



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Balkendecken

Barkhausen, Georg

Stuttgart, 1895

2) Stärke der cylindrischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager

[urn:nbn:de:hbz:466:1-77494](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-77494)

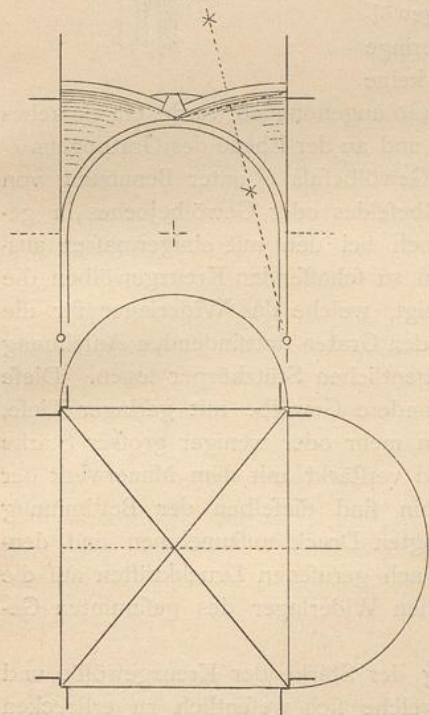
Kegelflächen leicht zu bestimmen. Bei der Gleichheit dieser Kegelflächen ist $ag = av$. Noch sei bemerkt, daß auch $fn = fk$ ist. Die Scheitellinien der Wölbflächen sind offenbar Theile höchster Seitenlinien der Kegelflächen, und danach ist die Stechungshöhe ue auch ohne Weiteres mittels der äußeren 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 Gefagte in Anwendung zu bringen, so daß besondere Erörterungen hierzu nicht nöthig werden.

Den Gegensatz zu den Kreuzgewölben mit Stechung, bezw. mit wagrecht liegenden Scheitellinien bilden die Kreuzgewölbe mit gefencktem Scheitelpunkte. Dieser Punkt

245.
Kreuzgewölbe
mit gefencktem
Scheitel.

Fig. 439.



liegt alsdann entweder tiefer als die Scheitelpunkte sämtlicher 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 Ausmittlung dieser Flächen kann entsprechend den in Art. 236 (S. 345), bezw. Art. 240 (S. 353) Gefagten erfolgen. Im Allgemeinen ist die Anordnung von cylindrischen Kreuzgewölben mit gefencktem Scheitel von weniger günstigem Eindrücke begleitet, als diejenige, wobei den Gewölbkappen eine entsprechende Stechung gegeben ist.

2) Stärke der cylindrischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

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 nach gerufenen Kräfte auf den in der Kämpferebene gelegenen Fuß der Gewölbkappen übertragen. Da für

246.
Grundlagen.

die zusammengefügte 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 Gratabogen, 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.

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 Gratabogens *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 nach gerufenen Druckkräften auf die vorhin bezeichneten Stützkörper oder eigentlichen Widerlager des gefamten Gewölbsystems zu übertragen.

Aus diesen Gründen sind zur Ermittlung der Stärke der Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager Untersuchungen anzustellen, welche sich wesentlich zu erstrecken haben auf die Stabilität:

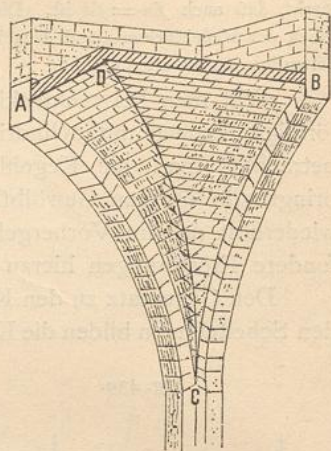
- α) der Gewölbkappen,
- β) der Gratabogen und
- γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

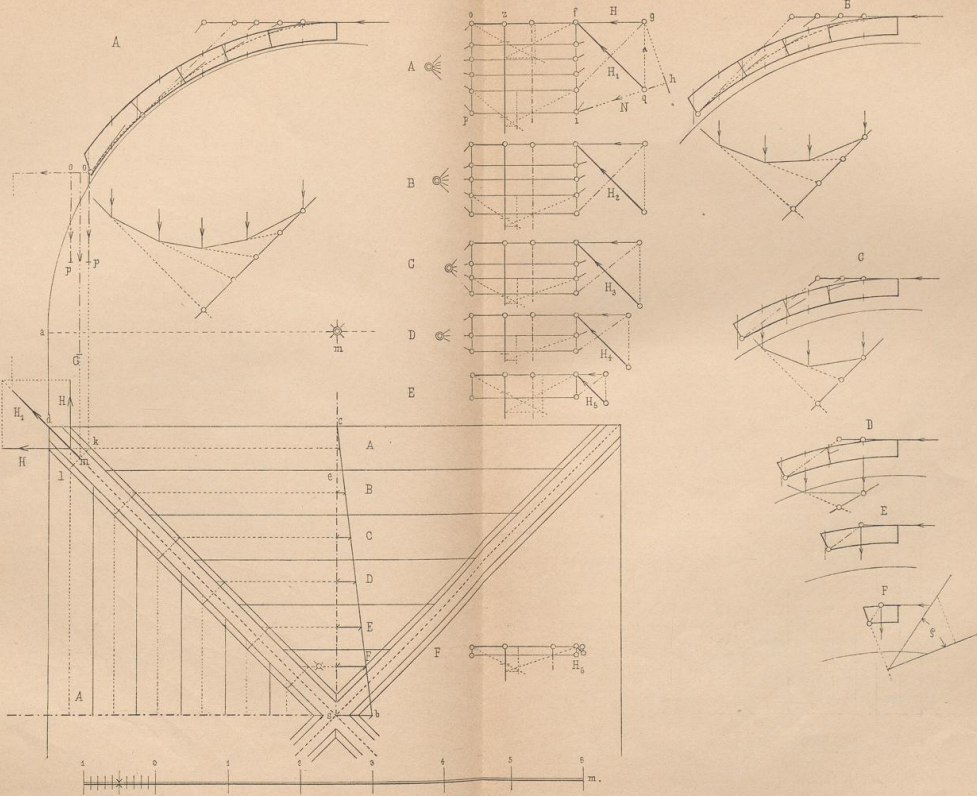
Hierzu kommt noch bei der besonderen Einwölbungsart der cylindrischen Kreuzgewölbe auf Schwalbenschwanz-Verband die Untersuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einschließlic ihrer Belastung, durch lothrechte und parallel zu ihrer Stirnmauer gestellte Ebenen in einzelne schmale Elementarstreifen. Dieselben bilden kleine

Fig. 440.





Stabilitäts-Untersuchung eines cylindrischen Kreuzgewölbes über quadratischem Grundriss.

Handbuch der Architektur. III. 2. c.

Tonnengewölbe, die ihr Widerlager an den Gratabogen 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, einschliesslich 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 einhäufiges Gewölbe, dessen Stabilität nach dem in Art. 146 (S. 208) Gefagten geprüft werden kann.

Die besondere Untersuchung der Gewölbkappen soll nach diesen allgemeinen Grundlagen an einzelnen Beispielen gezeigt werden.

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 Gratabogen *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 . . . F* der einzelnen Kappen mögen eine sonst beliebig genommene Breite besitzen; hier ist denselben eine gleiche Breite *ce* gegeben.

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 Ausmittlung 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

$$V = b \cdot h \cdot 1 \text{ Cub.-Met.} \dots\dots\dots 226.$$

Soll dieser Werth von *V* dargestellt werden durch die Mafszahl einer Linie *x*, multiplicirt mit einer beliebig gewählten Mafszahl *B* (Basiszahl, bezw. Basis) einer anderen Linie, so muss

$$b \cdot h \cdot 1 = Bx, \dots\dots\dots 227.$$

oder

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{B} \dots\dots\dots 228.$$

fein. 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

$$v = b h d \text{ Cub.-Met.} \dots\dots\dots 229.$$

Soll nunmehr dieser Werth durch die Mafszahl einer Linie *w*, multiplicirt mit der fest gesetzten Basiszahl *B*, dargestellt werden, so ist

$$v = b h d = Bw \dots\dots\dots 230.$$

zu setzen. Da aber nach Gleichung 227: $b h = \frac{Bx}{1}$ ist, so wird auch

$$\frac{Bx}{1} d = Bw, \dots\dots\dots 231.$$

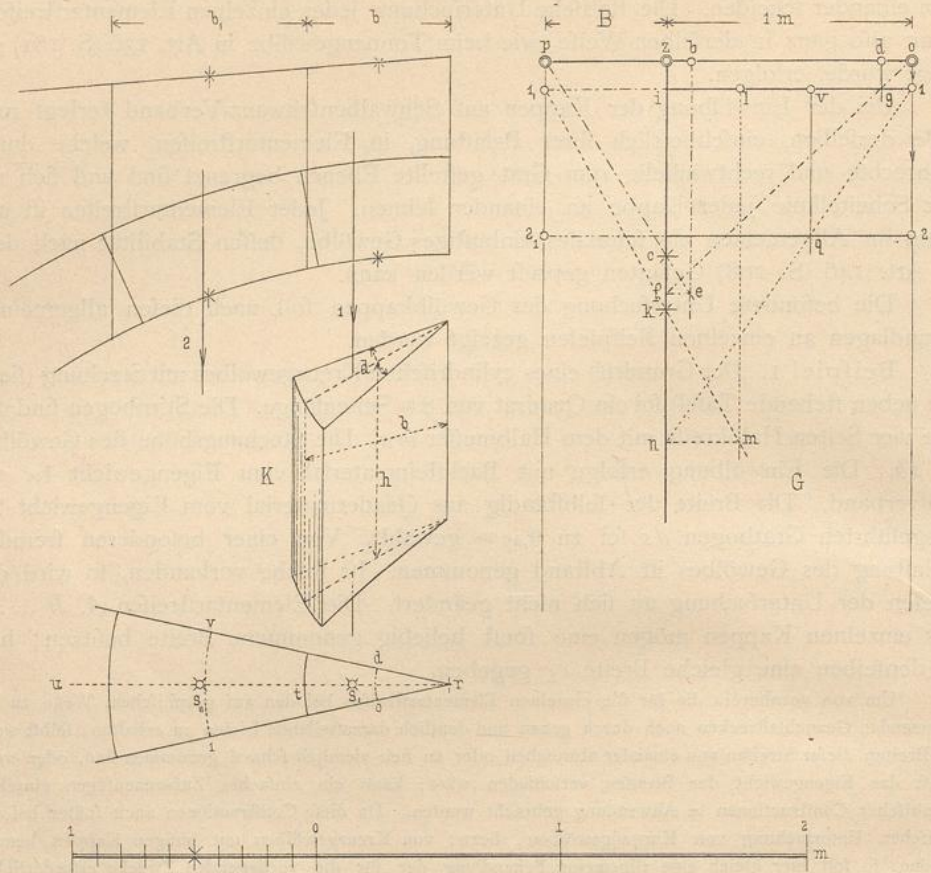
woraus

$$\frac{x}{1} = \frac{w}{d} \dots\dots\dots 232.$$

248.
Beispiel
1.

249.
Rauminhalt
prismatischer
Körper.

Fig. 441.



