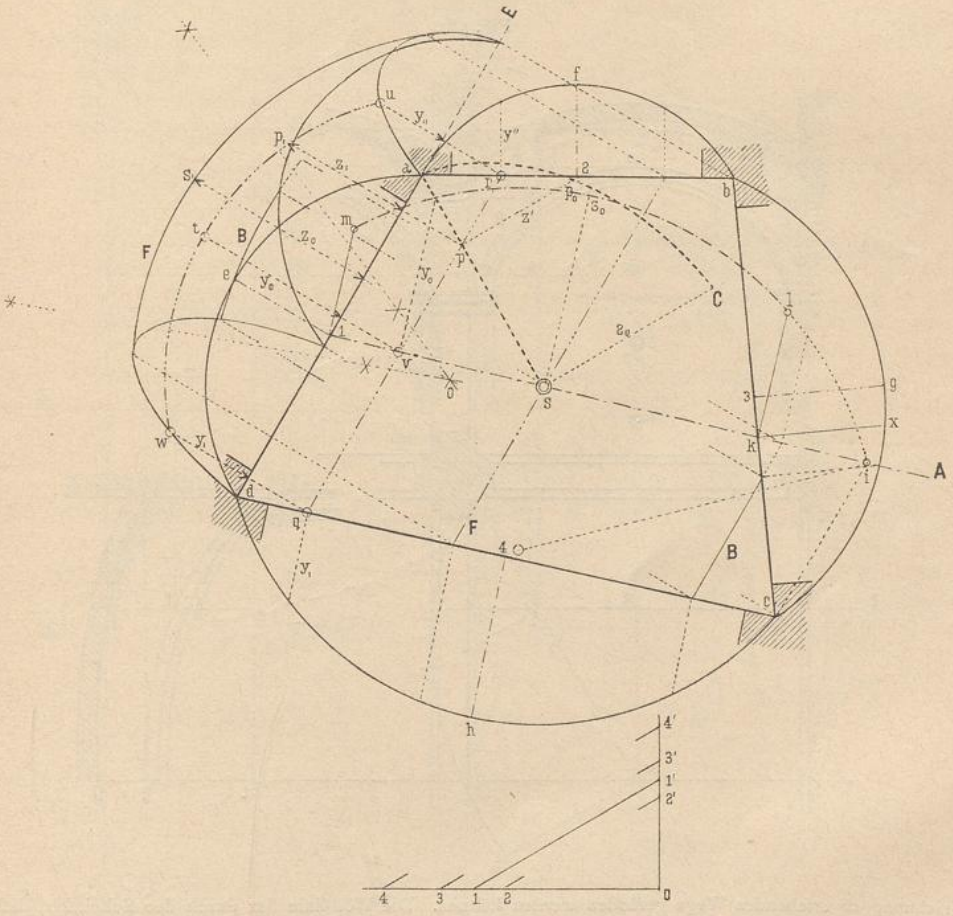
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Seite $a\,d$ den Endpunkt c der längſten Seite $c\,d$ nach i auf A, ſo iſt hierdurch ein dritter Punkt dieſer Wölblinie beſtimmt. Der durch die 3 Punkte m, l und i gelegte Kreisbogen ſtellt ſie feſt; $s\,s_0$ iſt ihre Pfeilhöhe.

Wird dagegen die Pfeilhöhe dieſer Wölblinie vorweg angenommen, ſo hat man in s auf A das Scheitelloth zu errichten und auf dieſem die gegebene Pfeilhöhe abzutragen. Der durch die beiden feſten Punkte m, l und durch den höchſten Punkt des Scheitellothes gelegte Kreisbogen, welcher natürlich hierbei vom Punkte i unabhängig iſt, wird alsdann die geſuchte Wölblinie in der in A ſtehenden lothrechten Ebene.

Mit Hilfe der Stirnlinien und der Wölblinie $m\,l\,i$, bezw. $m\,s_0\,l$ kann die weitere Ausmittelung der Gewölbelaibung vorgenommen werden.

Fig. 581.



Legt man durch den beliebigen Punkt v der Geraden A parallel zur Seite $a\,d$, welche als Ausgangsſeite für die zeichneriſchen Darſtellungen gewählt wurde, eine lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur $q\,r$, ſo erzeugt dieſelbe auf der Laibungsfläche den Schnitt $w\,t\,u$, welcher als der durch die 3 Punkte w, t und u geführte Kreisbogen mit dem Mittelpunkte o beſtimmt werden kann. Die Punkte w, t und u ſind ihrer Lage nach bekannt. Für w iſt $d\,w = y_1$ des Stirnbogens $d\,h\,c$; für t iſt $r\,t = y_0$ der Wölblinie $m\,s_0\,l$, und für u iſt y_{II} des Stirnbogens $a\,f\,b$ maſsgebend. Auf demſelben Wege ſind auch die Kreisbogen F und B für die parallel zur Seite $a\,d$ aufgeſtellten lothrechten Ebenen mit den im Grundriſſe gezeichneten wagrechten Spuren F, bezw. B leicht zu ermitteln.

Eben ſo einfach iſt ferner das Austragen irgend einer vom Gewölbeſcheitel nach einer Gewölbecke ziehenden Wölblinie. Die Bogenlinie C iſt für die Richtung $s\,a$ eingetragen. Für dieſelbe iſt die Länge

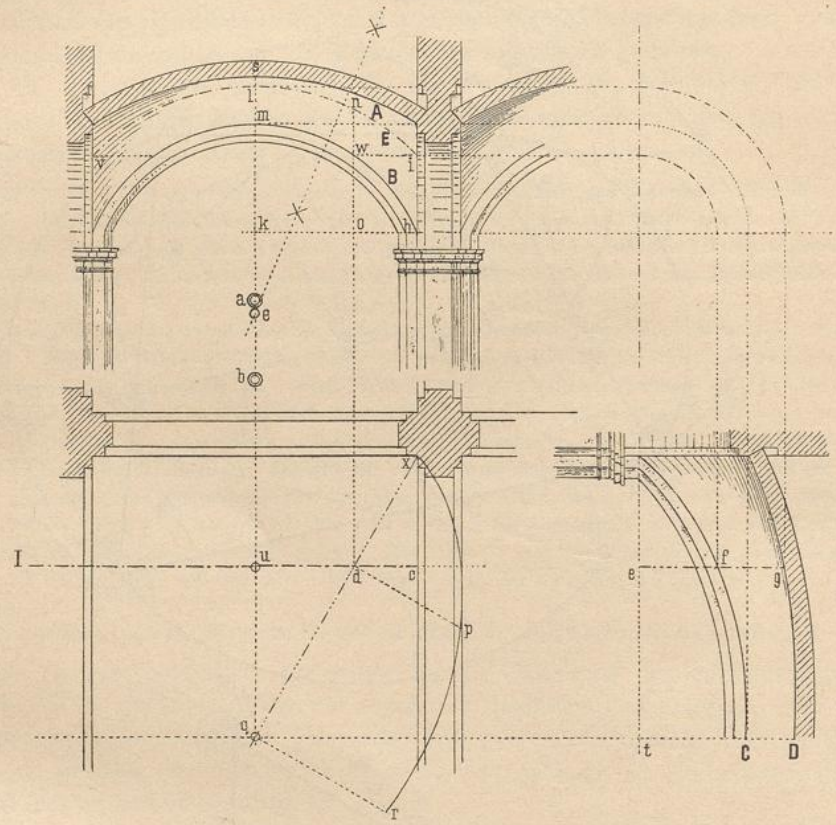
des in s auf as errichteten Lothes $sC = ss_0$, die Länge der in p auf as ſenkrecht ſtehenden Linie pp_0 gleich der Ordinate z, der Schnittlinie wtu u. ſ. f. Für die Bogenlinien nach sb, sc u. ſ. f. gelten dieſelben Maſsnahmen. Mittels lothrechter, parallel zu ad aufgeſtellter Ebenen werden die zugehörigen Schnittlinien der Laibungsfläche feſt gelegt und hiernach einzelne Punkte dieſer geſuchten Bogenlinie ermittelt.

396. Gleich hohe Stirnbogen: Anordnung I.

Wird bei rechteckigem Grundriſſe des böhmiſchen Kappengewölbes die Forderung geſtellt, alle Stirnbogen mit gleicher Pfeilhöhe einzuführen, ſo kann die kugelförmige Geſtaltung der Laibungsfläche nach Anleitung von Fig. 582 bewirkt werden.

Der Stirnbogen der ſchmalen Rechtecksſeite ſei der um a beſchriebene flache Kreisbogen B mit der Pfeilhöhe km. Der Stirnbogen C der langen Seite erhält dieſelbe Pfeilhöhe $tC = km$. Dieſer Stirnbogen C iſt ein Stück einer Ellipſe, wofür einzelne Punkte, z. B. f, auf bekanntem, auch aus der

Fig. 582.



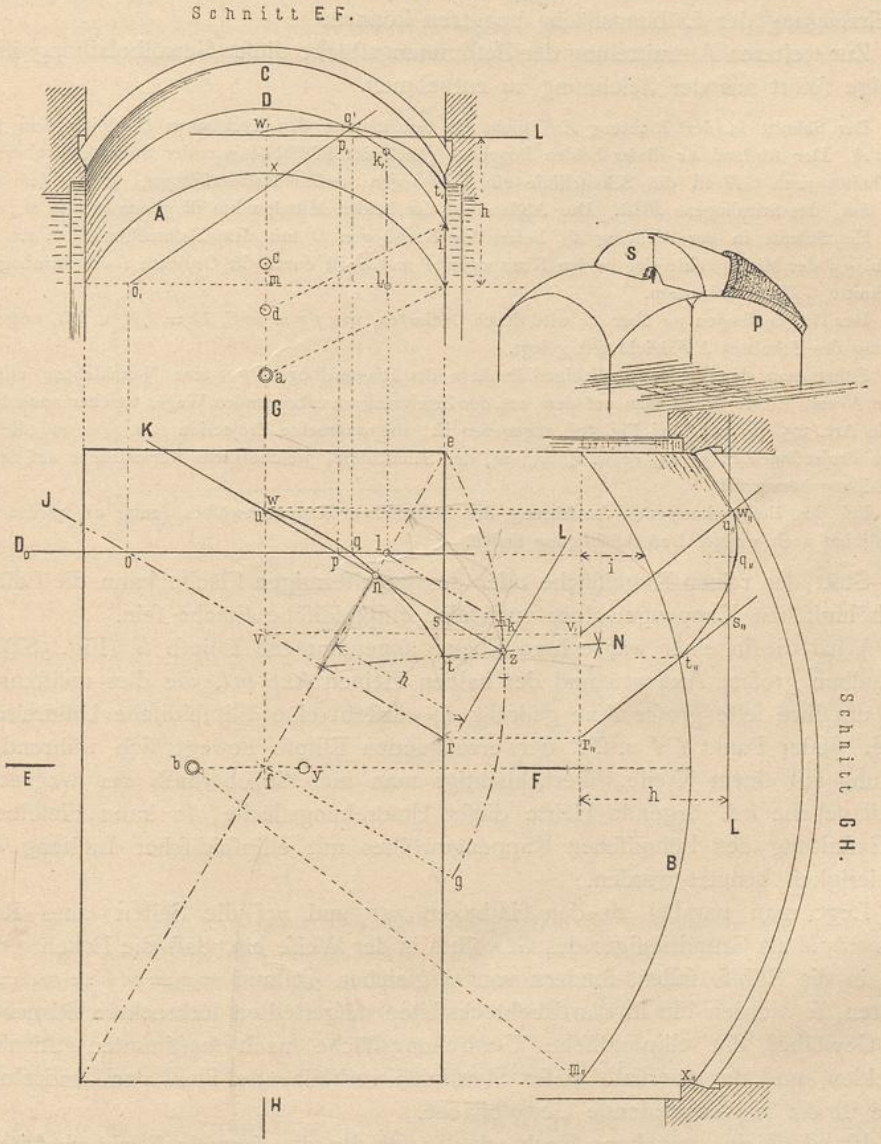
Zeichnung zu erſehenden Wege gefunden werden können. Die Wölblinie der durch den Scheitel s, deſſen wagrechte Projection in der Kämpferebene der Punkt q iſt, parallel zur ſchmalen Rechtecksſeite geführten lothrechten Ebene ſei der um b beſchriebene Kreisbogen A, während die Wölblinie D in der durch den Gewölbeſcheitel parallel zur langen Rechtecksſeite geführten lothrechten Ebene als flacher Kreisbogen, wobei jedoch $tD = ks$ und die Höhenlage des Anſchlufspunktes an der ſchmalen Stirnſeite gleich der Höhe tC über der Kämpferebene ſein muſs, gewählt werden möge. Nach dieſen gegebenen Beſtimmungsſtücken läſſt ſich die kugelförmige Laibung des Gewölbes in folgender Weiſe ermitteln.

Man führt an beliebiger Stelle parallel zur Ebene des Stirnbogens B eine lothrechte Ebene I durch die Gewölbfläche. Dieſelbe ſchneidet die Stirnbogen C der langen Rechtecksſeiten in f. Die Ordinate dieſes Punktes iſt ef.

Wird durch f eine wagrechte Ebene gelegt, ſo erhält man in der Aufriſs-Projection unterhalb A die Punkte i und v. Die Ebene I ſchneidet die Scheitellinie D in g. Trägt man eg von k nach l, ſo

kann man durch die 3 Punkte i, l, v einen Kreisbogen E mit dem Mittelpunkte e legen, welcher als Erzeugende der kugelförmigen Laibung des Gewölbes für die Ebene I auftritt. Genau fo find für verfchiedene, parallel zur fchmalen Rechtecksfeite aufgeftellte lothrechte Ebenen die zugehörigen Wölblinien oder Erzeugenden der Wölbfläche zu beftimmen. Für das Austragen des Diagonalbogens rx über qx ift fofort $qr = ks$ und $dp = on$, wie aus der Zeichnung zu erfehen, zu verwenden.

Fig. 583.



397. Anordnung II.

Eine zweite Art der Geftaltung kugelförmiger Gewölbelaibung für böhmifche Kappengewölbe, deren Stirnbogen gleich grofse Pfeilhöhen erhalten follen, kann bei rechteckigem Grundriffe in vortheilhafter Weife nach Fig. 583 zur Anwendung kommen.

Die Stirnbogen der Rechtecksfeiten find als flache Kreisbogen A, bezw. B mit gleicher Pfeilhöhe mx gewählt. Läfft man den Stirnbogen A, ftets in einer loth-

rechten Ebene parallel mit der ſchmalen Rechtecksſeite bleibend, auf den Stirnbogen B der langen Seiten ſtetig fortrücken, wie der Plan P mit der Scheibe S, deren obere Begrenzung dem Stirnbogen A entſprechen würde, näher angiebt, ſo entſteht eine beſondere Gewölbelaibung, deren Eigenſchaften für die Ausführung des böhmiſchen Kappengewölbes nicht ungünſtig ſind.

Eben ſo hätte man auch umgekehrt den Stirnbogen der langen Rechtecksſeite zur Erzeugung der Laibungsfläche benutzen können.

Zur weiteren Ausmittelung der Beſtimmungsſtücke dieſer Gewölbelaibung iſt das Nöthige ſofort aus der Zeichnung zu entnehmen.

Der Schnitt in der Richtung EF giebt als Scheitellinie den Kreisbogen C gleich dem Kreisbogen A. Der Abſtand ac dieſer beiden Bogen iſt gleich der Pfeilhöhe mx der Stirnbogen überhaupt. Im Schnitte nach GH iſt die Scheitellinie ein Kreisbogen, deſſen Halbmeſſer $yx_{,,}$ gleich dem Halbmeſſer $bm_{,,}$ des Stirnbogens B iſt. Der Abſtand by der beiden Mittelpunkte iſt gleich $mx = m_{,,}x_{,,}$.

Ein Schnitt in der Richtung D_0 liefert den Kreisbogen D mit dem Halbmeſſer $di = ax$. Der Abſtand ad der Mittelpunkte der beiden Kreisbogen A und D iſt durch die Ordinate i des Stirnbogens B im Schnitte GH zu beſtimmen.

Der Diagonalbogen ge über fe wird durch Ordinaten, wie $fg = mC$, $lk = l,k$, u. ſ. f., unter Verwerthung des Schnittes EF leicht feſt gelegt.

Führt man durch einen beliebigen Punkt z des Diagonalbogens ge eine Normalebene mit den Spuren N und $\mathcal{F}r$, ſo erhält man auf dem aus der Zeichnung zu erkennenden Wege, welcher auch bereits z. B. in Art. 305 (S. 444) bei Fig. 508 angegeben iſt, die wagrechte Projection t, n, q, w und die lothrechten Projectionen $t_{,}, q_{,}, w_{,}$ bezw. $t_{,,}, q_{,,}, w_{,,}$ der Schnittlinie, welche dieſe Normalebene auf der Gewölbelaibung hervorruft.

Bei der Beſprechung der Ausführung des böhmiſchen Kappengewölbes (unter c) werden dieſe Schnittlinien noch weitere Berückſichtigung finden.

398. Ellipſoidiſche Fläche.

Statt der reinen Kugelfläche oder der kugelförmigen Fläche kann die Laibung des böhmiſchen Kappengewölbes auch eine ellipſoidiſche Fläche ſein.

Wird die in einer wagrechten Ebene angenommene Ellipſe G (Fig. 584) mit der halben groſsen Axe mo und der halben kleinen Axe ml, wie dies meiſtens der Fall, um ihre feſte groſse Axe gedreht, ſo entſteht eine ellipſoidiſche Umdrehungsfläche. Jeder Punkt l, I u. ſ. f. der erzeugenden Ellipſe bewegt ſich während der Drehung auf einem Kreiſe. Berückſichtigt man nur die oberhalb der wagrechten Meridianebene nE liegende Hälfte dieſer Umdrehungsfläche, ſo kann dieſelbe für die Geſtaltung des böhmiſchen Kappengewölbes mit ellipſoidiſcher Laibung ohne Schwierigkeit benutzt werden.

Legt man parallel zu den Halbaxen mo und ml die Seiten eines Rechteckes $abcd$ als Grundriſsfigur des Gewölbes in der Weiſe ein, daſs die Ecken a, b, c, d nicht in die Ellipſe fallen, ſondern von m gleichen Abſtand $ma = mb = mc = md$ erhalten, ſo werden die in den Rechtecksſeiten aufgeſtellten lothrechten Stirnebenen des Gewölbes die ellipſoidiſche Umdrehungsfläche nach beſtimmten Stirnlinien ſchneiden, und der oberhalb dieſer Stirnlinien verbleibende Theil der Umdrehungsfläche iſt die zu verwendende Gewölbfläche.

Iſt $abcd$ das gegebene Rechteck, ſo ſei für die ſchmale Rechtecksſeite bd, bezw. ac ein flacher Kreisbogen mit der Pfeilhöhe ef in Rückſicht auf die Kämpferebene gewählt. Die Scheitellinie in der lothrechten Ebene ml iſt als ein zum Stirnbogen concentriſcher Kreisbogen zu nehmen. Gehörig erweitert, trifft dieſe Scheitellinie die Kämpferebene K in s und die wagrechte Meridian- oder jetzt die Grundebene in i. Erweitert man in der Grundebene die Diagonale da des gegebenen Rechteckes, zieht man durch i die Gerade ik parallel zu ab und hierauf ko parallel zu ac,

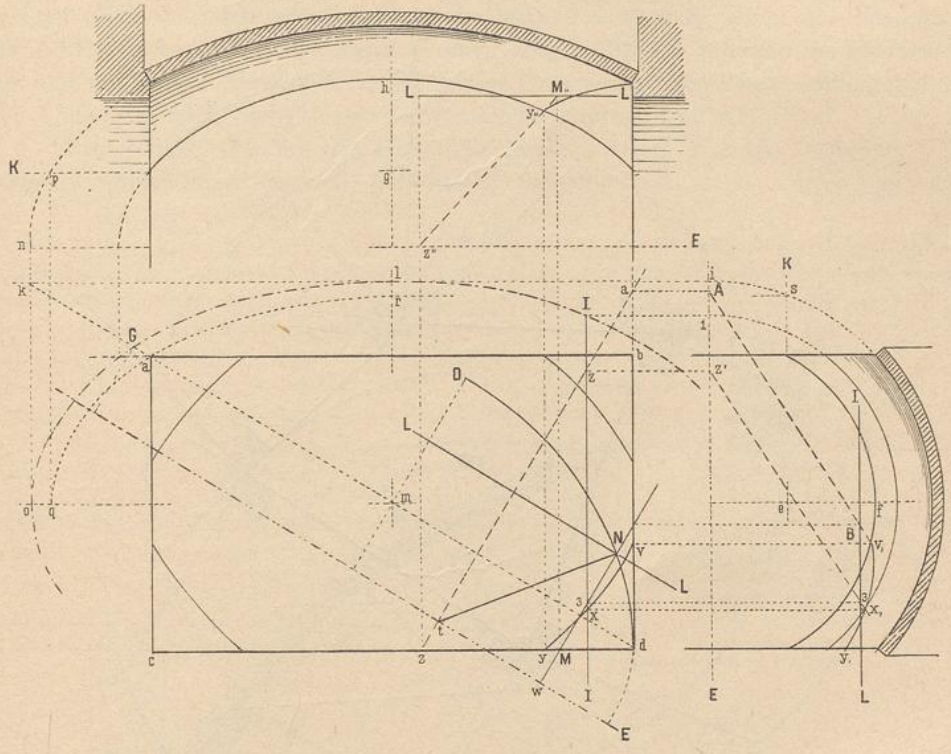
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ſo erhält man in ml die halbe kleine Axe und in mo die halbe groſse Axe der erzeugenden Ellipſe G, welche hiernach in der Meridianebene der Umdrehungsfläche gezeichnet werden kann. Nunmehr ſind alle Stücke gegeben, um die ellipſoidiſche Laibung des Gewölbes zu bilden.

Der Stirnbogen der Seite ab iſt ein leicht darzuſtellendes Ellipſenſtück mit der Pfeilhöhe $gh = ef$. Die Scheitellinie in der Richtung mo entſpricht der erzeugenden Ellipſe. Aus der Zeichnung iſt hierfür das Nähere ſofort erſichtlich.

Auch der Diagonalbogen D gehört einem Ellipſenſtücke an. Die halbe groſse Axe für die erforderliche Ellipſe des Diagonalbogens iſt gleich mG, und die halbe kleine Axe iſt wiederum gleich ml.

Fig. 584.



Der für den Diagonalbogen D gezeichnete Normalſchnitt der Normalebene mit den Spuren Nt und ta liefert auf der Gewölbfläche die Curve, deren wagrechte Projection vxy und deren lothrechte Projection v, x, y, in bekannter Weiſe mit Hilfe der lothrechten Schnitte nach bd, II und ab, ſo wie der wagrechten Geraden L, wie aus der Zeichnung hervorgeht, zu finden iſt.

Bemerkt ſei noch, daſs in der Kämpferebene durch die Ecken a, b, c, d eine Ellipſe gelegt werden kann, deren halbe groſse Axe in mq, deren halbe kleine Axe in mr erhalten wird.

β) Die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen.

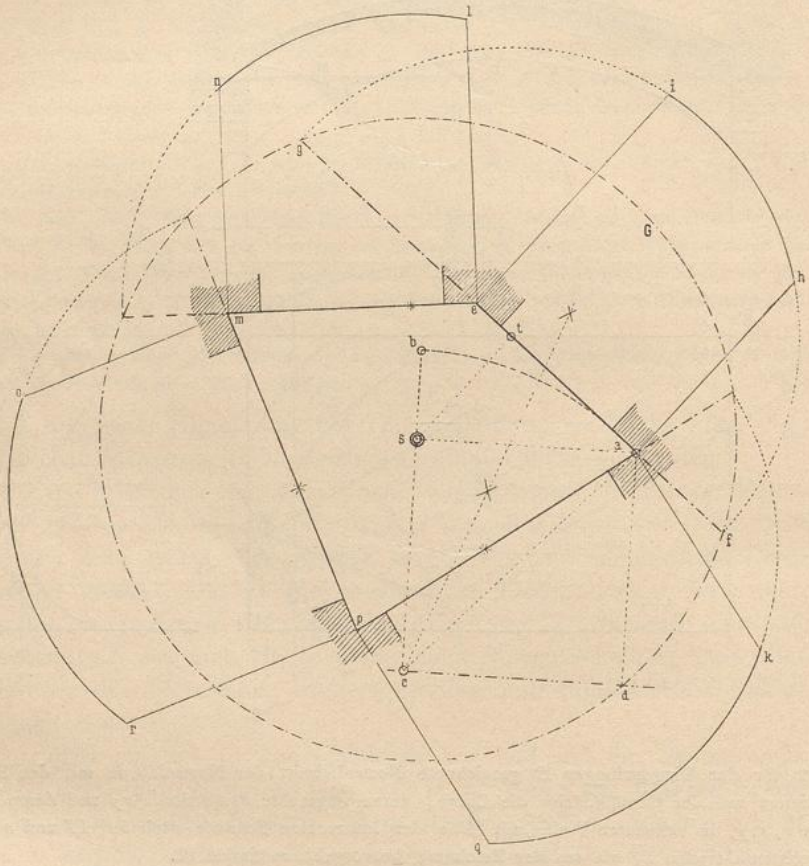
399. Kugelfläche.

Böhmiſche Kappengewölbe mit ungleich hoch gelegenen Fuſspunkten der Stirnlinien zeigen meiſtens kein ſchönes Ausſehen. Iſt man genöthigt, über unregelmäſsigen Grundriſſen mehr untergeordneter Räume das böhmiſche Kappengewölbe als Raumdecke zu verwenden, ſo iſt es angezeigt, einen Theil der reinen Kugelfläche als Laibungsfläche des Gewölbes zu benutzen und von der ellipſoidiſchen Fläche ganz abzuſtehen.

In diefem Falle ift die Ausmittelung der Stirnlinien und der vom Scheitelpunkte nach den Fufspunkten diefer Stirnlinien gerichteten Wölblinien in einfacher Weife nach Fig. 585 vorzunehmen.

Das unregelmäfsige Viereck *aemp* fei der Grundrifs des Gewölbes. Der Schwerpunkt *s* der Grundrifsfläche möge die wagrechte Projection des Gewölbefcheitels fein. Die Wölblinie *ab*, welche vom Fufspunkte *a* bis zum Gewölbefcheitel zieht, ift als Kreisbogen bei der angenommenen Pfeilhöhe *sb* um *c* als Mittelpunkt, der auf der gehörig verlängerten Geraden *sb* liegt, mit dem Halbmeffer *ca* befchrieben. Diefer

Fig. 585.



Halbmeffer wird, fobald feine Gröfse nicht kleiner, als die Länge irgend eines anderen Eckftrahles *sm* oder *sp* u. f. f. ift, fofort auch als Halbmeffer der Kugelfläche, welcher die Laibung des Gewölbes entnommen werden foll, beibehalten. Der um *s* mit dem Halbmeffer *ca* befchriebene Kreis *G* ift der in der wagrechten Grundebene *cd* liegende gröfste Kreis der Kugel.

Würde derfelbe zum Theile in die Grundrifsfigur fallen, fo müfste die Pfeilhöhe *sb* der Wölblinie *ab* entfprechend verkleinert werden.

Der Mittelpunkt der Kugel liegt in einem lothrechten Abftande *sc* unter der durch *a* geführten wagrechten Ebene.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Um den Stirnbogen der Seite ae auszutragen, erweitert man ae, bis der gröfste Kreis G in f und g geſchnitten wird. Der um t beſchriebene Halbkreis $ghif$ ergiebt in hi die geſuchte Stirnlinie. Der Punkt t iſt bekanntlich auch der Fuſspunkt des von s auf ae gefällten Lothes.

Auf demſelben Wege ſind die ſämmtlichen Stirnlinien zu ermitteln. Die Seiten ae, em u. ſ. f. können für die einzelnen Stirnlinien ohne Weiteres als in der Grundebene G liegend betrachtet werden, ſo daſs $ah = ad = ak$, $ei = el$, $mn = mo$, $pr = pq$ gefunden und hiernach die gegenſeitige Höhenlage der Fuſspunkte der an den Ecken des Gewölbes zuſammentretenden Stirnlinien beſtimmt wird. Die Wölblinien über se und sm ſind gleichfalls mit Hilfe des gröſsten Kreiſes G auf dem beſchriebenen Wege zu erhalten.

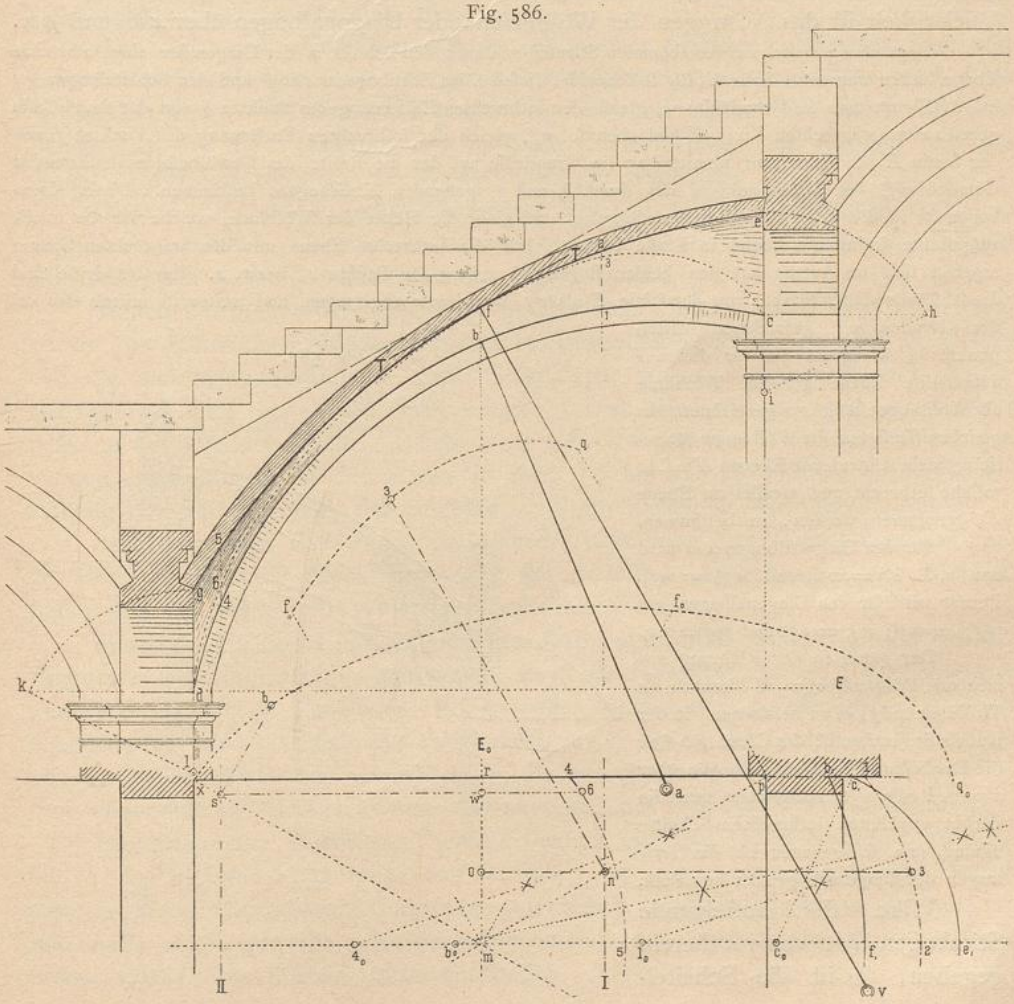
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer ſchiefen Ebene.

400. Steigende böhmiſche Kappen: Anordnung I.

Bei anſteigenden böhmiſchen Kappengewölben, welche meiſtens nur über rechteckigem oder quadratiſchem Gewölbefelde ausgeführt werden, liegen die Fuſspunkte der beiden anſteigenden Stirnbogen in einer ſchiefen Ebene, während die Fuſspunkte der anderen beiden Stirnbogen je für ſich in einer wagrechten Ebene enthalten ſind. Die Laibungsflächen dieſer Gewölbe werden kugelförmig geſtaltet.

Entſprechend der für die Hauptſcheitellinie ge feſt gelegten Tangente TT, deren Richtung einer vorweg beſtimmten Steigungslinie, z. B. derjenigen eines

Fig. 586.



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

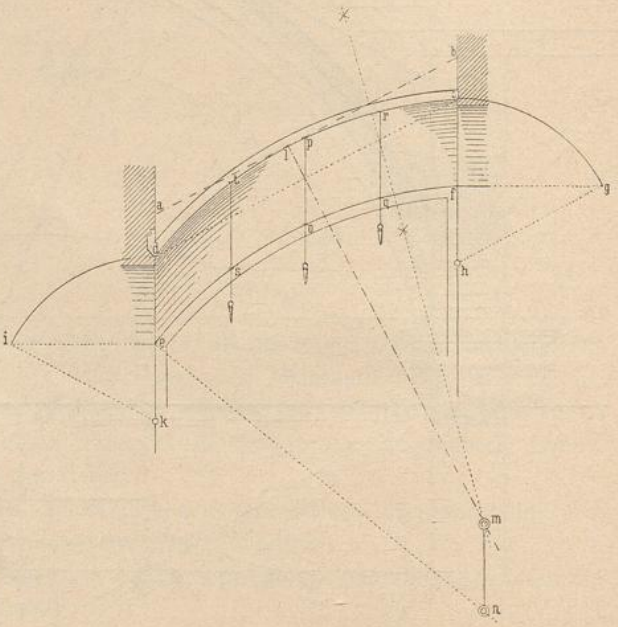
Treppenlaufes in Fig. 586, zugewiefen ift, wird auf dem in f auf TT errichteten Lothe fv der Punkt v aufgefucht, welcher als Mittelpunkt für den durch den feften Punkt g und den Berührungspunkt f gehenden Kreisbogen gfe gilt. Der Punkt f ift vorweg als lothrechte Projection des Schnittes m der Diagonalen des rechteckigen Gewölbefeldes auf TT zu beftimmen. Der Punkt g ift feiner Lage nach durch den gewählten Stirnbogen gk mit dem Halbmeffer lk und der Pfeilhöhe dg bekannt.

Der Scheitelbogen gfe trifft die Stirnfeite ie in e. Diefer Punkt ift Scheitelpunkt des Stirnbogens an der oberen fchmalen Rechtecksfeite. Diefer Stirnbogen befitzt, wie der Bogen gk, die Pfeilhöhe $ec = dg$ und den Halbmeffer $ih = lk$. Durch die Punkte d und c find die Fufspunkte der anfteigenden Stirnlinie des Gewölbes nunmehr gegeben. Wählt man auf der Lothrechten mf die an fich fonft beliebige Höhe bf derart, dafs b mäfsig tiefer als c fällt, fo ift durch die 3 Punkte c, b, d der als anfteigende Stirnlinie auftretende Kreisbogen zu legen. In der Zeichnung ift a fein Mittelpunkt.

Hierdurch find alle für die Geftaltung des anfteigenden böhmifchen Kappengewölbes mit kugelförmiger Laibung erforderlichen Grundlagen gefchaffen. Von Wichtigkeit ift das Austragen der Wölblinien oder Diagonalbogen über xm und pm.