folgt. Sobald x gezeichnet ist, kann hiernach w gleichfalls durch Zeichnung gefunden werden. Beachtet man, das, je kleiner die Basis B genommen wird, die Länge x und danach auch die Länge w desto gröfser erhalten wird, so kann in jedem Falle ein entsprechend deutlicher Plan für jene Linienwerthe angefertigt werden. Ist weiter γ Tonnen das Gewicht von 1 Cub.-Met. des betrachteten Körpers, dessen Inhalt durch Bw ausgedrückt wird, so ist sein Gewicht

$$G = Bw\gamma \text{ Tonnen} \dots \dots \dots 233.$$

In der Zeichnung ist die Basis $B = pz = 0,5 \text{ m}$. Die Strecke so ist 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 , schneidet 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 derselbe gehörig verlängert die durch b geführte Lothrechte in e schneidet, so ist 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, so erhält man nach Führung des Strahles of sofort auf dieser Lothrechten den Schnitt g und in der Strecke dg den Linienwerth w . Denn es ist

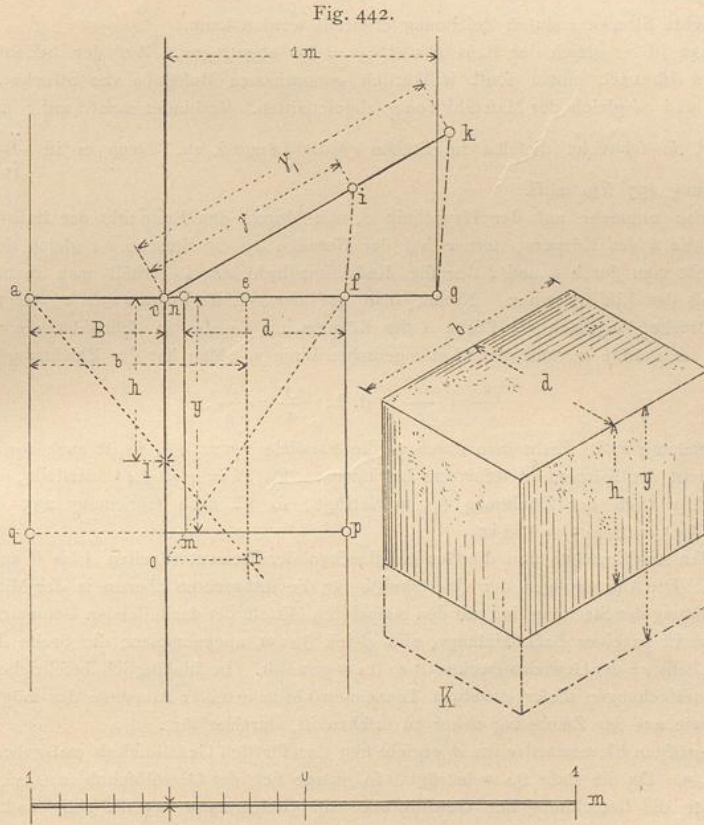
$$\frac{zf}{1} = \frac{dg}{od}, \text{ d. h. } \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

entsprechend der Gleichung 232. Zieht man durch g die Parallele rr' zu po , so ist auch $or = pr' = w$.

Fährt man unter Benutzung der Linie rr' , in gleicher Weise, wie aus der Zeichnung ersichtlich, zur Bestimmung des Linienwerthes $w = vq = r2 = r,2$, für einen zweiten Körper fort, so erhält man die Aneinanderreihung der für den Inhalt der Körper maßgebenden Strecken.

Nach der Zeichnung ist $o r = w = 0,11$ m. Da $B = 0,5$ m, so ist nach Gleichung 230 $v = 0,5 \cdot 0,11 = 0,055$ cbm. Wiegt 1 cbm 1,6 t, so ist nach Gleichung 233: $G = 0,055 \cdot 1,6 = 0,088$ 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 zusammengefügtter Körper, welche verschiedene Eigengewichte besitzen, in einem Gewichtsplane zusammenzutragen, so sind die einzelnen Gewichtstrecken auf ein und dasselbe Eigengewicht, welches irgend einem einzigen gewählten Körper angehört, zurückzuführen. Dann kann die Bestimmung der Gewichtstrecken nach Fig. 442 in folgender Weise geschehen.



Der Körper K , dessen Inhalt $V = bhd$ Cub.-Met. ist, besitze ein Gewicht γ , Tonnen für 1 cbm. Alsdann ist das Gewicht desselben

$$G = bhd\gamma, \text{ Tonnen} \dots \dots \dots 234.$$

Ist nun das zu Grunde zu legende Gewicht, welches für alle Körper bei der Ermittlung der Gewichtstrecken eingeführt werden soll, gleich γ Tonnen für 1 cbm, ist ferner der gefuchte 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 By ausgedrückt erscheint, so ist sein Gewicht G , zu berechnen als

$$G = By\gamma \text{ Tonnen} \dots \dots \dots 235.$$

Soll nun G , dieselbe Größe wie G darstellen, so muß nach den Gleichungen 234 u. 235

$$bhd\gamma = By\gamma$$

werden. Da nach Gleichung 227: $bh = Bx$ zu setzen ist, so folgt auch $Bxd\gamma = By\gamma$ oder

$$xd\gamma = y\gamma.$$

Hieraus entspringt der Ausdruck

$$\frac{xd}{y} = \frac{\gamma}{\gamma} \dots \dots \dots 236.$$

Setzt man $\frac{\gamma}{\gamma'} = \lambda$, d. h. auch

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{\lambda}{1}, \dots \dots \dots 237.$$

so läßt sich λ construiren.

Nachdem λ bestimmt ist, ergibt sich nach Gleichung 236: $\frac{x d}{y} = \lambda$ nunmehr der Ausdruck

$$\frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda}, \dots \dots \dots 238.$$

wonach die gefuchte 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 Maßstabe die Strecke ck gleich der Maßzahl von γ , und ci gleich der Maßzahl von γ' abgefehnitten. 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 $\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{cf}{1} = \frac{\lambda}{1}$, wie nach Gleichung 237 sein muß.

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 fog. 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 fodann 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 gefuchte Linie y . Man hat der Zeichnung gemäß

$$\frac{y}{d} = \frac{co}{cf}, \text{ d. h. } \frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda},$$

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 $G = 0,5 \cdot 0,86 \cdot 1,6$ 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 Gewölbchubes, wie aus der Zeichnung näher zu ersehen ist, durchgeführt.

Für den größten Elementarstreifen A ergibt sich der für den Gewölbchub maßgebende Werth der Linie gf zu $0,95$ m. Da die Basis $0,5$ m beträgt, so würde sich der Gewölbchub zu $0,95 \cdot 0,5 = 0,475$ 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, daß 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 Gewölbchub ergeben zu

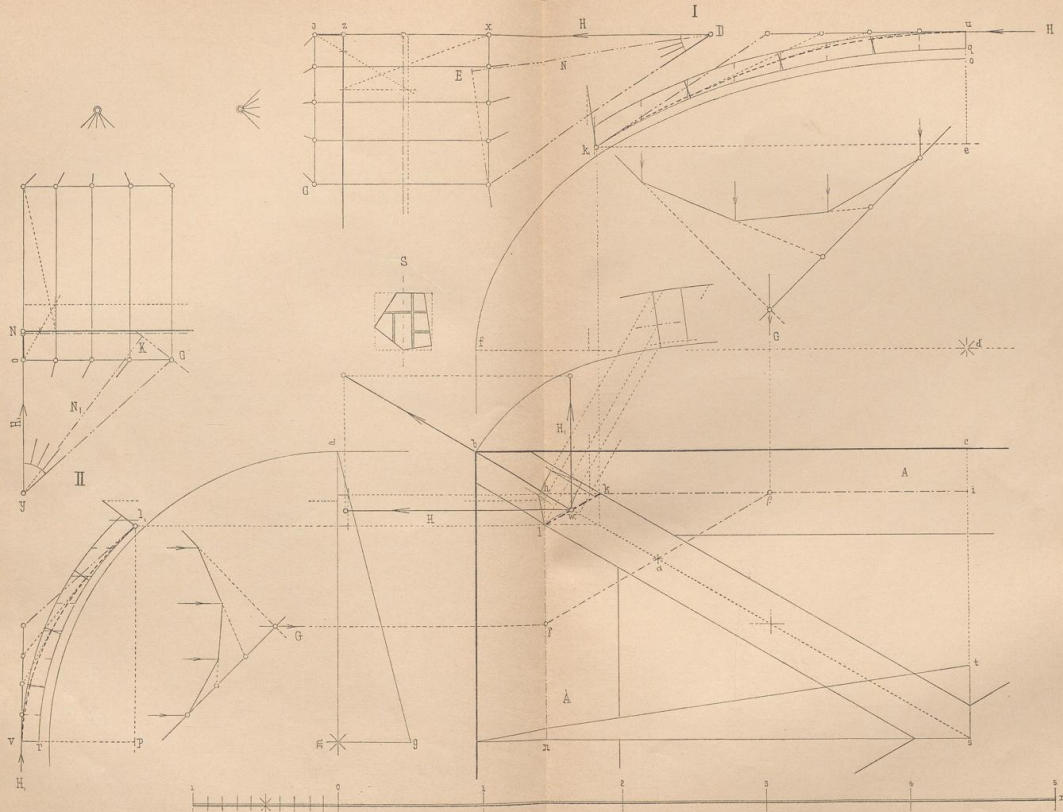
$$H = \frac{1}{0,6} \cdot 0,475 = 0,79 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert dieser Gewölbchub 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

$$N = \frac{1}{0,6} \cdot 1,4 \cdot 0,5 = 1,16 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

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 Gewölbchuben unterliegen, die Prüfung der sämtlichen 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 Gewölbchübe auf den Grat aus-



Stabilitäts-Untersuchung eines cylindrischen Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundriß.

Handbuch der Architektur. III. s. c.

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 gi des Gewichtplanes A . Die Angriffspunkte k und l derselben liegen am Grat in einer wagrechten Linie kl . Zerlegt man die in k und l angreifenden Gewölbschübe gi in ihren lothrechten Kräfteebenen je in eine wagrechte Seitenkraft $H = gf = gg$ und in eine lothrechte Seitenkraft $fi = op$, so lassen sich zunächst H und H zu einer wagrechten Mittelkraft H , zusammensetzen, welche nunmehr in der lothrechten Mittelebene ds des Gratabogens liegt und deren Angriffspunkt nach m in der wagrechten Linie kl zu legen ist. Dieses Zusammensetzen der Kräfte H ist im Gewichtplane durch das Kräftedreieck ggf vorgenommen. Sodann lassen sich auch die lothrechten in k und l wirkenden Kräfte op zu einer einzigen Mittelkraft G , hier gleich $2op$, zusammensetzen, deren Richtung gleichfalls durch m geht, so dass nunmehr der Gratabogen außer 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 Gratabogen in Rechnung tretenden Kräfte aufzufinden. Von diesen Kräften wird bei der Bestimmung der Stärke der Gratabogen unter β Gebrauch gemacht werden.

Beispiel 2. Der Grundriß 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 ma ; diejenigen der langen Seite hingegen, da sämtliche Randbogen eine gleich große Pfeilhöhe erhalten sollen, sind Halbellipsen mit der halben großen Axe bc , bezw. fd und der halben kleinen Axe $de = ma$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ist $mg = sl = 0,5$ m. Die Einwölbung soll auf Kufverband mit Backsteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 erfolgen. Die Grate sind gleichfalls aus Backstein von $1\frac{1}{2}$ Stein Breite und $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe mit entsprechenden Widerlagsflächen für die Gewölbkappen herzurichten.

251.
Beispiel
2.

Da es für die Bestimmung der Gewölbstärke ausreichend ist, die am weitesten gespannten Elementarstreifen von je zwei an einem Gratabogen zusammentretenden Kappen statisch zu untersuchen, so sind hier die beiden Elementarstreifen A und A , 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 bs 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 Verhältniß der Breite b des schmalen Streifens A zur Breite B des anliegenden Streifens A , stets durch

$$\frac{b}{B} = \frac{cs}{bc} \dots \dots \dots 239.$$

auszudrücken ist. Auch für die Weite der Elementarstreifen ergibt sich ein Zusammenhang, indem aus leicht ersichtlichen Gründen

$$\frac{ki}{ln} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 240.$$

wird. Da nun außerdem vermöge der Gestaltung der Laibungsflächen der cylindrischen Kappen auch beim Vorhandensein einer Stechung die Anschlußpunkte k , bezw. l , der mittleren Wöblinien solcher Streifen A und A , an der Widerlagsfläche am Grat eine gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhalten, so ist die gerade Verbindungslinie dieser Punkte, deren wagrechte Projection kl ist, auch eine wagrechte Linie. Ferner ist zu beachten, dass die Pfeilhöhen oq und pr in Folge der regelrechten Ausmittelung der mittleren Wöblinie der Streifen A und A , 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 $ou = pv$, 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, dass, wenn F die Größe der mittleren Schnittfläche des längeren Streifens A und f diejenige der mittleren Schnittfläche des kürzeren Streifens A , ist, auch in Abhängigkeit von der Gestaltung des Gewölbes

$$\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 241.$$

wird. Bei gleicher Stärke d der Elementarstreifen 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 ist

$$\frac{V}{V_1} = \frac{bF}{Bf},$$

d. h. unter Anwendung der Gleichungen 239 u. 241

$$\frac{V}{V_1} = \frac{cs}{bc} \cdot \frac{bc}{cs} = 1$$

oder

$$V = V_1 \dots \dots \dots 242.$$

Demnach sind bei gleichem Wölbmaterial auch die Gewichte G der beiden Gewölbstreifen A und A_1 einander gleich. Hieran würde auch nichts geändert, wenn beide Gewölbstreifen A und A_1 eine das Verhältniß $\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs}$ nicht umgestaltende fremde Belastung über dem Rücken aufzunehmen hätten. Das

Gewicht G wirkt im Abstände βk vom Widerlagspunkte k , der Mittellinie des Streifens A , während das gleiche Gewicht G des Streifens A_1 im Abstände γl vom Widerlagspunkte l , der Mittellinie des Streifens A_1 , angreift. Wieder ist zu beachten, daß

$$\frac{\beta k}{\gamma l} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 243.$$

ist. Entsprechend Gleichung 135 (S. 183) ergibt sich der Gewölbchub H des Streifens A als

$$H = G \frac{\beta k}{ou} \dots \dots \dots 244.$$

und der Gewölbchub H_1 des Streifens A_1 als

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{pv},$$

oder da, wie vorhin angegeben, $pv = ou$ ist,

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{ou} \dots \dots \dots 245.$$

Aus den Gleichungen 244 u. 245 erhält man sofort $\frac{H}{H_1} = \frac{\beta k}{\gamma l}$, d. h. nach Gleichung 243

$$\frac{H}{H_1} = \frac{bc}{cs} \dots \dots \dots 246.$$

Die auf die Widerlagsflächen der Streifen am Gratbogen treffenden Gewölbchübe zerlegen sich für den Streifen A im Punkte k , bezw. k in die lothrechte Seitenkraft G und in die wagrechte Kraft H , eben so für den Streifen A_1 im Punkte l , bezw. l in eine lothrechte Seitenkraft ebenfalls gleich G und in die wagrechte Kraft H_1 . Die aus G und G entspringende Mittelkraft gleich $2G$ geht durch den Halbierungspunkt w der wagrechten Geraden kl . Der Punkt w ist aber ein Punkt der lothrechten Gratebene bs , welche die Bogenlinie des Grates enthält. Setzt man die durch k und l , bezw. k und l gehenden wagrechten Kräfte H und H_1 im Verfolg ihrer Lage in h zu einer Mittelkraft zusammen, so fällt vermöge der Beziehung 246 diese Mittelkraft gleichfalls in diese Richtungsebene bs des Gratbogens. Da schliesslich h die gleiche Höhe über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes wie der Punkt w besitzt, so folgt, weil der Angriffspunkt der Mittelkraft aus H und H_1 in ihrer Richtung von h nach w verlegt werden darf, daß der Gratbogen in vortheilhafter Weise in seiner Richtungsebene bs , welche zugleich Kräfteebene des Grates sein soll, in dem ermittelten Punkte w durch die lothrechte Mittelkraft $2G$ und die wagrechte Mittelkraft aus H und H_1 , welche von den Gewölbdrücken der Elementarstreifen A und A_1 herrühren, beansprucht wird. Würde man in gleicher Weise für alle entsprechend geordneten Elementarstreifen der an einem Grat zusammentretenden Gewölbkappen die Ermittelung der Kräfte durchführen, so würde auch hieraus eine Beanspruchung des Grates in seiner Kräfteebene bs sich kennzeichnen.

Dieses für die Construction, bezw. für die Gestaltung und praktische Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe über rechteckigen Grundrissen äußerst wichtige Ergebniss, dessen Erzielung bei der Durchführung derartiger Gewölbe eigentlich zur Forderung erhoben werden muß, hat sich in einem anderen Gewande auch durch die in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 485, S. 453¹⁷⁷) dieses »Handbuches« geführten Untersuchungen herausgestellt.

¹⁷⁷) 2. Aufl.: Art. 279, S. 263.

Die auf üblichem Wege angestellte statische Untersuchung der Gewölbstreifen A und A' , 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 ergibt sich die Breite des Streifens A , 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 ergibt sich für den Streifen A , da die Basis os 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' , sich zu $H' = 0,93 \cdot 0,2 = 0,186$ 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 Gewölb Schub

$$\mathfrak{S} = \frac{1}{0,6} \cdot 0,32 = 0,533 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

und der für den Streifen A' , geltende Gewölb Schub

$$\mathfrak{S}' = \frac{1}{1,72} \cdot 0,186 = 0,108 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert der Gewölb Schub \mathfrak{S} 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 Gewölb Schub \mathfrak{S}' , 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 $N = 1,74 \cdot \text{Basiszahl} = 1,74 \cdot 0,2 = 0,348$ 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{S} 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 unterfuchten Gewölbes mit $\frac{1}{2}$ Stein Stärke, wie in der Zeichnung angenommen ist, beibehalten werden.

Der Normaldruck \mathfrak{N} , der schmalen Kappe wird, da yK im Plane II zu $1,38$ m gefunden ist, berechnet als

$$\mathfrak{N}' = \frac{1}{1,72} \cdot 1,38 \cdot 0,2 = 0,16 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Da dieser Werth nach der Tabelle auf Seite 202 keine grössere Dicke als $\frac{1}{2}$ Stein beansprucht, so bleibt diese schon für \mathfrak{S} , fest gesetzte Stärke der schmalen Kappe gültig. Der Verlauf der eingezeichneten Mittellinien des Druckes in den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 ergibt 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 ($\text{tg } \rho$ 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.

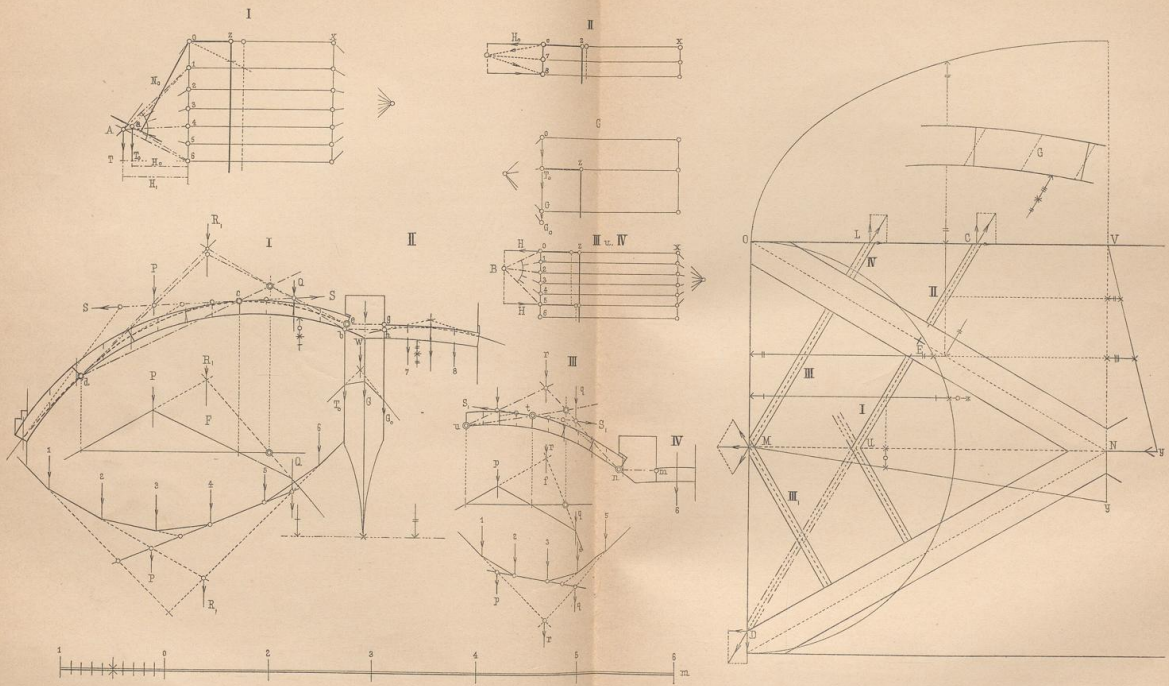
Hätte man den Hauptstreifen der weitesten Kappe 1 Stein stark ausführen wollen, während der zugehörige Hauptstreifen der antretenden schmalen Kappe nur $\frac{1}{2}$ Stein stark verbliebe, so hätte eine Uebermauerung dieses letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müssen, daß die Gewichte, bezw. 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 δs in der oben geforderten günstigen Weise beeinflusst, 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 Normalebene des Gratbogens angehören. Die wagrechten Projectionen der Wöblinien 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 Grundrifslinie des Gratbogens ist. Außerdem 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 Verbands 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 $1\frac{1}{2}$ Stein breit und $1\frac{1}{2}$ Stein stark selbständig auszuführen; die Kappen sind $\frac{1}{2}$ Stein stark im Schwalbenschwanz-Verband zu wölben.