Legt man parallel zu den fchmalen Stirnfeiten durch den Schnitt m der Diagonalen eine lothrechte Ebene, deren wagrechte Spur E_0 ift, fo fchneidet diefelbe den Stirnbogen cd in b und den Scheitelbogen ge in f. Nimmt man im Grundriffe rb, gleich der lothrechten Entfernung des Punktes b von der im Aufriffe gezeichneten wagrechten Linie E und eben fo mf, gleich der lothrechten Entfernung des Punktes f von der Linie E, fo kann man unmittelbar im Grundriffe auf der die Breite des Gewölbefeldes halbirenden Geraden mf, den Mittelpunkt b_0 des durch b, und f, gehenden Kreisbogens beftimmen. Diefer Kreisbogen ift in die wagrechte Ebene niedergelegt und giebt die Hälfte der Wölblinie, welche für die in E_0 aufgeftellte lothrechte Ebene in Frage kommt. Für die lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur I ergeben fich im Aufrifs auf den beiden Bogen cd und eg die Punkte 1, bezw. 2. Im Grundriffe find die Abftände diefer Punkte von der Linie E als $r1$, bezw. $m2$ abgetragen, und weiter ift mittels des auf der Geraden mf, gefundenen Mittelpunktes l_0 wiederum die für die in I aufgeftellte Ebene geltende Wölblinie als Kreisbogenftück 12 gezeichnet. In gleicher Weife find die Wölblinien für beliebig viele fchneidende Ebenen II u. f. f., welche lothrecht und parallel zur Ebene E_0 genommen werden, zu beftimmen.

Fig. 587.



Für den Diagonalbogen xm wird nun z. B. $sb = wb$ und $mf_0 = mf_1$. Ferner wird für den Diagonalbogen pm $mf_{11} = mf_{12}$, $n3 = o3$ und $pq = rc_1$.

Der ganze in der Richtung xm ziehende Diagonalbogen ift hiernach als Wölblinie xbf_0q_0 zu beftimmen. In der Aufrifs-Projection ift die Curve $db f_3 c$ die Darftellung der Diagonalbogen über xm und mp. Je zahlreicher man die vorhin erwähnten lothrechten Schnitte nimmt, um fo genauer ift das Austragen der Diagonalbogen zu bewirken.

Wäre der anfteigende Stirnbogen dbc von vornherein gegeben, fo ift die Scheitel-

linie *ge* in paſſender Weiſe zu wählen. Hierdurch tritt aber im Feſtlegen der Wölbfläche an ſich keine weſentliche Aenderung der beſchriebenen Maſsnahmen ein.

401. Anordnung II.

Eine andere Geſtaltung der Laibungsfläche des anſteigenden böhmiſchen Kappengewölbes iſt in Fig. 587 veranſchaulicht. Dieſelbe entſpricht vollſtändig den in Art. 397 (S. 539) gegebenen Anordnungen. Der Stirnbogen der ſchmalen Rechtecksſeite wird, wie dort erklärt, einfach ſtets ſich parallel bleibend und lothrecht ſtehend an den beiden aufſteigenden Stirnbogen der langen Rechtecksſeiten fortgeführt. Derart geſtaltete Laibungsflächen ſind für die Ausführung der anſteigenden böhmiſchen Kappengewölbe zu empfehlen, weil dieſelben unter Benutzung von Rutſchbogen, welche bereits in Art. 160 (S. 230) Erwähnung gefunden haben, gewölbt werden können.

b) Stärke der böhmiſchen Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

402. Stabilität der Kappen.

Das böhmiſche Kappengewölbe gehört der Gruppe der Kuppelgewölbe an. Die Geſichtspunkte, welche bei der Ermittelung der Stärke dieſer Gewölbe nebſt ihren Widerlagern zu beobachten ſind, bleiben auch beim böhmiſchen Kappengewölbe beſtehen, gleichgiltig ob die Laibungsfläche als reine Kugelfläche oder als kugelförmige Fläche ausgebildet iſt.

Die Stärke der böhmiſchen Kappen iſt bei den üblichen in Wohnräumen vorkommenden Belaſtungen und ihren an ſich mäſsigen Spannweiten ſelten gröſser als $\frac{1}{2}$ Backſteinlänge. Bei beſonders groſsen Spannweiten, bezw. bei erheblich ſtarken Belaſtungen iſt die Vornahme der ſtatiſchen Unterſuchung der Kappen und die darauf geſtützte Berechnung der Gewölbſtärke zu empfehlen.

Dieſe Unterſuchung und Beſtimmung der Gewölbſtärke iſt ganz nach den Angaben auszuführen, welche in Art. 322 bis 325 (S. 469 bis 476) für die buſigen Gewölbkappen gothiſcher Kreuzgewölbe enthalten ſind.

403. Stabilität der Widerlager.

Mögen Gurtbogenſtellungen oder geſchloſſene Umfangsmauern als Widerlagskörper des böhmiſchen Kappengewölbes in Anwendung gebracht werden, ſo richtet ſich die Stabilitätsunterſuchung dieſer Stützkörper wiederum zunächſt nach den in Art. 328 (S. 479) gegebenen Erörterungen. Die hierdurch bekannt gewordenen äuſseren angreifenden Kräfte, welche vom Gewölbe auf die Widerlager übertragen werden, ſind ſodann im Sinne des in Art. 256 bis 258 (S. 378 bis 381) bei der Prüfung der Standfähigkeit der Stützkörper Vorgeführten in Betracht zu ziehen.

404. Empiriſche Regeln: Stärke der Kappen.

In den meiſten Fällen der praktiſchen Ausführung des böhmiſchen Kappengewölbes können die durch Erfahrung feſt geſtellten Abmeſſungen der Gewölbſtärke und der Stärke der Widerlager beibehalten werden.

Wird die Pfeilhöhe des böhmiſchen Kappengewölbes nahezu gleich $\frac{1}{10}$ der Diagonale der Grundriſsfigur genommen, ſo iſt die Gewölbſtärke bis 5 m Spannweite gewöhnlich gleich $\frac{1}{2}$ Backſtein. Bei gröſserer Spannweite, welche aber 7 m ſelten überſchreitet, wird die Pfeilhöhe zweckmäſsig zu $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$ der Diagonale feſt geſetzt und die Gewölbſtärke am Scheitel zu $\frac{1}{2}$ Backſtein, am Widerlager bis zu 1 Backſtein angenommen. Dabei iſt eine Ausmauerung der Gewölbzwickel anzurathen.

405. Widerlagsſtärke.

Die Stärke der Widerlager beträgt bei der üblichen Höhe derſelben etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ der gröſsten Spannweite des Gewölbes, nie aber unter $2\frac{1}{2}$ Stein. Treten mehrere, durch Gurtbogen von einander geſchiedene, vollſtändig gleichartig geſtaltete böhmiſche Kappengewölbe in Reihen neben einander auf, ſo genügen meiſtens $1\frac{1}{2}$ Stein breite und $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein ſtarke Gurtbogen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

c) Ausführung der böhmifchen Kappengewölbe.

406. Material.

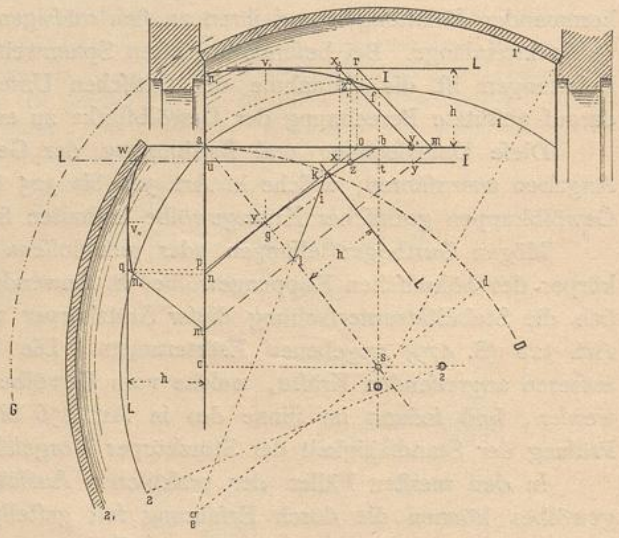
Als Wölbmaterial für das böhmifche Kappengewölbe werden faft ausfchliefslich Backfteine und gut bindender Mörtel benutzt.

407. Einrüftung.

Das Einwölben erfolgt freihändig. Beim Wölben dienen als Lehre nur aus leichten Brettern angefertigte Wölbfcheiben, welche vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes aufgeftellt, als fog. Diagonalbogen die allgemeine Geftaltung der Gewölbfläche anzeigen. An den Widerlagskörpern werden die Stirnlinien oft nur mit Kohle oder Kreide genau vorgezeichnet und die Widerlagsflächen hier mäfsig eingearbeitet, fo dafs diefes Syftem der Stirnlinien in Gemeinfchaft mit den Diagonalbogen, bezw. Wölbfcheiben hinreichende Mittel zur richtigen Ausführung der Wölbung gewährt. Nur in befonderen Fällen werden auch aufser den Diagonalbogen noch leichte Wölbfcheiben, vom Scheitel aus rechtwinkelig nach den Widerlagern gerichtet, aufgeftellt.

Das Einwölben erfolgt aus allen Gewölbeecken gleichzeitig nach Art des Schwalbenfchwanz-Verbandes in einzelnen von den Stirnlinien des Gewölbes freihändig über die Diagonalbogen hinweggeführten Schichten mit Backfteindicke und $^1/_2$ Stein, bezw. 1 Stein Höhe. Gut bindender Mörtel bedingt die möglichft innige Verkittung der forgfältig beim Vermauern angenäfften Steine. Zuletzt bleibt eine nahezu quadratifche Oeffnung für das Einfetzen des Schlufsfteins.

Fig. 588.



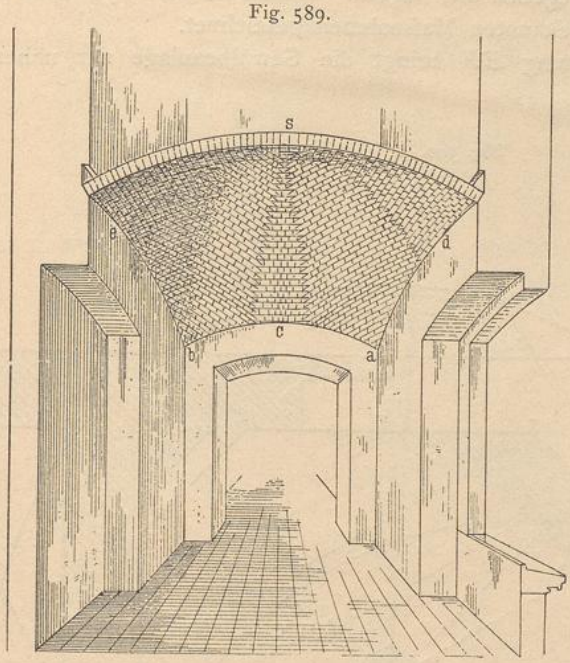
Genau genommen follen die Lagerkanten der einzelnen Wölbfchichten ftets in Normalebenen zu den Diagonalbogen liegen. In Fig. 588 ift für das böhmifche Kappengewölbe über rechteckigem Grundrifs mit den Stirnlinien *1a*, *2a* und dem Diagonalbogen *D* für die Normalebene mit den Spuren *xl* und *mm* nach der in Art. 305 (S. 444) gegebenen Anleitung und auf dem aus der Zeichnung deutlich zu entnehmenden Wege die Darftellung der wagrechten Projection *nvzb* und der lothrechten Projectionen $fz, v, n,$, bezw. $n_{,,} v_{,,} w$ der zugehörigen Lagerkante vorgenommen. Würde für das Wölbgebiet *absc* eine Schaar folcher Lagerkanten beftimmt und diefe Schaar in fymmetrifcher Anordnung auf die noch übrigen drei Wölbgebiete übertragen, fo hätte man die Grundlage, um für das etwa im Rohbau mit farbigen Steinen in beftimmter Mufterung auszuführende Gewölbe eine ftreng richtige Bauzeichnung anfertigen zu können.

Werden die einzelnen auf Schwalbenfchwanz-Verband zufammentretenden Schichten bei gröfsern Spannweiten reichlich lang, fo erfolgt das Einwölben nach Fig. 589 von den Ecken *a*, *b* u. f. f. aus nach dem Schwalbenfchwanz-Verband, von

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

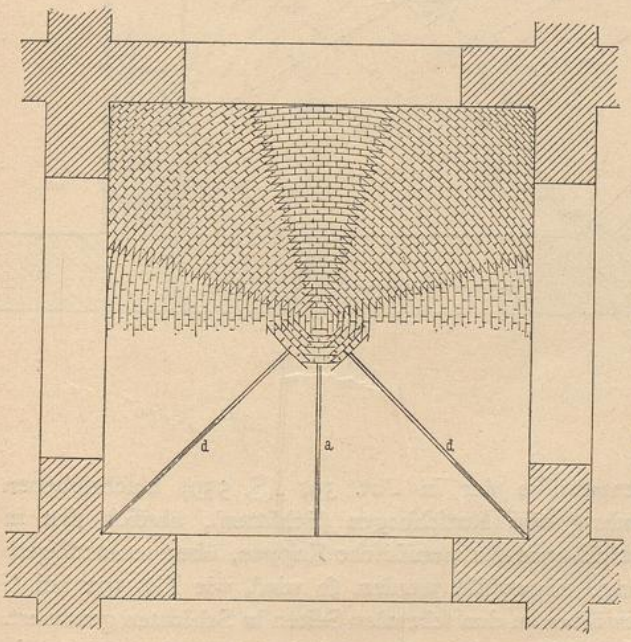
der Mitte der Widerlager nach dem Scheitel zu jedoch in dreieckigen Wölbgebieten *c*, *d*, *e* u. ſ. f. auf Kufverband. In dieſem Falle ſind auſser den Wölbſcheiben *d* der Diagonalbogen noch Wölbſcheiben *a* für die auf Kuf zu wölbenden Zwiſchenſtücke erforderlich.

Fig. 589.



Für einen regelmäſsig vieleckigen Raum iſt das Einwölben auf Schwalbenſchwanz-Verband nach Fig. 590 vorzunehmen. Die Lagerkanten ſind wiederum Schnitte von Normalebenen der Diagonalbogen mit der Gewölbfläche.

Das Austragen der Stirnlinien nach der Annahme des Diagonalbogens *ab* mit der Pfeilhöhe *sc* und dem hiervon abhängigen gröſsten Kreiſe *G* der Kugelfläche, welcher die Gewölbfläche angehört, iſt nach dem in Art. 399 (S. 541) Geſagten bewirkt. Eben ſo iſt in der hinlänglich beſprochenen Weiſe die Grundriſs-Projection *gh* einer Lagerkante der Normalebene *N* des Diagonalbogens *ac* gezeichnet.



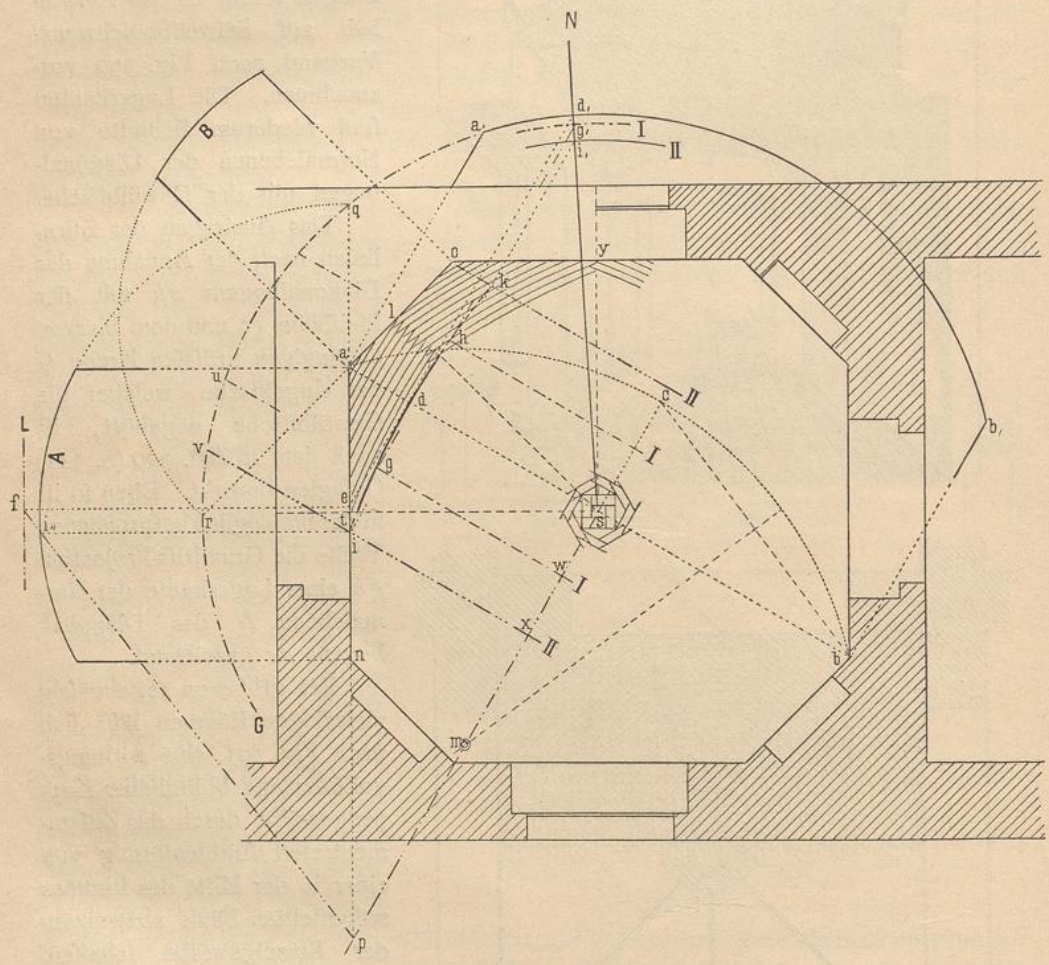
Bei gröſseren regelmäſsig vieleckigen Räumen läſst ſich nach Fig. 591 eine wirkungsvolle Anlage böhmiſcher Kappengewölbe durch das Zuſammentreten ſtrahlenförmig von einer in der Mitte des Raumes aufgeſtellten Säule abzweigender Einzelgewölbe ſchaffen. Das Austragen der Schnittlinien der einzelnen Kappen, das Ausmitteln ihrer Stirnlinien nach der Annahme des durch die Kämpferpunkte *a*, *b*, *c*, *d* eines Gewölbefeldes gehenden Kreiſes *A* mit dem Mittelpunkte *m* und nach dem Feſtſetzen der Pfeilhöhe *mh* bergen nach dem für die Geſtaltung des böhmiſchen Kappengewölbes Vorgetragenen keine Schwierigkeit.

Bei der Ausführung des hier beſprochenen Gewölbes werden in der Richtung

der Diagonalen ac, bd u. f. f. Verſtärkungsgrate gemauert, gegen welche ſich die auf Schwalbenſchwanz-Verband gewölbten, meiſtens nur $^1/_2$ Backſtein ſtarken Kappen, wie bei $r_1 o_1$ im Grundriſſe angegeben iſt, lagern. Hierzu iſt bei $r_{\prime\prime} q_{\prime\prime}$ noch ein beſonderer Normalſchnitt nach bekannten Maſsnahmen gezeichnet.

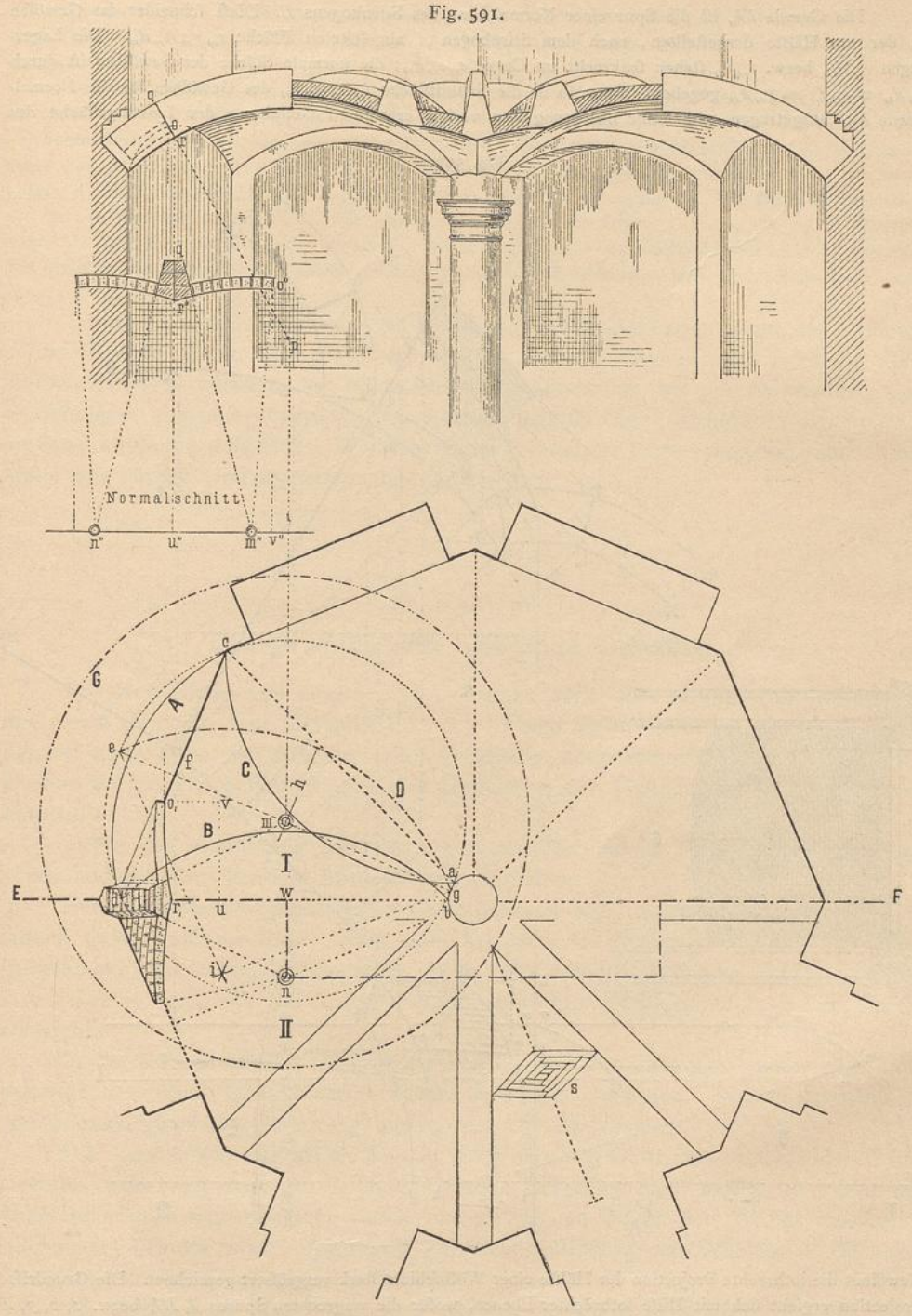
Der Schnitt in der Richtung EF bringt die Gewölbeanlage zur näheren Anſchauung.

Fig. 590.



Sollen böhmiſche Kappengewölbe der in Art. 397 (S. 539) beſchriebenen Geſtaltung nach unter Anwendung von Rutſchbogen (Schlitten), ähnlich den in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutſchbogen für preuſsiſche Kappen, über rechteckigem Gewölbefelde von gröſserer Länge eingewölbt werden, ſo wird, wie Fig. 592 bei G zeigt, der gröſsere Theil des Gewölbes an den ſchmalen Seiten in Schichten gemauert, deren über das Gewölbe von Langſeite zu Langſeite ziehenden Stoſsfugenkanten in Normalebenen bh, und bq, zur Stirnlinie B der anderen Seiten des Raumes liegen, während das in der Mitte des Gewölbes einzufügende Wölbgebiet auf Kuf ausgeführt wird, wobei hier die Lagerkanten Ebenen as, angehören, welche ſich ſämmtlich in

Fig. 591.



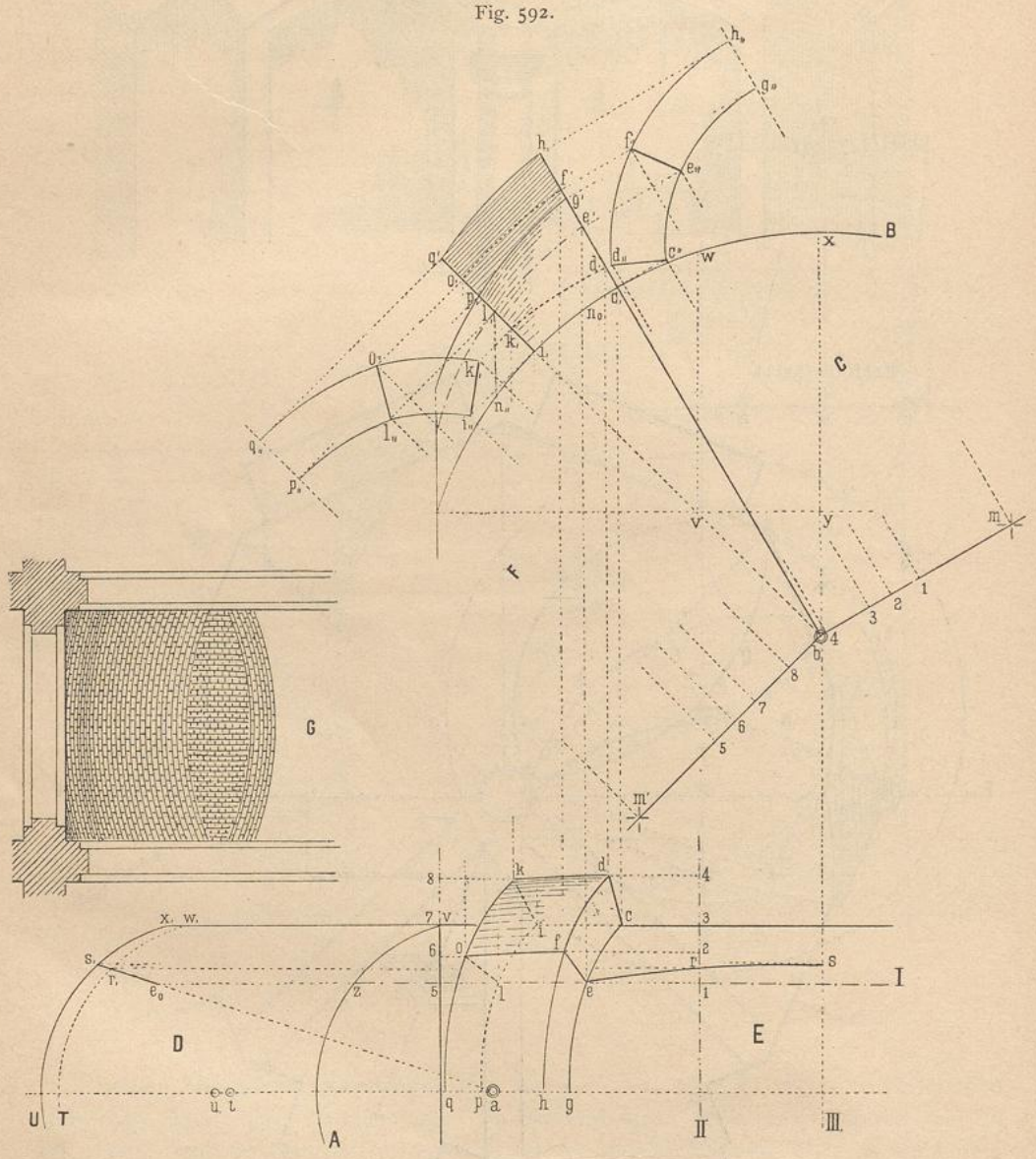
der geraden Verbindungslinie der Mittelpunkte der Stirnlinien der ſchmalen Rechtecksſeiten ſchneiden.

Hierdurch entſtehen zwei Gruppen beſonders gebildeter Wölbverbände. Ueber die Art dieſer Verbände giebt die Zeichnung näheren Aufſchluſs.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Gerade $b\,h_{,}$ ift die Spur einer Normalebene des Stirnbogens B. Diefe fchneidet das Gewölbe in der zur Hälfte dargeftellten, nach dem Stirnbogen A abgeleiteten Fläche $c_{,,}\,g_{,,}\,h_{,,}\,d_{,,}$. Die Lagerfugen $c_{,,}\,d_{,,}$ bezw. $e_{,,}\,f_{,,}$ ftehen fenkrecht zur Curve $c_{,,}\,e_{,,}\,g_{,,}$; die normale Stärke des Gewölbes ift durch $c_{,,}\,d_{,,} = c_{,,}\,f_{,,} = g_{,,}\,h_{,,}$ gegeben. Eben fo ift die Schnittfläche $l_{,,}\,p_{,,}\,q_{,,}\,k_{,,}$ des Gewölbes für die Normalebene $b\,q_{,}$ ausgetragen und unter Beachtung der vorhin erwähnten Geftaltung der Laibungsfläche des

Fig. 592.



Gewölbes die lothrechte Projection der Hälfte einer Wölbfchicht ftark vergröfsert gezeichnet. Die Grundrifs-Projection ergiebt fich mit Hilfe lothrechter Ebenen, wofür die wagrechten Spuren I, III, bezw. 1, 2, 3, 4 parallel der langen Umfangsfeite des rechteckigen Grundriffes genommen find, ohne befondere Umftände. In Folge deffen werden auch die Stofsfugenkanten $c\,e\,g$, bezw. $i\,l\,p$ in der wagrechten Projection erhalten. Da die einzelnen Schichten nach Art des *Moller*'fchen Verbandes gemauert werden, ein keilförmiges Zufchärfen der Steine nach den Ebenen $b\,h_{,}$ und $b\,q_{,}$ durch Ausgleichung der Dicke der Mörtelfugen in den Stofsflächen aber vermieden werden kann, fo ergiebt fich beim Wölben felbft fchon mit grofser

Näherung der richtige Verlauf der Stofsfugenkanten *ceg*, *ilp* u. f. f., wenn nur von vornherein in der Nähe der Fufspunkte des Gewölbes eine der Zeichnung entfprechende Richtung der Stofsfugenkanten innegehalten wird.

Die Lagerfugenkanten des mittleren Gewölbegebietes *E* find in den wagrechten Projectionen leicht aufzufinden. Für die Ebene *as*, ift *ers* ein Stück der wagrechten Projection einer Lagerkante. Die lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur *II* fchneidet die Gewölbelaibung nach dem Kreisbogen *T*, wofür *vw*, = *vw* des Stirnbogens *B* ift. Der Halbmeffer *w*, *t* ift gleich dem Halbmeffer *va* des Stirnbogens *A* der fchmalen Rechtecksfeite. Der Mittelpunkt *t* liegt, der Erzeugung der Wölbfläche entfprechend, auf der verlängerten Geraden *ag*. Die Ebene *as*, fchneidet den Bogen *T* in *r*,; die auf *II* gelegene wagrechte Projection diefes Punktes ift alfo *r*, und folglich wird *r* ein Punkt der wagrechten Projection der gefuchten Lagerfugenkante. Nach gleichem Verfahren find zahlreiche Punkte *e*, *s* diefer Lagerkante zu finden.

Bei forgfältiger Ausführung der Wölbung auf Rutfchbogen kann die Laibung diefer Gewölbe felbft ohne Putz bleiben. In ähnlicher Weife kann auch das Einwölben längerer anfteigender böhmifcher Kappengewölbe bei der Anwendung von Rutfchbogen ausgeführt werden. Als Leitfchienen für die Rutfchbogen dienen zwei an den Langfeiten aufgeftellte Wölbfcheiben, deren obere Begrenzung nach den Stirnlinien der langen Umfangsfeiten abgerundet ift.

18. Kapitel.

Gufsgewölbe und hängende Gewölbe.

Die Herftellung von Decken aus Gufsmauerwerk oder Grobmörtel, beftehend aus einem Gemenge von Steinabfällen oder kleinen Steintrümmern, Steinfchlag, und Mörtel wurde von den Römern fchon frühzeitig vorgenommen. Die Form diefer Decken entfprach im Wefentlichen der Geftaltung der Tonnengewölbe, Kreuz- und Kuppelgewölbe. 408. Gufsgewölbe.

Ueber die Ausführung diefer fog. Gufsgewölbe find in Theil II, Band 2 diefes »Handbuches« eingehendere Mittheilungen enthalten.

Dem Gebiete des eigentlichen Gewölbebaues find derartige Gufsmörteldecken jedoch nicht hinzuzurechnen. Nach dem Erhärten des Grobmörtels bildet die Gufsmörteldecke eine zufammenhängende, mehr oder weniger elaftifche Schale, welche ihrem Gefüge nach von der Anordnung der gewölbten Steindecken in hohem Grade abweicht.

In der Neuzeit ift die Herrichtung von Decken aus Gufsmörtel unter dem Beibehalten beftimmter Gewölbformen wieder fehr rege geworden. Sie werden vielfach und in mannigfachfter Geftaltung und Gröfse zur Anwendung gebracht.

Die Ausführung der als Decken in der Form von Gewölben auftretenden Gufsgewölbe, wobei ein etwa aus 1 Theile Cement, 2 Theilen Sand und 3 bis 6 Theilen Steinfchlag oder Schlackenkies durch entfprechenden Zufatz von Waffer bereiteter Grobmörtel benutzt wird, erfolgt ftets auf einer vollftändig mit Schalung verfehenen Einrüftung des zu überdeckenden Raumes.

Der Grobmörtel oder Beton wird auf die Schalung in dünnen, 10 bis 15 cm dicken Lagen gleichförmig ausgebreitet und hierauf in forgfamer Weife feft geftampft. Unter ftetem Annäffen durch Waffer, welches mittels einer Giefskanne in dünnen Strahlen der unteren Lage zu Theil wird, erfolgt das Auftragen der nach und nach folgenden Betonfchichten, bis die beabfichtigte Dicke der zu bildenden Decke

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

erreicht ist. Die Gewölbzwickel sind ebenfalls mit Gussmörtel zu füllen. Hierbei sei auch auf Art. 68 (S. 75) des vorliegenden Heftes verwiesen.

409. *Rabitz-* und *Monier-*Decken.

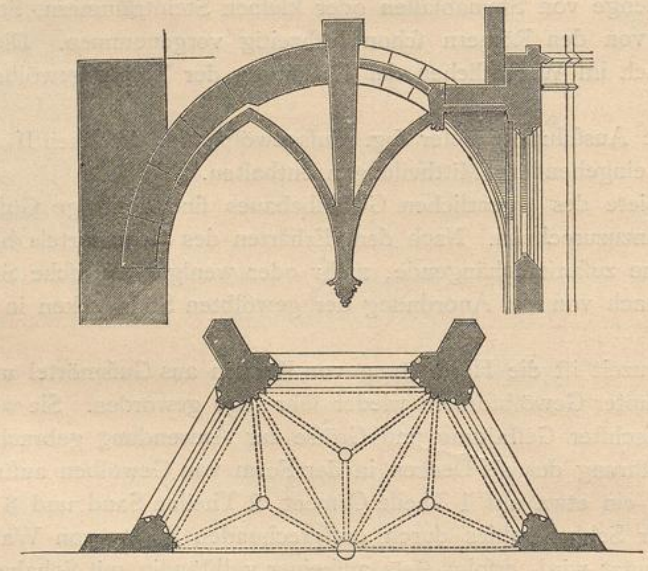
Bei den in Gewölbform hergerichteten *Rabitz*-Decken erhält die eigentliche Mörtelmasse, der sog. *Rabitz*-Putz (siehe Theil III, Band 2, Heft 1 dieses »Handbuches«, Art. 264 u. ff., S. 329 u. ff.), durch Einlage eines der Gestaltung der gewölbten Decke nachgeformten Drahtgewebes eine besondere Unterstützung und Haltbarkeit. Hierbei können einzelne stärkere Eisendrähte als Hauptträger des Drahtgewebes eingeführt werden.

Dieses Drahtsystem wird vollständig mit dem Mörtelputz überzogen, bis die gewünschte Form der Decke erzielt ist. Die Drahteinlage kann in der Mitte oder im unteren Viertel der Decke bleiben.

Bei den *Monier*-Decken wird die Gewölbform durch die Einlage eines aus starkem Eisendraht bestehenden Gerippes angebahnt. Dieses Gerippe wird aus 5 bis 25 mm im Durchmesser starken eisernen Längs- und Querstangen hergerichtet. An den Kreuzungsstellen der Stäbe wird durch Drahtumwindungen ihre Verbindung bewirkt. Dieses Tragsystem der Decke ist ein mit 10 bis 15 cm, unter Umständen mit 20 cm weiten Maschen versehenes, korbartig gebildetes Geflecht, welches zur Herstellung der geplanten Decke mit Cementmörtel überzogen wird (siehe im eben genannten Heft dieses »Handbuches« Art. 271, S. 334).

Im Allgemeinen können die *Rabitz*- und die *Monier*-Decken eine geringere Stärke, als die eigentlichen gewölbten Decken erhalten.

Fig. 593 [190]).



410. Hängende Gewölbe.

Werden bei einer gewölbten Decke einzelne Stützkörper, wie Pfeiler, Säulen u. s. w. fortgelassen und wird hierfür Ersatz durch eine oberhalb des Gewölbes in kräftiger Weise hergerichtete Trag-Construction geschaffen, an welche die zu stützenden Theile aufgehängt werden, so entsteht das sog. hängende Gewölbe (Fig. 593 [190]).

[190]) Facs.-Repr. nach: Gottgetreu, R. Lehrbuch der Hochbau-Konstruktionen. Theil I. Berlin 1880. S. 190.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Hauptbeſtandtheil deſſelben wird alſo ſtets das mit gröſster Sicherheit zu conſtruirende Tragwerk bleiben, möge daſſelbe als Gurtbogenſyſtem aus Stein oder unter ausſchlieſslicher Verwendung von Eiſen hergerichtet werden. Im Allgemeinen müſſen die hängenden Gewölbe als äuſserſt gekünſtelte Deckenbildungen angeſehen werden. Bei der Möglichkeit des leicht eintretenden Verſchiebens oder Senkens ihrer aufgehängten Stützpunkte iſt auch die nöthige Sicherheit ihrer Standfähigkeit nur durch das Aufwenden koſtſpieliger und zuſammengeſetzter Nebenconſtructionen zu erreichen. Ihre Anwendung kann aus dieſen Gründen nicht empfohlen werden. Ein näheres Eingehen auf ihre Anordnung erſcheint hier überflüſſig.

Beiſpiele von hängenden Gewölben, namentlich aus der Zeit der Spätgothik, ſind in groſser Zahl bei den Kirchenbauten Englands zu finden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

C. Sonſtige Decken-Conſtructionen.

19. Kapitel.

Verglaste Decken und Deckenlichter[191]).

Von Adolf Schacht und Dr. Eduard Schmitt.

411. Ueberſicht.

Verglaste Decken und Deckenlichter, welch letztere meiſt »Oberlichter«[192]) geheiſsen werden, haben den Zweck, den unter ihnen befindlichen Räumen Licht zuzuführen, dieſelben aber zugleich gegen das Eindringen von Staub, kalter Luft etc. abzuſchlieſsen. Da die verglasten Dächer und Dachlichter im nächſtfolgenden Hefte (Abth. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39) dieſes »Handbuches« eine geſonderte Behandlung erfahren werden, ſo ſind an dieſer Stelle im Weſentlichen nur ſolche Deckenlichter zu beſprechen, welche entweder:

1) die nach oben zu abſchlieſsende Decke eines Raumes, bezw. einen Theil dieſer Decke bilden, oder

2) welche in Zwiſchendecken gelegen ſind, bezw. die Zwiſchendecke ſelbſt bilden.

Hiernach bleiben die in äuſseren Dachflächen gelegenen lichtdurchlaſſenden Flächen, die man zuweilen auch als »Oberlichter« bezeichnet, welche aber im »Handbuch der Architektur« die Benennung »Dachlichter« führen, unberückſichtigt. Hingegen werden Deckenlichter, welche man in Bürgerſteigen, Bahnſteigen und ſonſtigen regelmäſsig zu betretenden Flächen anordnet und die theils zu der einen, theils zu der anderen der vorhin geſchiedenen Arten gezählt werden können, mitbeſprochen werden.

Dies vorausgeſchickt, laſſen ſich im Folgenden unterſcheiden:

a) Deckenlichter, welche ſtändig begangen, bezw. befahren werden, und

b) verglaste Decken (Glasdecken) und Deckenlichter, welche für gewöhnlich gar nicht, ſondern höchſtens nur zum Zweck der Reinigung oder Ausbeſſerung betreten werden.

Wenn deſshalb die nachfolgende Unterſcheidung auch nicht vollſtändig zutreffend iſt, ſo mögen die unter a fallenden Deckenlichter kurzweg als begehbare und die unter b einzureihenden Conſtructionen als nicht begehbare bezeichnet werden.

Bezüglich der den Lichtöffnungen zu gebenden Abmeſſungen ſei auf Theil III, Band 2, Heft 5 (Abth. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter [unter a]) und auf Theil III, Band 3, Heft 1 (Abth. IV, Abſchn. 1, A, Kap. 1: Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht[193]), ſo wie bezüglich der Gemälde-Galerien auf Theil IV, Band 6, Heft 4 (Abth. VI, Abſchn. 4, B, Kap. 4, unter c, »1) dieſes »Handbuches« verwieſen.

---

191) Gegenwärtiges Kapitel iſt im Weſentlichen ein Auszug aus dem Heft Nr. 2 der »Fortſchritte auf dem Gebiete der Architektur« (Darmſtadt 1894). Es wird auf dieſes Ergänzungsheft des »Handbuches der Architektur« mehrfach hingewieſen und dabei ſtets die Abkürzung »Fortſchritte Nr. 2« gebraucht werden.

192) Im »Handbuch der Architektur« wird der Gebrauch der Bezeichnung »Oberlicht« vermieden, um Miſsverſtändniſſen vorzubeugen. Wie bekannt, nennt man nicht ſelten hoch einfallendes Seitenlicht gleichfalls »Oberlicht«. (Vergl. auch Theil III, Band 3, Heft 1 [Abth. IV, Abſchn. 1, A, Kap. 1] und Band 4, 2. Aufl. [Abth. IV, Abſchn. 4, Kap. 1] dieſes »Handbuches«.)

193) 2. Aufl.: Theil III, Band 4 (Abth. IV, Abſchn. 1, A, Kap. 1: Verſorgung der Gebäude mit Sonnenlicht).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

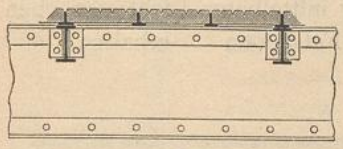
a) Begehbare Deckenlichter.

412. Deckenlichter aus Glasplatten.

Im Inneren der Gebäude werden begehbare Deckenlichter erforderlich, wenn ein Raum das Licht aus dem darüber gelegenen Raume erhalten und wenn in letzterem der Verkehr nicht unterbrochen werden ſoll. Alsdann muſs die zwiſchen beiden befindliche Decke lichtdurchläſſig, alſo im Weſentlichen aus Glas conſtruirt werden. Die beide Räume trennende Zwiſchenconſtruction iſt für den unteren »Deckenlicht«, bezw. »verglaste Decke« und für den oberen »Glasfuſsboden«.

Die Conſtruction eines derartigen Deckenlichtes läuft im Allgemeinen darauf hinaus, daſs man zwiſchen die meiſt eiſernen Haupttragebalken der Decke, welche in der Regel I-förmigen Querſchnitt und die der vorkommenden gröſsten Belaſtung entſprechenden Abmeſſungen erhalten, ſchwächere Querträger aus geeigneten Formeiſen, meiſt ⊥-Eiſen, ſetzt und dieſelben durch Winkellaſchen mit erſteren verbindet.

Fig. 594.



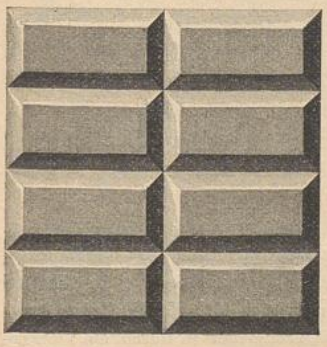
1/25 w. Gr.

In die Fache des ſo gebildeten ſchmiedeeiſernen Roſtes werden die Glasplatten (meiſt in Kitt) verlegt. Fallen die gedachten Querträger ſehr ſtark aus, ſo ſtellt man ſie am beſten aus I-Eiſen her und lagert erſt auf dieſen die ⊥-Eiſen, welche die Glasplatten aufzunehmen haben (Fig. 594). Im Allgemeinen empfiehlt es ſich, für alle dieſe Träger, bezw. Stäbe hohe, aber ſchmale Profile zu wählen, um möglichſt wenig Licht zu verſperren.

Sind Räume von bedeutenden Grundriſsabmeſſungen mit einer durchgehenden und begehbaren verglasten Decke zu überſpannen, ſo wird eine gröſsere Zahl von ſtärkeren Längs- und Querträgern erforderlich; häufig genügen dann einfache Walzbalken nicht mehr, und es kommen Blechträger zur Verwendung. Die durch die Längs- und Querträger gebildeten Fache haben alsdann meiſt eine ſo beträchtliche lichte Weite, daſs für die Lagerung der Glasplatten noch beſondere Sproſſen anzuordnen ſind [194]).

Für die Glasplatten verwendet man häufig Rohglas, welches für die in der Regel vorkommenden Verhältniſſe meiſt 20 bis 25 mm ſtark zu wählen ſein wird [195]).

Fig. 595.



Glashartguſs-Fuſsbodenplatte der Aktiengeſellſchaft für Glasinduſtrie vorm. *Friedr. Siemens* zu Dresden.

Ueber das Preſshartglas, welches in Folge ſeiner groſsen Biegungsfeſtigkeit und ſeiner Widerſtandsfähigkeit gegen Stoſswirkungen im vorliegenden Falle in erſter Reihe in Frage kommen ſollte, liegen noch nicht ſo allgemein günſtige Erfahrungen vor, daſs deſſen Benutzung unbedingt empfohlen werden könnte; Tafeln, die vorher auf das ſorgfältigſte geprüft worden ſind, ſpringen ſpäter bisweilen ohne erſichtliche Urſache. Durch Aenderungen im Fabrikationsvorgang iſt indeſs in neuerer Zeit dieſem Miſsſtand begegnet worden, und die von der Aktiengeſellſchaft für Glasinduſtrie vorm. *Friedr. Siemens* zu Dresden erzeugten »Glashartguſs-Fuſsbodenplatten« (Fig. 595) haben ſich bewährt.

Jedenfalls muſs auch noch des von *Friedr. Siemens* in Dresden in neuerer Zeit erzeugten Drahtglaſes (Roh-

194) Ein einſchlägiges Beiſpiel ſiehe in: Fortſchritte Nr. 2, S. 7.

195) Ueber Berechnung der Glasdicke ſiehe Theil III, Band 3, Heft 5 (Abth. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39, unter b, 3) dieſes »Handbuches«.

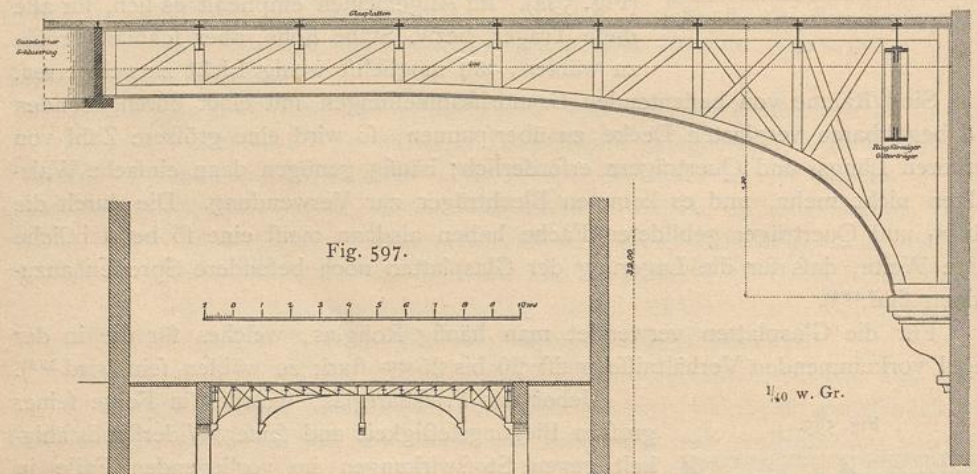
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

glas, in deſſen Innerem ſich ein feinmaſchiges Eiſendrahtgewebe von 1 mm Stärke befindet) gedacht werden, welches ſich für den fraglichen Zweck wohl eignen dürfte; ſchon bei einer Dicke von 6 bis 8 mm kann es ohne Gefahr des Durchbrechens betreten werden.

Damit die Glasplatten für das Begehen nicht zu glatt ſind, werden ſie nicht ſelten an ihrer Oberfläche gerieft oder kreuzweiſe gefurcht hergeſtellt; ſie heiſsen dann wohl auch Glasflieſen (ſiehe Fig. 594 u. 595). Letztere werden namentlich in Pariſer Geſchäftshäuſern in groſsem Umfange verwendet; ſie meſſen dort 35 cm im Geviert, ſind 60 bis 70 mm dick und mit 10 mm tiefen, einander kreuzenden Riefen verſehen; die Platten werden gegoſſen und haben eine etwas grünliche Farbe. Die eben erwähnten Glashartguſs-Fuſsbodenplatten meſſen 15 bis 42 cm im Geviert und ſind nach drei verſchiedenen Muſtern gerieft.

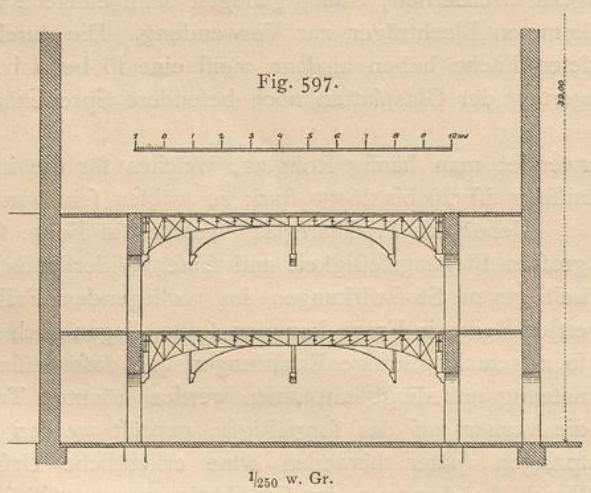
Als erſtes Beiſpiel ſei die einſchlägige Conſtruction im Geſchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris (Fig. 596 u. 597 [196]) vorgeführt. In demſelben ſind zwei Kellergeſchoſſe über einander angeordnet, welche beide nur mittelbares Licht von oben her — durch die Deckenlichter, bezw. durch gläſerne Fuſsböden — erhalten.

Fig. 596.



1/40 w. Gr.

Fig. 597.



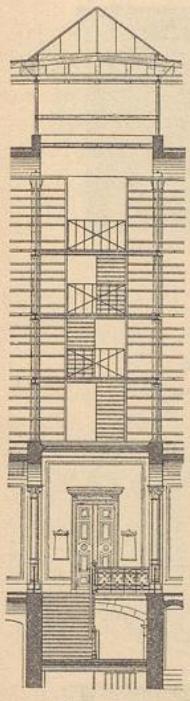
1/250 w. Gr.

Vom Geſchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris [196]).

Im Inneren des im Grundriſs zwölfeckig geſtalteten Treppenhauſes (Fig. 597) von 16 m Durchmeſſer, welches nach oben durch ein verglastes Zeltdach abgeſchloſſen iſt, befindet ſich in beiden Kellergeſchoſſen eine ringförmige Pfeilerſtellung, auf welcher die maſſive Treppen-Conſtruction des Erdgeſchoſſes ruht. Der innerhalb dieſer Pfeiler frei bleibende kreisförmige Raum von 10 m Durchmeſſer iſt durch ein Deckenlicht abgeſchloſſen, deſſen Tragwerk nach Art der Kuppel-, bezw. Zeltdächer angeordnet iſt. Die 8 radial geſtellten Hauptträger (Binder) deſſelben liegen mit ihrer Oberkante nahezu bündig mit dem Fuſsboden des darüber befindlichen Geſchoſſes und ſind als Fachwerkträger conſtruirt (Fig. 596); ſie ruhen an den Umfaſſungen auf ſteinernen Conſolen und ſind daſelbſt durch einen ringförmigen Gitterträger mit einander

196) Nach: Contag, M. Neuere Eiſenconſtructionen des Hochbaues in Belgien und Frankreich. Berlin 1889. S. 12, 13 u. Taf. 6.

Fig. 598.



Von der Univerſitäts-Bibliothek zu Halle [197]).

1/250 n. Gr.

verbunden; in der Mitte ſtoſsen die Hauptträger in einem achteckigen gufseifernen Schlufsring zufammen. Zwifchen diefen Trägern liegen, parallel zu den Umfaffungen, 8 fchwächere Träger (Pfetten) von I-förmigem Querfchnitt, welche fchiefwinkelig mittels gufseiferner Knaggen und Ecken angefchloffen find und die ⊥-Eifen tragen, in denen die Glasfliefen ruhen (fiehe auch Fig. 594).

Solche Glasfliefenbeläge find in fämmtlichen Lichthöfen des genannten Gefchäftshaufes zu finden; fie find auch in anderen Parifer Bauten, z. B. im *Comptoir d'escompte*, in den *Grands Magafins du Printemps* etc. verwendet worden und haben bezüglich der Erhellung der darunter gelegenen Räume fehr günftige Ergebniffe geliefert [196]).

Als weiteres hierher gehöriges Beifpiel diene das über dem Treppenhaus der Univerſitäts-Bibliothek zu Halle a. S. angebrachte Deckenlicht (Fig. 598 [197]).

Diefes ziemlich central gelegene Treppenhaus wird von oben beleuchtet; die Treppe führt nur bis zum I. Obergefchofs; das ganze II. und III. Obergefchofs bildet ein Büchermagazin. Das Deckenlicht des Treppenhaufes befindet fich im Mittelgang des letzteren, und das Licht fällt durch ein über diefem angeordnetes Dachlicht ein. Der Verkehr in diefem Mittelgange durfte nicht unterbrochen werden; defshalb mufste das Deckenlicht begehbar conſtruirt werden. Auf einer untergelegten Balkenlage aus I-Eifen liegt ein Roſt von hochkantig geſtellten Flacheifen mit 30 cm Maſchenweite; die Flacheifen ſind mit Hilfe von Winkellafchen mit einander verfchraubt; letztere dienen den Glasplatten als Auflager. Die Glasplatten ſind aus kreuzgekerbtem Rohglas hergeſtellt, deſſen geringſte Stärke in den Kerben noch 2,5 cm beträgt [197]).

Aus Glasplatten gebildete begehbare Deckenlichter kommen indefs nicht blofs im Inneren der Gebäude vor, fondern fie find auch in manchen anderen Fällen zur Anwendung gekommen. Namentlich waren in neuerer Zeit die Umbauten der Bahnhöfe gröfserer Städte Veranlaffung zur Ausführung folcher Deckenlichter, fobald es fich darum handelte, die einzelnen Bahnſteige unter einander und mit dem Empfangsgebäude durch unterirdifche Gänge oder Tunnel zu verbinden.

Diefen, dem Perſonen-, Gepäck- und Poſtverkehr dienenden Tunneln wird die Haupterhellung allerdings durch die Treppenmündungen oder durch künſtliches Licht zugeführt; indefs an denjenigen Stellen, wo diefe Tunnel unter Zwifchenbahnſteigen liegen, zu denen keine Treppen emporführen, eben fo für andere unter den Bahnſteigen befindliche unterirdifche Räume werden Deckenlichter angeordnet, und diefe müffen naturgemäfs dem auf den betreffenden Bahnſteigen herrfchenden Verkehre genügenden Widerſtand leiſten.

Derartige Deckenlichter erhielten meiſt eine genügend ſtarke Verglafung, die in einem unterſtützenden engen Eifenroſt ruht. Fig. 599 zeigt ein im Freien ge-

Fig. 599.



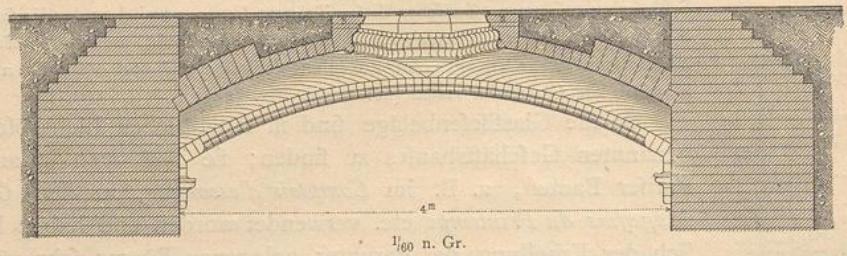
1/50 n. Gr.

legenes Deckenlicht der fraglichen Art in Querfchnitt und Längsfchnitt; behufs Ableitung der atmofphärifchen Niederfchläge ſind die Glastafeln der Quere nach geneigt angeordnet; der Roſt iſt aus L- und ⊥-Eifen zufammengefetzt.

197) Nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1885, S. 338 u. Bl. 49.

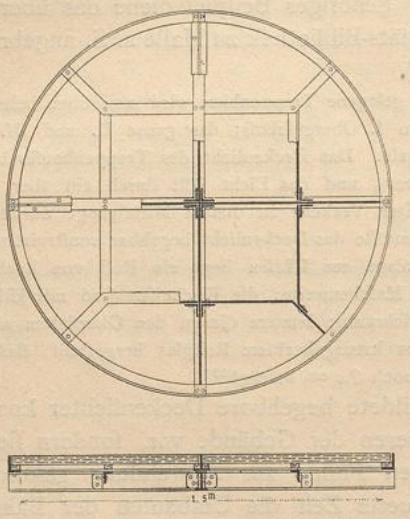
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 600.



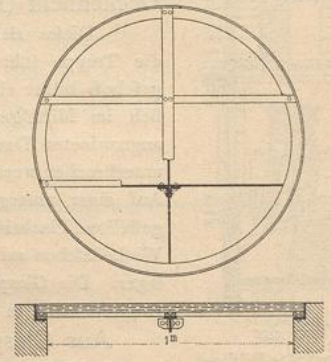
1/60 n. Gr.

Fig. 601.



1/30 n. Gr.

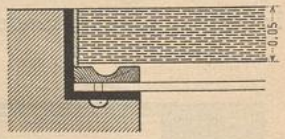
Fig. 602.



Vom Hauptbahnhof zu Hannover.

In Fig. 601 ist ein kreisrundes Deckenlicht von 1,5 m lichtem Durchmesser dargestellt, wie es in den gewölbten Decken der Tunnel im Hauptbahnhof zu Hannover zur Ausführung gekommen ist, und in Fig. 602 ein solches von 1,0 m Durchmesser daselbst. Fig. 600 veranschaulicht den oberen Theil des betreffenden Tunnels im Querschnitt, woraus ersichtlich ist, dass sich über der Durchbrechung des Gewölbes Stirnmauern *s* erheben, die oben einen Steinkranz tragen, worin der eiserne Rost lagert.

Fig. 603.



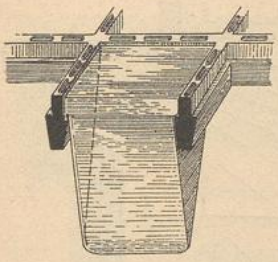
1/5 n. Gr.

Nicht immer ist für die Herstellung der Stirnmauern der erforderliche Raum vorhanden, und man muss alsdann den Abschluss gegen die Gewölbeüberschüttung durch eine Eisen-Construction bewirken [198]).

Die Glasplatten erhalten meist zwischen 2,5 und 4,0 cm Dicke und werden entweder in ein Kittbett (Fig. 599) oder auf einen Zwischenrahmen aus Holz (Fig. 603) gelagert. Letzterer erhält zur Aufnahme und Ableitung des Schwitzwassers und des an den Seitenkanten der Platten durchsickernden Aussenwassers an seiner Oberseite häufig eine Rille. Indess ist ein Kittbett, am besten ein solches aus einem der Feuchtigkeit und den sonstigen

198) Zwei hierher gehörige Beispiele sind zu finden in: Fortschritte Nr. 2, S. 10 u. Fig. 10, so wie 11 (S. 12).

Fig. 604 [199]).

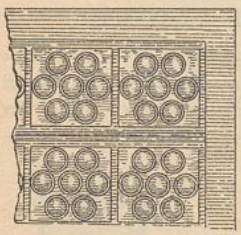


äufseren Einflüffen längere Zeit Widerftand leiftenden Afphaltkitt, vorzuziehen, weil dadurch eine gleichmäfsigere Auflagerung der Glasplatten gefichert ift.

Statt der Glastafeln find in lebhaft von Fuhrwerken benutzten Durchfahrten etc. auch fchon Pflafterwürfel aus Rohglas verwendet worden, welche in Abmeffungen bis zu 165 mm Stärke bei 150 mm Seitenlänge und einem Gewicht von 9 kg erzeugt werden.

In der Regel erfcheint es geboten, unter begehbaren Deckenlichtern, welche nach einer der im Vorhergehenden befchriebenen Conftructionen ausgeführt find, ein Drahtgitter anzuordnen, welches bei etwaigem Bruch der Glasplatten etc. den darunter befindlichen Perfonen den erforderlichen Schutz gewährt. Bei Verwendung von genügend dickem Drahtglas find folche Vorkehrungen nicht nothwendig.

Fig. 605 [199]).



Schon feit längerer Zeit verwendet man vielfach, befonders in Nordamerika und England, zur Erhellung von Kellerwohnungen, von im Kellergefchofs gelegenen Gefchäftsräumen, von rückwärtigen Theilen erdgefchoffiger Werkftätten und Läden, von Räumen, welche vor ftädtifchen Gebäuden unter dem Bürgerfteig angeordnet find, von Fluren etc., welche vom Sonnenlicht entweder gar nicht oder nur in fehr geringem Mafse erreicht werden, Glasprismen und Glaslinfen. Die im vorhergehenden Artikel vorgeführten Glasplatten werden hauptfächlich dann benutzt, wenn in einen unterirdifch gelegenen Raum Lichtftrahlen lothrecht von oben einfallen follen; Glasprismen und -Linfen hingegen können nicht nur unter gleichen Verhältniffen, fondern auch dann Anwendung finden, wenn man einem unterirdifchen Raum hohes Seitenlicht zuführen will. In letzterem Falle werden in den Bürgerfteigen, den Hofräumen etc. Lichtfchächte angeordnet und diefe alsdann in der Höhe der Bürgerfteig-, Hof- etc. Oberkante mit einem gufseifernen Roft abgedeckt, in deffen einzelne Mafchen Gläfer eingefetzt und eingekittet werden, von denen

413. Deckenlichter aus Glasprismen und -Linfen.

Fig. 606.

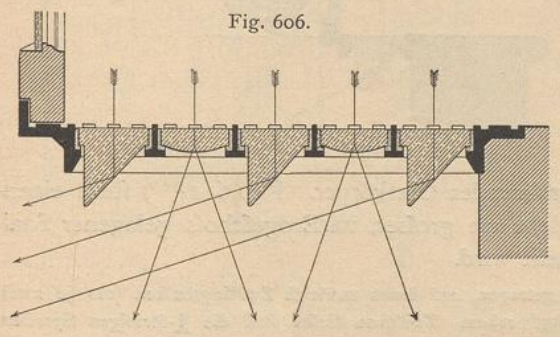


Fig. 607.

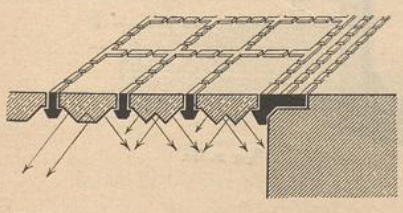
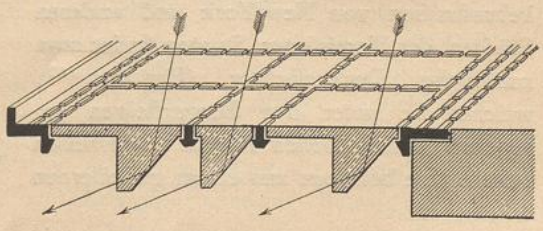


Fig. 608.

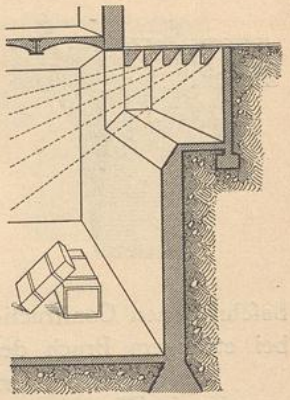


[199]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

jedes entweder ein einzelnes Prisma oder eine einzelne Linſe bildet oder an ſeiner Unterfläche eine Anzahl von kleineren Prismen oder Linſen trägt.

In Fig. 604 [199]) hängt in jeder Maſche des Roſtes ein einzelnes Prisma von 6 × 11 cm Grundfläche und 10 cm Höhe, während bei der Anordnung in Fig 605 [199]) die 30 bis 50 cm im Geviert meſſenden Glastafeln an ihrer Unterfläche mit je 7 halbkugelförmigen Linſen (um 2,5 bis 4,0 cm vorſpringend) verſehen ſind. Bei dem durch Fig. 606 veranſchaulichten, aus England ſtammenden Deckenlicht ſind in die Maſchen des Eiſenroſtes abwechſelnd je ein Glasprisma und eine Glaslinſe verſenkt.

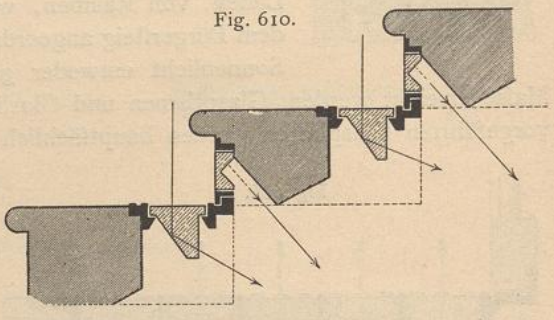
Fig. 609.



In manchen Fällen hat man Glasplatten verwendet, welche an ihrer Unterfläche mit prismenartig geſtalteten Vorſprüngen, bezw. Vertiefungen verſehen ſind, wie dies z. B. Fig. 607 zeigt.

Letztere Anordnung, eben ſo die Ausführungen in Fig. 608, 609 u. 610 rühren von der Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen bei Bremen her, welche in neuerer Zeit ſolche Glaserzeugniſſe in den Handel gebracht hat. In Fig. 608 u. 609 wird das Licht hauptſächlich nach einer Seite geworfen, ſo daſs der zu erhellende Raum nicht unmittelbar unter dem Deckenlicht zu liegen braucht; die betreffenden Glaskörper ſind 9,2 × 11,8 cm und 18,0 × 11,8 cm groſs. Bei der Anordnung nach Fig. 607 wird das Licht nach allen Seiten zerſtreut, ſo daſs dabei vorausgeſetzt iſt, der zu erhellende Raum befinde ſich gerade unter dem Deckenlicht. Fig. 610 endlich zeigt die Anwendung von Glasprismen, wenn durch eine Steintreppe hindurch der darunter gelegene Raum erhellt wird; man kann indeſs auch die Glasprismen ſelbſt ſtufenartig über einander ſetzen.

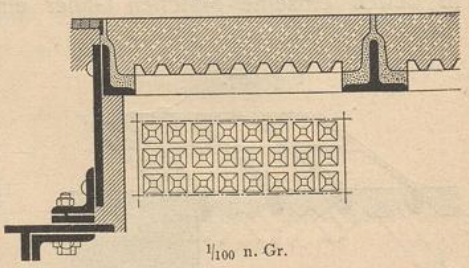
Fig. 610.



Aehnlich geſtaltet ſind die in Frankreich gebräuchlichen, zumeiſt aus der Fabrik von Saint-Gobain herrührenden Glaskörper. Fig. 611 [200]) ſtellt einen Theil einer Glasdecke dar, durch welche ein groſser, im Erdgeſchoſs gelegener Saal des *Comptoir d'escompte* zu Paris erhellt wird.

Dieſe Decke wird von eiſernen Säulen getragen, auf denen zunächſt Zwillingsbalken (aus je zwei I-förmig geſtalteten Blechträgern zuſammengefügt) ruhen. Zwiſchen dieſen ſind die ⊥-förmigen Sproſſen angeordnet, in welche die Prismengläſer, nachdem vorher ein Bett aus Glaſerkitt ausgebreitet worden war, verlegt worden ſind.

Fig. 611 [200]).



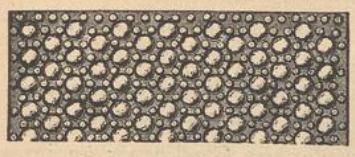
1/100 n. Gr.

In den Bürgerſteigen der Hauptverkehrsſtraſsen von New-York und anderen Städten der Vereinigten Staaten findet man zahlreiche Deckenlichter (Fig. 612 [201]), welche die unter den Bürgerſteigen gelegenen unterirdiſchen Räume zu erhellen haben. Sie beſtehen aus einem gufseiſernen

[200]) Nach: *La ſemaine des conſtr.*, Jahrg. 10, S. 92.

[201]) Vielfach von den *Humbold-Iron-Works* in New-York und von *F. M. Hicks & Co.* in Chicago ausgeführt.

Fig. 612.



Roſt, in deſſen kreisförmige Durchbrechungen Glaslinſen eingeſetzt ſind (Fig. 614 [202]).

An die Linſen iſt eine ſchraubenförmige Nuth angegoſſen; in die Durchbrechungen des Eiſenroſtes iſt ein Stift eingeſteckt; Einſetzen und Abdichten der Glaslinſen erfolgen mit Hilfe eines eigenen Schlüſſels durch Bajonett-Verſchluſs, wie dies aus Fig. 614 zu erſehen iſt. Zur vollkommenen Abdichtung wird zwiſchen den coniſchen Hals des Eiſengerippes und die Linſe ein Kautſchukring gelegt.

Bisweilen ſind dieſe Linſen nach unten prismenartig verlängert (Fig. 613). In Form von Prismen enden auch die von *Jul. Staehr* in Berlin gelieferten ſog. »Glasſchuppen«, die nach oben zu gleichfalls linſenförmig geſtaltet ſind (Fig. 615).

Fig. 613.

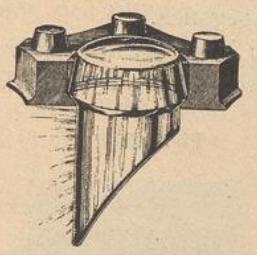


Fig. 614.