Wenn gleich für die Bestimmung der Richtung der einzelnen Wölbchichten die Annahme der oben bezeichneten Normalebene 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 abgibt, während das andere Widerlager an einem



Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Schwalbenfchwanz-Verband.

befonderen Baukörper auftritt, mag derselbe nun geschlossen oder unter den Stirnbogen des Gewölbes offen gehalten sein. Für den Grat werden sich demnach ähnliche Beziehungen geltend machen müssen, wie bei dem in Art. 198 (S. 294) behandelten Gurtbogen zwischen Kappengewölben. Aber auch für den Gewölbschub, welcher auf die Randbogen, bzw. Stirnmauern von den einzelnen Wölbstreifen übertragen wird, werden die Voraussetzungen, welche beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278) zur Sprache gebracht wurden, hier wiederum zu machen sein. Dies gilt hauptsächlich von der Fortpflanzung des Gewölbschubes der über der Scheitellinie der Kappen zusammentretenden, geschnäbelten Schichten. Hierfür eine Summirung der in der Scheitellinie durch Zerlegen der Schübe zu bildenden wagrechten Kräfte vorzunehmen, erscheint eben so unstatthaft, wie bei jenem gewöhnlichen Kappengewölbe. Denn schliesslich ist die Kappe des Kreuzgewölbes auch nur ein gewöhnliches Kappengewölbe. Dächte man sich die Widerlager, welche durch die Gratbogen als Begrenzung einer solchen Kappe gebildet werden, als stabile Bogenstellung äusserst lang fortgeführt, so gelangt man wiederum zu dem berechtigten Schlusse, dass die einfache Summirung jener der Scheitellinie zugewiesenen wagrechten Kräfte einen Schub für den Randbogen von äusserst bedenklicher Grösse liefern müsste, was in Rücksicht auf das in Art. 181 (S. 277) Gefagte als unzulässig angesehen werden darf. Aber auch schon bei Kreuzgewölben von üblichen und durchaus nicht aufsergewöhnlichen Weiten würde durch die erwähnte Summirung jener Pressungen in der Scheitellinie eine Beanspruchung der Randbogen in ihrer höchsten Stelle wach gerufen, welche für die Durchbildung derselben als selbständige oder offene, nicht etwa noch übermässig durch Uebermauerung belastete Stirn- oder Schildbogen (Gurtbogen) so nachtheilig würde, dass die Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband beim Kreuzgewölbe ohne Weiteres als vollständig verwerflich hingestellt werden müsste. Der Erfahrung nach ist jedoch die geschilderte Beanspruchung der als Gurtbogen durchgeführten Randbogen bei diesem Wölbverbande gar nicht so gewaltig, dass ihre Breite im Vergleich mit den übrigen Gewölbtheilen unverhältnissmässig gross genommen werden müsste. In Folge hiervon scheinen die mehrfach erwähnten, zu Fig. 366 (S. 278) gegebenen Erörterungen auch hier bei der Stabilitäts-Untersuchung des Kreuzgewölbes am Platze zu sein.

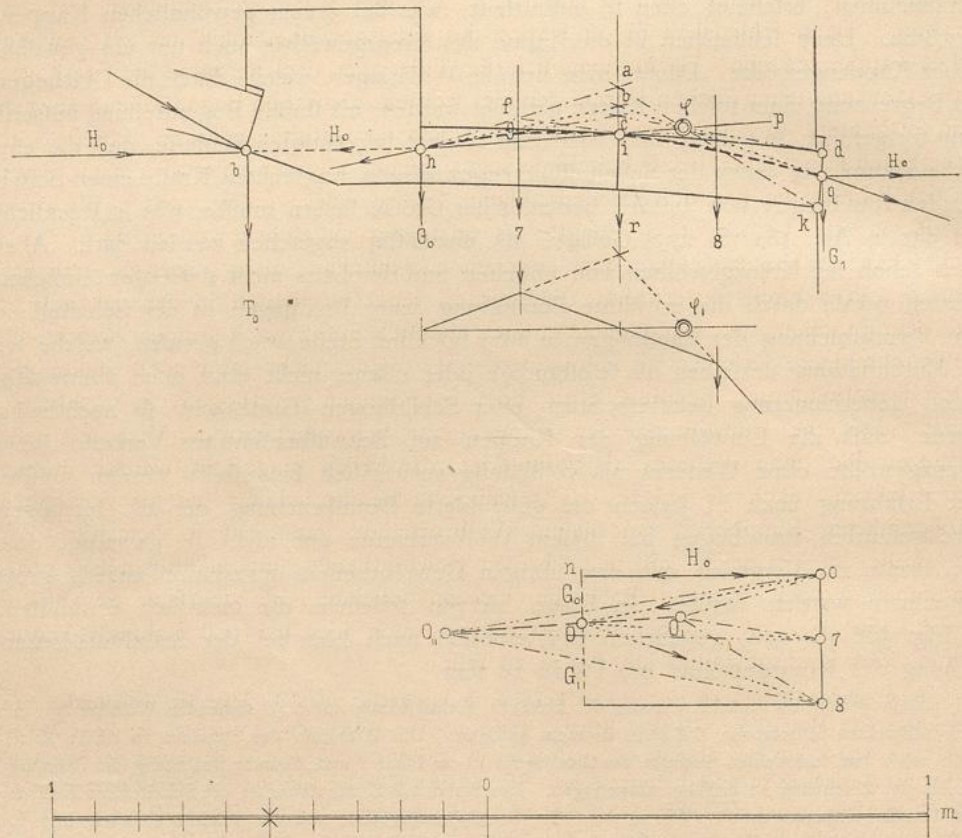
Dem gemäss ist zunächst ein von der Ecke D rechtwinkelig auf ON stehender Wölbstreifen mit einer lothrechten Mittelebene CED in Betracht gezogen. Die Wölblinie des Streifens in dieser Mittelebene nebst dem lothrechten Schnitte des Gratbogens ist im Plane I und II unter Beachtung der Stechung, wie aus der Zeichnung zu ersehen, ausgetragen. Der Streifen ED überschreitet die Scheitellinie MN der schmalen Gewölbkappe in U . Wie in Art. 181 (S. 283) angegeben, soll der Theil UD auch hier als Nebentheile des Haupttheiles EU angesehen und wiederum angenommen werden, dass diesem Nebentheile die Aufgabe zu Theil wird, den Gewölbschub des Streifens in seiner Gesamtheit von E nach D innerhalb der Gewölbkappe zu übertragen. (Vergl. den Plan II in Fig. 366, S. 278.)

Die Stärke des Gewölbstreifens ist gleich $0,12$ m. Die Breite desselben könnte beliebig gewählt werden. Da jedoch später zur Bestimmung der Gewölbstärke ein Gewölbschub für die Tiefe des Streifens gleich 1 m in Frage kommt, so soll, da in Wirklichkeit eine Zone ED nur eine Backsteindicke gleich $0,065$ m besitzt, zunächst für die Tiefe gleich 1 m die statische Untersuchung angestellt und danach die Grösse der auf die Widerlager am Grat, bzw. am Randbogen kommenden Gewölbschübe für die Tiefe gleich $0,065$ m dieser Zone berechnet werden. Dem entsprechend sind die Flächen-, bzw. Gewichtswerthe für I und II so bestimmt, dass die Basis $oz = 0,4$ m gewählt und die Strecke zx in den zugehörigen Gewichtsplänen gleich 1 m beibehalten ist.

Bei den beiden sich gemeinschaftlich gegen den Gratbogen legenden einhäufigen Gewölbstücken I und II wird das grössere Stück I im Allgemeinen einen grösseren Gewölbschub auf den Gratbogen ausüben, als das kleinere Stück II . Letzteres wird also die Rolle eines Strebe- oder Absteifungsbogens für

den Gratbogen übernehmen müssen, um schliesslich einen von feinem Eigengewicht und der ihm vom gröfseren Stücke *I* zugefügten Pressung erzeugten Druck auf fein Widerlager am Randbogen fortzupflanzen. Die zur Prüfung des Gleichgewichtszustandes des ganzen Streifenystems erforderliche Unterfuchung wird durch diejenige des Stückes *I* eingeleitet. Eine im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Gefagten angestellte Vorunterfuchung des einhäufigen 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 Gewichtplanes *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 einhäufiges Gewölbe. Für die statische Unterfuchung desselben sind, ausser seiner Form, das Eigengewicht und die wagrechte Seitenkraft H_0 eines in *h* wirkamen Gewölbchubes massgebend, welcher für den Gleichgewichtszustand eine Mittellinie des Druckes hervorgerufen 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 Unterfuchung einhäufiger 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 Vorunterfuchung 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 Weise zu findenden Fixpunkte φ benutzt. Die äußersten Seiten ah und ak gehören einem Seilpolygon für die Gewichte γ und δ mit der Resultirenden r an, welches durch die drei Punkte h , i und k geht. Zieht man im Gewichtspiane oO , parallel zu ah und so , parallel zu ak , so wird O , Schnittpunkt, so daß man in oO , GröÙe und Richtung des Gewölbdruckes in h und in o, δ GröÙe und Richtung des Gewölbdruckes in k erhält. Die mit Hilfe des Poles O , zu construierende Mittellinie des Druckes mit den Punkten h , i und k bliebe zwar innerhalb der Gewölbfläche; die wagrechten Seitenkräfte von oO , bezw. o, δ sind aber kleiner, als die vom Stücke I einwirkende wagrechte Kraft H_0 , so daß beim Vorhandensein der Gewölbdrücke oO , und o, δ im Stücke II das letztere nicht im Stande sein würde, dem Gewölbchube des Stückes I zu widerstehen. Das Stück II muß fähig erscheinen, einen größeren Gewölbchub aufzunehmen. Nimmt man zum Festlegen eines größeren Gewölbchubes den höchsten Punkt d der Widerlagsfuge dk des Stückes II unter Beibehaltung der Punkte h und i und der Polaraxe hp zur Ermittlung einer neuen Mittellinie des Druckes an, welche nun durch die Punkte h , i und d gehen soll, so erhält man in bekannter Weise, da bei dieser Ermittlung der Fixpunkt φ seine Lage nicht ändert, die Lage der gefuchten Gewölbchube in db und bh . Zieht man jetzt im Gewichtspiane oO'' , parallel zu bh und so'' , parallel zu db , so wird O'' , der Pol für ein durch die Punkte h , i und d für die Gewichte γ und δ zu legendes Seilpolygon, und man erhält in oO'' , die GröÙe, bezw. den Sinn des Gewölbdruckes in h und in o'', δ den Gewölbdruck in d . Ob die Mittellinie des Druckes für diese Gewölbdrücke innerhalb der Gewölbfläche bleibt oder dieselbe verläßt, ist hier gleichgültig, weil der Zeichnung nach die wagrechten Seitenkräfte von oO'' , und o'', δ schon viel größer als H_0 erscheinen. Derart große Gewölbchube für das Stück II erfordert aber der Gleichgewichtszustand des ganzen Systems nicht, weil dieselben nur solche GröÙe besitzen sollen und auch nur nöthig haben, bis ihre wagrechten Seitenkräfte genau der Kraft H_0 entsprechen.