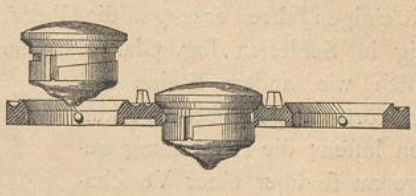
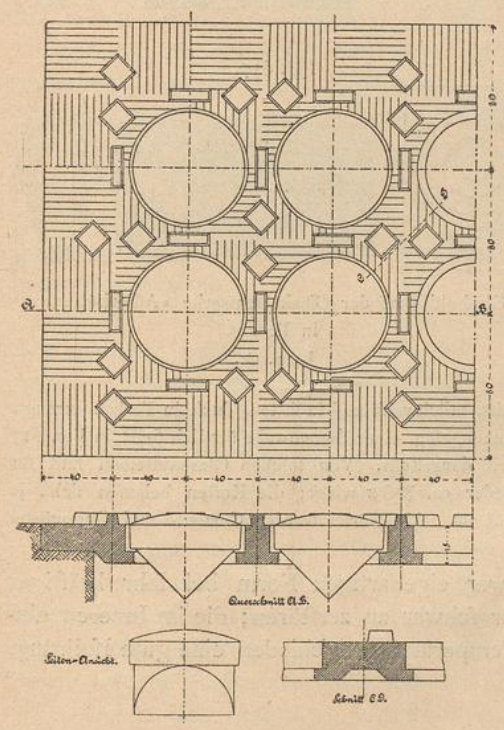


Fig. 615.



Einfall-Lichtgitter mit Glasſchuppen von *Jul. Staehr* zu Berlin.

Wie leicht erſichtlich, wird durch ein nach Fig. 604 (S. 559) geformtes Prisma ein mächtiges Bündel von convergirenden Lichtſtrahlen, welche ſeine Oberfläche treffen, zu einem parallelen Bündel zuſammengefaſſt und dadurch die Lichtſtärke für den darunter befindlichen Raum nicht allein vermehrt, ſondern in vielen Fällen darin das Licht auch beſſer vertheilt. Ganz ähnlich verhält es ſich mit der Linſenform. Die Wirkung der Prismen und Linſen kann noch erhöht werden, wenn man das durch dieſelbe geleitete Licht auf groſse Spiegelflächen führt; ſobald letztere um eine wagrechte Achſe drehbar ſind, kann man ſie zu jeder Tageszeit in eine ſolche Stellung bringen, daſs ſie das Licht in den zu erhellenden Raum in möglichſt günſtiger Weiſe zurückwerfen.

Unter günſtigen Verhältniſſen erreicht man hiernach mit den hier vorgeführten Anordnungen eine ganz gute Wirkung; allerdings betragen die Koſten ſolcher Glaskörper das 5- bis 6-fache

202) Facſ.-Repr. nach: HAARMANN's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

derjenigen einer Verglafung mit Rohglasplatten. Auch ift bei den Glaslinfen zu beachten, dafs fie unter Umftänden wie Brenngläfer wirken, dafs alfo unmittelbar unter denfelben lagernde entzündbare Stoffe gefährdet werden können.

Sollen derartige Deckenlichter begangen werden, fo mufs man, da die Glaskörper an ihrer Oberfläche ziemlich glatt find, dafür forgen, dafs darüber fchreitende Perfonen nicht ausgleiten. Defshalb verfieht man entweder die Glaskörper an ihrer Oberfläche mit einer Riefung, wodurch fie allerdings in ihrer Lichtdurchläffigkeit beeinträchtigt werden, oder man giefst an die Oberkante der Stege des eifernen Roftes Zäpfchen an (Fig. 607 u. 608), wodurch das Ausgleiten verhindert wird. Die Linfen in Fig. 613 u. 614 ragen über das Eifengerippe hervor, fo dafs ein Ausgleiten nicht in zu hohem Mafse zu befürchten ift; um jedoch das Glas vor Befchädigung zu fchützen und dem Fufsgänger einen ganz ficheren Halt zu gewähren, find an den Roft dreikantige Stollen oder Warzen angegoffen.

414. Decken aus Glashohlfteinen.

Seit einigen Jahren erzeugen die Glashüttenwerke »Adlerhütten, *H. Mayer & Co.*« zu Penzig in Schlefien fog. Glashohlfteine oder Glasbaufteine, Syftem *Falconnier*, welche fich wie andere Steine mit Hilfe von Mörtel zu gewölbten Decken vereinigen laffen; die Herftellung gefchieht genau fo über einer Verfchalung, wie bei einem flachen Backfteingewölbe. Decken aus folchem Material empfehlen fich namentlich dort, wo möglichft viel zerftreutes Licht in die Räume eingeführt werden foll, z. B. für grofse und tiefe Arbeitsfäle, für Künftler-Arbeitsftätten, Wintergärten und andere Pflanzenhäufer, Operationsfäle etc., auch dann, wenn eine thunlichft gleichmäfsige Temperatur gewünfcht wird, wie in Eisfabriken, Schlächtereien etc.

Fig. 616.

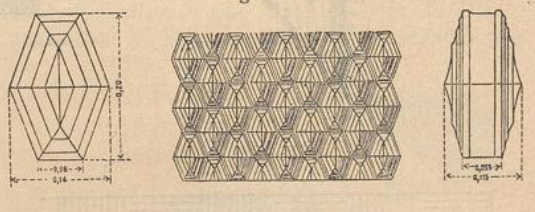


Fig. 617.



Glashohlfteine der Glashüttenwerke »Adlerhütten« in Penzig.
1/10 n. Gr.

Diefe Glasbaufteine find linfenartige Hohlkörper aus Glasmaffe und werden fowohl als ganze, wie auch als Dreiviertel-, Halbe- und Viertelfteine hergeftellt; fie werden halbweifs, weifs, milchweifs und in fatten, dunkeln Farben erzeugt. Fig. 616 zeigt Glasbaufteine in Sechseckform, die zufammengefügt einer Bienenwabe ähnlich find; in Fig. 617 find flafchenförmige Glasfteine mit rundem Mitteltheil dargeftellt. Von folchen Glasbaufteinen find für 1 qm Decke ca. 60 Stück nothwendig, von denen jeder ca. 700 g wiegt; die Koften belaufen fich, je nach der Farbe der Steine, auf 15 bis 24 Mark für 1 qm. Als Mörtel werden Cement- und Gypsmörtel verwendet.

Die Glashohlfteine find in Folge ihrer eigenartigen Form bei fehr kräftiger Wandung äufserft widerftandsfähig und nur fchwer zu zerftören; die im Inneren eingefchloffene Luft bildet auch bei ftarken Temperaturunterfchieden eine gute Ifolirung, fo dafs ein Schwitzen nicht eintritt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

b) Nicht begehbare Deckenlichter und verglaste Decken.

1) Allgemeines.

Im Nachftehenden handelt es ſich ſowohl um kleinere verglaste Lichtflächen, welche in Balken- oder gewölbte Decken eingefügt ſind, als auch um Decken-Conſtructionen, welche in ihrer ganzen Ausdehnung (von umrahmenden Flächenſtreifen, Hohlkehlen u. dergl. etwa abgeſehen) verglast ſind. 415. Ueberſicht.

Die gröfsten verglasten Decken dieſer Art ſind wohl diejenigen, welche die Bedeckung gröfserer Binnenhöfe (glasbedeckte Lichthöfe) bilden und die Benutzung der letzteren als Innenräume ermöglichen. Von bedeutenderer Ausdehnung ſind nicht ſelten die verglasten Theile der Decken in den Deckenlichtſälen von Muſeen und Ausſtellungsgebäuden, eben ſo die Deckenlichter über Flurhallen, Treppenhäuſern etc.

Ueber den hier in Frage kommenden Deckenlichtern und Glasdecken befindet ſich meiſtens ein geſchloſſener Raum; nur ſehr ſelten münden dieſelben in das Freie. Aus dem über der Lichtfläche vorhandenen Raume fallen die Lichtſtrahlen in den darunter befindlichen Raum ein; um dies zu ermöglichen, iſt in den häufigſten Fällen über dem Deckenlicht, bezw. über der verglasten Decke ein verglastes Dach angeordnet, ſo daſs man die innere Glasdecke und das äuſsere Dachlicht[203]) zu unterſcheiden hat. Verhältniſsmäſsig ſelten wird der Raum über der Glasdecke durch Seitenlicht erhellt; eine ausreichende Beleuchtung des Raumes unter derſelben wird alsdann nur ſchwer zu erzielen ſein.

Die im Nachfolgenden zu beſprechenden verglasten Lichtflächen ſind ausdrücklich als »nicht begehbar« bezeichnet worden; in Folge deſſen muſs in allen Fällen, wo es möglich iſt, daſs Perſonen aus Unvorſichtigkeit etc. auf eine ſolche Lichtfläche gerathen können, durch Einfriedigung oder anders geartete Verwahrung Vorſorge getroffen werden, damit Niemand das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke betreten kann. 416. Form.

Die in Rede ſtehenden Deckenlichter und verglasten Decken haben in den allermeiſten Fällen die rechteckige Grundform; Deckenlichter, welche in Kuppelgewölbe eingefügt ſind, ſolche über Treppenhäuſern etc. erhalten wohl auch kreisförmige, halbkreisförmige oder nach den beſonderen Verhältniſſen auch noch andere Grundriſsgeſtalten.

Conſtruction und Ausführung geſtalten ſich am einfachſten, wenn man das Deckenlicht, bezw. die verglaste Decke eine einzige wagrechte Ebene bilden läſſt. Indeſs wird man nur bei Deckenlichtern von geringer Ausdehnung die Trageſproſſen völlig wagrecht anordnen; meiſt werden ſie ſchwach anſteigend ausgeführt, weil dadurch einerſeits ein beſſeres Ausſehen erreicht, andererſeits auch vermieden wird, daſs in Folge des unvermeidlichen Sackens der Sproſſen die Glasfläche eine nach unten gewölbte Form erhält.

Man hat aber die Glasflächen auch ſtärker anſteigen laſſen, ſo daſs das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke die Form eines flachen Sattel- oder Zeltdaches, wohl auch die Geſtalt einer abgeſtutzten Pyramide erhalten hat; ſelbſt nach oben gekrümmte Querſchnittsformen ſind ausgeführt worden. Im Nachſtehenden werden mehrfach Beiſpiele ſolcher gegliederter Glasdecken vorgeführt werden.

Ueber den verglasten Lichtflächen lagern ſich Staub und andere Verunreinigungen ab, weſshalb dafür geſorgt werden muſs, daſs eine zeitweilige Säuberung der 417. Reinigung und Schutz der Glasflächen.

203) Häufig werden die Bezeichnungen »inneres Oberlicht« und »äuſseres Oberlicht« gebraucht. Wie ſchon bemerkt wurde, wird im Vorliegenden nur von erſterem, nicht aber von letzterem die Rede ſein.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Glasſcheiben ſtattfinden kann. Bei Deckenlichtern von geringerer Ausdehnung iſt meiſt keine beſondere Vorkehrung zu treffen, weil man die Reinigung in der Regel von ihrem Umfange aus vornehmen kann; es wird alſo nur Vorkehrung zu treffen ſein, daſs die das Deckenlicht begrenzenden Streifen der Decke betreten werden können.

Bei gröſseren Deckenlichtern und Glasdecken hingegen hat man mehrfach Einrichtungen getroffen, durch welche das Begehen der verglasten Flächen, alſo auch das Vornehmen der Reinigung, von Ausbeſſerungen etc. möglich iſt. Laufſtege, wie ſie bei Dachlichtern vorkommen[204]), ſind verhältniſsmäſsig ſelten zur Anwendung gebracht worden; meiſt werden einzelne hierzu geeignete Trageſproſſen oder andere hauptſächlich tragende Conſtructionstheile ſo ſtark ausgeführt, daſs ein Laufbrett über dieſelben gelegt werden und ein Arbeiter darauf treten kann.

Bisweilen hat man feſte oder bewegliche Leitern zu gleichem Zwecke angeordnet; letztere laufen mit ihren Rollen in einem Abſtande von ca. 20 bis 30 cm über der Glasfläche auf Schienen, welche an den aufrechten Stegen hierzu geeigneter Trageſproſſen angebracht ſind. Auch Rollwagen, deren Räder gleichfalls auf Schienengleiſen fahren und die durch ein Triebwerk in Bewegung geſetzt werden, ſind angewendet worden.

Bei einigen Ausführungen erfolgt die Säuberung der Glasflächen von Staub und Schmutz durch Abſpülen mit Waſſer; in einiger Höhe über der Glasdecke, z. B. längs des Firſtes des über derſelben befindlichen Daches etc., iſt zu dieſem Ende ein Waſſerrohr angeordnet, oder es wird eine einfache, an die Waſſerleitung angeſchraubte Schlauchſpritze in Anwendung gebracht. Es empfiehlt ſich in dieſem Falle, die Glasdecke ohne Querſproſſen zu conſtruiren und derſelben ein entſprechendes Gefälle zu geben; das Spülwaſſer wird am beſten nach einer kleinen Traufrinne mit Abfallrohr geleitet.

Wenn die Möglichkeit vorliegt, daſs von oben aus ſchwerere Gegenſtände (z. B. Bruchſtücke von dem Dachlicht angehörigen Glasſcheiben etc.) auf die verglasten Deckenflächen fallen können, wodurch der Bruch einzelner ihrer Glasſcheiben hervorgebracht werden könnte, ſo iſt die Gefahr vorhanden, daſs die im darunter befindlichen Raume ſich aufhaltenden Perſonen etc. beſchädigt werden. In ſolchen Fällen muſs über der verglasten Deckenfläche ein Gitterwerk oder ein Drahtnetz angeordnet werden, welches die herabfallenden Gegenſtände aufzuhalten hat. Daſſelbe bringt allerdings den Miſsſtand mit ſich, daſs es nicht allein den Lichteinfall etwas beeinträchtigt, ſondern auch die Reinigung der Glasflächen erſchwert. Letzterem Uebelſtande lieſse ſich wohl dadurch abhelfen, daſs man das ſchützende Drahtnetz unterhalb der verglasten Deckenfläche anbringt; allein das Ausſehen der letzteren würde dadurch ein unſchönes werden. Sind es ſonach nur zerbrochene Glasſcheiben des über der Decke befindlichen Dachlichtes, welche gefürchtet werden, ſo wähle man am beſten für letzteres eine Glasſorte, die das Zerbrechen ſo gut wie ausſchlieſst: Rohglas von genügender Dicke, Preſshartglas oder, noch beſſer, Drahtglas.

418. Schweiſswaſſerbildung.

Wenn wärmere, ſtark angefeuchtete Luft die verglasten Theile der Decke an der Unterſeite trifft, ſo wird ſich an denſelben, insbeſondere an den die Wärme gut leitenden metallenen Conſtructionstheilen, Waſſer in Tropfenform niederſchlagen; dieſes Schweiſs-, Schwitz-, Beſchlag- oder Condenſationswaſſer darf weder die Erhellung

204) Siehe Theil III, Band 2, Heft 5 (Abth. III, Abſchn. 2, F, Kap. 42) dieſes »Handbuches«.

beeinträchtigen, noch von der Decke herabtropfen. Die Menge des ſich niederſchlagenden Waſſers hängt einerſeits von dem Maſse ab, in welchem der Raum unter der Decke mit feuchtwarmer Luft gefüllt ſein wird, andererſeits davon, ob der Raum zwiſchen innerer Glasdecke und äuſserem Dachlicht auf die Dauer genügend warm gehalten werden kann, ſo daſs die verglasten Lichtflächen nicht zu ſtark abgekühlt werden.

Erhebt ſich über dem Deckenlicht ein ſeitlich abgeſchloſſener Lichtſchacht von genügender Höhe, ſo wird die auf erſteres ausgeübte Abkühlung nur eine ſehr geringe und Vorkehrungen zur Abführung des Schweiſswaſſers werden alsdann kaum nothwendig ſein. Würde man den Raum zwiſchen Decken- und Dachlicht völlig luftdicht abſchlieſsen können, ſo wäre jedem Beſchlagen des erſteren vorgebeugt. Sobald jedoch über den verglasten Lichtflächen ein derartiger Lichtſchacht fehlt, ſo wird zur kälteren Jahreszeit eine ſtärkere Abkühlung derſelben kaum ausbleiben, insbeſondere wenn die das Dachlicht umgebenden Dachflächen eine nicht zu dichte Eindeckung, namentlich eine ſolche ohne Bretterverſchalung oder gar eine Metalldeckung, erhalten. Im letzteren Falle iſt demnach ein bedeutenderes Beſchlagen der Glasdecke zu erwarten, ſobald die Luft unter derſelben warm und ſtärker angefeuchtet iſt, und es muſs bei der Conſtruction hierauf Rückſicht genommen werden.

In hierzu geeigneten Fällen beſteht ein gut wirkſames Mittel gegen die Schweiſswaſſerbildung darin, daſs man die Abluft-Canäle des unter der Glasdecke befindlichen Raumes, bezw. der benachbarten Räume in den Zwiſchenraum zwiſchen Decken- und Dachlicht leitet; da die Abluft immer warm ſein wird, ſo werden die Glasflächen auch von oben erwärmt und das Entſtehen von Schweiſswaſſer dadurch vermieden.

Bisweilen hat man die Bildung von Schweiſswaſſer an der Unterſeite der Glasdecke dadurch zu verhüten verſucht, daſs man, ähnlich wie bei Schaufenſtern, eine Luftunterſpülung derſelben bewirkt hat. Man hat z. B. zwiſchen der Unterkante der Glasdecke und der ſie umſchlieſsenden Umrahmung einen freien Zwiſchenraum von einigen Centimetern Breite gelaſſen oder einen durchbrochenen Fries angeordnet; es herrſcht alsdann ober- und unterhalb der Glasfläche eine fortwährende Luftbewegung; die Unterſeite derſelben wird abgekühlt, und das Beſchlagen der letzteren wird nicht eintreten. Eine ſolche Unterſpülung iſt indeſs nicht leicht durchzuführen, und in nicht ſeltenen Fällen iſt ſie in Rückſicht auf die Benutzung des unter derſelben befindlichen Raumes ausgeſchloſſen. Alsdann iſt für Abführung des Schweiſswaſſers Sorge zu tragen, was meiſt dadurch geſchieht, daſs man die Sproſſen mit geeigneten Schweiſswaſſerrinnen verſieht; doch kann dies auch in der Weiſe bewirkt werden, daſs man das Deckenlicht über die Decke hinaushebt, um das Schweiſswaſſer über letztere hinaus ableiten zu können.

419. Wärmeſtrahlung.

Der Zwiſchenraum zwiſchen verglaster Decken- und verglaster Dachfläche wird zur Sommerszeit durch die Sonnenſtrahlen ſehr ſtark erwärmt; die Folge davon iſt, daſs von der Glasdecke nach unten eine ſehr bedeutende Wärmeſtrahlung ausgeht, wodurch nicht ſelten im Raume unter der Glasdecke eine geradezu unerträgliche Hitze entſteht. Um einen ſolchen Zuſtand zu verhüten, bringe man in den Dachflächen geeignete Oeffnungen an, die man im Winter ſchlieſsen und durch welche man im Sommer den erforderlichen Luftumlauf hervorbringen kann. In England werden zu gleichem Zwecke die Dachlichter alljährlich mit weiſser Farbe angeſtrichen. Ob durch Anwendung des von *Zsigmondy* erfundenen ſog. Schirmglaſes (für Wärme-

ſtrahlen undurchläſſiges Glas) dem in Rede ſtehenden Uebelſtande wird abgeholfen werden können, bleibt abzuwarten[205]).

Daſs bei jeder, auf anderweitigem Wege erzielten Erwärmung der verglasten Deckenflächen von oben der gleiche Erfolg erzielt werden kann, iſt ſelbſtverſtändlich.

420. Deckenlichtſchächte.

Die Lichtſchächte, welche ſich über Deckenlichtern erheben, haben ähnlich wie die zur Lüftung, zur Aufnahme von Fahrſtühlen etc. dienenden Schächte den Nachtheil, daſs ſie bei ausbrechender Feuersgefahr die Verbreitung des Feuers in hohem Grade begünſtigen. Deſshalb iſt eine thunlichſt feuerſichere Umſchlieſsung derſelben zur Ausführung zu bringen.

Iſt eine unmittelbare Unterſtützung der Umfaſſungswände durch Mauern oder Träger zu ermöglichen, ſo ſind dieſelben maſſiv herzuſtellen; ſonſt muſs man ſich mit einer Ausführung in Drahtputz, mit *Rabitz*-Wänden oder einer ähnlichen, als feuerſicher anzuerkennenden Conſtruction begnügen. Die Umfaſſungswände ſind mindeſtens 20 cm über die Dachfläche zu führen und dürfen mit Fenſtern zur Erhellung der Dachbodenräume nicht verſehen werden.

421. Sproſſen.

Für die Sproſſen der verglasten Lichtflächen werden meiſt paſſende Formeiſen gewählt. Es eignen ſich hierzu ſowohl hochkantig geſtellte Flacheiſen, T-, I- und +-Eiſen, als auch die bekannten Fenſter- oder Sproſſeneiſen (Fig. 618 u. 619[206]).

Fig. 618.

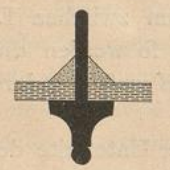


Fig. 619.

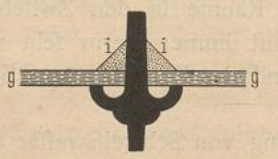


Fig. 620.



Fig. 621[207]).

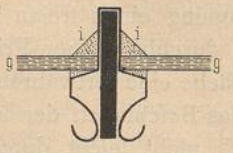
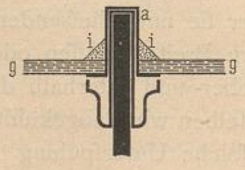


Fig. 622[207]).



Die in die Auflagerflächen der letzteren bisweilen eingewalzten Rinnen können etwa von oben kommendes Waſſer aufnehmen; doch erfüllen ſie nicht immer dieſen Zweck, weil ſie ſich durch Staub und Schmutz bald verſetzen. Für die Befeſtigung des Kittauflagers ſind ſolche Rinnen indeſs ganz zweckmäſsig. Sollen hochkantig geſtellte Flacheiſen in Verwendung kommen, ſo müſſen durch Kappen aus Zink-, Kupfer- oder Bleiblech die erforderlichen Auflagerflächen geſchaffen werden (Fig. 621 u. 622[207]); dieſe Blechverkleidung kann auch dazu benutzt werden, etwa nothwendige Schweiſswaſſerrinnen zu bilden.

Aufser eiſernen Sproſſen kommen auch ſolche aus Zink und aus Meſſing, ſelbſt ſolche aus Holz zur Anwendung. Zinkſproſſen haben ſich nicht bewährt, weil dieſes

---

205) Siehe: Polyt. Journ., Bd. 287, S. 17, 68, 108 — ferner: Journ. f. Gasb. u. Waſſ. 1893, S. 574, 592, 610 — endlich: Deutſche Bauz. 1894, S. 161.

206) Siehe auch: Theil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 280, S. 192, unter β [2. Aufl.: Art. 268, S. 241, unter b]) des »Handbuches der Architektur«.

207) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 245.

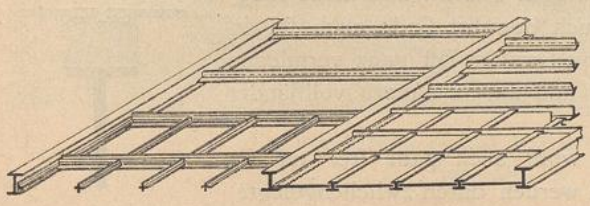
Metall eine nur geringe Tragfähigkeit beſitzt und bei Temperaturſchwankungen ſehr bedeutende Längenänderungen zeigt; beſſer ſind Sproſſen aus Zink mit Eiſenkern.

Die Haupttrageſproſſen, welche in 50 bis 60 cm Abſtand verlegt werden, werden am beſten aus Formeiſen hergeſtellt; für die ſie untertheilenden Zwiſchenſproſſen kann man unter Umſtänden auch Meſſing- und Holztheile benutzen (Fig. 623 [208]).

Anders geformte Sproſſen, namentlich die ſog. Rinnenſproſſen, kommen hauptſächlich für verglaste Dächer und Dachlichter, ſehr ſelten für Glasdecken und Deckenlichter zur Verwendung. In dieſer Beziehung ſowohl, als auch bezüglich mancher anderer Einzelheiten ſei auf das in Theil III, Band 3, Heft 5 (Abth. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter) des »Handbuches der Architektur« Vorgeführte verwieſen.

Die Anordnung der Sproſſen in einem rechteckig geformten Deckenlicht gewöhnlicher Art erfolgt nach Art eines eiſernen Roſtes, wie dies Fig. 623 [208]) zeigt. Bei anders geſtalteten Deckenlichtern iſt man in der Regel beſtrebt, eine der Grundriſsform angepaſſte, thunlichſt regelmäſsige Sproſſenvertheilung zu erzielen. Soll in der Verglaſung ein geometriſches Muſter erſcheinen, ſo iſt letzteres für die Sproſſenanordnung maſsgebend.

Fig. 623 [208]).



Während bei der Berechnung von verglasten Dächern und Dachlichtern auſser dem Eigengewicht der Conſtruction auch die Beanſpruchung durch Winddruck und Schneelaſt zu berückſichtigen iſt, kommen bei Glasdecken und Deckenlichtern vielfach nur die vom Eigengewicht herrührenden Beanſpruchungen in Frage, ſo daſs die Querſchnitte der Haupttrageſproſſen hiernach zu ermitteln ſind [209]). Wenn indeſs bei gröſseren Glasdächern die Möglichkeit geboten ſein ſoll, daſs Arbeiter unmittelbar über den Glasflächen Ausbeſſerungen, Reinigungen etc. vornehmen können, ſo muſs bei Berechnung der Trag-Conſtruction das Gewicht dieſer Arbeiter, der von ihnen mitgeführten Geräthe etc. mitberückſichtigt werden.

422. Verglaſung.

Die Glasſcheiben werden meiſt in Kittfalze oder in Bleifaſſungen verlegt. Bei Sproſſen aus ⊥- und +-Eiſen und ſolchen aus Fenſtereiſen iſt, wie Fig. 618 u. 619 zeigen, das Einbetten in Kitt *i* ohne Weiteres möglich. Beſteht die Sproſſe aus hochkantig geſtelltem Flacheiſen, ſo bietet entweder der Zinkmantel die Möglichkeit dar, die Glasſcheiben in Kitt zu verlegen (Fig. 621), oder man ſetzt auf das Flacheiſen zunächſt eine Kappe *a* (Fig. 622) auf, die man am beſten aus verbleitem Eiſenblech herſtellt, und auf den wagrechten Lappen dieſer Kappe können die Glasſcheiben *g* in Kitt *i* gelagert werden.

Auf der Oberſeite von ⊥- und I-Eiſen laſſen ſich Kittfalze nicht in genügend einfacher Weiſe bilden; auch geht bei letzteren in Folge von Bewegungen die erforderliche Dichtigkeit nicht ſelten verloren, und wenn das Eindringen von Waſſer zu befürchten iſt, ſo ſchützt man wohl auch den Kittfalz durch Deckleiſten von Holz, Blei oder Zink. Dieſe Miſsſtände ſind bei Bleifaſſungen nicht vorhanden. Letztere werden am einfachſten durch Verwendung ſog. Bleirippen hergeſtellt, wie ſie z. B.

208) Facſ.-Repr. nach: Baukunde des Architekten. Bd. I, Theil 1. Berlin 1890. S. 568.

209) Die einſchlägigen Formen und Zahlenwerthe ſind an der eben genannten Stelle des »Handbuches der Architektur« zu finden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Grover & Co. in Längen von ca. 5,5 m erzeugen. Fig. 624, *a* [210]) ſtellt eine ſolche Rippe ohne Glaseinlage dar; dieſelbe wird auf einer Holzunterlage mit Kupfernägeln befeſtigt und nach dem Einlegen der Glasſcheibe entſprechend umgebogen, wodurch ein dichter Anſchluſs entſteht. Fig. 624, *b* zeigt die Verwendung der Bleirippen für hölzerne Sproſſen und Fig. 624, *c* für ſolche aus T- und I-Eiſen.

Fig. 624 [210]).



In Fig. 620 iſt die von *Mackenzie* angegebene Bleifaſſung dargeſtellt; durch dieſelbe wird der gröſste Theil des Fenſtereiſens eingehüllt, und auch die beiden Rinnen ſind mit Blei ausgefüttert.

Bleifaſſungen gewähren noch den weiteren Vortheil, daſs ſie nicht eine unveränderlich feſte Verbindung zwiſchen Glasſcheibe und Sproſſe herſtellen, ſo daſs bei ſtarken Temperaturänderungen eine gewiſſe Beweglichkeit der einzelnen Conſtructionstheile möglich iſt und die Glastafeln vor Bruch bewahrt ſind; auch ſei erwähnt, daſs die Bildung von Schweiſswaſſer faſt ganz vermieden iſt, da ſich die Temperatur innen und auſsen nahezu vollſtändig ausgleicht.

Groſse Glastafeln hat man wohl auch ganz frei auf die Trageſproſſen gelagert; Stoſsfugen werden durch zwiſchengelegte, den Fenſterbleien ähnliche, gezogene Meſſingſtreifen gedichtet.

Die Verglaſung wird entweder mit gewöhnlichem, völlig durchſichtigem Glaſe oder, wenn man die über der Glasdecke befindlichen Räume oder Conſtructionstheile nicht ſichtbar werden laſſen will, mit matt geſchliffenem Glaſe bewirkt; bisweilen verſieht man das letztere wohl auch mit einem dem Auge angenehmen Muſter. Wenn die Scheiben nicht zu groſs ſind, ſo genügt in der Regel Fenſterglasſtärke.

Hat man die Abſicht, gewiſſe Stimmungen oder Lichtwirkungen zu erzielen, ſo verwendet man farbiges Glas; bei reich ausgeſtatteten Glasdecken werden Gläſer in verſchiedenen Farben gewählt und zu einem nach geometriſchem Muſter oder in ornamentaler Weiſe geordneten, harmoniſch wirkenden Ganzen zuſammengefügt. Für die Ausbildung derartiger farbenreicher Glasdecken ſei an dieſer Stelle in Fig. 625 [211]) ein einſchlägiges Beiſpiel hinzugefügt.

Im Gebäude des *Comptoir d'escompte* zu Paris hat *Corroyer* in der *Salle des titres* die einzelnen Felder der Glasdecke, welche durch die Längs- und Querſproſſen gebildet werden, nicht durch in gleicher Ebene gelegene Glasſcheiben ausgefüllt, ſondern die letzteren nach Art einer nach unten hängenden abgeſtumpften Pyramide angeordnet [212]).

Um Schweiſswaſſerbildung zu vermeiden, hat man in einigen Fällen das Deckenlicht mit doppelter Verglaſung verſehen, welche eine völlig abgeſchloſſene Luftſchicht einſchlieſst; letztere verhütet die Wirkungen einer von oben eintretenden Abkühlung.

423. Eintheilung.

Die conſtructive Durchbildung von verglasten Decken und Deckenlichtern iſt in ziemlich verſchiedener Weiſe ausgeführt worden. Im Nachſtehenden ſollen dieſelben unterſchieden werden in:

---

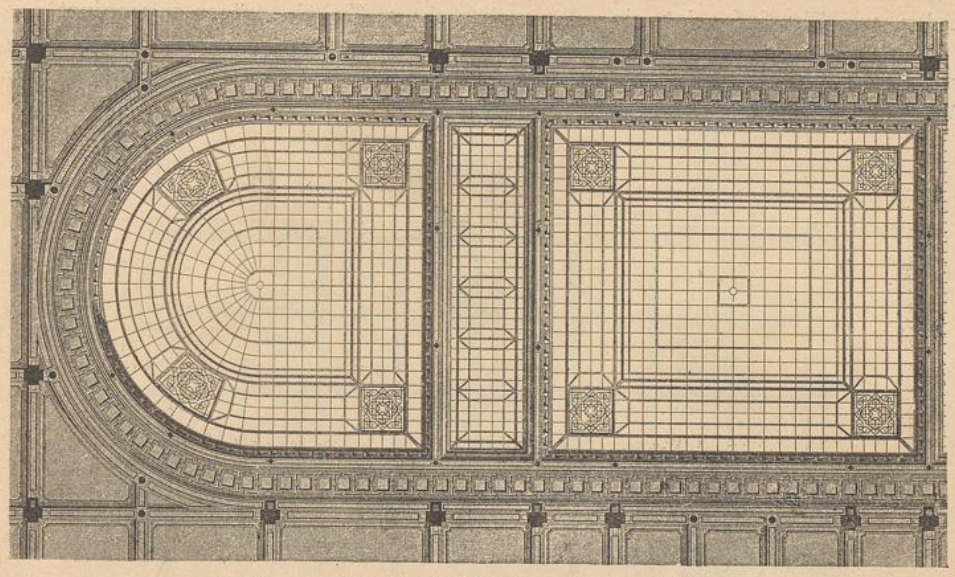
210) Nach: Deutſche Bauz. 1887, S. 417.

211) Facſ.-Repr. nach: *Encyclopédie d'arch.* 1880, Pl. 653.

212) Siehe: Fortſchritte Nr. 2, S. 21 u. Fig. 38 (S. 23).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 625.



Von den *Magaſins du Bon Marché* zu Paris [211]).
1/300 n. Gr.

1) ſolche, welche in eine tragende Decken-Conſtruction eingefügt ſind;

2) ſolche, welche an einem Dachſtuhl aufgehängt oder in anderer Weiſe mit demſelben verbunden ſind, und

3) ſolche, welche durch beſondere Trag-Conſtructionen geſtützt werden.

Nicht alle einſchlägigen Ausführungen laſſen ſich in eine dieſer drei Gruppen einreihen, da ſie nicht ſelten eine Vereinigung von zwei verſchiedenen Anordnungen darſtellen.

2) In tragende Decken-Conſtructionen eingefügte Deckenlichter.

424. Deckenlichter in Balkendecken.

Wenn ein Deckenlicht in eine tragende Decken-Conſtruction eingefügt oder über einem Raume eine durchweg verglaste Decke hergeſtellt werden ſoll, ſo iſt ſtets ein Rahmen erforderlich, der die verglasten Deckenflächen umfaſſt und welcher dem aus den Trageſproſſen gebildeten Roſt als Auflager dient. Die Anordnung iſt verſchieden, je nachdem das Deckenlicht in eine Balken- oder in eine gewölbte Decke eingeſetzt wird.

Auch bei den in Balkendecken eingefügten Deckenlichtern herrſcht bezüglich der conſtructiven Anordnung ziemliche Mannigfaltigkeit; die bemerkenswertheſten Herſtellungsweiſen ſeien im Folgenden vorgeführt.

α) Iſt das Deckenlicht in eine hölzerne Balkendecke einzuſetzen, ſo wird, obwohl ſelten, der daſſelbe umfaſſende Rahmen in Holz hergeſtellt. Fig. 627 [213]) zeigt eine ſolche Ausführung.

Die Rahmenhölzer ſind ſeitlich an die Deckenbalken angeſchraubt, und damit die ganze Conſtruction ein leichteres Ausſehen gewinnt, ſind die mittleren Deckenbalken ſchwächer gehalten und mittels Hängeſäulen mit dem Dachſtuhl verbunden.