Diese noch unbekanntenen Gewölbchube findet man unter Anwendung eines bekannten Satzes der graphischen Statik, wonach für die beiden Seilpolygone, welche in hfi und hgi in ihren ersten beiden Seiten hf , fi , bezw. hg , gi durch die festen Punkte h und i gehen, die Verbindungslinie oO'' , der Pole O , und O'' , ihrer zugehörigen und gleichen Kräftepolygone, hier die Gewichtstrecke $o\delta$, eine Parallele zu der durch h und i gelegten Polaraxe hp sein muß. Zieht man oO'' , so ist dieselbe thatfächlich parallel zu hp . Trägt man die wagrechte Linie $on = H_0$ ab, so schneidet die durch n parallel zu $o\delta$ geführte Gerade die Linie oO'' , in O , und dieser Schnitt liefert den Pol eines dritten Seilpolygons, welches ebenfalls in seinen ersten beiden Seiten durch die Punkte h und i gehen muß, in seiner dritten Seite aber auch durch den Fixpunkt φ geht. Hiernach findet man nun ohne Weiteres in oO den gefuchten Gewölbchub in h und in $o\delta$ den Gewölbchub, welcher für das Widerlager am Randbogen des Stückes II in Frage kommt.

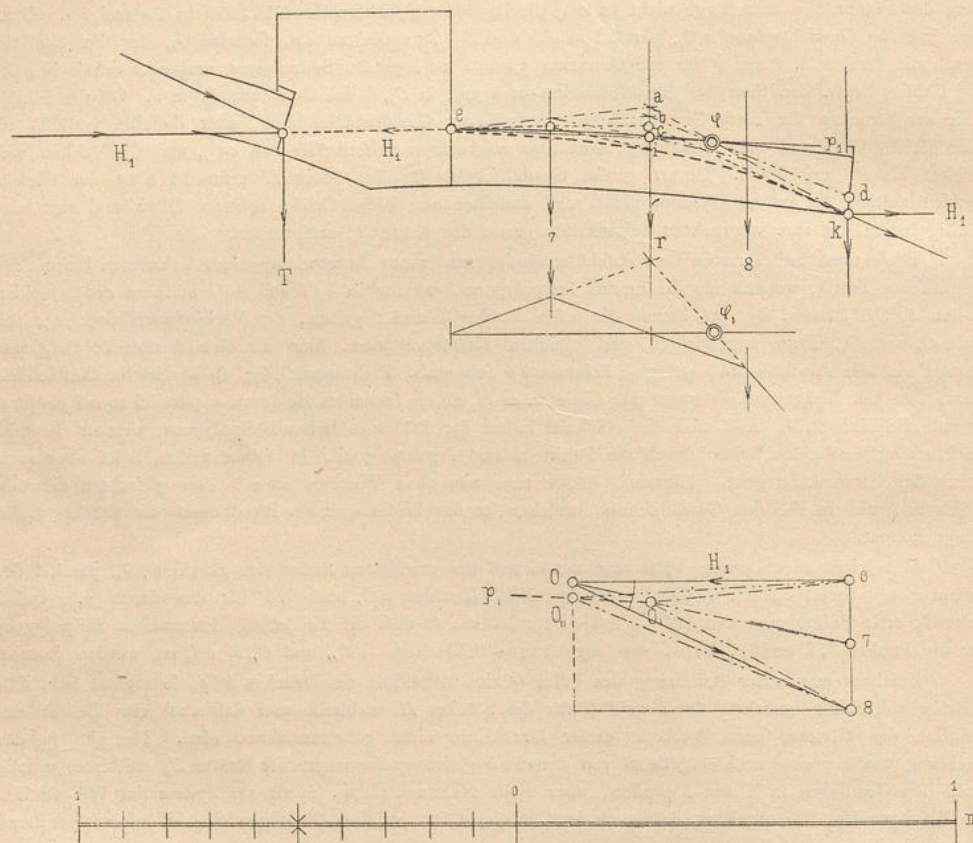
Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl oO'' , parallel der Polaraxe hp bereits ziehen können, nachdem die Polstrahlen oO , und o, δ für das durch h , i und k gehende erste Seilpolygon den Pol O , fest gelegt hatten, so daß die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für die Punkte h , i und d , bezw. die zugehörigen Polstrahlen oO'' , und o'', δ erspart werden konnte.

Zeichnet man unter Benutzung des Poles O eine Mittellinie des Druckes hiq , so ergibt sich, daß dieselbe vollständig innerhalb der Gewölbfläche des Stückes II verbleibt und daß auch eine Gefahr hinsichtlich des Gleitens beim Verlaufe dieser Drucklinie nicht gekennzeichnet wird. Da nun in der Richtung von b nach h und umgekehrt von h nach b gleich große wagrechte Kräfte H_0 auftreten, welche wohl den Gratbogen in h und b pressen, aber nicht drehen können, so ist das System der Wölbstreifen im Gleichgewicht, vorausgesetzt, daß auch der Gratbogen für sich dem Gleichgewichtszustande entsprechend hergestellt ist.

Sollte bei der statischen Untersuchung des größeren Gewölbstückes I , wie zuweilen der Fall, sich eine Mittellinie des Druckes ergeben haben, welche nach der Tafel bei S. 370 mit einem Gewölbchube in e übereinstimmt, dessen wagrechte Seitenkraft die GröÙe H , besitzt 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 höchsten Punkt g der Widerlagsfuge des Stückes II im Querschnitte des Grates geführt werden kann, so sind offenbar g und e , wie auch b und h , Grenzpunkte für die Lage der Angriffspunkte von Gewölbchuben, deren wagrechte Seitenkräfte von gleicher GröÙe in einer solchen wagrechten Linie in einander entgegengesetzter Richtung wirken und somit für sich eine seitliche Ausweichung oder eine Drehung des Gratbogens nicht hervorrufen können. Sind diese Grenzpunkte e und g einmal in Betracht zu ziehen, so kann nach Fig. 444 die statische Untersuchung des Gewölbstückes II nach demselben Verfahren, wie bei Fig. 443 beschrieben, vorgenommen werden. Hat man auch hierbei zunächst die neue Polaraxe ep , durch einen angenommenen Bruchfugenpunkt e geführt, so ergibt sich meistens schon bei der Zeichnung eines ersten Seilpolygons

mit den äußersten Strahlen ea und ak die Erkenntnis, 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 Polaxaxe ep , und eben so der fast wagrechte äußerste Strahl eb eines zweiten Seilpolygons ebd , welchem als Gewölbfchub in e die vorgeschriebene wagrechte Seitenkraft H , 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 Gewölbfchubes $H, = Ob$ zeichnen und prüfen, ob dieselbe dem geforderten Gleichgewichtszustande entspricht. In Fig. 444 erfüllt dieselbe als ek diese Forderung. Wäre folches nicht der Fall, so muß die Gestaltung der Wölbstreifen durch Abänderung der Stechungshöhe, bezw. der Stärke der Wölbstreifen oder der Belaftung 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 Gewölbfstreifen 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 machen.

Für die Berechnung der Gewölbstärke wird selbstredend derjenige Elementarstreifen benutzt, dessen Gewölbfchub 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 $os = 0,4$ m gewählt, die Tiefe des Gewölbfstreifens für die statische Untersuchung gleich 1 m angenommen war, so ergibt 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 $\frac{1}{2}$ Stein gleich $0,12$ cm erforder-

lich. Diese Stärke kann nun auch für $H_0 = 0,212$ hier beibehalten werden. Der Normaldruck für die Widerlagstufe am Randbogen bei D ergibt sich, da N_0 nach dem Gewichtspiane I gleich 1 m ist, als

$$N_0 = 1 \cdot 0,4 = 0,4 \text{ Quadr.}, \text{ bzw. Cub.-Met.}$$

Für diesen Werth reicht also nach jener Tabelle die Gewölbstärke von $\frac{1}{2}$ Stein ebenfalls aus.

Um die Kräfte zu bestimmen, welche bei den auf Schwalbenschwanz-Verband eingewölbten Kreuzgewölben auf die Randbogen, bzw. 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 Wölbflächen III und III' , nach dem Gewichtspiane III und IV auf der Tafel für die Tiefe gleich 1 m dieser Streifen, da H zu $0,35\text{ m}$ gemessen ist,

$$H = 0,35 \cdot 0,4 \cdot 1 = 0,14 \text{ cbm.}$$

Da 1 cbm Backsteinwölbung 1600 kg wiegt, so ist $H = 324\text{ kg}$. Der Elementarstreifen III ist aber nur $0,065\text{ m}$ (Backsteindicke) breit; mithin kommt für denselben ein wagrechter Schub von $324 \cdot 0,065 = \approx 21\text{ kg}$ 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 Größe im vorliegenden Falle, da der Winkel $OML = 30\text{ Grad}$ 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 Gewölbstücke 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.

3) Stärke der Gratbogen.