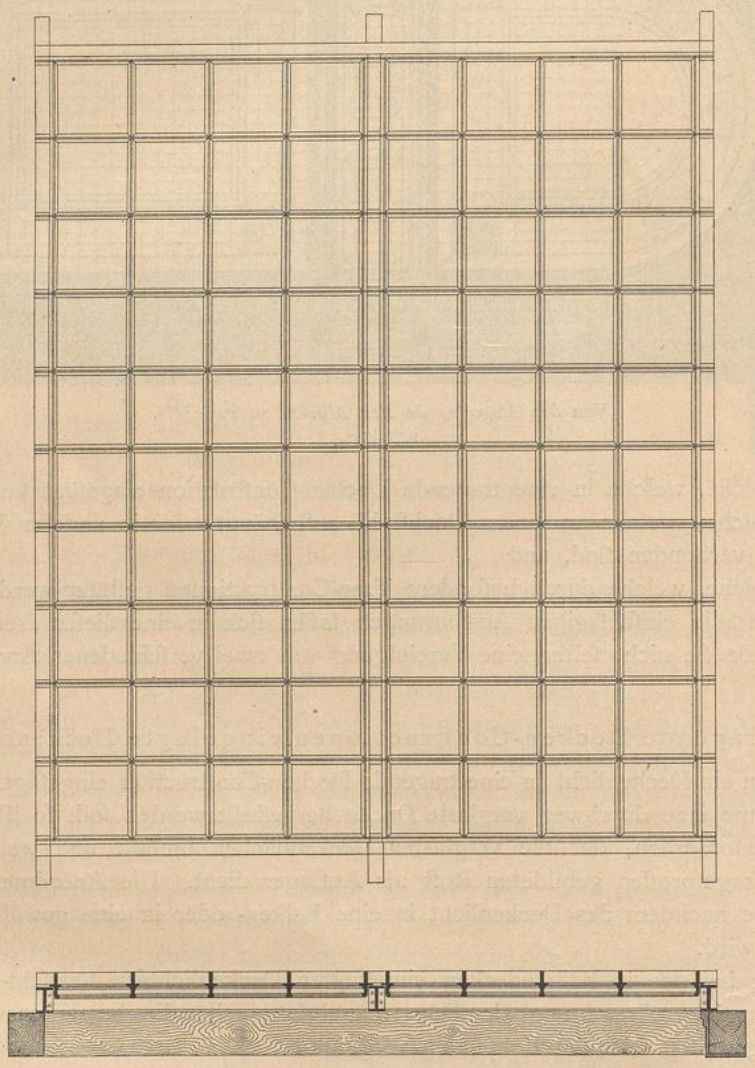
β) Viel häufiger wird der Rahmen aus Formeiſen hergeſtellt, und es eignen hierzu ſich insbeſondere I-Eiſen. Sind die Grundriſsabmeſſungen des Deckenlichtes

213) Nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 14.

ſo groſse, daſs der aus den Trageſproſſen gebildete Roſt ſich nicht frei trägt, ſo werden, wie Fig. 626 zeigt, ein oder auch mehrere Zwiſchenträger angeordnet.

In Fig. 626 iſt der aus I-Eiſen gebildete Rahmen auf die Holzbalken der tragenden Decke gelegt; auf dieſem Rahmen, ſo wie auf einem eingeſchalteten Zwiſchenträger ruht der aus Sproſſeneiſen zuſammengeſetzte Roſt, in den die eingekitteten Glastafeln eingefügt ſind.

Fig. 626.



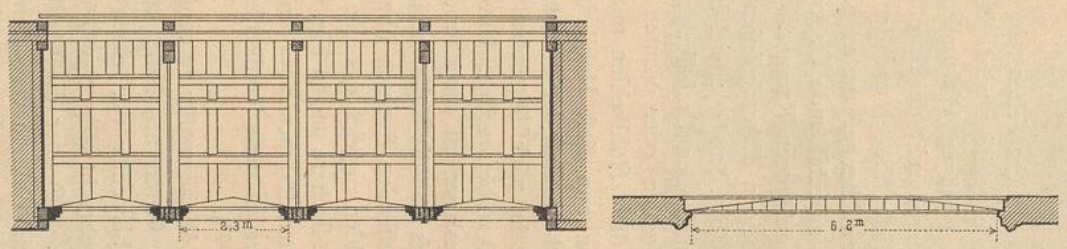
Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.
1/50 n. Gr.

γ) Eiſerne Rahmen ähnlicher Art werden auch verwendet, wenn über einem Raume eine durchwegs verglaste Decke auszuführen iſt. Durch Fig. 629 iſt eine derartige Anordnung veranſchaulicht.

Die tragenden I-Eiſen ſind hier von einer Längsmauer zur anderen geſtreckt und an den Enden eingemauert; an dieſen Längsmauern ſind eingeſchobene I-Eiſenſtücke verlegt und mit den erſtgedachten I-Trägern durch Winkellaſchen verbunden.

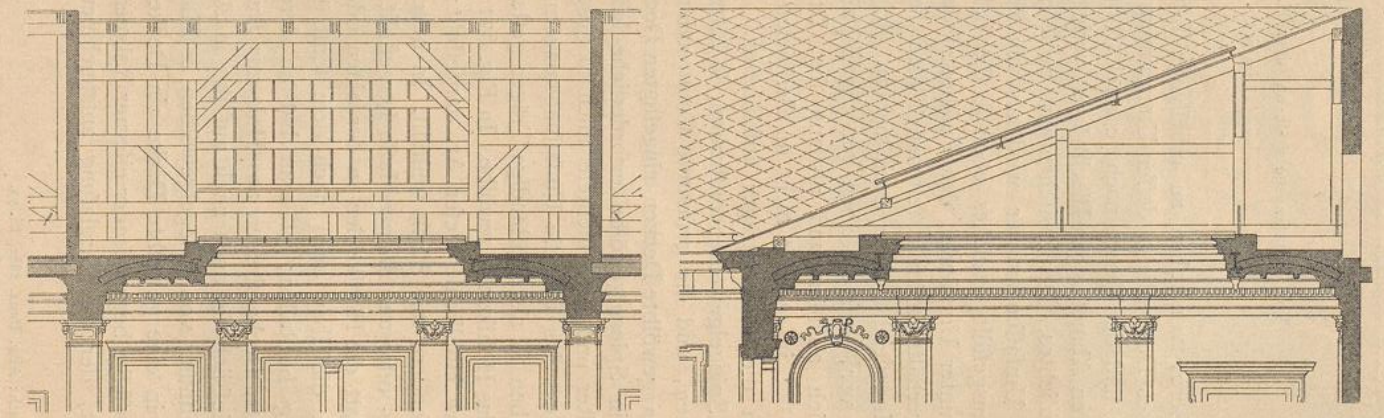
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 627 [213]).



1/150 n. Gr.

Fig. 628.



Von der Kunftgewerbefchule des öfterreichifchen Mufeums zu Wien [214]).

1/125 n. Gr.

Fig. 629.



Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.
1/50 n. Gr.

425. Deckenlichter mit Hohlkehlen.

Gröfsere, von oben zu erhellende Räume erhalten nicht felten ein central angeordnetes Deckenlicht, deffen Umrahmung in der Weife gebildet wird, dafs man der Länge und der Quere nach je zwei fchmiedeeiferne I-Träger (Walzbalken oder bei gröfseren Abmeffungen Blechträger) verlegt; auf letzteren ruht das Sproffenwerk des Deckenlichtes. Der Zwifchenraum zwifchen jedem diefer Träger und der nächft gelegenen Umfaffungsmauer wird alsdann durch ein zwifchengefpanntes Kappengewölbe ausgefüllt, welches eben fo die in Stuck etc. auszubildende Decke trägt, wie auch unter Umftänden den Fufsboden des darüber gelegenen Raumes.

In verhältnifsmäfsig feltenen Fällen liegen die beiden Kämpferlinien diefer Gewölbe in gleicher oder doch nahezu gleicher Höhe (Fig. 628[214]); viel häufiger kommt es vor, dafs diefelben von den I-Trägern aus nach den Umfaffungsmauern zu erheblich abfallen und alsdann fog. Decken-Hohlkehlen oder Vouten bilden (Fig. 630[215]); ja es fehlt nicht an Beifpielen, wo fich diefe Hohlkehlen mit Stichkappen an die Rahmenträger anfchliefsen. Würde man nun diefe Hohlkehlen als wirkliches Spiegelgewölbe conftruiren, fo hätte diefes auch die Laft der Rahmenträger aufzunehmen, und die gefammte Conftruction wäre erft im nächftfolgenden Artikel (bei den in gewölbte Decken eingefügten Deckenlichtern) zu befprechen. Um jedoch das für ein Spiegelgewölbe erforderliche kräftige Widerlager zu umgehen, ift es vortheilhafter und wird meiftens auch fo ausgeführt, dafs man die Rahmenträger des Deckenlichtes bis auf die Umfaffungsmauern des betreffenden Raumes überftreckt und diefelben fo als felbftändige Träger geftaltet; fie bilden zugleich das eine Widerlager für das Hohlkehlengewölbe. In Fig. 631[216]) ift eine flachere und in Fig. 632[216]) eine fteilere Hohlkehle diefer Art dargeftellt; die eifernen Rahmenträger find nicht fichtbar, fondern mit Stuck umhüllt. In neuerer Zeit werden diefe Hohlkehlen auch aus *Rabitz*- oder aus *Monier*-Maffe hergeftellt (Fig. 633[217]).

Anftatt die Hohlkehlen in der einen oder anderen Weife maffiv zu conftruiren, kann man diefelben auch nach dem fonft üblichen Verfahren aus Holz mit Putzverkleidung herftellen; ja man hat an deren Stelle bisweilen nur einen fchräg anfteigenden Deckenftreifen aus Holz zur Ausführung gebracht (Fig. 635[218]).

Schliefslich fei auch noch auf das in Art. 229 (S. 336) über die Conftruction und Berechnung von Spiegelgewölben in Eifen und Stein Gefagte verwiefen.

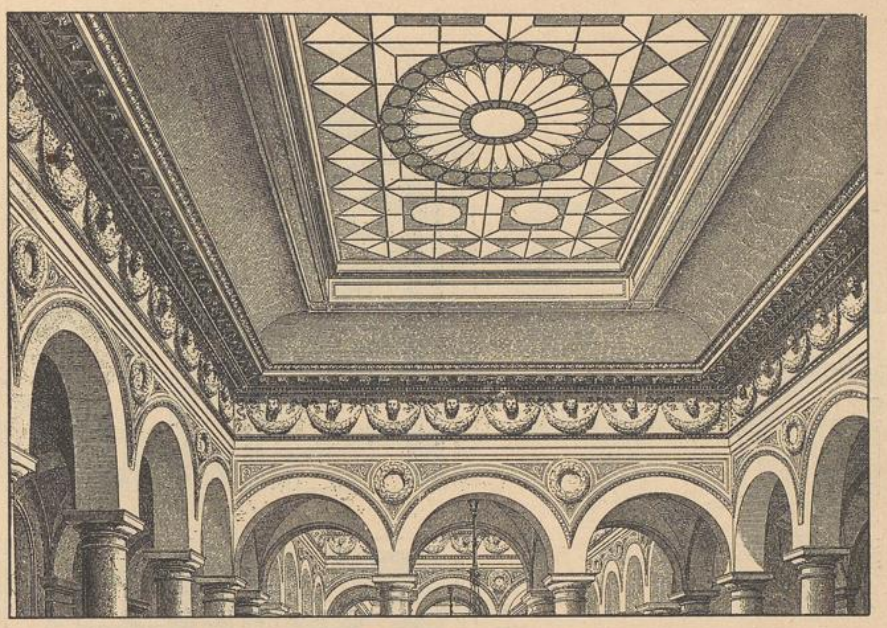
426. Deckenlichter in gewölbten Decken.

Soll in eine gewölbte Decke ein Deckenlicht eingefetzt werden, fo ift gleichfalls ein daffelbe begrenzender eiferner Rahmen anzuordnen, in welchem der Sproffenroft lagert, der die Verglafung aufzunehmen hat. Bei Tonnengewölben wird das

214) Nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 73.
215) Nach ebendaf. 1874, Bl. 10.
216) Facf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 8, 9.
217) Facf.-Repr. nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, Bl. 24.
218) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 57.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fig. 630.



Vom römiſchen Bad am Praterſtern zu Wien [215]).

Deckenlicht im Grundriſs meiſt rechteckig, bei ſphäriſchen Gewölben meiſt kreisrund oder elliptiſch geſtaltet ſein.

In Fig. 634 [219]) iſt ein in ein Tonnengewölbe eingefügtes Deckenlicht, in Fig. 636 [220]) ein ſolches, das in eine Kugelkappe, und in Fig. 637 eines, welches in ein Kuppelgewölbe eingeſetzt iſt, dargeſtellt.

Fig. 631.

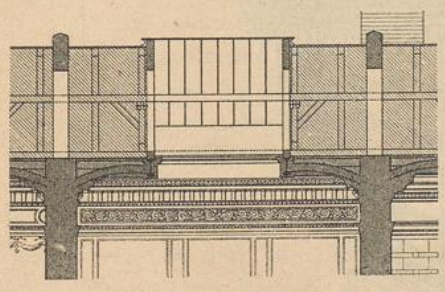
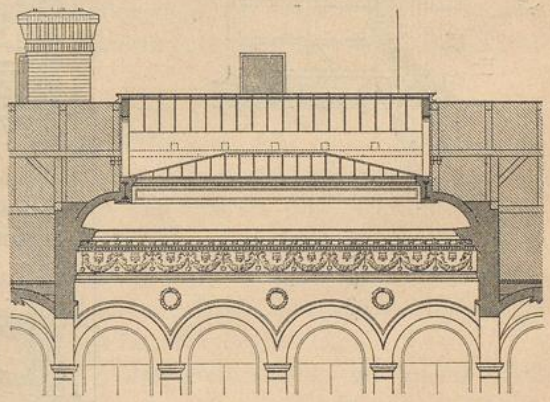


Fig. 632.



Vom römiſchen Bad am Praterſtern zu Wien [216]).

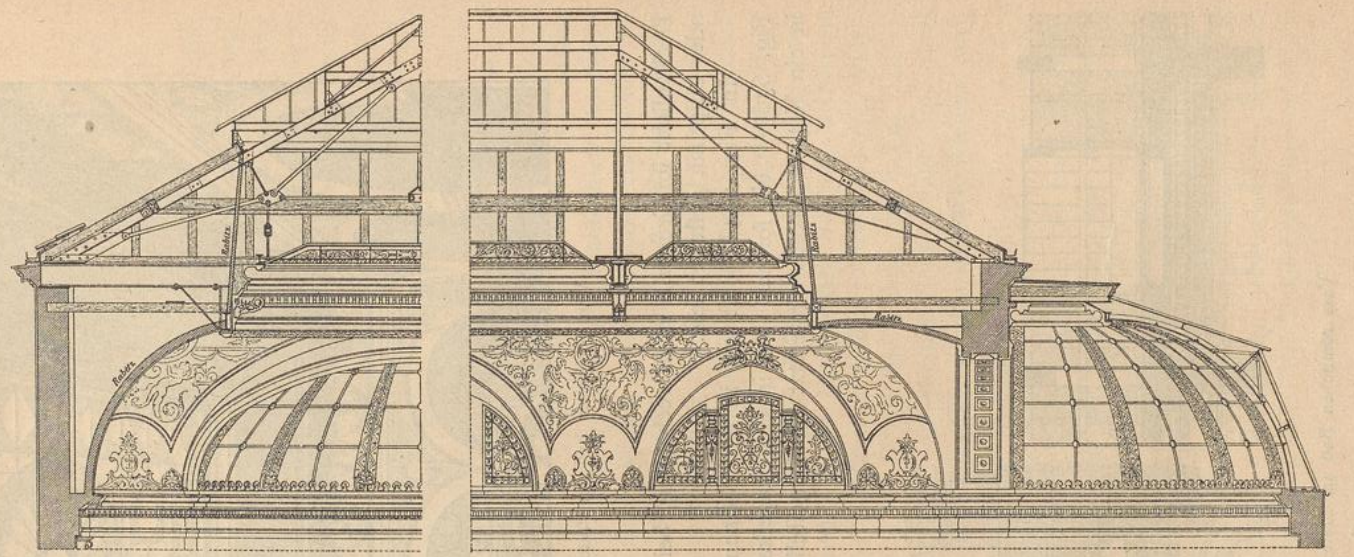
$^1/_{150}$ n. Gr.

219) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. f. Bauw. 1877, Bl. 58 u. 59.

220) Facſ.-Repr. nach ebendaſ.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

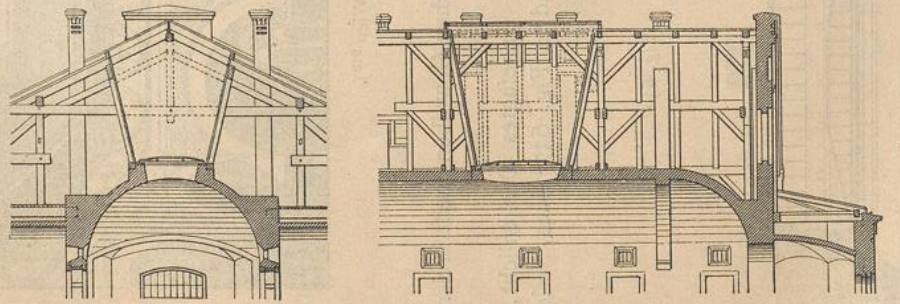
Fig. 633.



1/100 n. Gr.

Vom Hôtel Royal zu Hannover[217]).

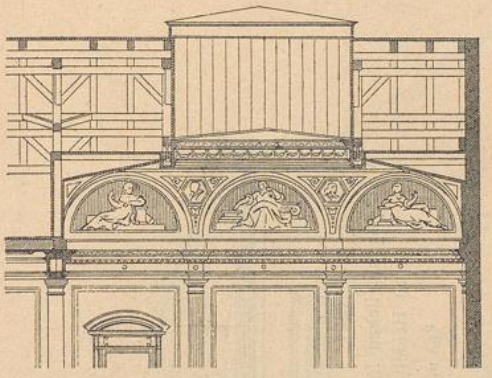
Fig. 634.



1/200 n. Gr.

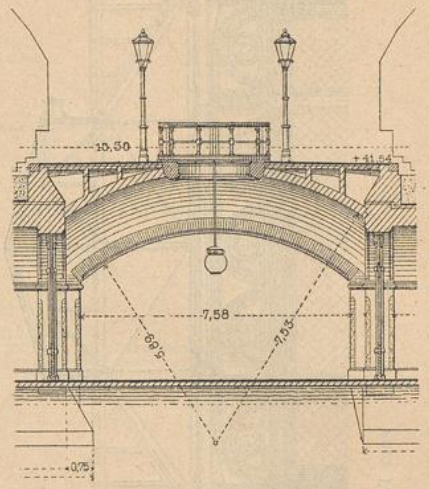
Von der Strafanſtalt am Plötzen-See bei Berlin[219]).

Fig. 635.



Vom Realgymnaſium zu Carlsruhe [218]).

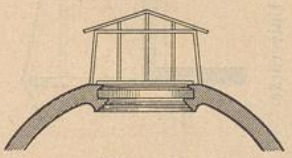
Fig. 636.



Von der Halteſtelle Zoologiſcher Garten der Berliner Stadt-Eiſenbahn [220]).

1/200 n. Gr.

Fig. 637.



1/200 n. Gr.

3) An Dachſtühlen hängende oder in anderer Weiſe damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken.

427. Deckenlichter, an hölzernen Dachſtühlen hängend.

Wenn ein Deckenlicht gröſsere Abmeſſungen zu erhalten hat oder wenn die Decke, in welche daſſelbe einzuſetzen iſt, nicht kräftig genug conſtruirt iſt, um auch das Gewicht der verglasten Lichtflächenanlage mittragen zu können, ſo findet ſehr häufig das Aufhängen der letzteren an den darüber befindlichen Dachſtuhl ſtatt. In der Regel wird der das Deckenlicht begrenzende Rahmen mittels eiſerner Hängeſtangen mit einem dazu geeigneten Conſtructionstheil des Dachſtuhles verbunden; bei gröſseren Anlagen werden aber auch Haupttrageſproſſen der verglasten Lichtflächen an das Dachwerk gehängt.

Wenn zunächſt hölzerne Dachſtühle, an denen Deckenlichter aufgehängt ſind, berückſichtigt werden ſollen, ſo zeigt Fig. 638 [221]) eine ſehr einfache Ausführung dieſer Art. Aus der Abbildung iſt leicht zu erſehen, wie der hölzerne Rahmen des Deckenlichtes mittels eiſerner Hängeſtangen an den Sparren des Dachſtuhles hängt.

Eine etwas gröſsere einſchlägige Anlage iſt durch Fig. 639 [222]) veranſchaulicht. Die eiſernen Hängeſtangen, welche den Deckenlichtrahmen tragen, ſind an den Pfetten befeſtigt; über dem Dachfirſt iſt eine Laterne aufgeſetzt, deren lothrechte Längswände verglast ſind; die Dachflächen ſind mit Schiefer eingedeckt.

Ein weiteres Beiſpiel iſt in Fig. 642 [223]) dargeſtellt. Hier ſind es die Stichbalken der hölzernen Balkendecke, welche mittels eiſerner Stangen an die Dach-Conſtruction aufgehängt ſind.

---

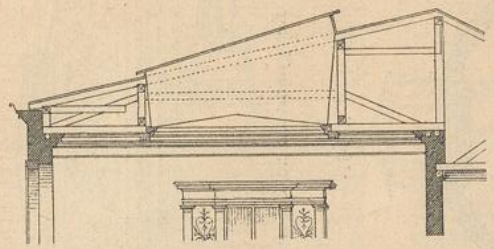
221) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1883, Bl. 24.

222) Facſ.-Repr. nach ebendaſ., 1884, Bl. 24.

223) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1887, Bl. 11.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

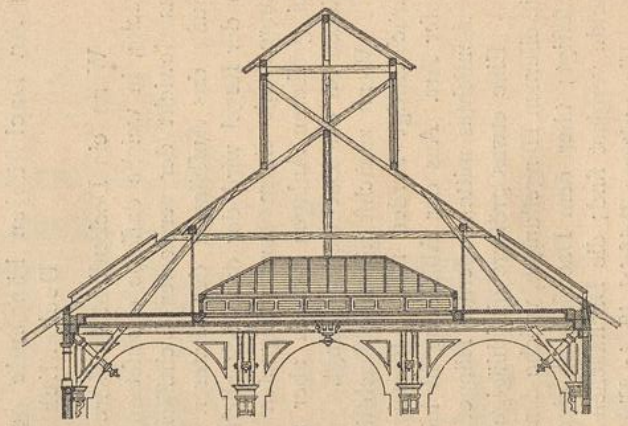
Fig. 638.



Vom phyſiologiſchen Inſtitut der Univerſität zu Heidelberg [221]).

1/200 n. Gr.

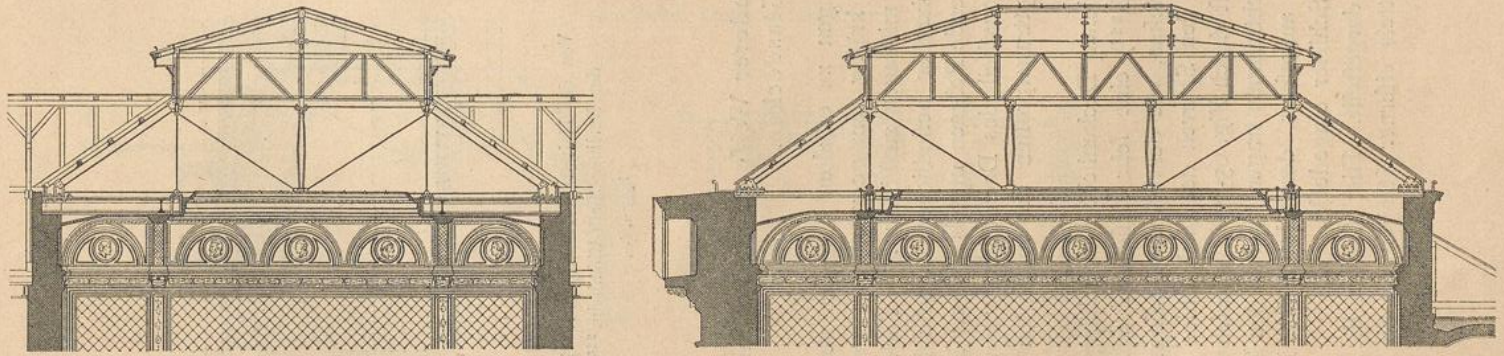
Fig. 639.



Von der Reitbahn von *Benjamin Roth Söhne* zu Frankfurt a. M. [222]).

1/200 n. Gr.

Fig. 640.



Vom Leſeſaal der Univerſitäts-Bibliothek zu Budapeſt [224]).

1/200 n. Gr.

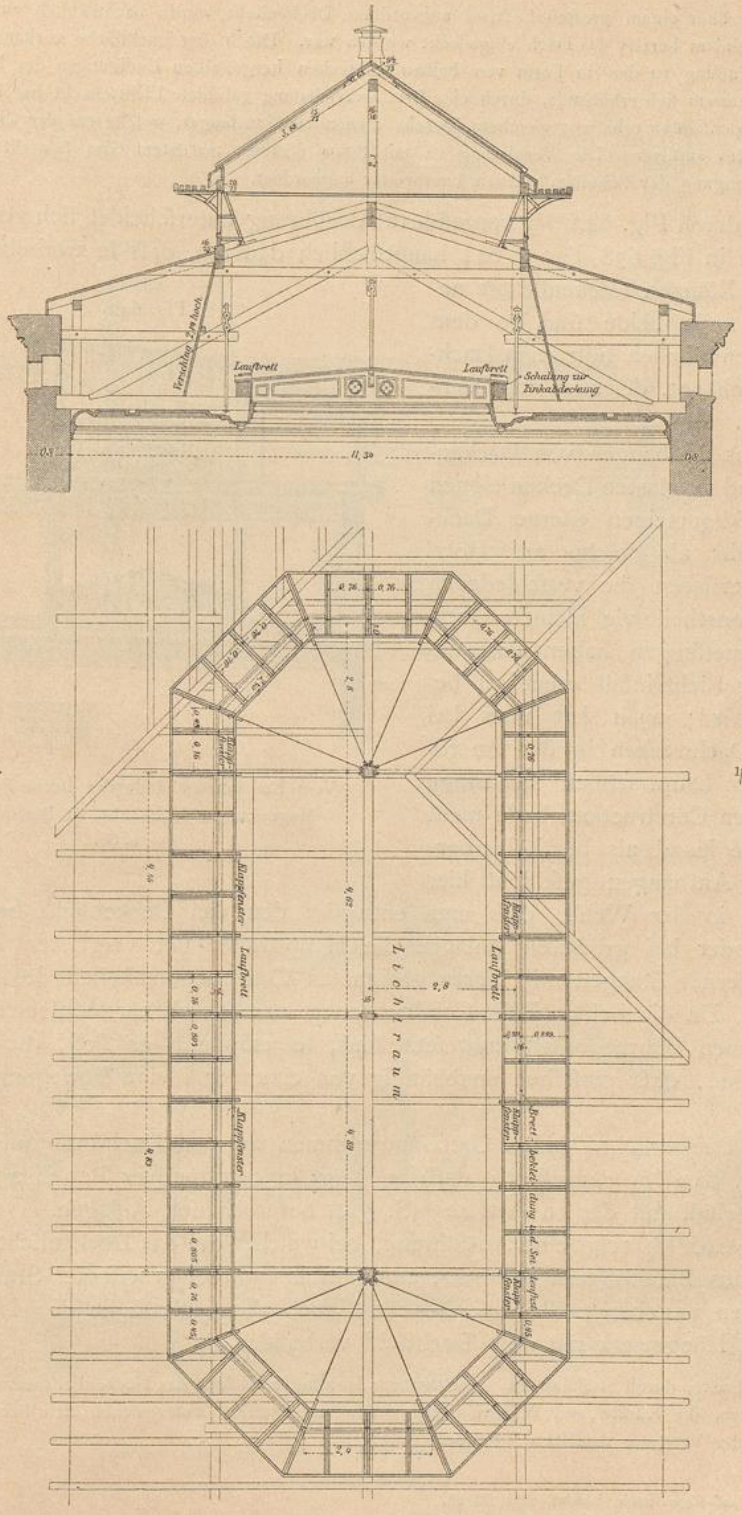


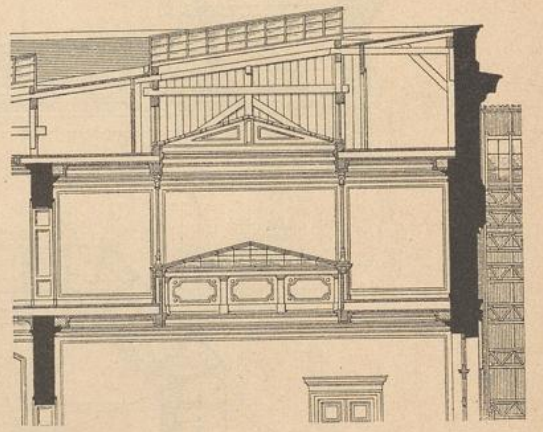
Fig. 641. 1/150 n. Gr.

Vom Lesesaal der Universitäts-Bibliothek zu Göttingen [223]).

Dieſes über einem groſsen Leſeſaal angeordnete Deckenlicht wurde nachträglich zur Ausführung gebracht, nachdem bereits das Dach eingedeckt worden war. Die in der Dachfläche vorhandenen Kehlen gaben Veranlaſſung zu den in Form von halben Achtecken hergeſtellten Endigungen des Deckenlichtes. Der über letzterem ſich erhebende, durch eine Bretterverſchalung gebildete Lichtſchacht hat behufs Durchlüftung Klappenfenſter erhalten; gleichem Zwecke dienen vier Luftſauger, welche auf der Zinkeindeckung des Dachfirſtes aufſitzen. Die Verglaſung iſt mit 3 mm dickem, mattirtem Glas bewirkt worden; für bequeme Reinigung der Scheiben wurden Laufbretter angeordnet.

Die durch Fig. 642 [225]) vorgeführte Ausführung unterſcheidet ſich von den Conſtructionen in Fig. 638, 640 u. 641 hauptſächlich dadurch, daſs in zwei über einander gelegenen Räumen Deckenlichter angeordnet ſind; beide ſind an dem darüber befindlichen hölzernen Dachſtuhl aufgehängt, der auch das Dachlicht trägt.

Fig. 642.



Vom Empfangsgebäude der Berlin-Potsdam-Magdeburger Eiſenbahn zu Berlin [225]).
1/200 n. Gr.

428. Dachlichter, an eiſernen Dachſtühlen hängend.

Für das Aufhängen von Deckenlichtern und verglasten Decken eignen ſich im Allgemeinen eiſerne Dachſtühle mehr als ſolche aus Holz, weil bei erſteren die verſchiedenen Conſtructionstheile viel kleinere Querſchnittsabmeſſungen haben und dadurch der Lichteinfall erheblich begünſtigt wird; auch hat man bei eiſernen Dachwerken in der Anordnung der hauptſächlich in Frage kommenden Conſtructionstheile meiſt viel freiere Hand als bei hölzernen.

Das Aufhängen geſchieht hier gleichfalls in der Weiſe, daſs man entweder den das Deckenlicht begrenzenden Rahmen oder bei gröſseren Anlagen die Hauptträger der verglasten Lichtflächen mittels eiſerner Stangen mit hierzu geeigneten Conſtructionstheilen des Dachſtuhles verbindet. Da die beiden Eiſen-Conſtructionen, namentlich zur Winterszeit, ziemlich verſchiedenen Wärmegraden ausgeſetzt ſind, ſo empfiehlt es ſich, die Anordnung ſo zu treffen, daſs dieſelben unabhängig von einander kleine Bewegungen machen können.

Ein Deckenlicht, deſſen Umfaſſungsrahmen an den Dachſtuhl aufgehängt iſt, iſt in Fig. 643 [226]) dargeſtellt; daſſelbe zeigt in conſtructiver Beziehung auch eine Verwandtſchaft mit den in Art. 425 (S. 572) beſprochenen Anlagen.

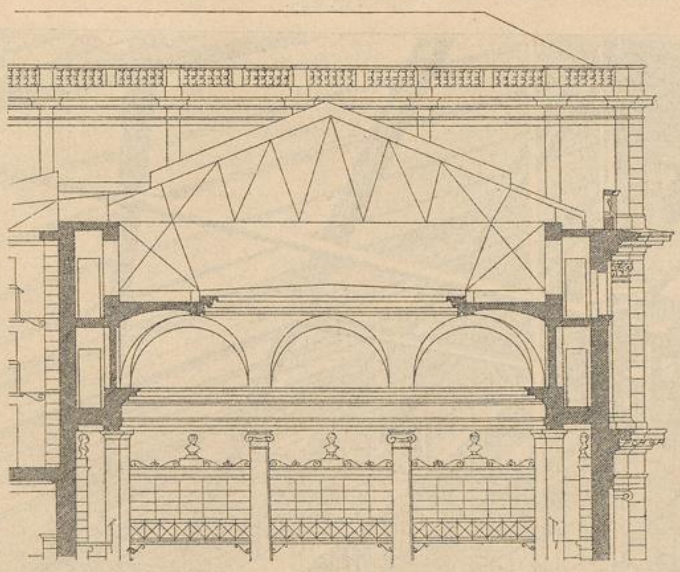
Fig. 640 [224]) zeigt eine Ausführung, bei welcher der das Deckenlicht einfaſſende Rahmen aus Blechträgern conſtruirt und mittels lothrechter eiſerner Stangen an die Dachpfetten angehängt iſt; überdies ſind auch die Querträger des Deckenlichtes durch ein Hängewerk mit dem Dachſtuhl verbunden.

Die breite, durch Stichkappen unterbrochene Hohlkehle, welche das Deckenlicht umrahmt, iſt durch Zwickelfiguren, die Künſte und Wiſſenſchaften darſtellend, geziert, unter denen ſich Portrait-Medaillons hervorragender Vertreter derſelben befinden.

224) Facſ.-Repr. nach ebendaſ. 1880, Bl. 28.
225) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. f. Bauw. 1877, Bl. 2.
226) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 40.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

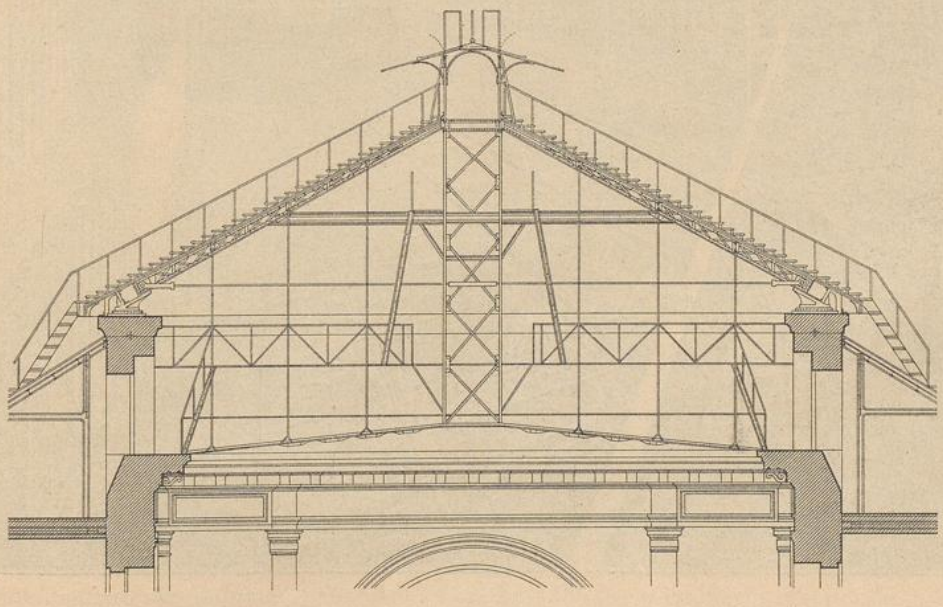
Fig. 643.



Von der Universitäts-Bibliothek zu Wien [226]).

1/250 n. Gr.

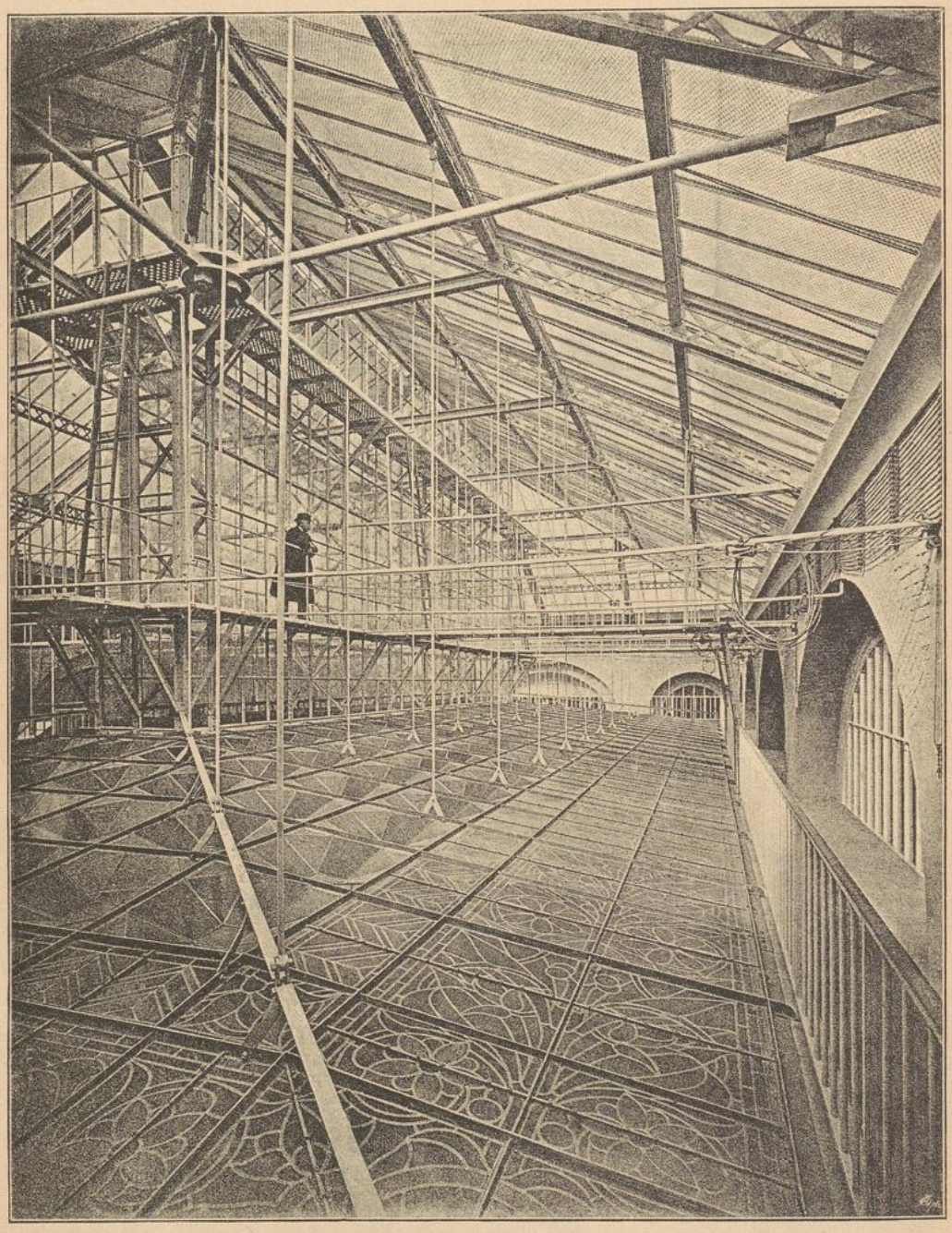
Fig. 644.



Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris [227]).

1/200 n. Gr.

Fig. 645.

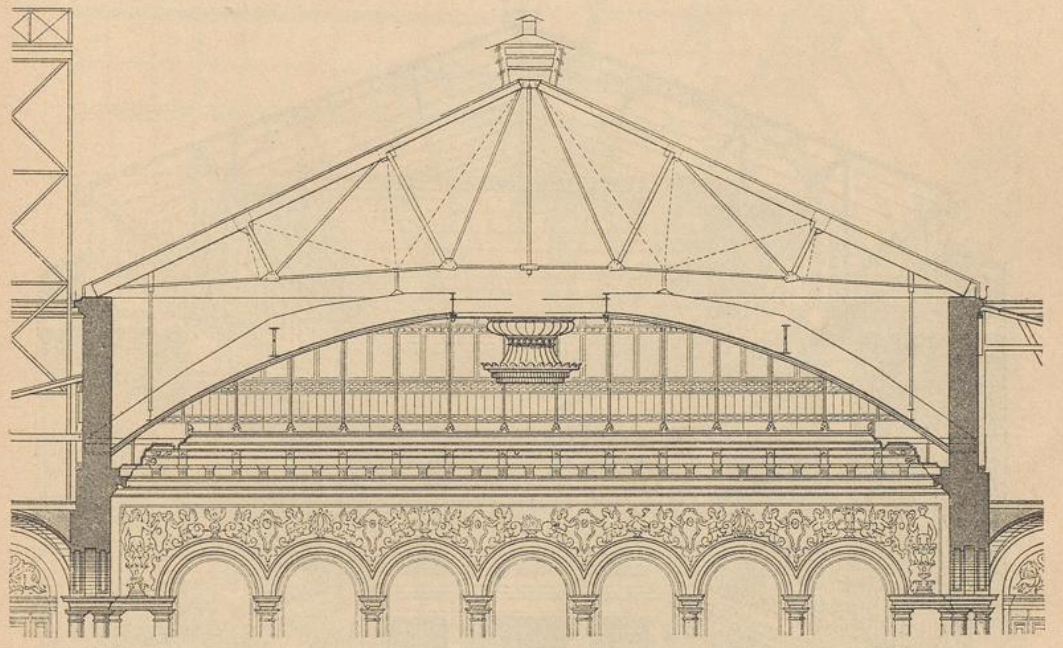


Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris [228]).

Als erſtes Beiſpiel einer verglasten Decke diene die in Fig. 644[227]) im Schnitt veranſchaulichte Anlage. Die Hauptträger der Verglaſung ſind mittels lothrechter Eiſenſtangen an die Dachſparren gehängt, und Fig. 645[228]) giebt eine ſchaubildliche Darſtellung des Raumes zwiſchen Decke und darüber befindlichem Dachlicht.

Der eigenartigen Anordnung der Glasſcheiben wurde bereits in Art. 422 (S. 568) gedacht. Aus Fig. 644 u. 645 ſind auch die Laufſtege zu erſehen, welche ſich über die ganze Decke erſtrecken und jeden Theil derſelben zugänglich machen.

Fig. 646.



Vom groſsen Lichthof der techniſchen Hochſchule zu Berlin-Charlottenburg[229]).

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Eine verglaste Decke von bedeutenden Abmeſſungen, jene über dem groſsen Lichthof der techniſchen Hochſchule zu Berlin-Charlottenburg, zeigt Fig. 646[229]). Dieſelbe iſt nach oben zu gewölbt und an das darüber befindliche eiſerne Zeltdach gehängt.

Sie hat Bleiverglaſung erhalten, und dicht über ihr liegt noch eine zweite Glasdecke von gewöhnlichem Doppelglas in Kitt, um Staub und Schmutz von der erſteren abzuhalten. Dieſe Decke kann mittels gewöhnlicher Gartenſprenghähne gereinigt werden; das abfliefsende Waſſer wird in Blechrinnen geſammelt und durch die Regenfallrohre abgeführt.

Auch die aus Fig. 647[230]) erſichtliche Glasdeckenanordnung hat beträchtliche Abmeſſungen; der darunter befindliche Saal hat 255 qm Grundfläche.

---

227) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 534.

228) Facſ.-Repr. nach: *Moniteur des arch.* 1885, Pl. 1.

229) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. f. Bauw. 1886, Bl. 23.

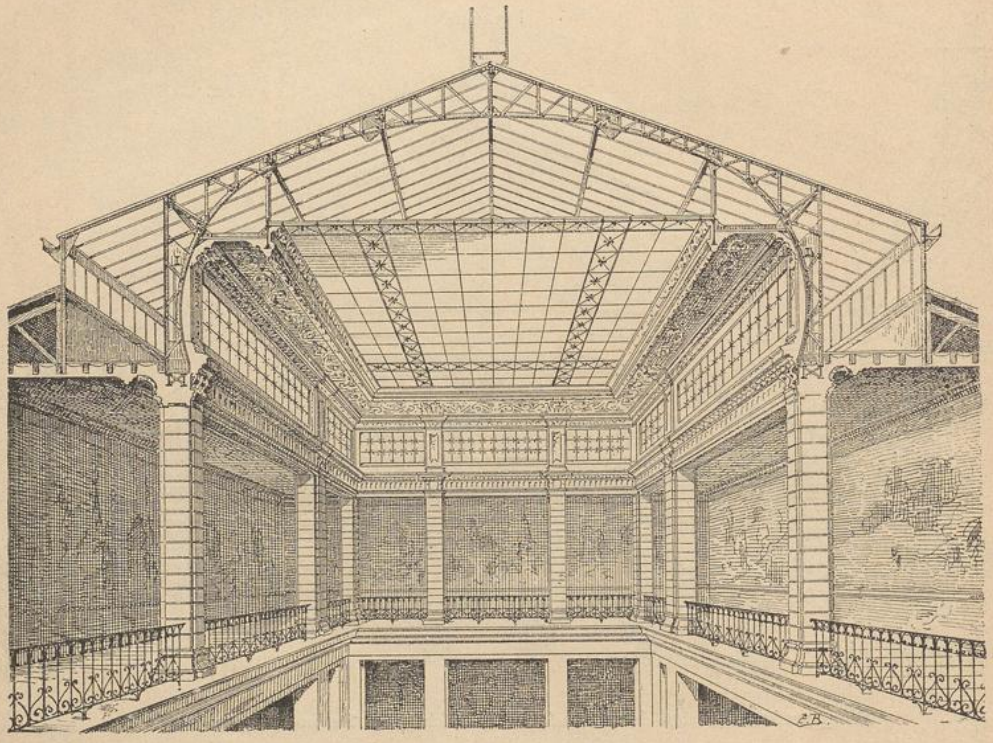
230) Facſ.-Repr. nach: *La conſtruction moderne*, Jahrg. 8, S. 537.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die eigenartig geformten Dachbinder bilden mit ihren nach aufsen gekehrten lothrechten Theilen die Stützen für die Galerie-Anlage, welche den Saal rings umgiebt. Der die Decke einfchliefsende, als Blechträger conftruirte Rahmen ift an die Dachbinder aufgehangen.

In Fig. 648 u. 649[231]) ift eine reich gegliederte Glasdecke aus Paris dargeftellt. Die 6,8 m breiten Mitteltheile derfelben find als abgeftumpfte Pyramiden ausgebildet; der diefelben ftützende Rahmen ruht auf Eifenfäulen, wodurch fich diefe

Fig. 647.



Von der *Banque Secreftat* zu Bordeaux[230]).

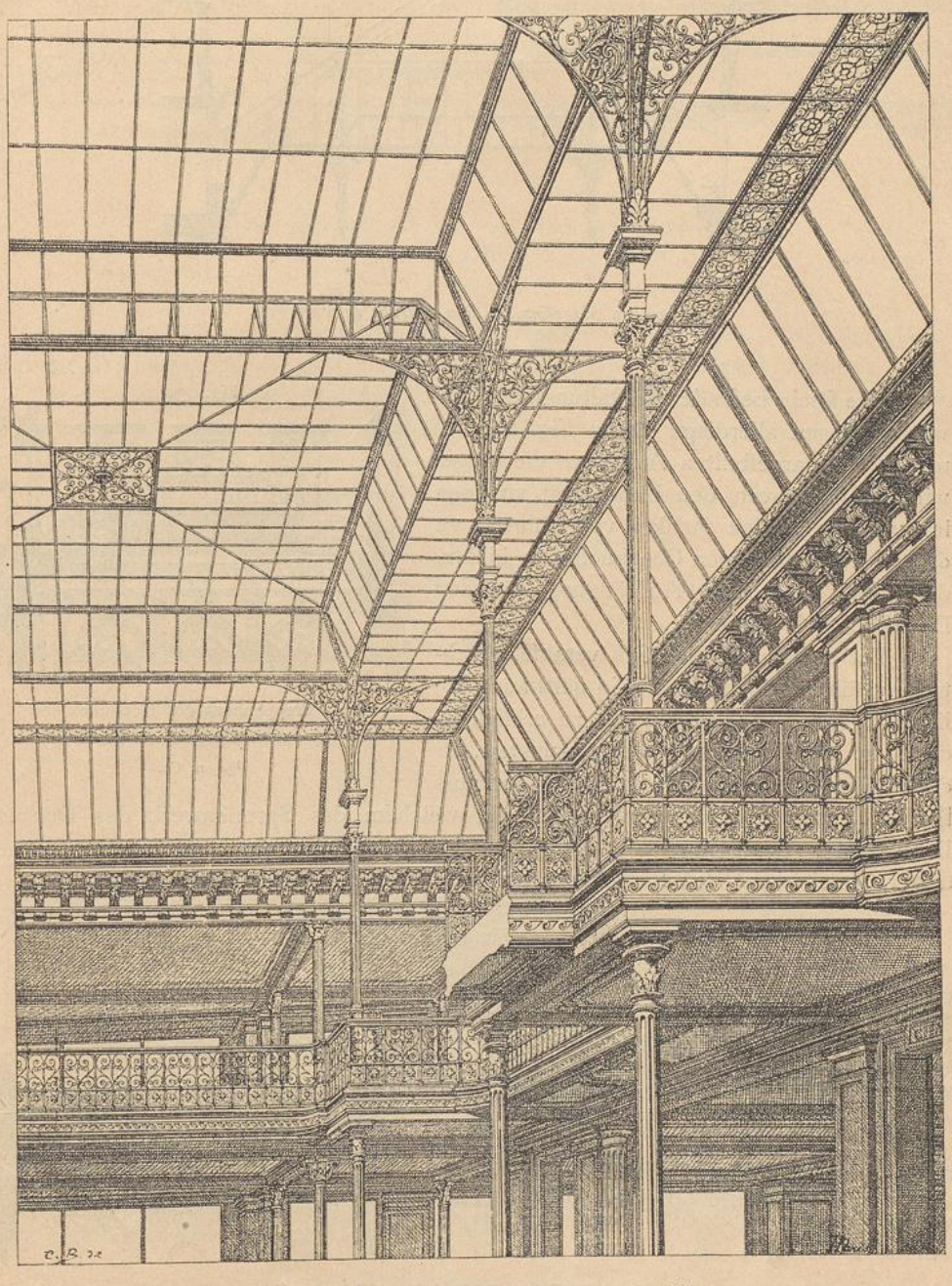
Decke den unter 4 vorzuführenden Conftructionen nähert. Im Uebrigen ift die Glasdecke zum gröfsten Theile an die Kehlbalken des darüber befindlichen Dachftuhles gehängt.

429. Deckenlicht und Dachftuhl in anderer Weife vereinigt.

Der über einem Deckenlicht oder einer verglasten Decke befindliche Dachftuhl kann, aufser durch Aufhängung, auch noch in anderer Weife den Träger der erfteren bilden. Am häufigften wird dies in der Weife ausgeführt, dafs man die unteren Gurtungen oder andere wagrechte, bezw. liegende Conftructionstheile der Dachbinder unmittelbar zu Trägern der verglasten Lichtflächen macht; dabei wird verhältnifsmäfsig felten in Rückficht auf das Deckenlicht das Tragwerk in befonderer Weife geftaltet; meift find die Dachbinder nach den allgemein gebräuchlichen Syftemen geftaltet.

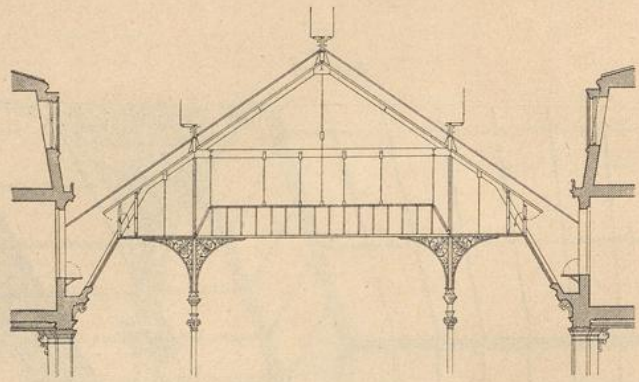
231) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 510, 511.

Fig. 648.



Von den *Magaſins du Bon Marché* zu Paris [231]).

Fig. 649.

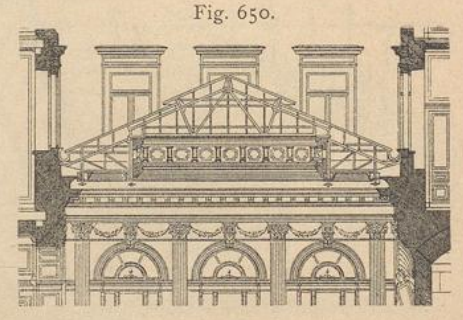


Von den *Magaſins du Bon Marché* zu Paris [231]).

1/200 n. Gr.

Eine ſolche beſondere Geſtaltung des Tragwerkes zeigen allerdings die in Fig. 650 [232]) u. 651 [233]) dargeſtellten Anlagen, die in gewiſſem Sinne auch den Uebergang von den im vorhergehenden Artikel vorgeführten zu den in Rede ſtehenden Conſtructionen bilden, da dabei auch eine Aufhängung an den Dachſtuhl ſich vorfindet.

Fig. 650.

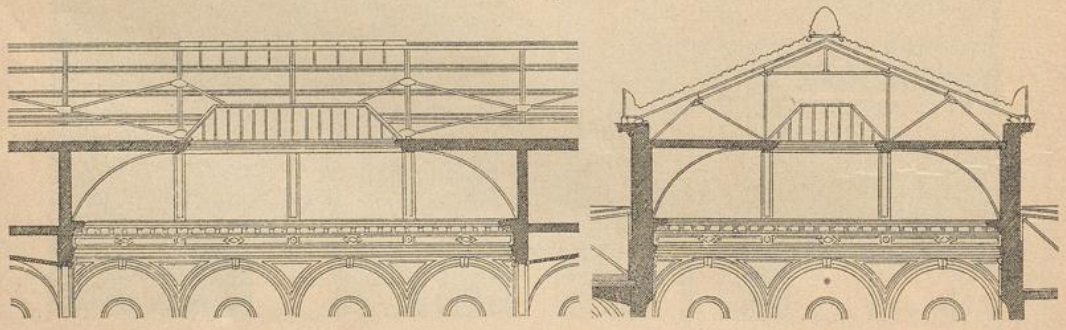


Vom Treppenhaus des Gebäudes der *Aſſicurazioni Generali* zu Trieſt [232]).

1/200 n. Gr.

Bei der durch Fig. 652 veranſchaulichten Ausführung hingegen iſt ein ſonſt auch übliches Syſtem von Dachbindern zu erblicken; doch iſt an denjenigen Knotenpunkten, in denen die Sparren geknickt ſind, der aus [-Eiſen gebildete Rahmen befeſtigt, auf welchem das Sproſſenwerk des Deckenlichtes ruht. Zum Tragen des Sproſſenwerkes dient auch noch ein ſtärkerer Längsträger, welcher mit den Firſt-Knotenblechen durch Hängeſtangen verbunden iſt.

Fig. 651.



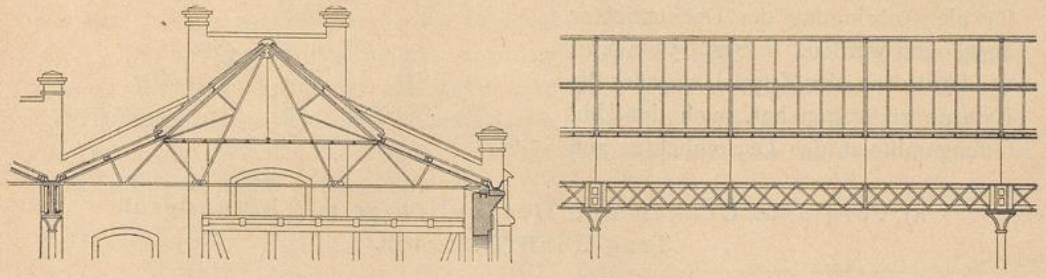
Von der öffentlichen Bibliothek zu Stuttgart [233]).

1/200 n. Gr.

232) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1888, Bl. 58.

233) Facſ.-Repr. nach ebendaſ., Bl. 41.

Fig. 652.



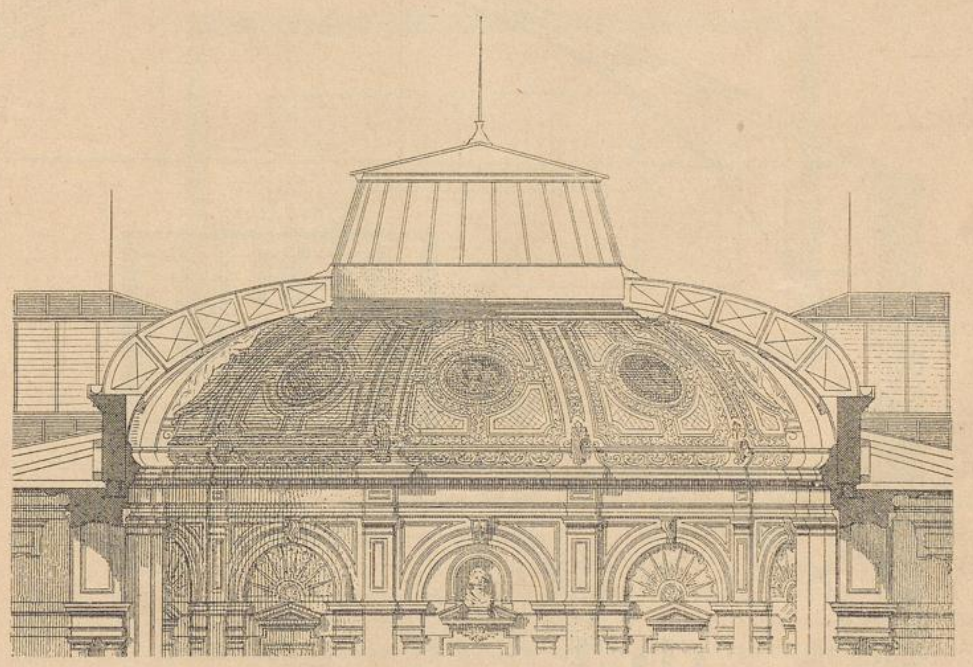
Vom Lackirerei-Gebäude auf dem Werkſtätten-Bahnhof Leinhauſen.

1/100 n. Gr.

Eine unmittelbare Verwendung der Dachbinder in dem Sinne, daſs die obere Gurtung das Dachlicht, die untere Gurtung das Deckenlicht aufnimmt, geſtattet u. A., wie Fig. 654 zeigt, in ſehr einfacher Weiſe der ſog. engliſche Dachſtuhl. Eine ſolche Ausführung iſt z. B. über einem Deckenlichtſaal in der Bilder-Galerie des alten Muſeums zu Berlin[234]) zu finden.

Auch Kuppeldach-Conſtructionen können, wie aus Fig. 653[235]) erſichtlich iſt,

Fig. 653.



Vom Kunſt-Muſeum zu Bern[235]).

1/150 n. Gr.

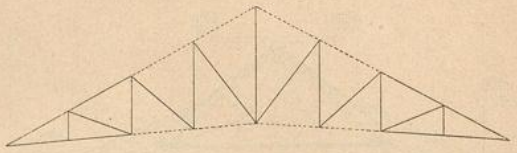
234) Siehe darüber: Zeitſchr. f. Bauw. 1871, S. 185 u. Bl. H.

235) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 12.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

in dem hier in Rede ſtehenden Sinne für die Anbringung der Deckenlichter ausgenutzt werden. In Fig. 653 nimmt der Druckring der Kuppel, welcher die Laterne zu tragen hat, auch den Umfaſſungsrahmen des Deckenlichtes auf.

Fig. 654.

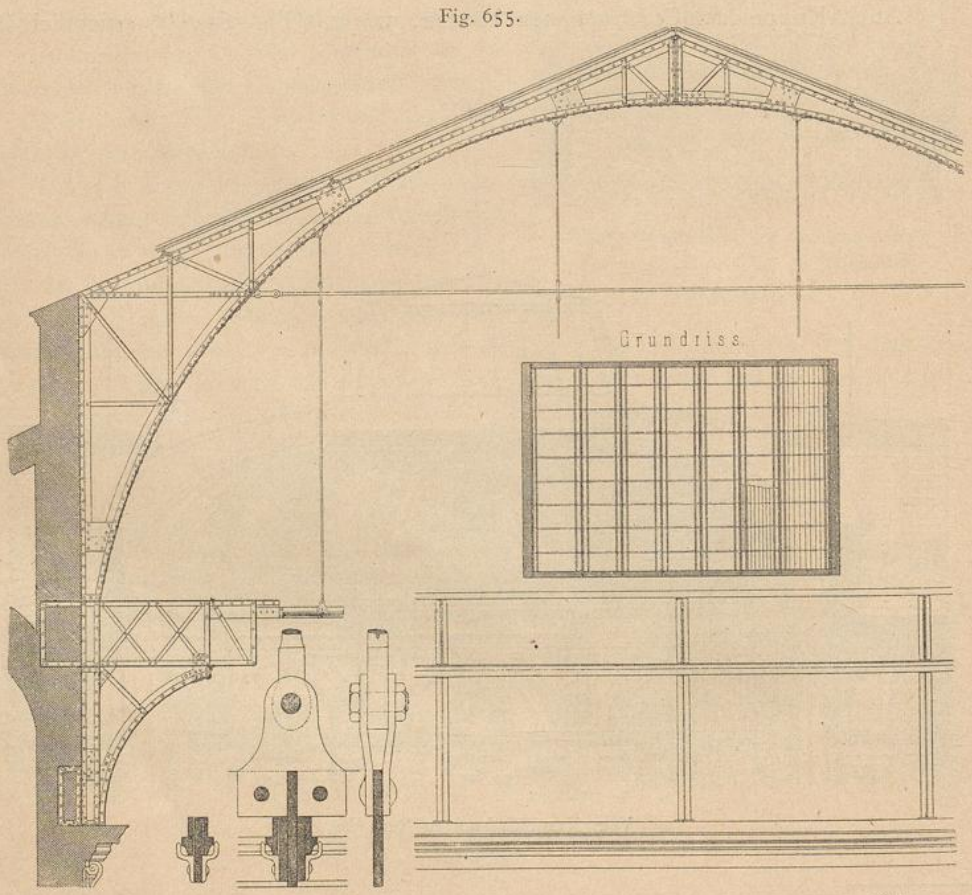


4) Verglaste Decken und Deckenlichter mit beſonderen Trag-Conſtructionen.

430. Freiſtützen.

Wenn ein Deckenlicht, bezw. eine verglaste Decke bedeutende Abmeſſungen hat und wenn es aus irgend welchen Gründen nicht angeht, eine conſtructive Vereinigung mit dem darüber gelegenen Dachwerk durchzuführen, ſo müſſen beſondere Conſtructionstheile angeordnet werden, welche die verglasten Lichtflächen zu ſtützen, bezw. zu tragen haben. Verhältniſsmäſsig ſelten werden dieſe Conſtructionstheile unter die verglaste Decke geſetzt; meiſt befinden ſie ſich oberhalb derſelben. Hauptſächlich ſind es Freiſtützen, ausgekragte Träger, Blech- und Gitterträger verſchiedener Art, welche im vorliegenden Falle in Frage kommen.

Fig. 655.



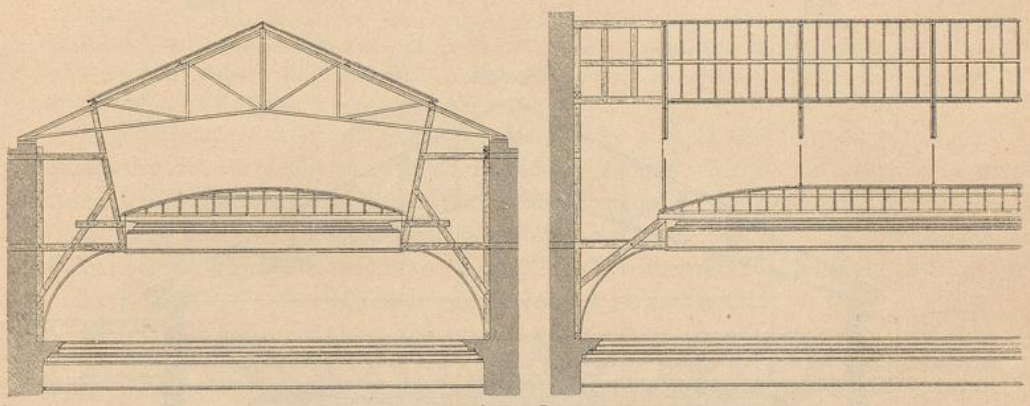
Vom groſsen Lichthof des öſterreichiſchen Muſeums für Kunſt und Induſtrie zu Wien [236]).

1/100, bezw. 1/600 n. Gr.

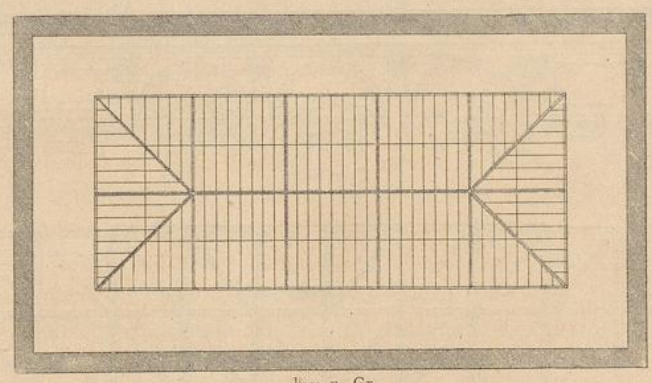
Für die Anwendung von Säulen oder anderen Freiſtützen wurde in Fig. 648 u. 649 (S. 583 u. 584) bereits ein Beiſpiel vorgeführt.

Bei manchen Ausführungen wird der Rahmen, welcher die verglaste Decke, bezw. das Deckenlicht begrenzt, durch conſolenartige Träger geſtützt, welche in den Umfaſſungsmauern des betreffenden zu erhellenden Raumes in geeigneter Weiſe verankert ſind; bisweilen wird auch noch das Aufhängen an dem darüber befindlichen Dachſtuhle zu Hilfe genommen. 437. Ausgekragte Träger.

Fig. 656.



1/250 n. Gr.



1/200 n. Gr.

Vom öſterreichiſchen Muſeum für Kunſt und Induſtrie [238]).

Eine groſse Glasdecke letzterer Art iſt über dem 24,18 m langen und 16,36 m breiten Lichthofe des öſterreichiſchen Muſeums für Kunſt und Induſtrie zu Wien (Fig. 655 [236]) zu finden.

Dieſe Glasdecke wird theils durch Kraganordnungen unterſtützt, theils iſt ſie an den eiſernen Bindern des darüber befindlichen Dachſtuhles beweglich aufgehängt. Eine mächtige, mit Stichkappen verſehene Hohlkehle bildet die Umrahmung der Glasdecke; ſie iſt gemauert, und ihr ſehr bedeutendes Gewicht wird im Weſentlichen von eiſernen Kragträgern aufgenommen, welche zum Theile von den Dachbindern getragen werden, zum Theile in den Umfaſſungsmauern feſt verankert ſind. Fig. 655 zeigt dieſe Träger, und durch eine der beigefügten Theilabbildungen iſt die Verbindung der Hängeſtange mit den Hauptſproſſen der Glasdecke im Einzelnen veranſchaulicht [237]).

236) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

237) Bezüglich weiterer Conſtructions-Einzelheiten ſiehe: Wist, J. Studien über ausgeführte Wiener Bau-Conſtructionen. Wien 1872. S. 47 u. Taf. 39.

Fig. 657.

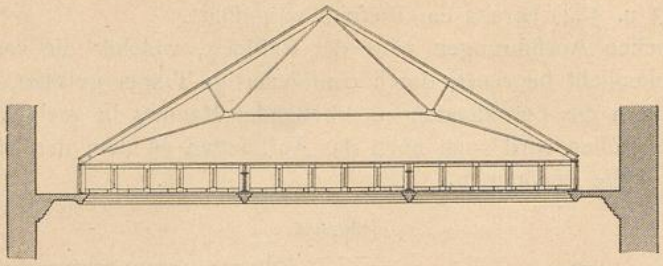
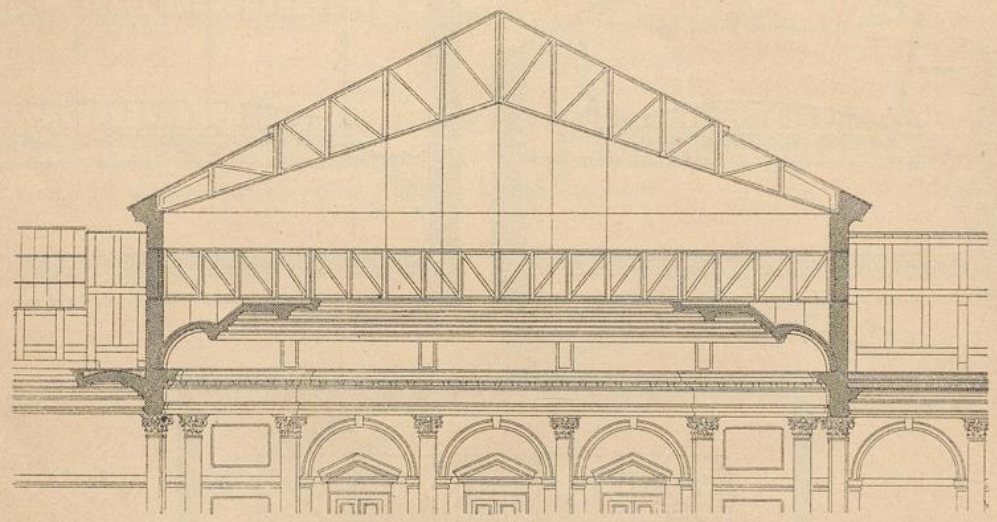
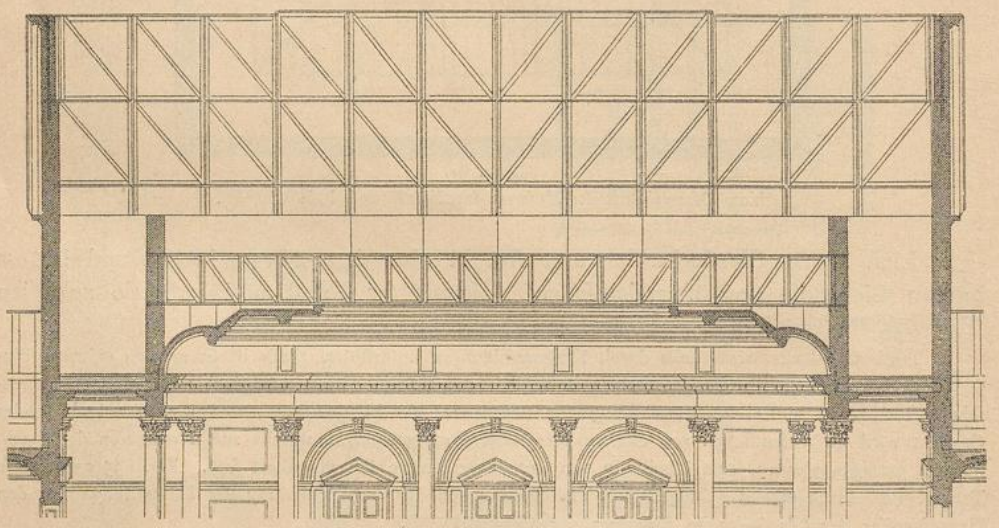


Fig. 658.