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, einschließlic einer etwa vorhandenen Belastung durch Uebermauerung oder durch Einzellasten u. s. w., bestimmt, so läßt sich, diesen äußeren, die Gratbogen angreifenden Kräften entsprechend, ein den Gleichgewichtszustand bewirkendes System von inneren nach gerufenen Kräften ermitteln und danach die Stärke, bzw. 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 fachgemäßen Anordnung der cylindrischen Laibungsflächen für sich im Gleichgewicht, so daß 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 $2,4\text{ t}$ für 1 cbm herzustellenden Gratbogen G auf graphischem Wege vorgenommen. Derselbe bildet die Hälfte eines symmetrisch gestalteten und

253.
Kreuzgewölbe
mit
Kufverband.

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.

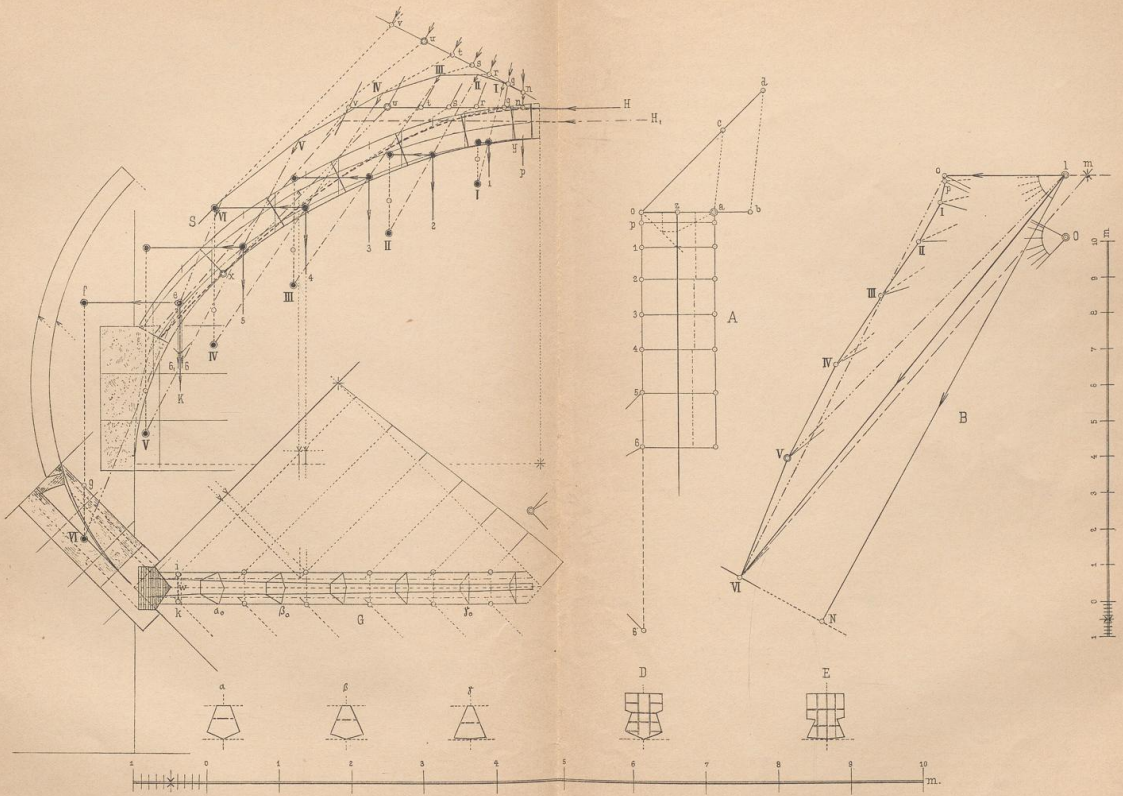
Zunächst ist nach Ausmittlung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreises und der angenommenen Stechungshöhe, so wie nach Bestimmung der Normalschnitte α, β, γ , deren wagrechte Projectionen $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ sind, das Gewicht der einzelnen Theilstücke des Grates im Plane A graphisch dargestellt.

Für diese Darstellung sind die Theilstreifen im Anschlusse an die Zerlegung der am Grat zusammenstreichenden 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 Abstände 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 Normalebene 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. f. 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 $os = 0,5$ m, die Ermittlung der Gewichtsstrecke ob 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 δ , gleich der Strecke ob , in der Mittellinie des letzten Theilstückes; die Gewölbdrücke der zugehörigen Kappenstreifen greifen in i , bzw. k an; das resultirende Gewicht δ , gleich der Strecke ob , 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 ob' , 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 $K = ob = fg + gVI$ gefunden, so giebt das Kräfte-dreieck $efVI$ 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. f. 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 Gewölbchubes angenommen. Die mit dem gefundenen Horizontalchube 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-



Stabilitäts-Untersuchung des Gratbogens eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Kufverband.

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 l_0 und der für den Normaldruck der Widerlagsfuge entstehenden Kraftstrecke l_N des Planes B läßt sich bei einer gewählten Breite des Gratbogens seine Stärke (Höhe) berechnen.

Wäre der Gratbogen aus Backstein ausgeführt, so hätte man, da $l_0 = 3,4$ m und die Basis nach wie vor $0,5$ m beträgt, bei einer Breite von 2 Stein gleich $0,51$ m den Gewölbfschub \mathfrak{S}_0 , bezogen auf eine Tiefe (Breite) des Gratbogens von der Längeneinheit (1 m), sofort als

$$\mathfrak{S}_0 = 3,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,51} = 3,33 \text{ Quadr.-, bzw. Cub.-Met.}$$

Diesem Werthe entspricht nach der Tabelle auf Seite 202 eine Gewölbstärke von 2 Stein in genügender Weife, so dafs die Anordnung des Grates nach D und E in der Zeichnung erfolgen könnte. Der Normaldruck \mathfrak{N}_0 ergibt sich, da $l_N = 14$ m gefunden ist, als

$$\mathfrak{N}_0 = 14 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,51} = 13,71 \text{ Quadr.-, bzw. Cub.-Met.}$$

In jener Tabelle überschreitet dieser Werth den bei einer Stärke von 2 Stein aufgeführten Normaldruck N von $11,07$ Quadr.-, bzw. Cub.-Met., so dafs bei einem Gratbogen aus Backstein bei dem hier unterfuchten Gewölbe mit quadratischem Grundrifs und 8 m Spannweite eine Verstärkung um $\frac{1}{2}$ 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 $l_0 = 3,4$ m und $l_N = 14$ 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 Ermittlung des wagrechten Druckes \mathfrak{S} , 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 $os = 0,5$ m unverändert bleibt, jetzt

$$\mathfrak{S} = 3,4 \cdot \frac{1,6}{2,4} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,30} = 3,77 \text{ Quadr.-, bzw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 14 \cdot \frac{1,6}{2,4} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,30} = 15,55 \text{ Quadr.-, bzw. Cub.-Met.}$$

Setzt man in Gleichung 142 (S. 185) statt H den Werth \mathfrak{S} , so ergibt sich die gefuchte 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} , 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 dafs die statische Unterfuchung des Grates abgeschlossen werden kann.

In gleicher Weife würde auch die Bestimmung der Gratstärke für ein Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundrifs und Einwölbung auf Kuf getroffen werden können. Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband bleiben die Grundlagen für die statische Unterfuchung der Gratbogen ebenfalls bestehen. Nur ist hierbei zu beachten, dafs, wie früher bereits bemerkt, von den einzelnen Gewölbstreifen der Kappen, also hier der an einem und demselben Grat liegenden Kappen-

254.
Kreuzgewölbe
mit
Schwalben-
schwanz-
Verband.

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 zusammensetzen sind. Durch eine leicht zu treffende Gestaltung der Querschnittsfläche des Gratbogens und der damit verbundenen Schwerpunktslage desselben ist dahin zu streben, daß die sämtlichen 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.

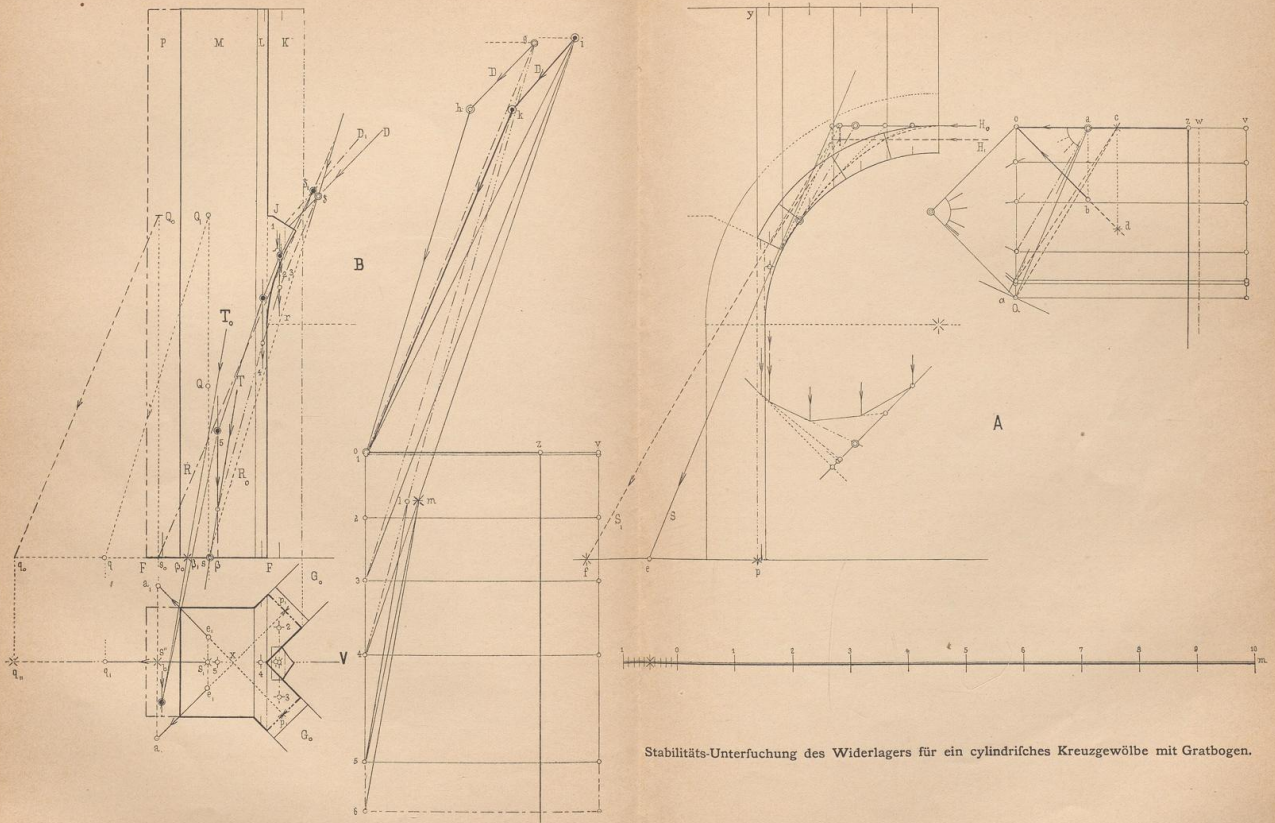
Bei den offenen Kreuzgewölben sind die Stirnmauern durch Oeffnungen frei gehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgeschlossen werden, deren Wölblinien den Stirnlinien des Gewölbes meistens entsprechend gekrümmt gewählt werden. Diese Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben selbst 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 vorgehen war.

Zuerst ist im Plane A der neben stehenden Tafel, unter Einführung einer beliebig gewählten Basis $oz = 3$ m, der festen Länge $zv = 1$ m und der Tiefe $vw = 0,80$ m der beiden gleichen und gleich belasteten Gurtbogen G_0 von je 6 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 ergibt sich, da $ao = H_0 = 1,25$ m mißt, der in Gleichung 142 (S. 185) für H einzusetzende Werth

$$H_0 = 1,25 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0,80} = \infty 4,7 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Hiernach wird

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 4,7) 4,7} = \infty 0,46 \text{ m.}$$



Stabilitäts-Untersuchung des Widerlagers für ein cylindrisches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge ist $aa = 3,2$ m bestimmend. Man erhält

$$N_0 = 3,2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0,80} = 12 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

Für N in Gleichung 148 (S. 186) diese Zahl 12 eingesetzt, giebt

$$d, = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 12) 12} = 0,44 \text{ m.}$$

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 Horizontalschub H_0 , nimmt einen kleinsten noch zulässigen Grenzwert an. Gehörig erweitert schneidet die Richtung von S die Grundebene pf des Stützkörpers in e im Abstände 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 Resultierende 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 , bzw. 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 , ihrer Kräfteebenen, und pe , ist gleich pe des Planes A . Die lothrecht durch e , gerichtete Seitenkraft des Schubes S ist gleich dem Gewichte oQ und die wagrecht in e , nach e, a , gerichtete Seitenkraft von S ist gleich $H_0 = ao$. Setzt man die beiden lothrechten und gleich großen Seitenkräfte oQ der Schübe S beider Gurtbogen zu einer Mittelkraft gleich $2oQ$ 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 Kräfte-dreieckes $ba o$, worin $ba = ao = H_0$ ist. Verlegt man den Angriffspunkt x dieser Mittelkraft in ihrer Richtung nach s , und setzt man zum Schluß $s, q, = sq = bo$ mit $sQ, = 2 \cdot oQ$ zu einer Mittelkraft Q, 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 größeren Horizontalschubes $co = H_1$ der größere resultierende 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 $2oQ$. 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 größeren Druck $Q_0 q_0$ ist der Angriffspunkt s_0 in der Grundfläche der Mittelpunkt der geraden Linie a, a_0 , wofür $pa_0 = pf$ des Planes A sein muß. 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 größeren 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 gefammte Druck, welcher schließlic von den Gewölbkappen auf den Eckpfeiler weiter geführt wird.

Nach den zur Tafel gehörigen Ermittlungen kann zunächst wieder der gefundene kleinere vom Gratbogen auftretende Druck D und sodann der größere am Gratbogen bestimmte Druck D , in Betracht gezogen werden.

Nach dem Plane B auf der Tafel bei S. 376 ist D mit Hilfe der Kraftstrecke lVI , dagegen D , unter Verwerthung der Strecke mVI fest zu legen. In jener Abbildung ist $lVI = 14,4$ 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 ergibt sich die im Kräfteplane B einzutragende Kraftstrecke D zu $\frac{4,8}{3} = 1,6$ m gleich der Strecke gh .

Für die grössere Kraftstrecke D_1 , gleich der Strecke ik , findet man die zugehörige Mafszahl, da mVI im Plane B der Tafel bei S. 376 $14,7^m$ misst, nunmehr durch den Ausdruck

$$D_1 = 14,7 \cdot \frac{0,5}{3} \cdot \frac{1,6}{2,4} = 1,63^m.$$

Unter Benutzung der Neigungswinkel $olVI$, bezw. $omVI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke lVI , bezw. mVI in der Widerlagsfuge am Anfänger des Grathogens auf der genannten Tafel sind die Drücke D und D_1 für sich eingetragen. Aus der Zusammenfassung von $D = gh$ und $R_0 = ho$ in δ des Planes B erhält man go als kleineren Gesamtdruck für den Eckpfeiler, während durch die Zusammenfassung von $D_1 = ik$ und $R = ko$ in δ , der grössere Gesamtdruck für diesen Pfeiler durch io dargestellt wird.

Nach der Ermittlung dieser Drücke kann nun die Stabilitäts-Untersuchung des Eckpfeilers, welcher hier gleichfalls aus Quadermaterial vom Eigengewichte $2,4$ bestehen soll, ganz nach dem in Art. 143 (S. 197) Gegebenen unter Berücksichtigung der aus der Zeichnung zu ersehenden Lamellentheilung und Gewichtsbestimmung derselben ohne weitere Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Für den kleineren Druck D tritt die Lamelle M als Grenzstreifen ein. Das Gewicht derselben ist zur Vermeidung einer zu langen Kräftefrecke in ein Viertel seiner wirklichen Länge als Strecke 45 dargestellt. Um dennoch die fehlerlose Richtung der Mittelkraft T aus dem Kräftezuge $gh, ho, o5$ zu erhalten, ist $l4$ gleichfalls ein Viertel der Länge des Strahles $g4$ zu nehmen. Der Strahl $l5$, welcher für den ihm parallelen Strahl T bestimmend wird, giebt jene Mittelkraft in ein Viertel ihrer Grösse an. Diese Endresultirende schneidet die Fußfläche des Eckpfeilers im umringelten Punkte β . Derselbe liegt von der Aufsenkante der Lamelle M so weit ab, daß, wenn die Grundfläche des Pfeilers hier näherungsweise als ein Rechteck angesehen wird, der Punkt β eben an der Grenze des sog. inneren Drittels dieses Rechteckes bleibt. Für den kleinsten Druck D würde also der Eckpfeiler mit den Theilstreifen K, L und M als standfähig gelten können.

Für den grösseren Druck D_1 , dagegen, welcher zur Herbeiführung eines üblichen Sicherheitsgrades für die Standfähigkeit dieses Eckpfeilers als wirksam angesehen werden soll, genügt die eben ermittelte Stärke nicht mehr in dem Mafse, daß eine Endresultirende 5β , parallel $m5$, innerhalb jenes inneren Drittels bleibt. Danach ist noch eine neue Lamelle P hinzuzufügen. Das Gewicht derselben ist als Strecke 56 wiederum in ein Viertel der wirklichen Länge gezeichnet, und eben so ist $m4$ gleich ein Viertel der Länge $i4$. Die Endresultirende für den Kräftezug $ik, ko, o6$ ist nunmehr das Vierfache von $m6$. Ihre Lage T_0 parallel $m6$ im Pfeiler ist leicht zu bestimmen. Diese Resultirende trifft die Fußfläche desselben im Punkte β_0 , welcher das innere Drittel des neuen Pfeilers mit den Theilstreifen K, L, M und P nicht überschreitet, so daß hiermit die Pfeilerstärke bestimmt ist. Die Breite FF beträgt $2,1^m$.

Die Spannweite des Diagonalbogens ist bei dem quadratischen Grundrisse des hier untersuchten Kreuzgewölbes von 8^m Seitenlänge gleich $8\sqrt{2} = \infty 11,3^m$; folglich ergibt sich das Verhältniß der Widerlagsstärke zu dieser Weite des ganzen Grathogens zu $\frac{2,1}{11,3}$ als nahezu gleich $\frac{1}{5}$. Beim kleineren Drucke D ist die Widerlagsstärke gleich $1,5^m$, so daß nun jenes Verhältniß in $\frac{1,5}{11,3}$, d. h. in $\frac{1}{7,5}$ umgewandelt würde.

Bei dieser Angabe einer Verhältnißzahl von Widerlagsstärke zur Spannweite eines ganzen Grat- oder Diagonalbogens muß aber, wenn dieselbe überhaupt Werth haben soll, offenbar die Tiefe des Widerlagers mit beachtet werden. Dieselbe richtet sich, wie aus dem Grundrisse des Eckpfeilers zu ersehen ist, theilweise nach der Tiefe der Gurtbogen G_0 . Im Allgemeinen sollte die Tiefe der Eckpfeiler nicht unter $\frac{2}{3}$ der in der Richtung V der Gratlinie angetragenen Stärke herabfinken.

257.
Kreuzgewölbe
ohne
Grathogen.

Die Stabilitäts-Untersuchung der Eckpfeiler für Kreuzgewölbe mit selbständigen Grathogen und rechteckigem Grundrisse ist auf dem eben beschriebenen Wege gleichfalls auszuführen. Bei Kreuzgewölben ohne besondere Grathogen ist bei der Bestimmung der Widerlagsstärke das in Art. 255 (S. 378) Gefagte ohne Weiteres zu verwerthen. Hierbei fällt ein sonst vom Grathogen herrührendes Eigengewicht einfach fort. Drücke, wie D , bezw. D_1 , resultiren allein aus den Gewölbdrücken der in der Gratlinie zusammengefügteten Elementarstreifen der Kappen. Das Wesen in der

statischen Unterfuchung der Eckpfeiler für derartige Gewölbe wird dadurch nicht geändert.

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 Unterfuchung derselben wird danach äußerst einfach und kann hier unterbleiben.

258.
Pfeiler
für vier
Gurtbogen.

Bei einer Beanspruchung der Eck- oder Zwischenpfeiler einer unsymmetrischen Kreuzgewölbe-Anlage ist die Stabilitäts-Unterfuchung der Stützkörper schrittweise von Gurtbogen zu Gurtbogen, so wie von Gratbogen zu Gratbogen zur Ermittlung der Resultierenden der den Stützkörper angreifenden äußeren Kräfte nach den Methoden der graphischen Statik, wenn auch etwas mühevoll, doch ohne sehr erhebliche Schwierigkeiten, vorzunehmen. Die Endresultierende 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.

d) Empirische Regeln für die Gewölbstärke.

Sollte bei größeren Kreuzgewölbe-Anlagen auch stets eine gewissenhafte statische Unterfuchung 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.

259.
Stärke
der
Kappen.

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 $\frac{1}{2}$ Stein, bei einer Weite bis zu 9 m $\frac{1}{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager betragen. Geht die Spannweite über 9 m hinaus, so gibt man den Kappen zweckmäßig durchweg 1 Stein Stärke.

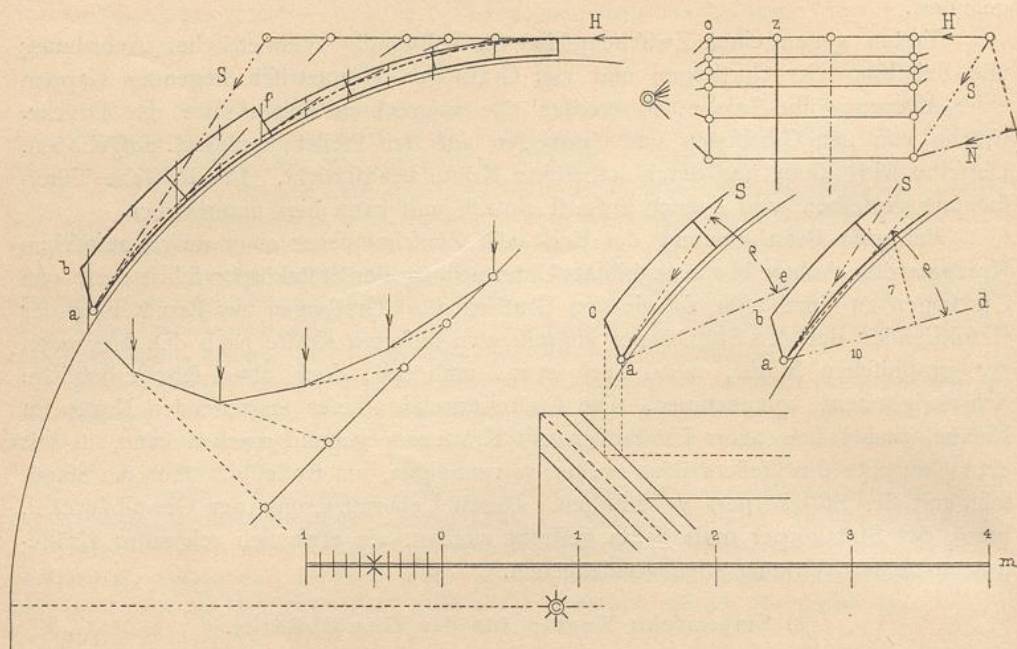
Im Hochbauwesen kommen Kreuzgewölbe, welche größere Kappenstärken als 1 Stein erfordern, selten vor.

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.

Dafs 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 $\frac{1}{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein bei den Schichten in der Nähe des Widerlagers genommen werden. Die in der Zeichnung vorgeführte statische Unterfuchung eines derartigen, an der Stirnmauer liegenden größten Kappenstreifens, dessen Breite hier wiederum zu 0,60 m angenommen ist,

Fig. 445.



ergibt für die Berechnung feiner Stärke, da $H = 0,55$ m und $N = 0,76$ m gefunden werden, bei der Basis $oz = 0,5$ m

$$\mathfrak{H} = 0,55 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,60} = \infty 0,46 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 0,76 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{0,60} = 0,633 \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met.}$$

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 $\frac{1}{2}$ Stein, \mathfrak{N} aber für die Stärke am Widerlager noch keine Dicke von 1 Stein fordert.

Da $N = 0,6$ Quadr., bzw. Cub.-Met. in jener Tabelle eine Stärke von $\frac{1}{2}$ Stein gefordert, so kann man auch unter Zulassung einer etwas größeren Preflung im Scheitel für $\mathfrak{H} = 0,46$ Quadr., bzw. Cub.-Met. die Stärke von $\frac{1}{2}$ 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 Sac 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.

Außerdem sei darauf hingewiesen, daß zur geeigneten Erzielung einer stetigen Zunahme der Gewölbstärke vom Scheitel bis zum verstärkten Ansatz in der Kappe ein Ausgleich des Zwickels f durch Beton oder durch Ausfüllung mit Mörtel und Steinbrocken anzurathen ist.

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

größer als 3,5 m oder hat das Gewölbe noch eine Belastung durch Sandfüllung oder durch einen darüber befindlichen Fußboden aufzunehmen, so tritt bis zu Spannweiten von 6 m, je nach den obwaltenden Umständen, entweder eine Gratverstärkung, worüber unter 3 bei der Ausführung der Kreuzgewölbe noch das Nöthige gefagt werden soll, oder die Einführung selbständiger Gratbogen ein.

Bei größeren Spannweiten ist die Herrichtung solcher Gratbogen stets zweckmäßig. Bei den cylindrischen Kreuzgewölben erhalten diese Gratbogen unterhalb der Wölbfläche keine besonders gegliederten Ansätze (Profile); sie laufen vielmehr meistens in eine Schneide aus, welche dem Zusammenchnitt der angrenzenden Kappenflächen angehört. Die in lothrechten Ebenen liegenden geraden Erzeugenden der Widerlagsflächen der Kappen haben vom Fusse des Gratbogens bis zum Scheitel desselben verschiedene Neigungswinkel zur senkrechten Richtungsebene des Grates. In Folge hiervon wechselt in jedem Normalchnitt desselben auch seine mittlere Breite. Damit der Gratbogen durch die mittels Abchrägung seiner sonst lothrechten Seitenflächen zu gewinnenden Widerlagsflächen nicht zu sehr in seinem Verbaude, bezw. feinem auf Druck beanspruchten Körper geschwächt wird, darf die wagrechte Projection desselben der Breite nach nicht zu gering bemessen werden.

Bei Spannweiten der Kappen bis etwa 4 m beträgt dieselbe bei Gratbogen aus Backstein mindestens 1 Stein, die Höhe oder Stärke des Grates hierbei gleichfalls wenigstens 1 Stein. Bei größeren Spannweiten bis etwa 9 m ist die Breite der Gratbogen 1½ Stein, unter Umständen 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 stark angenommen, so sind dieselben nach dem Widerlager auf 1½ Stein zu verstärken.

Bei Kreuzgewölben über 9 m Spannweite giebt nur die statische Untersuchung des Wölbsystemes Aufschluss über die zu wählenden Stärken der Gratbogen, bezw. der Gewölbkappen. Werden bei Backsteinkappen bis etwa 6 m Spannweite statt der eigentlichen Gratbogen nur Gratverstärkungen eingeführt, welche mit dem Mauerwerk der Kappen im Verbaude stehen, so ist diese Verstärkung bei einer Breite von mindestens 1 Stein in ihrer Gefammhöhe, einschliesslich der Kappenstärke über der inneren Gratlinie, gleichfalls nicht unter 1 Stein zu nehmen. Gratbogen aus genügend festen Bruchsteinen oder Quadern sollten bei kleineren Kreuzgewölben bis 6 m Weite nicht unter 0,20 m Breite und 0,25 bis 0,30 m Stärke, bei größeren Gewölben aber eine Breite von 0,30 bis 0,40 m mit einer Höhe von 0,30 bis 0,30 m erhalten.

Bei den offenen cylindrischen Kreuzgewölben aus Backstein, Bruchstein oder Quadern kann unter Berücksichtigung des Verhältnisses 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 ist die Höhe des Widerlagers von seiner Fußfläche bis zur Kämpferebene etwa gleich 3 m vorausgesetzt. Bei einer Höhe über 3 m ist jene Stärke um etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ des ganzen Höhenmaßes zu vergrößern.

Bei den geschlossenen cylindrischen Kreuzgewölben ist die Stärke der Mauerkörper an den Ecken des Raumes in der Richtung der Gratebene schätzungsweise zu $\frac{1}{7}$ der Spannweite des ganzen Gratbogens zu setzen. Bei einer Widerlagshöhe über 3 m ist diese Stärke ebenfalls entsprechend zu vergrößern.

261.
Widerlags-
stärke.

Die flachen Kreuzkappengewölbe erhalten in den meisten Fällen eine Gewölbstärke von $\frac{1}{2}$ Stein und Gratverstärkungen oder Gratbögen von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein Breite mit 1 bis $1\frac{1}{2}$ 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 Unterfuchung fest gestellt.

s) 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-

262.
Sichtbare
Ver-
ankerungen.

Fig. 446.

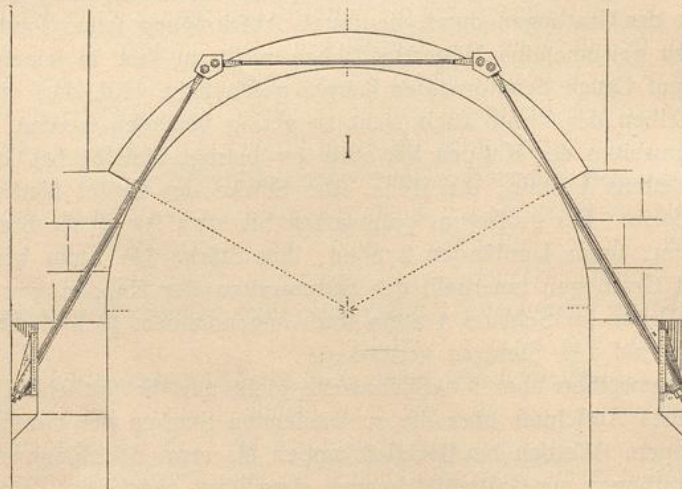
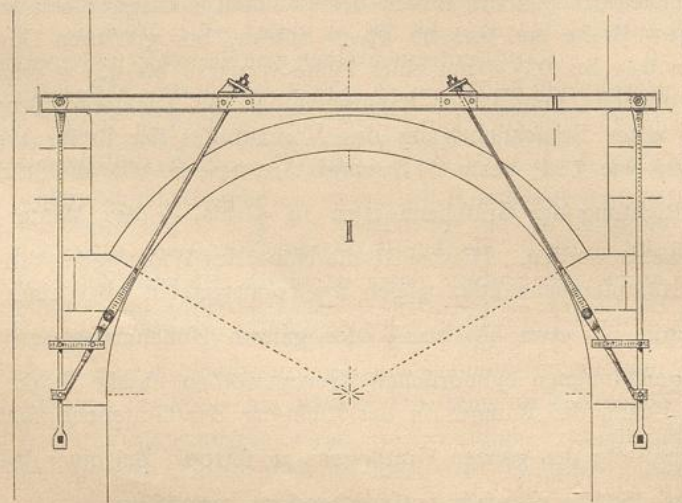


Fig. 447.



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 Runderisen 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 verpannt werden. Für diese einfachen Verankerungen gilt das in Art. 178 (S. 268) beim Kappengewölbe über Verstärkung seiner Widerlager Gefagte ebenfalls.

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. f. 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-Construction¹⁷⁸⁾ entspricht, läßt sich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

263.
Unsichtbare
Ver-
ankerungen.

3) Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe.

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 Gufswerk aus Steinbrocken und Mörtel bestanden¹⁷⁹⁾, hatten die Ausführung der ähnlich hergestellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

264.
Material.

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.

Cylindrische Kreuzgewölbe werden im Allgemeinen auf einer durch Lehrgerüste unterstützten Schalung eingewölbt.

265.
Lehrgerüste.

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«.