Querſchnitt.



Längenſchnitt.

Vom Sitzungsſaal des Landhauſes zu Brünn [239]).

1/200 n. Gr.

Derlei auskragende Conſtructionstheile können auch in Holz ausgeführt werden, wie dies die Glasdecken in den Deckenlicht-Sälen deſſelben Muſeums zeigen (Fig. 656 [238]).

Im Allgemeinen einfacher geſtaltet ſich die Conſtruction der verglasten Decken, wenn man ihr Sproſſenwerk durch eiſerne Träger, die als Blechträger, Gitterträger oder Bogenträger ausgebildet ſein können, unterſtützt. Die hauptſächlich vorkommenden Anordnungen ſind die folgenden:

432. Blech-, Gitter- und andere Träger.

α) Man bildet die vier Theile des rechteckigen Rahmens, welcher die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht umſchlieſst, als Blech- oder Gitterträger aus. Fig. 657 zeigt hierfür ein Beiſpiel.

Hier iſt der Rahmen aus vier Gitterträgern zuſammengeſetzt, auf deren unteren Gurtungen das Sproſſenwerk ruht, während die oberen Gurtungen der beiden Längsträger der Ueberdachung als Auflager dienen. Der Rahmen ſelbſt wird durch Kragträger geſtützt; in der Längenrichtung der Glasdecke ſind noch zwei gewalzte I-Träger angeordnet, welche dieſelbe in drei Felder theilen.

β) Eine weitere Anordnung beſteht darin, daſs man in der Längen- und Querrichtung des zu überdeckenden Raumes ſtärkere Träger verlegt, auf deren unteren Gurtungen das Sproſſenwerk lagert. Bei etwas gröſserer Breitenabmeſſung der Decke werden dieſe Träger eine ſo bedeutende Höhe erhalten, daſs man ſie, des Lichteinfalles wegen, kaum als Blechträger, ſondern als Gitterträger ausführen wird.

In Fig. 658 [239]) iſt ein einſchlägiges Beiſpiel veranſchaulicht.

Für dieſe Glasdecke ſind der Länge und der Quere nach je zwei Fachwerkträger angeordnet, welche auf den Umfaſſungswänden gelagert und überdies durch Hängeſtangen mit dem darüber befindlichen Dachſtuhl verbunden ſind. Die Conſtruction des die Glasdecke umrahmenden undurchſichtigen Theiles (aus gewölbten Hohlkehlen etc. gebildet) iſt an jene Fachwerkträger angehängt.

Auch die in Fig. 659 [240]) dargeſtellte Ausführung, bei der die in Rede ſtehenden Träger nach Art der Dachbinder ausgebildet ſind, gehört hierher.

Hier iſt die ſchwere gewölbte Hohlkehle gleichfalls mit den Eiſenträgern verbunden; es hat aber auch eine Verankerung mit den Umfaſſungsmauern ſtattgefunden.

γ) In wenigen Fällen ſind die Glasdecken von unten aus durch eiſerne Bogenträger unterſtützt worden. Eine bemerkenswerthe Conſtruction dieſer Art zeigen Fig. 660 u. 661 [241]); die tragenden Theile der Glasdecke ruhen mit den Füſsen auf Conſolen, im Uebrigen auf Bogenträgern.

δ) Weniger einfach wird die Anordnung der Träger, ſobald die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht nicht, wie ſeither ſtets vorausgeſetzt wurde, rechteckig geſtaltet iſt, ſondern eine andere Grundform beſitzt. Je nachdem die letztere gebildet iſt und je nach den anderen maſsgebenden Verhältniſſen wird die Ausführung allerdings eine ziemlich verſchiedene ſein.

So z. B. wird man bei einem kreisrunden Deckenlicht über einem quadratiſchen Raume die eiſernen Träger nach Fig. 662 anordnen können.

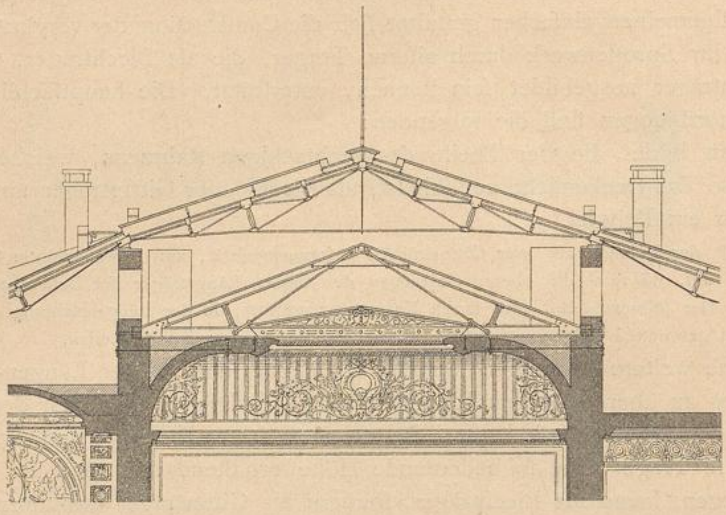
Der innere Ring dieſer Eiſen-Conſtruction trägt nicht allein das Sproſſenwerk des Deckenlichtes, ſondern auch die zeltdachförmig abgeſchloſſene Dachlaterne.

Iſt hingegen der zu überdeckende Raum ſelbſt rund geſtaltet, ſo ordnet man die Hauptträger am beſten radial an, wie dies z. B. bei der durch Fig. 663 [242]) veranſchaulichten Glasdecke über einem halbrunden Treppenhaus von 4,7 m innerem Halbmeſſer geſchehen iſt.

238) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.
239) Nach: Allg. Bauz. 1879, Bl. 69.
240) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. f. Bauw. 1879, Bl. 2.
241) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 5, S. 42 u. 43.
242) Nach: Zeitſchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 315 u. Bl. 749.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

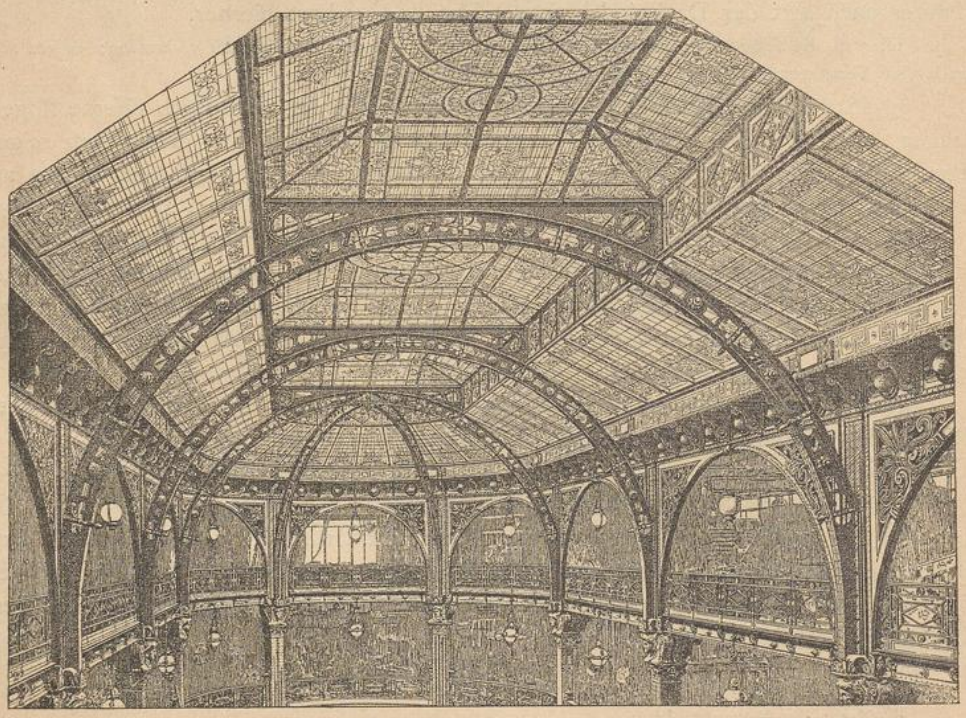
Fig. 659.



Von der Gemälde-Galerie zu Caſſel [240]).

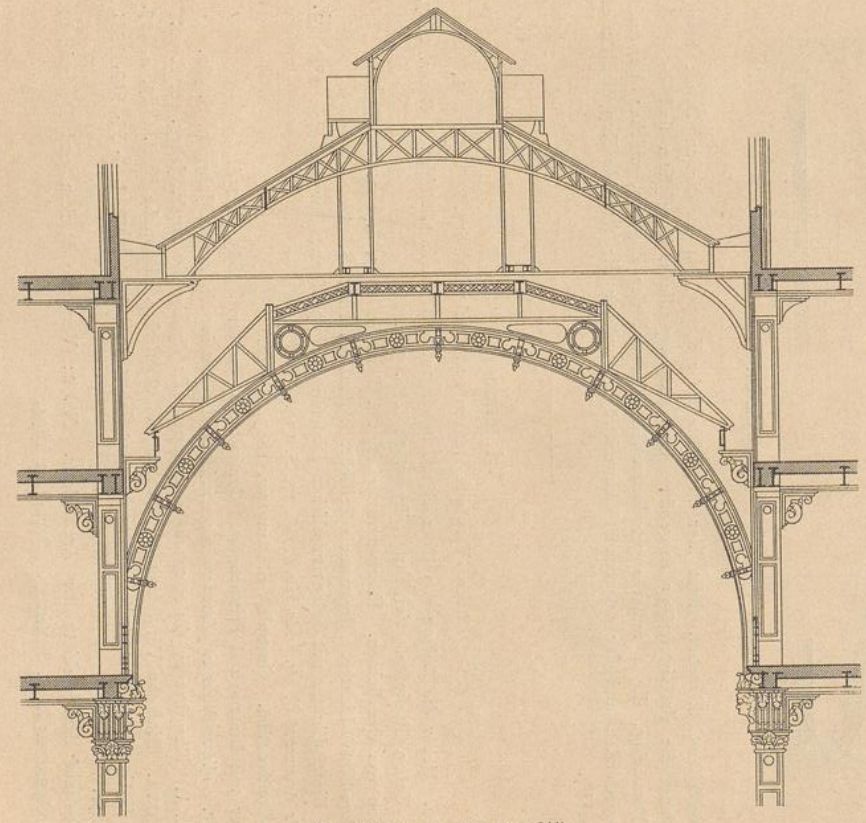
1/150 n. Gr.

Fig. 660.



Von der grofsen Halle der *Magaſins du Printemps* zu Paris [241]).

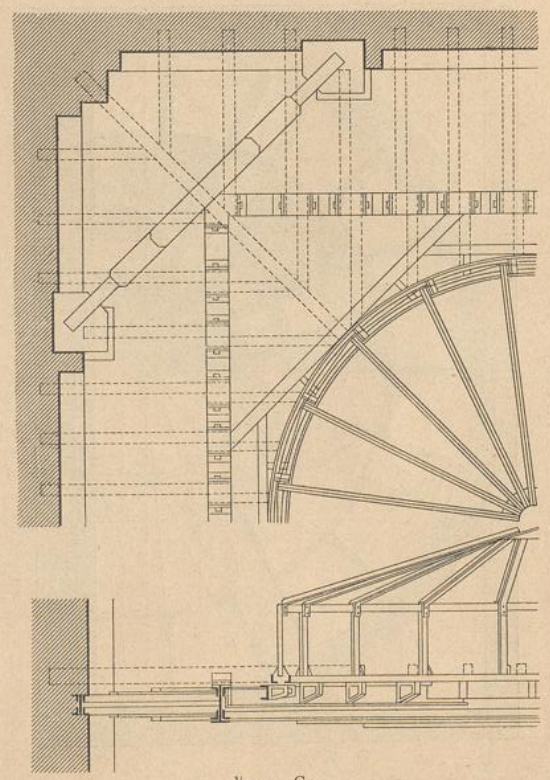
Fig. 661.



Querſchnitt zu Fig. 660 [241]).

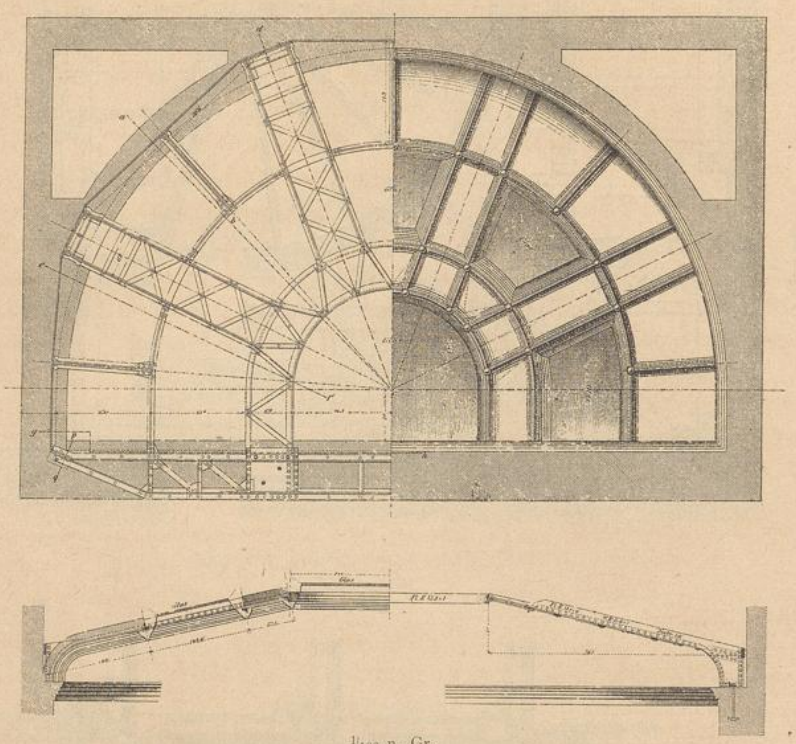
1/150 n. Gr.

Fig. 662.



1/160 n. Gr.

Fig. 663 [242]).



1/100 n. Gr.

Die Eiſen-Conſtruction bildet hier die Hälfte einer Kuppel, in der die auf Druck beanſpruchten Conſtructionstheile als Gitterträger ausgebildet ſind. Als eigentliches Tragſyſtem ſind dabei der gitterförmige Druckring, die 4 radial angeordneten Gitterſparren, der Zugring, welcher die Auflager der letzteren verbindet, und der wagrechte Fachwerkträger, welcher die fehlende Kuppelhälfte erſetzt, zu betrachten [242]).

Literatur

über »Verglaste Decken und Deckenlichter«.

Schwatlo. Ueber die Anlage von Oberlichtern in eleganten Räumen. Zeitſchr. f. Bauw. 1867, S. 442.

Becker. Ueber Glaslinſen. Zeitſchr. f. Bauw. 1868, S. 309.

Conſtruction von Oberlichten. Haarmann's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

Die Straſsen-Einfall-Lichter. Haarmann's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1881, S. 188.

Patentirte Einfall-Lichter mit halbprismatiſchen Linſen in Treppenform. Baugwks.-Ztg. 1881, S. 423.

Hayward's pavement lights. Architect, Bd. 27, S. 139.

Oberlicht-Conſtruction. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 244.

Oberlichter von Linſen- und Prismenglas. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

Laugerey. *Vitres-dalles et planchers translucides. La ſemaine des conſtr.*, Jahrg. 9, S. 582.

Barré, L.-A. *Planchers en fer et en dalles de verre. La ſemaine des conſtr.*, Jahrg. 10, S. 90.

Frangenheim. Einfache Verglaſung der Dächer und Oberlichte. Deutſche Bauz. 1887, S. 417.

Boileau, L.-C. *Les plafonds vitrés. L'architecture*, Jahrg. 3, S. 159; Jahrg. 4, S. 53, 519, 533; Jahrg. 5, S. 41.

Fortſchritte auf dem Gebiete der Architektur. Nr. 2: Verglaste Decken und Deckenlichter. Von A. Schacht & E. Schmitt. Darmſtadt 1894.

20. Kapitel.

Decken aus Wellblech- und aus *Lindſay*-Trögen.

Von Georg Barkhausen.

433. Gerade Wellblechdecken.

Von der Verwendung des Wellbleches zu Decken-Conſtructionen war bereits in Art. 95 (S. 104) die Rede, und bezüglich ſeiner Abmeſſungen und der Widerſtandsmomente wurden in Art. 96 (S. 105 u. 106) die erforderlichen Angaben gemacht. An der erſtgedachten Stelle iſt bereits erwähnt worden, daſs man mit Wellblechen auch Deckenanordnungen ohne tragende Walzbalken zur Ausführung bringen kann, und auch hier kann dies durch gerade oder durch bombirte Wellbleche geſchehen.

Eine gerade Wellblechdecke aus Trägerwellblech von groſser Weite, daher mit eiſernem Unterzuge, unten geputzt, iſt in Fig. 664 dargeſtellt, welche zeigt, wie gering die durch ſolche Decken eingenommene Höhe iſt. Das Blech iſt behufs ganz gleichmäſsiger Auflagerung am Ende in ein Winkeleiſen, etwa mit jeder dritten Welle, eingeſtiftet, welches auf, bezw. in der Wand ruht.

An den Wänden, welche mit den Wellen parallel laufen, iſt die letzte abgebogene Welle in eine Fuge der Wand gefteckt, um Dichtung zu erzielen. Auf dem Unterzuge ſind die unbefeſtigten Tafeln etwa 8 cm über einander gelegt und in den Bergen durch kleine Stifte verbunden. Zur Aufnahme des hölzernen Fuſsbodens ſind Lagerleiſten in Abſtänden von etwa 75 cm in die Wellen eingepaſſt[243]); der Zwiſchenraum zwiſchen Fuſsboden und Blech iſt mit Füllmaterial ſo geſchloſſen, daſs die Bretter thunlichſt ganz voll aufruhen. Behufs Anbringens der Deckenſchalung für den Putz ſind auch von unten Leiſten eingepaſſt und mit ſchwachen Bolzen an den Wellenbergen befeſtigt; auch der Unterzug iſt rings in Holzleiſten gehüllt, um ihn putzen zu können. Oben iſt die Fuge zwiſchen Fuſsboden und Wandputz durch eine auf Dübel in der Wand geſchraubte Stoſsleiſte wie gewöhnlich gedeckt. Die Füllung erhält auch hier zweckmäſsig durch Beimengen eines ſchwachen Mörtelzuſatzes ſo viel Zuſammenhalt, daſs ein Schub gegen die Wellenwände vermieden wird. Der Hohlraum zwiſchen Deckenſchalung und Blech trägt zugleich zur Dichtigkeit und Feuerbeſtändigkeit der Decke bei, kann jedoch nöthigenfalls unbedenklich noch mehr eingeſchränkt werden, als dies in Fig. 664 dargeſtellt iſt.

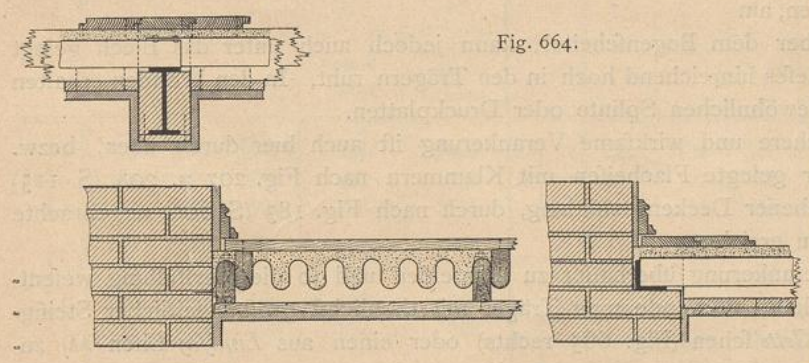


Fig. 664.

Bezüglich der Berechnung der geraden Wellblechdecken ſei auf Art. 95 (S. 104) verwieſen.

434. Gekrümmte Wellblechdecken.

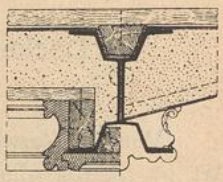
Fig. 665 rechts u. 666 zeigen Decken aus Wellblechbogen, welche wegen der hier vorwiegenden Beanſpruchung des Bleches auf Druck in der Regel die Verwendung leichterer Bleche geſtatten. Beſonders zweckmäſsig iſt dieſe Anordnung zur Ueberdeckung langer ſchmaler Räume (Flurgänge u. dergl.). Man legt hier — bei zur Aufnahme des Schubes ungenügender Wandſtärke mit einander verankerte — ſchwache **L**- oder **C**-Eiſen in die Wand, welche den Druck des Bogens unmittelbar an die Mauern abgeben und bei Verankerungen die Schübe zwiſchen

[243]) Siehe: Gerade Wellblechdecke mit Holzbelag in Aſphalt. Deutſche Bauz. 1883, S. 397.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

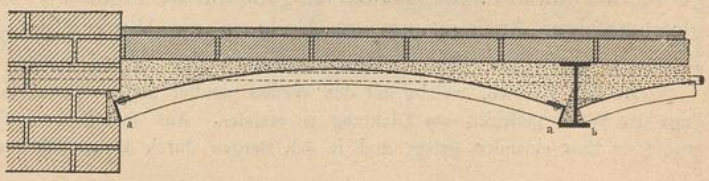
den Ankern aufzunehmen haben; man wähle daher im letzteren Falle Eifen mit grofser Seitenfteifigkeit, etwa flach gelegte ⊔-Eifen oder ungleichfchenkelige ⊔-Eifen.

Fig. 665.



Von befonderer Wichtigkeit ift die Kämpferanordnung der Blechbogen. Der Einfachheit wegen hat man das Blechende ftumpf gegen die Fläche von erhärtetem fettem Cement-Beton (*b* in Fig. 666) oder auch ohne weitere Vorfichtsmafsregeln unmittelbar gegen das Eifen der Träger (Fig. 665 rechts) gefetzt. Der fcharfe Blechrand frifft fich dann aber leicht ein, und es ift daher beffer, die Kämpferfläche erft mit fchwachem Blech zu belegen oder, wie bei *a* in Fig. 666, ein Kämpfer-⊔-Eifen am Blech zu befeftigen. Die Verankerung, welche hier wegen des meift geringen Gegenfchubes der unbelafteten Oeffnung gewöhnlich in allen Fachen anzubringen und in je zwei Nachbarfachen behufs Anbringens der Muttern an jedem Träger um ein Geringes wagrecht zu verfetzen ift (Fig. 666), liegt hier, wie bei Wölbungen, am gefchütztefien über dem Bogenfcheitel, kann jedoch auch unter das Blech gelegt werden, wenn diefes hinreichend hoch in den Trägern ruht. In den Wänden erhalten die Anker die gewöhnlichen Splinte oder Druckplatten.

Fig. 666.



Eine einfachere und wirkfame Verankerung ift auch hier durch über, bezw. unter die Träger gelegte Flacheifen mit Klammern nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) oder auch, bei ebener Deckenausbildung, durch nach Fig. 183 (S. 100) angebrachte *Monier*-Platten zu erzielen.

Um die Verankerung überhaupt zu vermeiden und fo die Herftellung wefentlich zu vereinfachen, verwende man Träger mit thunlichft grofser feitlicher Steifigkeit, z. B. den *Klette*'fchen (Fig. 665 rechts) oder einen aus *Lindfay*-Eifen [244]) zufammengefetzten.

Die Ueberfüllung befteht meift aus Sand; doch ift auch hier die Herftellung aus ganz magerem Mörtel empfehlenswerth, weil die dadurch erzielte Feftigkeit der Ueberfüllung in der unbelafteten Oeffnung dem Schube der belafteten erhöhten Widerftand leiftet, folglich die Verankerung zu verfchwächen, bezw. fehlen zu laffen geftattet.

Der Fufsboden ift in Fig. 666 als aus Ziegelflachfchicht mit Afphaltbelag beftehend dargeftellt; doch ift jede andere Art — Bretter auf Lagerhölzern — gleichfalls möglich. In Fig. 665 rechts ift der mit Dachpappe unterdeckte Holzfufsboden auf die in den *Klette*-Träger gelegten Lagerleiften genagelt.

Die Berechnung der gekrümmten Wellblechdecken hat auf Grund der in Art. 96 (S. 104) gemachten Angaben zu gefchehen [245]).

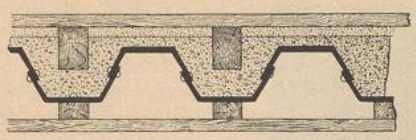
435. Decken aus *Lindfay*-Trögen.

Die Decke aus *Lindfay*-Trögen (Fig. 667 [246]) ift der geraden Wellblechdecke in jeder Beziehung nahe verwandt. Die einzelnen Tröge werden als Platten mit verftärktem Mitteltheile gewalzt, dann rund oder kantig in die Trogform gebogen und nach Fig. 667 vernietet. Bei runden Trögen entfteht fo eine Wellendecke mit Ver-

244) Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289. *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209.
245) Ueber Wellblech-Decken fiehe auch: Eifenb., Bd. 14, S. 46.
246) Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289. *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209. Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 389.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

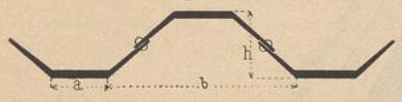
Fig. 667.



ſtärkungen in den Wellenſcheiteln. Der weſentlichſte Unterſchied gegenüber der Wellblechdecke iſt die beträchtlich gröſsere Tragfähigkeit, welche ſelbſt unter ſchweren Laſten bei Verwendung der ſtärkſten Querſchnitte dieſer Art die Anordnung von Spannweiten bis zu 12 m ohne zwiſchengelegte Unterzüge geſtattet.

Die Troghöhlungen werden mit Schlacken-Beton ausgeſtampft, in welchen man die Lager für hölzerne Fuſsböden einſtampft. Den Uebelſtand, daſs man für die Befeſtigung des Deckenputzes irgend welcher Art die Trogböden anbohren muſs, hat dieſe Decke mit der Wellblechdecke gemein.

Fig. 668.



Eine gute Eigenſchaft der Wellblech- und der Trogdecke iſt die gleichförmige Vertheilung der Laſt auf die ganze Länge der ſtützenden Mauern, welche die Schwierigkeiten der Auflageranordnung der nur an einzelnen Punkten Laſten abgebenden Balken und Träger beſeitigt.

Die Abmeſſungen der *Lindſay*-Tröge ergeben ſich mit Bezug auf Fig. 668 aus nachſtehender Tabelle:

Nr.	h	a	b	G für 1 qm Grundfläche	W für zwei vernietete Querſchnitte	Nr.	h	a	b	G für 1 qm Grundfläche	W für zwei vernietete Querſchnitte
D 1	305	229	584	234	1640	B 8	152	127	406	122	265
D 2	305	229	584	171	1535	B 9	152	127	406	107	235
D 3	305	229	584	136	1175	B 10	152	127	406	97	200
C 4	178	152	508	166	563	A 11	127	115	356	94	152
C 5	178	152	508	133	480	A 12	127	115	356	78	126
C 6	178	152	508	112	365	O 13	102	102	203	75,5	101
C 7	178	152	508	102	323	O 14	102	102	203	63	89
						O 15	102	102	203	53,5	70
	Millim.			Kilogr.	bezogen auf Centim.		Millim.			Kilogr.	bezogen auf Centim.

Auſser den eckigen Trögen in Fig. 667 u. 668 werden auch Halbwellen hergeſtellt[247]), welche, eben ſo wie die Tröge vernietet, einen Wellenquerſchnitt auf verſtärkten Scheiteln, ähnlich den Trägerwellblechen, liefern.

21. Kapitel.

Verſchiedene Decken-Conſtructionen.

Von Georg Barkhausen.

436. Ueberſicht.

An dieſer Stelle ſollen ſolche Deckenanordnungen über groſsen Räumen beſprochen werden, welche, obwohl keine für eigentliche Widerlagerwirkung hinreichend ſtarke Wände vorhanden ſind, doch ohne Einfügen von den Raum durchſchneidenden Zugankern die Herſtellung der Formen gröſserer gewölbter Decken geſtatten. Möglich

247) Vergl.: *Engineering*, Bd. 44 (1887), S. 209.

ift die fcheinbare Herftellung jeder Gewölbeform dadurch, dafs man zur Aufnahme der dem reinen Mauerwerke nicht zuzumuthenden Biegungsfpannungen befondere Conftructionstheile aus Eifen einfügt, nach unten aber mehr oder weniger eine reine Steinfläche zeigt. Die Eifenrippen werden dann durch Bemalen oder untergehängte Zinkgefimfe als Grate behandelt und gekennzeichnet oder durch Einputzen zum Verfchwinden gebracht.

Auf derartige Decken kommt in der Regel kein Fufsboden zu liegen. Soll indefs ein folcher über ihnen angeordnet werden, fo können die Eifenrippen zugleich deffen Träger fein, oder er erhält eine eigene Trag-Conftruction, welche unabhängig von der Decke ift.

Die Befprechung aller vorkommenden Formen derartiger Decken würde zu weit führen; es follen hier nur einige Beifpiele behandelt werden.

437. Grofse Tonnendecke.

Fig. 669 ftellt eine grofse Tonnendecke[248]) dar, welche von nach der Bogenlinie gekrümmten Gitterträgern und dazwifchen eingefetzten I-Längsträgern getragen wird.

Die Hauptträger find, um alle Schübe gegen die Wände zu befeitigen, an einem Ende beweglich auf Rollen, am andern feft gelagert. Am beweglichen Lager ift die Decke mit der Wand in keinerlei Verbindung, damit die Bewegungen des Eifens nicht die gegenfeitige Zerftörung der Theile

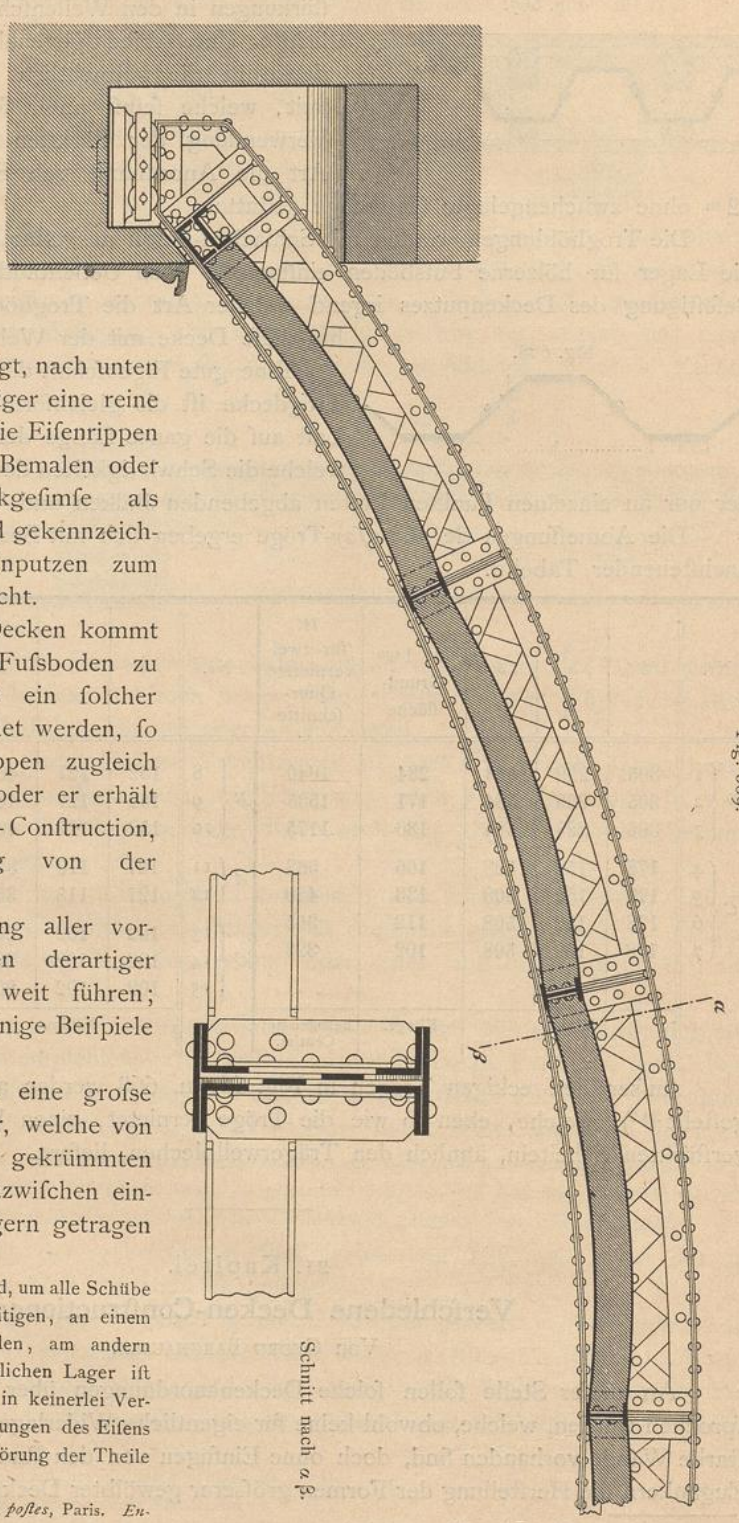


Fig. 669.

248) Vergl.: *Hôtel des poftes*, Paris. *Encyclopédie d'arch.* 1887, S. 83.

veranlaſſen. Die unvermeidliche offene Fuge zwiſchen Wand und Decke kann durch ein Kämpfergeſims verborgen werden. Die groſsen Querträger können zur Aufnahme der Laſten eines darüber liegenden Raumes oder auch des Dachſtuhles benutzt werden.

Die eigentliche Deckenfläche beſteht aus den inneren Laibungen von kleinen Tonnen, welche mit möglichſt geringem Pfeile aus thunlichſt leichtem Bauſtoffe (Lochſteinen, poröſen Steinen, Tuffſteinen, Aſchenſteinen, Schlackenbeton oder dergl.) eingewölbt ſind. In der Regel werden die ſchwachen Krümmungen der einzelnen kleinen Tonnen gegen diejenigen der groſsen Tonne in der Innenanſicht verſchwinden; will man jedoch eine völlig reine Kreiscylinderfläche als innere Laibung haben, ſo kann man den Pfeil der kleinen Tonnen gegen die Bogenlinie der groſsen, welcher nur wenige Centimeter beträgt, ganz mit Putz füllen, in welchem dann die untere Gurtung der Längsträger ganz verſchwindet, oder auch die kleinen Kappen mit dem Halbmeſſer der groſsen Bogen herſtellen, ſo daſs eine reine Tonnenfläche entſteht. Die Stärke der Kappen wird in derartigen Fällen nie über $^1/_2$ Stein zu ſteigen brauchen.

Die Schübe der Kappen heben ſich, da alle unbelaſtet ſind, nahezu völlig auf; doch iſt bei der Ermittelung der Einwirkung der Kappen auf die Träger auf die geneigte Lage der erſteren Rückſicht zu nehmen, da dieſe eine um ſo ſtärkere ſeitliche Beanſpruchung der Träger zur Folge hat, je näher letztere der Wand liegen. Die Träger ſelbſt ſind unter der excentriſchen Belaſtunng nach dem im Theil III, Band 1, Heft 1 (Art. 305, S. 206[249]) dieſes »Handbuches« und im vorliegenden Hefte (Art. 98, S. 109 oder Art. 101, S. 114) erläuterten Verfahren zu berechnen.

Ganz beſondere Aufmerkſamkeit verlangt der letzte Träger am Kämpfer der groſsen Tonne, da man die letzte Kappe hier aus den oben angegebenen Gründen noch weniger in die Wand ſetzen darf, als bei den Balkendecken mit eingewölbten Feldern. Dieſer letzte Träger iſt dem vollen, einſeitigen, ſchräg gerichteten Drucke der letzten Kappe ausgeſetzt, muſs alſo beſonders kräftig ſein, und wurde daher im vorliegenden Falle aus zwei mit der gegen Biegung widerſtandsfähigſten Abmeſſung annähernd in die Richtung des Kappendruckes geſtellten ⊔-Eiſen gebildet. Am feſten Lager des groſsen Querträgers erſcheint das unmittelbare Einſetzen der letzten Kappe in die Mauer eher zuläſſig.

Die Anſchlüſſe der Längsträger an die Hauptträger müſſen der auf erſtere übertragenen Kappenlaſt entſprechen und werden nach der Theilzeichnung in Fig. 669 ausgeführt, indem man den Längsträgern an den Enden die Flanſche nimmt. Iſt die Anordnung bei groſser Länge des ganzen Raumes Wärmewechſeln ausgeſetzt, ſo iſt es unzuläſſig, alle Längsträger feſt mit den Hauptträgern zu vernieten, da dieſe durch die Bewegungen der erſteren ſchief geſtellt werden würden. Es müſſen vielmehr die Anſchlüſſe der Längsträger zu beiden Seiten jedes zweiten Hauptträgers mittels Schraubenbolzen in länglichen Löchern erfolgen, damit hier die Längenverſchiebungen ausgeglichen werden können. An jedem Hauptträger einen Anſchluſs feſt, den anderen beweglich anzuordnen, iſt weniger empfehlenswerth. Die äuſseren Enden der letzten Längsträger können in die Giebelwände gelagert werden.

Für die Hauptträger derartiger Anordnungen eignet ſich, wegen vergleichsweiſe leichter Herſtellung der gekrümmten Form, der Gitterträger beſonders; das Krümmen von ſtarken Walzträgern macht gröſsere Schwierigkeiten. An den Enden bildet man die Wand aus einfachen oder hier doppelten vollen Blechen, um groſse Steifigkeit und Platz für den gewöhnlich unregelmäſsigen Anſchluſs des letzten Kappenträgers zu erzielen. Beide Trägerenden werden gleich geformt; das eine iſt dann auf einem feſten Lager, welches nach Theil III, Band 1, Heft 1 (Art. 319, unter γ u. Fig. 601 u. 602, S. 223 u. ff.[250]) zu geſtalten iſt, zu verdollen, das andere auf Rollen auf einer Grundplatte zu lagern; die Rollen verhindern durch vorſpringende Ränder Seitenverſchiebungen und werden durch auf kleine Stifte in den Rollenköpfen geſteckte Flacheiſen in feſtem Abſtande von einander gehalten. Der Durchmeſſer der ſtählernen abgedrehten Rollen beträgt 6 bis 10 cm; die Anzahl derſelben wird in den hier in Frage kommenden Fällen nicht über 3 betragen.

Bei der Berechnung des Hauptträgers iſt zu berückſichtigen, daſs in den Längsträgerknoten neben den lothrechten Laſten auch wagrechte Kräfte angreifen, welche — in ſymmetriſchen Knoten gleich groſs aber entgegengeſetzt gerichtet — zwar den Auflagerdrücken den gewöhnlichen Werth (gleich der halben Laſt) laſſen, auf das den Träger biegende Moment, namentlich im gefährdetſten Mittelquerſchnitte, aber vergröſsernd einwirken. In der Regel werden die Hauptträger nach der Mitte hin alſo einer erheblichen Verſtärkung durch Vermehrung der Kopf- und Fuſsplatten bedürfen.

438. Zeltkuppel mit Deckenlicht.

Ein zweites Beiſpiel einer derartigen ſcheinbaren Wölb-Conſtruction iſt die in Fig. 670 dargeſtellte Zeltkuppel oder das mehrſeitige Kloſtergewölbe mit Decken-

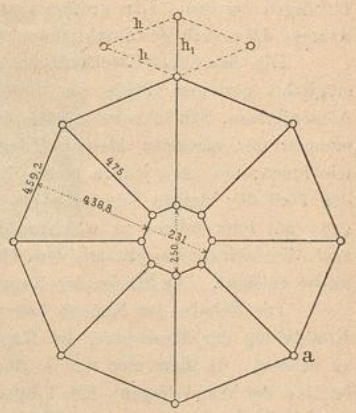
249) 2. Aufl.: Art. 312, S. 234.

250) 2. Aufl.: Art. 329, unter γ u. Fig. 618 u. 620, S. 256 u. ff.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

licht. Der zu überdeckende Raum ift regelmäfsig achteckig angenommen, die Abmeffungen, auch des Deckenlichtes, find in Fig. 670 eingetragen, wozu noch zu bemerken ift, dafs der Pfeil der Kuppel bis zum Deckenlichte 3,0 m betragen foll.

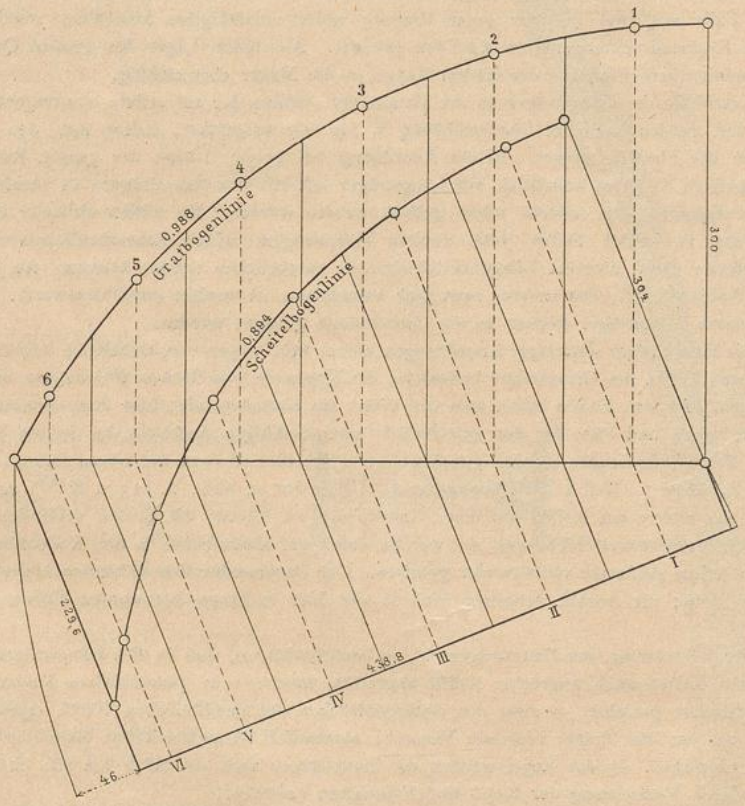
Fig. 670.



Das Gerippe befteht aus 8 nach dem Mittelpunkte gerichteten Rippen von I-Eifen, welche an den oberen und unteren Enden je durch einen Ring verbunden find. Die fo entftandenen, im Grundrifs trapezförmigen Felder follen durch flache Kappen aus leichtem Bauftoffe (1400 kg für 1 cbm) fo gefchloffen werden, dafs der Kappenpfeil am Kuppelkämpfer $^1/_{10}$ (= 46 cm) beträgt; an den übrigen Stellen foll die Kappenkrümmung in den zur Feldmittellinie winkelrechten lothrechten Ebenen überall denfelben Krümmungshalbmeffer haben.

Die vollftändige Berechnung diefes Beifpieles möge hier folgen. In Fig. 671 ift die Bogenlinie der Gratrippe über der Gratfeite des Feldes (Kreisbogen) und über der Mittellinie des Feldes die Bogenlinie des Kappenfcheitels aufgetragen, deren Ordinaten fich aus denjenigen der Gratbogenlinie und den zugehörigen Stichen der Kappe (nach Fig. 672 in doppeltem Mafsftabe gegen Fig. 671) zufammenfetzen.

Fig. 671.



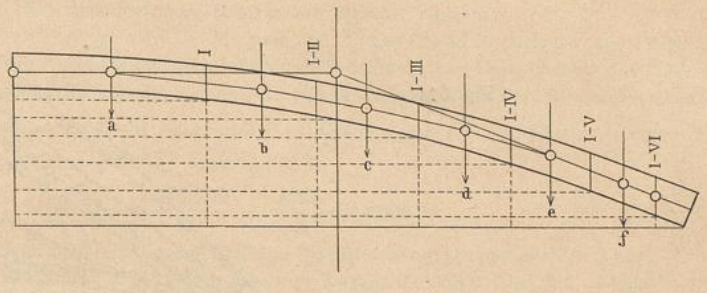
Bei der Berechnung der Kappen ift von dem Drucke abgefehen, welcher von den dem Kuppelfcheitel näher liegenden flacheren Theilen auf die fteileren am Kämpfer der Kuppel im Mauerwerke übertragen werden; es ift vielmehr angenommen, dafs die Kappen aus lauter durch lothrechte Ebenen begrenzten Theilen beftehen, welche ihre Laften und Schübe lediglich auf die Gratrippen übertragen, eine Annahme, wie fie bei Berechnung der Kreuzgewölbe ftets gemacht wird.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Es ift nun fowohl die Grat-, wie die Scheitelbogenlinie in 6 gleiche Theile getheilt, wodurch aus der Kappe 6 Ringe *1* bis *6* herausgefchnitten werden; es ift ferner die Kappenftirn im Kuppelkämpfer mit $^1/_{10}$ Pfeil in Fig. 672 aufgetragen, mit Angabe derjenigen Theillinien *I* bis *VI*, welche aus der gröfsten Kappenlänge am Kämpfer die kleineren der dem Scheitel näher liegenden Streifen heraustrennen. Die Gewichte find dann zuerft als *a* für den kleinften Streifen am Deckenlichte, dann fortfchreitend mit *b*, *c*, *d*, *e*, *f* für die Unterfchiede der auf einander folgenden Streifen ermittelt. Dabei ift für jeden Streifen unveränderlich diejenige (in Fig. 672 geftrichelte) Spannweite angefetzt, welche er in feiner Mitte wirklich befitzt.

Die Laften *a* bis *f* find in Fig. 673 durch die Hälften der fo entftandenen Kappentheile, im Bogen gemeffen, dargeftellt, und der diefer Auftragung entfprechende Kräftemafsftab ergiebt fich bei dem Längen-

Fig. 672.



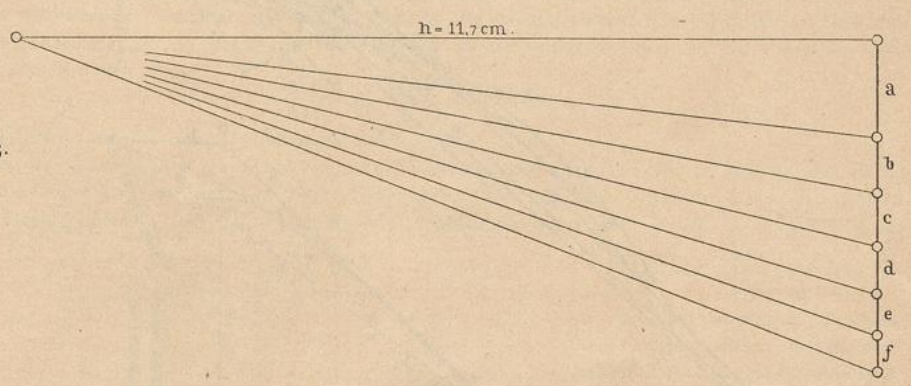


Fig. 673.

mafsftabe 1 : 25 von Fig. 672 wie folgt. Ein Streifen hat, in der Scheitelbogenlinie gemeffen, bei 12 cm Stärke 0,894 m Breite; 1 lauf. Meter des Streifens, im Kappenbogen gemeffen, wiegt fomit $0{,}12 \cdot 0{,}894 \cdot 1 \cdot 1400 = 150$ kg und ift in Fig. 673 durch $\frac{100}{25 \cdot 2} = 2$ cm dargeftellt; fomit ift der Mafsftab von Fig. 673: 1 cm = 75 kg. In Fig. 672 ift nun durch Einzeichnen der Mittel-Drucklinie der für alle Streifen gleiche Horizontalfchub $h = 11{,}7 \cdot 75 = 878$ kg ermittelt, welcher als Preffung im Kappenfcheitel $\frac{878}{12 \cdot 89{,}4} = 0{,}82$ kg liefert. Die Laft, welche der Streifen *I* auf die Kuppelrippe überträgt, ift *a*, die des Streifens *II* gleich $a + b$ u. f. w., fchliefslich die des Streifens *VI* gleich $a + b + c + d + e + f$. Da aber am Grate zwei Kappen zufammenftofsen, fo ift die ganze Laft z. B. in Knoten *6* des Grates gleich $2\,(a + b + c + d + e + f)$. Aufser diefer Laft wirkt auf jeden Gratknoten von jeder Seite, mit der entfprechenden Kuppelfeite gleich gerichtet, der Schub *h*, woraus fich ein in Fig. 670 in 1 cm = 800 kg ermittelter, in der Richtung des Halbmeffers nach aufsen wirkender Schub *h*, für jeden Gratknoten ergiebt. Die Angriffspunkte diefer Kräfte ergeben fich aus der Lage der in Fig. 672 eingetragenen Drucklinie, und zwar liegen fie in der Mitte der Kappendicke.

Diefe Laften und Schübe find nun in Fig. 675 in 1 cm = 750 kg zufammengetragen, indem die Länge *h*, aus Fig. 670 nach dem Verhältnifs von 800 : 750 vergröfsert benutzt wurde (gleich $^1/_{10}$ der dem Mafsftabe von Fig. 673 entfprechenden Länge), und die Auftragung der Laftenfummen, mit Rückficht auf die nothwendige Verdoppelung, durch Abgreifen von $^1/_5$ der in Fig. 673 zufammengefetzten Gewichte *a* bis *f* erfolgte. In Fig. 674 wurde die zunächft 14 cm hoch angenommene Gratrippe aufgetragen unter Uebernahme der 6 Kraftangriffspunkte aus Fig. 671 u. 672; auch wurden die Richtungen der 6 angreifenden Gefammtkräfte *1* bis *6* durch diefe Punkte gehend eingezeichnet. Zu diefen Kräften tritt dann noch die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

im Scheitel des Grates angreifende Laft der Deckenlicht-Conftruction, welche fchätzungsweife mit 50 kg für jeden Knoten feft geftellt und mit *o* bezeichnet wurde. Weiter ift nun mit Hilfe des Kräftezuges *o* bis *6* und des beliebigen Poles *O*, ein (punktirtes) Seilpolygon zur Beftimmung der Mittelkraft *R* (- - - - - - -) aus den Kräften *o* bis *6* in Fig. 674 eingezeichnet und dann in bekannter Weife eine wagrechte Kraft *H* im Scheitel (hier Zug, nicht Druck) fo beftimmt, dafs die Mittelkraft *R*, aus *H* und *R* durch den Kämpfer-

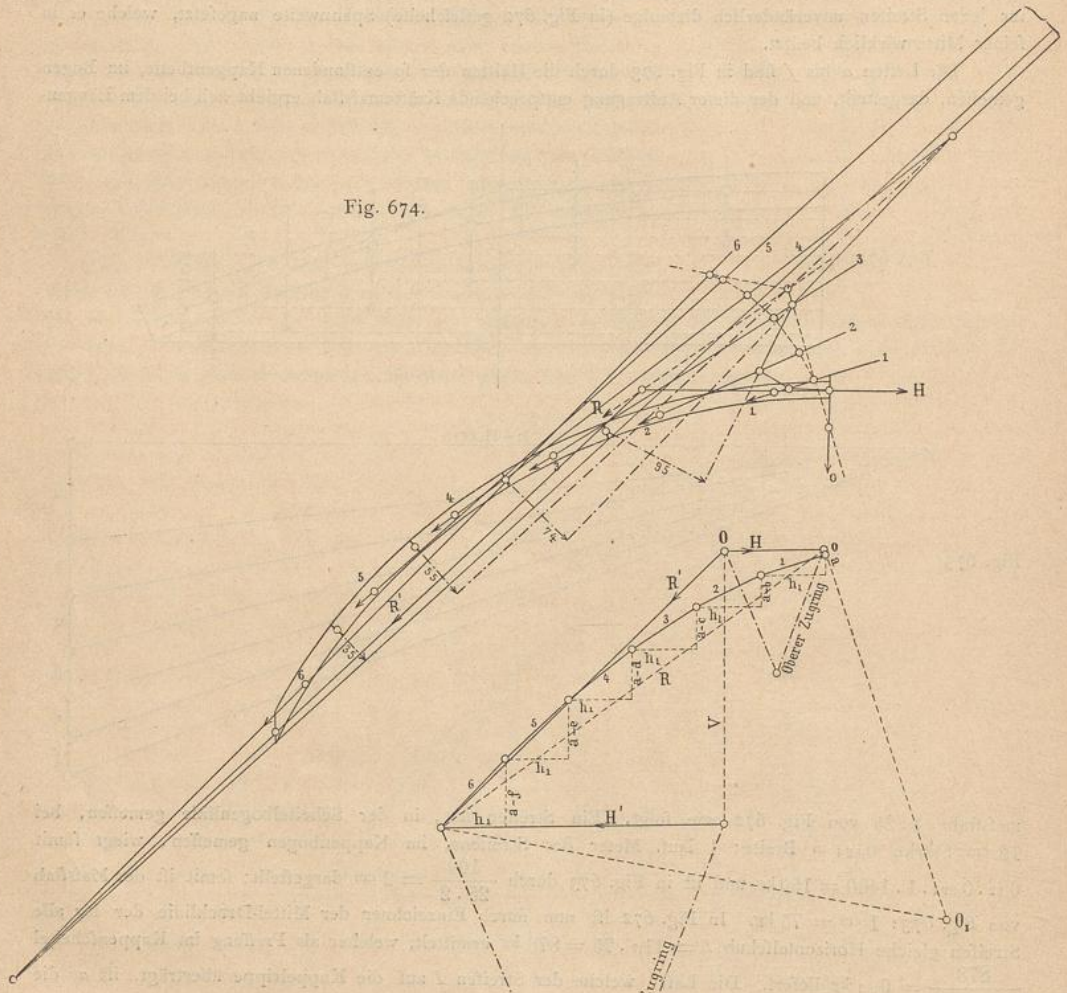


Fig. 674.

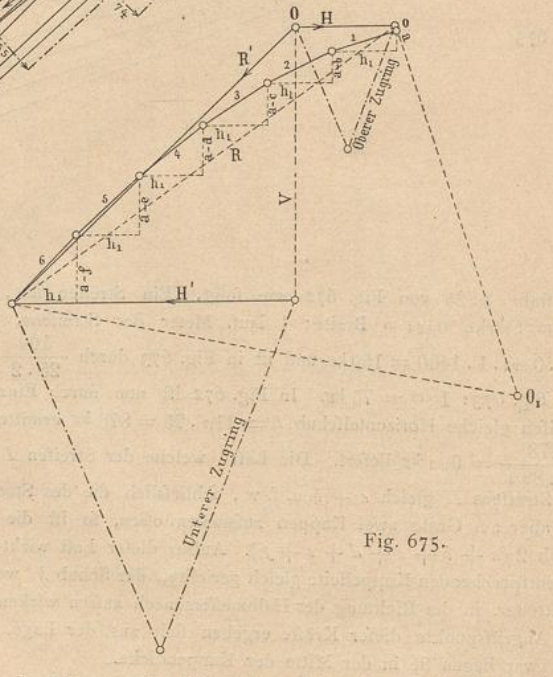


Fig. 675.

punkt der Gratrippe geht. Es bleibt dann im Kämpfer der Rippe die nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft *H'* neben dem lothrechten Auflagerdrucke *V* übrig, welcher gleich der Summe der lothrechten Seitenkräfte der Kräfte *o* bis *6* ift.

Der wagrechte Zug *H*, fo wie der Schub *H*, müffen durch die die Gratrippen an den Enden verbindenden Zugringe aufgehoben werden, welche alfo die in Fig. 675 mit —·—·— Linien angedeuteten Spannungen: unten $5{,}2 \cdot 750 = 3900$ kg, oben $1{,}84 \cdot 750 = 1380$ kg erhalten. Der untere Ring foll daher aus Rundeifen von 2,5 cm Bruttodurchmeffer gebildet werden; der obere könnte noch fchwächer fein,

wird aber aus einem leichten ⊏-Eisen (Nr. 8) hergestellt, da er die Last des Deckenlichtes auf die Knoten zu übertragen hat und den nöthigen Körper für das Anbringen von Zinkgesimsen bieten muss, welche den Uebergang aus der Fläche der Zeltkuppel zum Deckenlichte geben.

Die Kräfte, welche auf die mitten zwischen den Kraftknoten liegenden ungünstigsten Querschnitte der Gratrippe einwirken, haben sich bei der Bestimmung von H durch Einzeichnen der (eine ungewöhnliche Gestalt annehmenden) durch den Gratkämpfer gehenden Drucklinie des Poles O (Fig. 675) zwischen die Richtungen der Kräfte o, H und 1 bis 6 der Lage nach in Fig. 674 und der Grösse nach in Fig. 675 ergeben. Sie beanspruchen die Querschnitte auf Biegung mit den für die 4 gefährdetsten Querschnitte in Fig. 675 eingetragenen Hebeln, dann mit der zum Querschnitte winkelrechten Seitenkraft auf Druck, bezw. in der Nähe des Scheitels auf Zug, und mit der zum Querschnitte gleich gerichteten Seitenkraft auf Abscheerung; die letzte Beanspruchung kann ausser Betracht bleiben.

Für den zwischen 5 und 6 liegenden Querschnitt beträgt die wirkende Kraft $4{,}16 \cdot 750 = 3120$ kg, der Hebel 35 cm, die winkelrechte Seitenkraft (nicht eingetragen) $4{,}13 \cdot 750 = 3090$ kg und die gleich gerichtete Seitenkraft $0{,}56 \cdot 750 = 420$ kg; sonach wird das Biegungsmoment $3120 \cdot 35 = 109\,200$ cmkg. Wird Normal-Profil Nr. 16 mit $F = 23$ qcm, $\frac{\mathcal{J}}{e} = 118$ (auf Centim. bezogen) verwendet, so ist die grösste Druckspannung in der untersten Faser

$$\frac{109\,200}{118} + \frac{3070}{23} = 1060 \text{ kg},$$

was bei der völlig ruhenden Belastung eine mässige Beanspruchung genannt werden kann.

Für den Querschnitt zwischen 4 und 5 beträgt die Kraft $2{,}96 \cdot 750 = 2220$ kg, der Hebel 55 cm, die winkelrechte Seitenkraft $2{,}96 \cdot 750 = 2220$ kg, die gleich gerichtete Seitenkraft nahezu Null und das Biegungsmoment $2220 \cdot 55 = 122\,100$ cmkg; folglich ist der grösseste Druck in der Unterkante des Normal-Profils Nr. 16

$$\frac{122\,100}{118} + \frac{2220}{23} = 1132 \text{ kg},$$

was mit Rücksicht auf die ruhende Last noch zulässig ist.

Für den Querschnitt zwischen 3 und 4 beträgt die Kraft $1{,}84 \cdot 750 = 1380$ kg, der Hebel 74 cm, die winkelrechte Seitenkraft $1{,}76 \cdot 750 = 1320$ kg, die gleich gerichtete Seitenkraft $0{,}48 \cdot 750 = 360$ kg und das Biegungsmoment $1380 \cdot 74 = 102\,120$ cmkg; folglich ist der grösste Druck in der Unterkante:

$$\frac{102\,120}{118} + \frac{1320}{23} = 922 \text{ kg}.$$

Von hier an werden die Querschnitte wieder sicherer, und das Normal-Profil Nr. 16 genügt demnach.

Bei der Berechnung ist nicht berücksichtigt, dass die Hebel entsprechend 14 cm Trägerhöhe abgegriffen sind, letztere nun aber 16 cm hoch ausfällt. Der entstandene Fehler ist in dem gewählten Massstabe nicht nachzuweisen.

Die Ausführung der in solcher Weise ihren Abmessungen nach fest gelegten Construction ist bezüglich der wichtigsten Knoten in Fig. 676 bis 680 dargestellt. Fig. 676 bis 678 zeigen die Verbindung der Gratrippe mit dem unteren Zugringe und ihre Auflagerung. Die lothrecht abgeschnittene Rippe setzt sich in ein nach dem Winkel des Achteckes gebogenes (in Fig. 678 abgewickeltes) Knotenblech von 1 cm Dicke und wird durch zwei gebogene Laschenbleche mit ihm verbunden. Unten trägt das Knotenblech zwei Winkel-

Fig. 676.

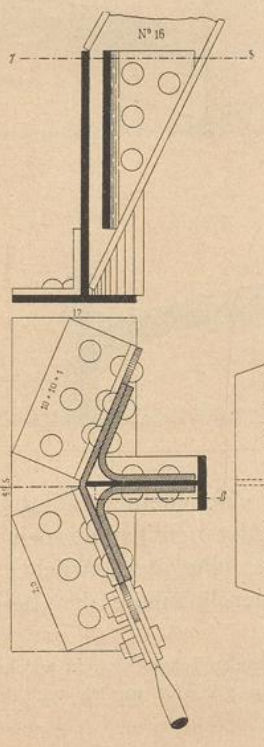


Fig. 677.

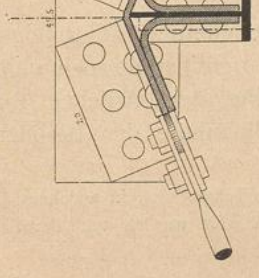
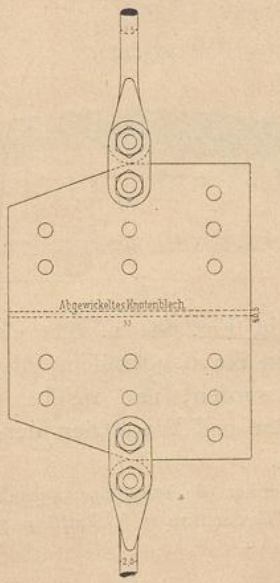


Fig. 678.



abſchnitte und mittels dieſer an unten verſenkten Nieten eine Bodenplatte, welche groſs genug ſein muſs, um den nach Fig. 675: $V = 3{,}76 \cdot 750 = 2820\,\text{kg}$ betragenden Auflagerdruck gehörig auf das darunter liegende Mauerwerk zu vertheilen. In den Mitten der Seitenkanten des Bleches greifen die beiden Zweige des Zugringes aus Rundeiſen mittels flach ausgeſchmiedeter Augen und doppelter Laſchung (ſiehe Theil III, Band 1, Heft 1 dieſes »Handbuches«, 2. Aufl., Art. 232, S. 169) an. Um den Ring von vornherein in Spannung bringen zu können, kann in jeden Zweig ein Schloſs (ſiehe ebendaſ., Art. 234, S. 163 [251]) eingelegt werden, was bei guter Arbeit jedoch unnöthig iſt.

Fig. 679.

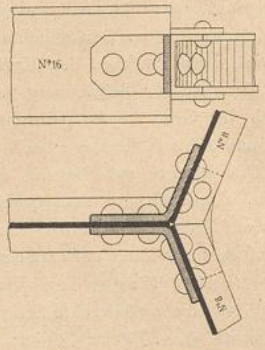
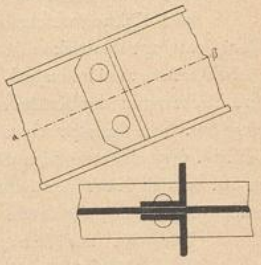


Fig. 680.



Der Knoten am Deckenlichtringe wird durch Fig. 679 dargeſtellt. Die beiden Ringſeiten aus [-Eiſen Nr. 8 ſind zunächſt durch zwei auf- und untergelegte Laſchenbleche unter ſich und dann mittels zweier gebogener Blechſtreifen beiderſeitig mit dem oberen Rippenende verbunden. Der obere Flanſch des [-Eiſens dient zur Auflagerung der Deckenlichtſproſſen, welche nicht mit gezeichnet ſind, und der ſo entſtehende Höhenunterſchied zwiſchen Unterkante des Laternenringes und Deckenlicht kann zur Ausbildung eines Geſimſes benutzt werden.

An jedem der 6 angenommenen Rippenknoten muſs noch dafür geſorgt werden, daſs die nicht winkelrecht zur Gratrippe gerichteten Kämpferdrücke der Kappen von der Rippe ſicher aufgenommen werden und nicht das Abgleiten der Kappen auf den Rippen nach aufsen, bezw. nach unten zur Folge haben. Es ſind daher in jedem Rippenknoten zwei Winkelabſchnitte an den Steg genietet, deren abſtehende Schenkel in das Kappenmauerwerk greifen und ſo jede Bewegung verhindern (Fig. 680).

Fig. 681.

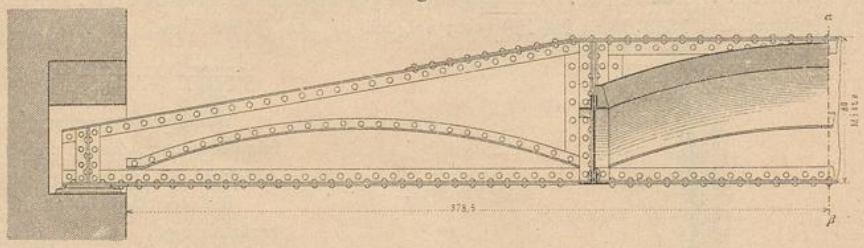
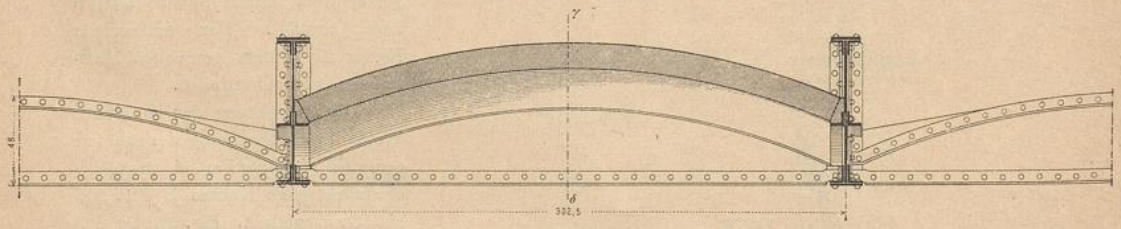


Fig. 682.



439. Eiſerne Caſſettendecke.

Als drittes Beiſpiel iſt in Fig. 681 u. 682 eine eiſerne Caſſettendecke aufgetragen, deren Caſſettenböden durch böhmiſche oder richtiger doppelt gekrümmte preuſsiſche Kappen gebildet werden, und welche über den zwiſchen ſteinernen Viaducten liegenden Flurgängen und Warteſälen der Bahnhöfe der Berliner Stadtbahn mehrfach angewendet iſt.

Die Decke beſteht aus einem ſtarken, die Bahnſteige tragenden Trägerroſte, in welchem die trapezförmigen Hauptträger (Fig. 681) von Viaductſtirn zu Viaductſtirn geſtreckt wurden und der Schluſs der

[251]) 2. Aufl.: Art. 239, S. 176.

nicht ganz quadratiſchen Felder dann durch kleine zwiſchen die Hauptträger eingenietete, gleichfalls trapezförmige Längsträger (Fig. 682) erfolgte. An die Trägerwände, welche die Maſchen dieſes Roſtes umſchlieſsen, ſind nach gleichen Halbmeſſern gekrümmte Winkeleiſen zur Aufnahme der Kämpfer der Kappenwölbungen angenietet, von denen die an den kleinen Längsträgern befeſtigten zugleich die obere Gurtung der letzteren bilden; es entſteht ſo der aus Fig. 681 erſichtliche verkehrt I-förmige Querſchnitt.

Da die Felder im Grundriſs rechteckig, alle Kämpferwinkel aber nach demſelben Halbmeſſer gekrümmt ſind, ſo können die Kappen ſtreng genommen keine böhmiſchen genannt werden; ſie entſtehen, wenn man den kleineren an den Hauptträgern liegenden Schildbogen auf den gröſseren an den Längsträgern in ſtets lothrechter Stellung gleiten läſſt. Uebrigens ſind in dieſem Falle die Uebermauerungen der Kappen zum Tragen der Bahnſteige mit ausgenutzt, ſo daſs die Kappen die Laſten auf die Träger übertragen. Dabei gleichen ſich die Kappenſchübe für die Träger aus, und die letzten Kappen finden ihre Kämpfer in den zur Aufnahme der Schübe ausreichend ſtarken Viaductſtirnen zwiſchen den verdeckten Lagern der Hauptträger. Die letzten Kappen hier unmittelbar gegen die Viaductſtirnen zu ſetzen, erſchien unbedenklich, weil einerſeits erhebliche Wärmeſchwankungen in den Räumen nicht vorkommen, andererſeits die Bewegungen der nur kurzen Hauptträger auch nur unerhebliche ſein würden.

Berichtigungen.

S. 94, Zeile 5 v. u.: Statt »1 qcm« zu leſen: »1 qm«.
S. 274, » 13 v. o.: Statt »Zugankern« zu leſen »Zuganker«.
S. 275, » 10 v. o.: Statt »Gleichung« zu leſen »Gleichung 199«.
S. 279, » 12 v. o. } : Statt »o_2, bezw. 2_4« zu leſen »k_i, bezw. i_l«.
S. 280, » 10 v. u. }
S. 288, » 17 v. o.: Statt »geordneten» zu leſen »geordneter«.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN