



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Balkendecken

Barkhausen, Georg

Stuttgart, 1895

14. Kap. Kreuzgewölbe im Besonderen

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

14. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Besonderen.

a) Cylindrische Kreuzgewölbe.

1) Gestaltung der cylindrischen Kreuzgewölbe.

Die Gestaltung der cylindrischen Kreuzgewölbe ist in den allgemeinen Grundzügen in Art. 235 (S. 339), bzw. Art. 236 (S. 341) besprochen und in Fig. 419 bis 422 veranschaulicht worden.

238.
Gestaltung.

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 sämtlich eine gleiche Pfeilhöhe erhalten;

γ) die Axen der Kappen gerade Linien sind, welche sämtlich in der wagrechten Kämpferebene liegen und, von den Mitten der wagrechten Projectionen der Stirnbogen auslaufend, sich in einem gemeinschaftlichen Punkte der Grundriffsfigur des Gewölbes schneiden; dieser gemeinschaftliche Punkt ist die wagrechte Projection des Gewölbscheitels; meistens fällt derselbe mit dem Schwerpunkte der Grundriffsfigur zusammen;

δ) die wagrechten Projectionen der Schnitt- oder Durchdringungslinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen gerade Linien sind, welche von den Ecken der Grundriffsfigur nach der wagrechten Projection des Gewölbscheitels gezogen werden können; diese Schnittlinien liefern die Diagonalbogen, Gratlinien oder Grate des Kreuzgewölbes;

ε) die an den Ecken der Grundriffsfigur 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 Gewölbscheitel 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.

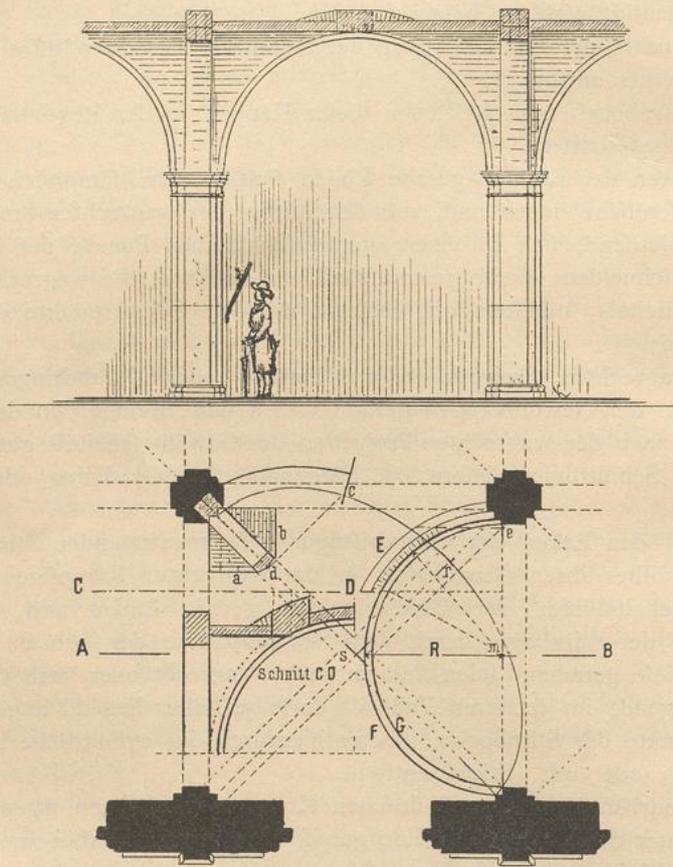
Die Grundriffsfigur eines cylindrischen Kreuzgewölbes kann irgend eine ebene geradlinige, unter Umständen auch eine gemischtlinige, also hierbei eine von geraden und krummen Linien begrenzte Figur sein.

Je nachdem die Grundriffsfigur des Kreuzgewölbes regelmäfsig oder unregelmäfsig gebildet ist, unterscheidet man auch regelmäfsige und unregelmäfsige Kreuzgewölbe.

Werden die Umfangsmauern des Raumes, welche sämtlich 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.

Ist die Kämpferebene eines Kreuzgewölbes, z. B. bei Treppenanlagen, eine geneigte Ebene, so entsteht das ansteigende Kreuzgewölbe. Sind die Wölb-
linien der Gewölbkappen flache, gesetzmäßig gebildete ebene krumme Linien, so
entwickelt sich das flachbogige oder flache Kreuzgewölbe, auch Kreuzkappen-
gewölbe genannt. So mannigfach die Gestaltung des Kreuzgewölbes im Zusammen-
hange mit der Form seines Grundrisses und den grundlegenden Wölb-
linien der
cylindrischen Gewölbkappen auch vorgenommen werden kann, so bleibt doch immer-
hin die eigentliche Ausmittlung der Hauptbestandtheile des Kreuzgewölbes, d. h.
der Stirnlinien und der Gratlinien, verhältnismäßig einfach.

Fig. 429.

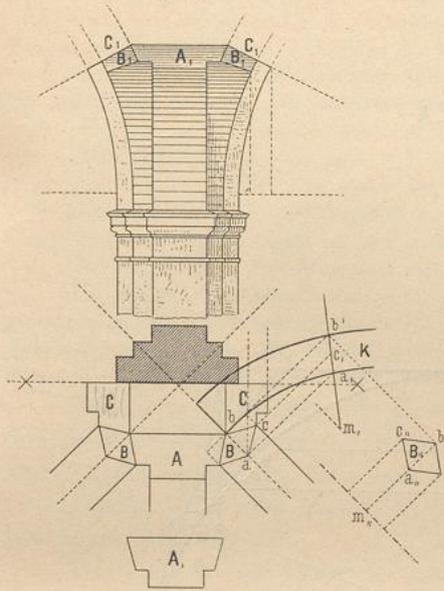


239.
Darstellung
des
Kreuzgewölbes. Fig. 429.

Am leichtesten sind diese Ausmittlungen bei einem cylindrischen Kreuzgewölbe
über einem quadratischen Raume zu schaffen. Ein derartiges Kreuzgewölbe zeigt

Die Stirnlinien, bzw. die Wöblinien 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 Scheitel-
linien der sämtlichen Gewölbkappen ergibt 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 Pro-
jection der Gratlinie und der halben kleinen Axe gleich dem Halbmesser *R* der Stirnlinien. Die Gurt-
bogen des hier gegebenen offenen Kreuzgewölbes sind ebenfalls Halbkreise. Dieselben sind mit dem

Fig. 430.



Halbmesser me beschrieben, welcher um fo viel kleiner als R genommen ist, wie folches 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 Anfätze 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 ergibt 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 Normalebene 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 ergibt sich ein fog. Anfänger des Kreuzgewölbes. Die Brettungen A'', B'' für die Anfätze 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 Ausmittlung 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 ergibt, wiederum eine halbe Ellipse.

Fig. 431.

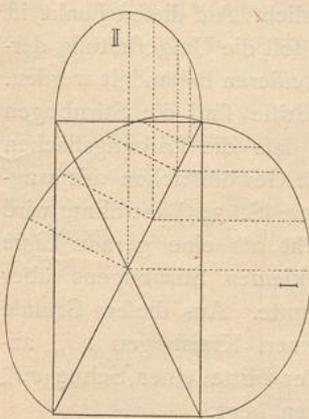
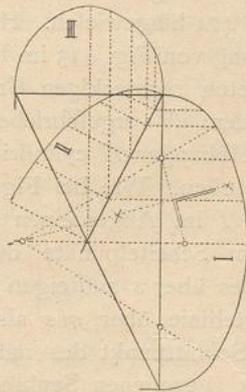


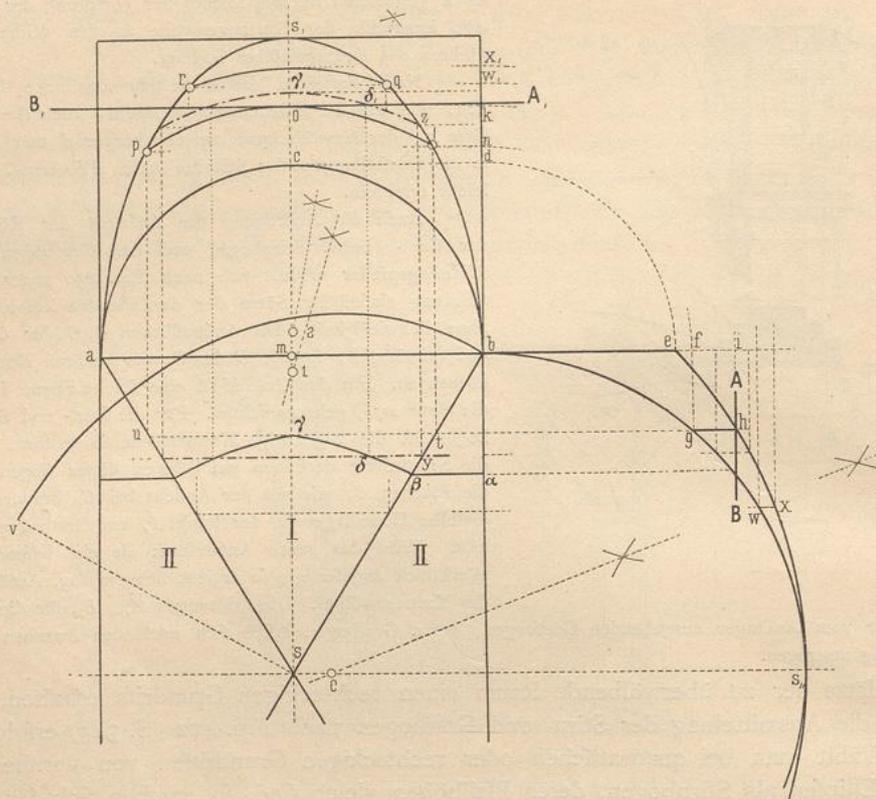
Fig. 432.



In ganz ähnlicher Weise würde man auch irgend eine andere gefetzmäßig 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

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 waagrecht 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 *ab* nach dem Scheitel des Gewölbes über *s* aufsteigen könnte. Aus diesem Grunde kann man zweckmäÙig die Scheitellinie über *ms* als einen Kreisbogen *es*, annehmen, dessen Mittelpunkt *c* im Schnittpunkte des auf der Mitte einer Sehne *es*, errichteten Lothes mit der durch *s*, gezogenen Senkrechten liegt.

Wie aus der Zeichnung zu ersehen, ist *be* 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 *bv* über *bs*, bzw. über *as* wird unmittelbar nach dem Grundbogen *bs*, als Vierteilellipse gefunden. In der lothrechten Projection *bs*, 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 *ab* stehende Ebene *ut*, so

wird die lothrechte Projection bs , der Gratbogen bs und as in g und die lothrechte Projection es , der Scheitellinie in h von dieser Ebene geschnitten. Die hier gewonnene Schnittlinie gh sei die lothrechte Projection eines Kreisbogens, welcher in der Ebene ut als Erzeugende der Gewölbfläche I auftreten soll. Zieht man durch g und h die wagrechten Linien gf , bzw. hi , trägt man $bn = bf$ und $bk = bi$ in der lothrechten Projection des Gewölbes über der Seite ab ab, so schneidet 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 bestimmte Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in r auf der lothrechten s, t liegt, ist eine Erzeugende der Gewölbfläche I . In gleicher Weise ist auch für eine Ebene wx der erzeugende Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte z gefunden.

Die Gewölbfläche I wird hiernach eine kugelförmige (sphäroidische) Fläche.

Ein wagrecht geführter Schnitt AB , bzw. A, B , liefert die Schnittlinie $\alpha\beta\gamma$ u. s. f. Hiervon gehört die gerade Strecke $\alpha\beta$ der geraden Cylinderfläche II an, während die Curve $\beta\gamma$ der sphäroidischen Gewölbfläche I zukommt. Ein Punkt δ dieser Curve liegt im Durchstoßpunkte eines erzeugenden Kreisbogens s mit der Geraden A, B , wobei gleichzeitig dieser Kreisbogen der lothrechten Ebene y angehört.

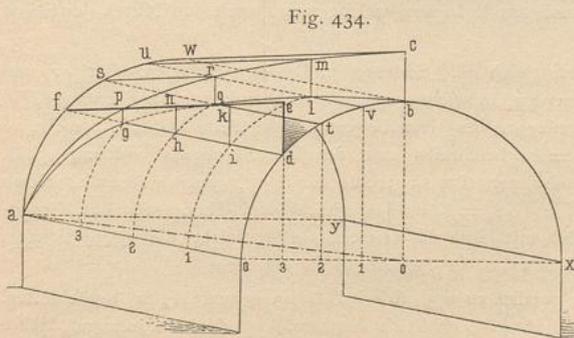
Bei dieser Anordnung der Gewölbflächen ist der Scheitelpunkt des Gewölbes in Bezug auf den höchsten Punkt des Randbogens der Gewölbkappen I um ein Maß cs , höher gelegt. Man bezeichnet dieses Ansteigen der Gewölbkappen, wie bereits gesagt, mit dem Namen Stechung oder Stich. Für die Kappen II tritt hier keine Stechung auf.

Das Maß für die Höhe der Stechung kann nach Wunsch mehr oder weniger bedeutend genommen werden, je nachdem der Scheitel des Kreuzgewölbes in Bezug auf die Scheitelpunkte der Stirnbogen desselben mehr oder weniger gehoben erscheinen soll.

Ein ungefähres Maß dieser Stichhöhe ist $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{30}$ der ganzen Weite des größten Gratbogens.

Bei den einfachen cylindrischen Kreuzgewölben, gleichgiltig, welche Grundriffsform dabei vorliegt, kann man aber jeder Gewölbkappe eine Stechung geben. Dabei nimmt man in der Regel, ausgehend von einem einzigen Stirnbogen, die Pfeilhöhen sämtlicher Stirnbogen gleich und gestaltet diese Stirnbogen vollständig abhängig vom gewählten Grundbogen. Die Erzeugenden der Gewölbflächen sind von den Stirnbogen aus ansteigende gerade Linien, welche von entsprechend liegenden Punkten der Stirnbogen auslaufen. Diese Linien liegen in lothrechten Ebenen, welche für jede Kappe parallel der Kappenaxe stehen. Sie schneiden sich in entsprechenden Punkten der Gratbogen von je zwei zusammentreffenden Kappen. Die höchsten dieser erzeugenden Linien sind die ansteigenden Scheitellinien der Kappen. Sie endigen sämtlich im Scheitelpunkte des nunmehr durchweg mit Stechung versehenen Kreuzgewölbes. Bei dieser Umformung der Gewölbflächen bleibt bei der be-

241.
Kreuzgewölbe
mit
Stechung.



stimmte vorgeschriebenen Abhängigkeit der Stirnbogen und weiter auch der Gratbogen das Wesen der cylindrischen Kreuzgewölbe noch gewahrt.

Ist $oayx$ in Fig. 434 der Grundriß der halbkreisförmigen geraden Cylinderfläche mit dem Stirnbogen awy , bzw. obx und schneidet man diese Fläche durch die lothrechte Ebene aob , so ergibt

sich als Schnittlinie die Vierteilellipse $agqlb$. Dieselbe kann als Gratlinie an einer halbkreisförmigen Kappe eines Kreuzgewölbes ohne Stechung angefahren 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 Vierteilellipse 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 .

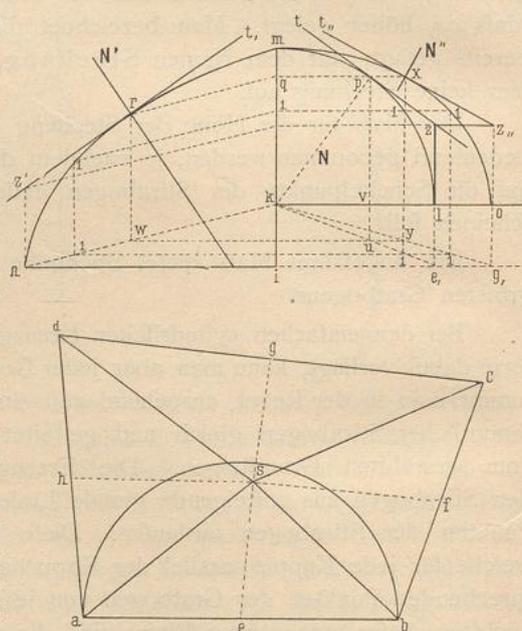
Bei cylindrischen Kreuzgewölben mit Stechung über einem unregelmäßigen Grundriß erfolgt die Ausmittlung der Stirn- und Gratbogen nach dem gewählten Grundbogen gleichfalls in der eben beschriebenen Weise. Man kann sich dabei des in Fig. 435 benutzten Verfahrens bedienen.

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 , nehme $in = sc$ gleich der Weite des gefuchten Gratbogens über cs , und $ie = kl = km$ gleich dem Halbmesser des Grundbogens. Zieht man ke , und kn , so lassen sich mit Hilfe des Dreieckes nke , 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 , so wird kn in w und ke , in u geschnitten. Führt man durch diese Punkte parallele Linien zu km , so trifft der Strahl up den hier nur zur Hälfte

Fig. 435.



gezeichneten Grundbogen ml im Punkte p . Führt man durch p die Gerade pg parallel zu ne , und durch den auf km gelegenen Punkt q eine Parallele qr zu kn , so ist der Schnitt r dieses Strahles mit wr ein Gratbogenpunkt.

Ein in gleicher Weise geführter Linienzug $r \dots r$ liefert den Gratbogenpunkt r u. f. f.

Nach der Zeichnung ist $vp = wr$. Wäre keine Stechung vorhanden, so würde der Punkt r nur um das Maß wr , bezw. vp über der wagrechten Linie (Kämpferlinie) ni liegen. Beim Vorhandensein der Stechung ist aber die Strecke wr um dasselbe Maß zu vermehren, als die wagrechte Linie wu , von welcher der Punkt r abhängig ist, über der Linie ni sich erhebt. Im Punkte n ist die Stechungshöhe gleich Null; im Punkte i ist dieselbe gleich ik . Proportionale Theilungen der Strecken kn und ke , durch die Strahlen wu , rr u. f. f. liefern auch proportionale Stechungshöhen.

Für den Stirnbogen der Seite cd ist nur die Austragung seiner Hälfte nothwendig, da hiernach die andere Hälfte desselben leicht hinzugefügt werden kann. Da für diesen Bogen keine Stechung, sondern nur eine proportionale Theilung seiner Weite in Frage kommt, so wird zunächst $ko = ig = cg$ abgetragen und die Linie kg , gezogen. Der verlängerte Strahl wu schneidet kg , in y . Die Lothrechte yx wird von der verlängerten Geraden qp , wobei p dem Schnitt der Geraden wu mit ke , entspricht, im Punkte x des gefuchten halben Stirnbogens mo getroffen. In gleicher Weise ist für den Punkt r u. f. f. dieses Stirnbogens zu verfahren. Will man für die Punkte r und x , welche vom Punkte p des Grundbogens abhängig sind, die Normale N_r , bezw. N_x , fest legen, so führt man in p die Tangente tz an den Bogen ml . Diese Tangente trifft das in l auf kl errichtete Loth in der Höhe lz . Trägt man auf den Lothrechten nz , und oz , diese Höhe ab, so daß $nz = oz = lz$ ist, zieht man alsdann die Strahlen zr , durch r und z_x , durch x , so sind dieselben Tangenten in den Elementen r und x der zugehörigen Grat-, bezw. Stirnlinie. Die in r und x auf zr , bezw. z_x , errichteten Lothe sind die gefuchten Normalen in diesen Elementen. Nach diesen Angaben sind in einem und demselben Plane sämmtliche Grat- und Stirnbogen eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung ohne Schwierigkeit zusammenzutragen.

Bemerkt sei noch, daß beim Halbkreise als Grundbogen der hiervon abhängig gemachte Gratbogen einer Ellipse angehört, wofür bei der gewählten Stechung ik die Geraden kn und km halbe conjugirte Durchmesser sind. Die reellen Axen dieser Ellipse können nach dem in Art. 135 (S. 176) Mitgetheilten ermittelt werden. Der Stirnbogen für cd wird hier eine Halbellipse mit der halben großen Axe ko und der halben kleinen Axe km .

Wird statt der geraden Stechungslinie eine Bogenlinie in Anwendung gebracht, so entstehen Kreuzgewölbe mit »Bogenstich«. Die Gewölbflächen werden alsdann sphäroidisch.

Die Ausmittlung der Grat- und Stirnbogen könnte, wie in Fig. 433 für die Gewölbkappe I gezeigt ist, für alle Kappen durchgeführt werden, oder dieselbe wird, wie Fig. 436 angiebt, vorgenommen. In derselben ist gef eine Ecke irgend eines unregelmäßigen Kreuzgewölbes. Für die Seite ef sei ein Halbkreis als Grundbogen für das Kreuzgewölbe gewählt. Die Scheitellinie der Gewölbkappe esf sei die beliebig angenommene Bogenlinie ik ; dieselbe bestimmt den Bogenstich.

Um irgend einen Punkt o des Gratbogens C über t auf es zu bestimmen, zieht man durch t die Gerade tr parallel zur Axe si der Grundbogenkappe. Dieselbe ist die wagrechte Projection einer Erzeugenden dieser Kappe. Ihr Endpunkt am Stirnbogen besitzt die lothrechte Entfernung $rz = b$ über der Kämpferebene, während ihr Endpunkt am Gratbogen eine Höhe $to = b + y$ über dieser Ebene annimmt. Der Zuwachs y von b entspricht dem für den Gratpunkt o entstehenden Maße des Bogenstiches. Um dieses Maß zu erhalten, ist 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 ergibt sich unter Benutzung der von t parallel zu sm angegebenen Erzeugenden tv sofort die Höhenlage des Punktes z als $vz = b$ über der Kämpferebene.

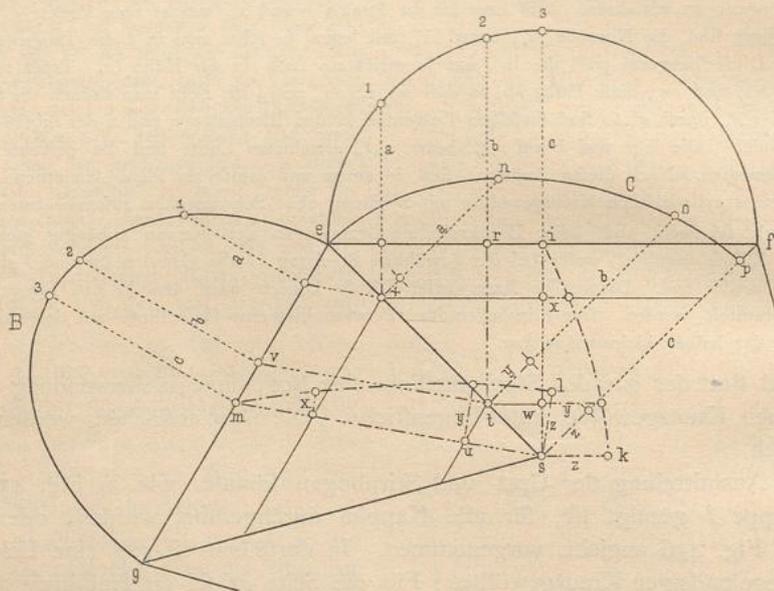
Unter Beobachtung der Bezeichnungen in Fig. 436 läßt sich die Bestimmung einer größeren Anzahl von Punkten des Gratbogens C , des Stirnbogens B und auch der Scheitellinie ml der zweiten Gewölbkappe esg ohne Weiteres treffen. Wäre hier statt der Bogenstichlinie ik eine gerade Stechungslinie gegeben, so hätte das Austragen der Grat- und Stirnlinien unter Benutzung dieser Stechungslinie nach

einem gleichen Verfahren stattfinden können. Dasselbe entspricht der bereits in Art. 135 (S. 174) erwähnten fog. Vergatterung.

242.
Kreuzkappen-
gewölbe.

Ist der Grundbogen irgend ein Flachbogen, so ist das Festlegen der Gratbogen, Stirnlinien, Scheitellinien u. f. 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 $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ 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.

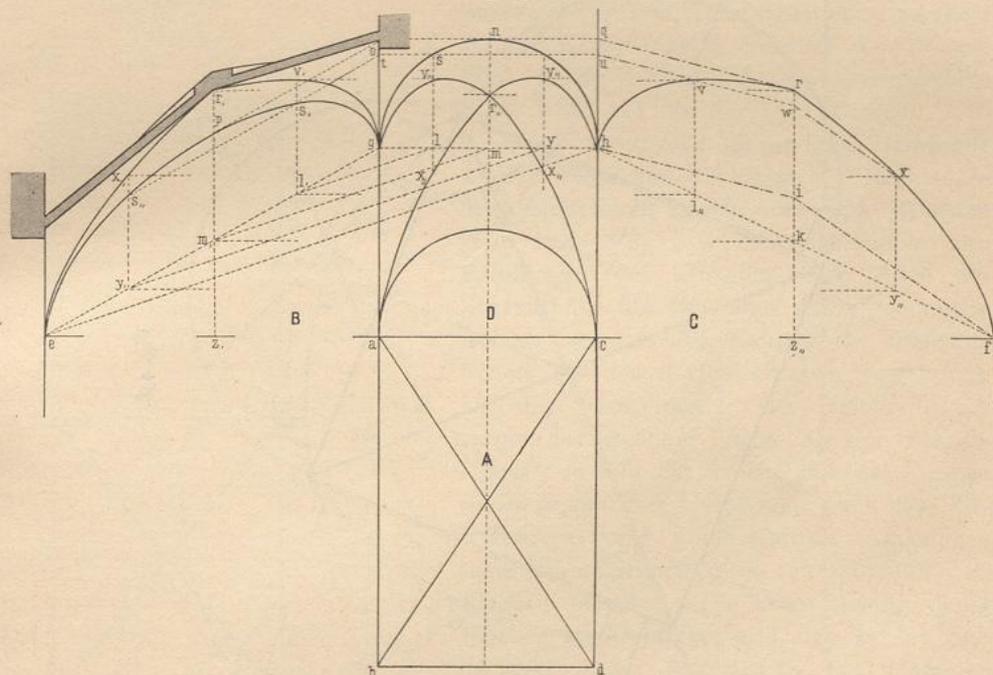
In Fig. 437 ist die Entwicklung der Hauptstücke für ein cylindrisches steigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Grundriss mit einem Halbkreise als Randbogen für die kleinen Rechtecksseiten ac und bd und einer Stichhöhe ik unter Benutzung der fog. Vergatterung vollständig gegeben. Aus der Zeichnung 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.

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 verhältnismäßig großer Längenausdehnung, damit alsdann bei diesen Gewölben die Gratlinien scharf ausgeprägt erscheinen.

Bei Kreuzgewölben über quadratischen Grundrissen sind beim Feststellen der sämtlichen 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

244.
Kegelförmige
Kreuzgewölbe.

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 e bis v gezogene gerade Linie eine zweite äußerste Seitenlinie desselben.

Da außerdem durch jede rechtwinkelig zur Kegelaxe geführte Ebene der Kegel nach einem Kreise, bzw. 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 $ao = ov$ und der halben kleinen Axe op . Letztere ergibt sich mit Hilfe des Kegelschnittes der Ebene rt , wie aus der Abbildung zu ersehen, als das Loth go auf to .

Das Stück anb dieser Ellipse ist der Gratbogen über as . Diefem Ellipsenstücke entsprechen auch

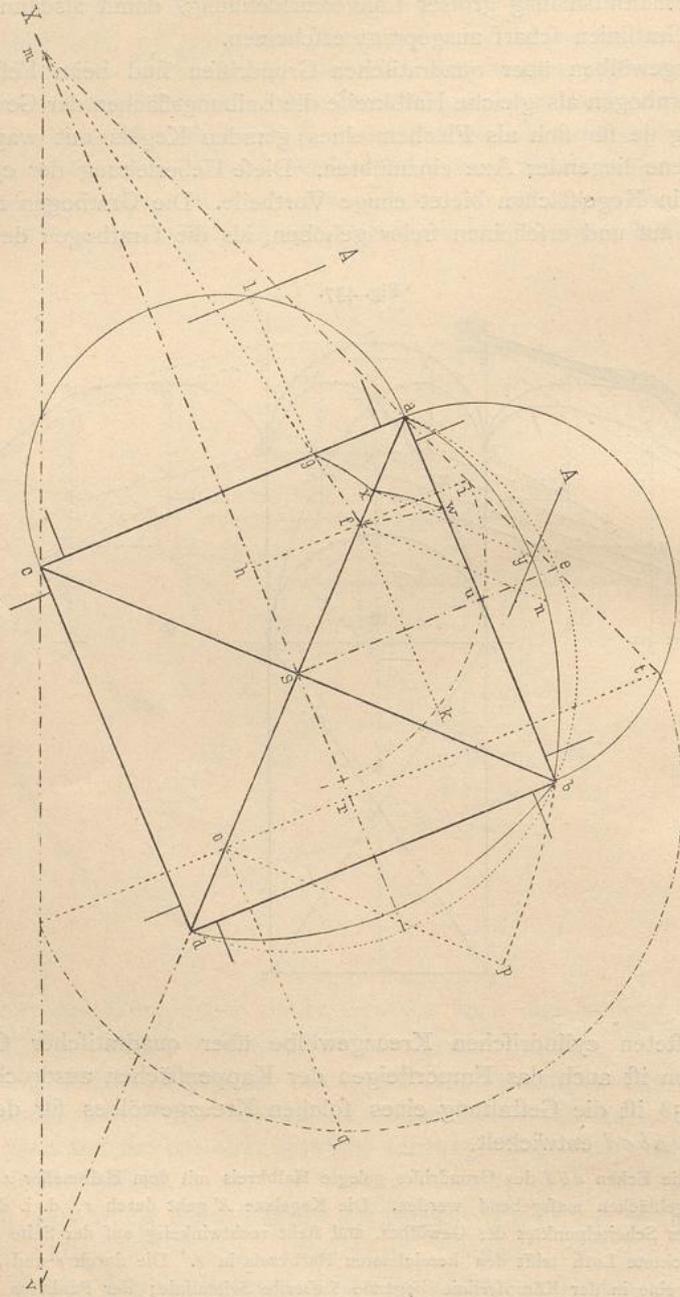


Fig. 438.

die Gratbogen über ds , bs und es . Zwischen denselben liegen die Kegelflächen, welche ebenfalls der Kegelfläche über asc entsprechen, für welche die Ausmittlung vorgenommen wurde. Eine wagrechte Ebene A würde eine Schnittlinie mit der wagrechten Projection gxw liefern. Diefelbe ist, wie aus der Zeichnung hervorgeht, mit Hilfe der Projectionen der Erzeugenden mf , bzw. fw der sich durchdringenden

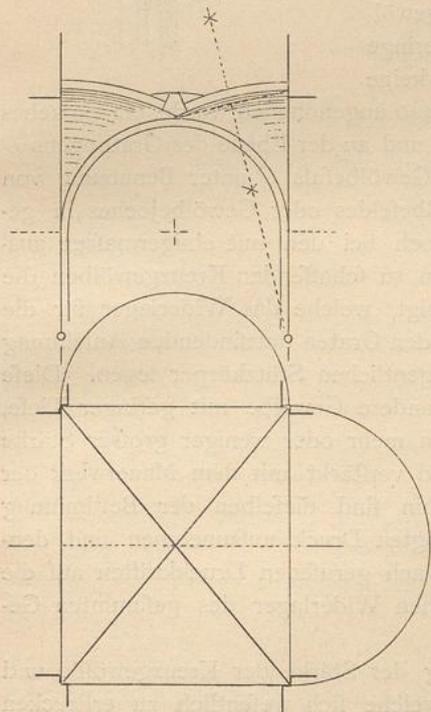
Kegelflächen leicht zu bestimmen. Bei der Gleichheit dieser Kegelflächen ist $ag = aw$. Noch sei bemerkt, daß auch $fn = fk$ ist. Die Scheitellinien der Wölbflächen sind offenbar Theile höchster Seitenlinien der Kegelflächen, und danach ist die Stechungshöhe ue auch ohne Weiteres mittels der äußeren 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 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 gefenktem Scheitelpunkte. Dieser Punkt

245.
Kreuzgewölbe
mit gefenktem
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 gefenktem 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 zusammengefügt 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 Fulse 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 Belaftung 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:

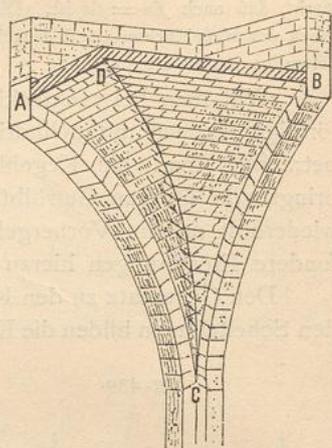
- α) der Gewölbkappen,
- β) der Gratabogen und
- γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

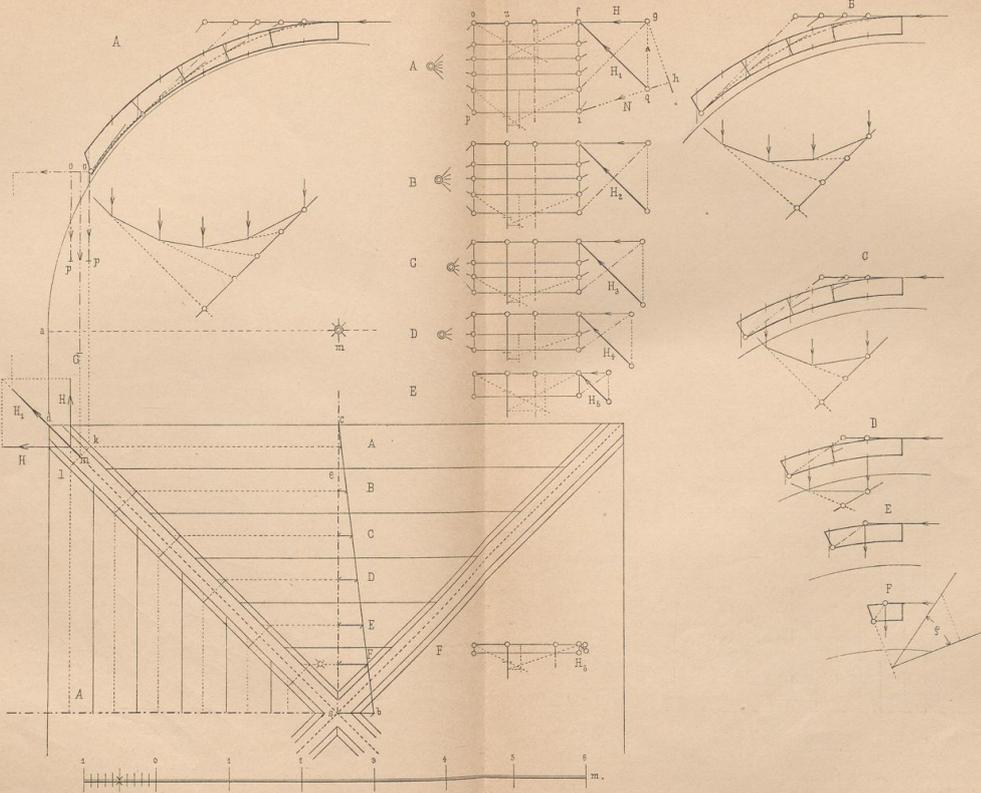
Hierzu kommt noch bei der besonderen Einwölbungsart der cylindrischen Kreuzgewölbe auf Schwalbenschwanz-Verband die Untersuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einschließlic ihrer Belaftung, 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

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

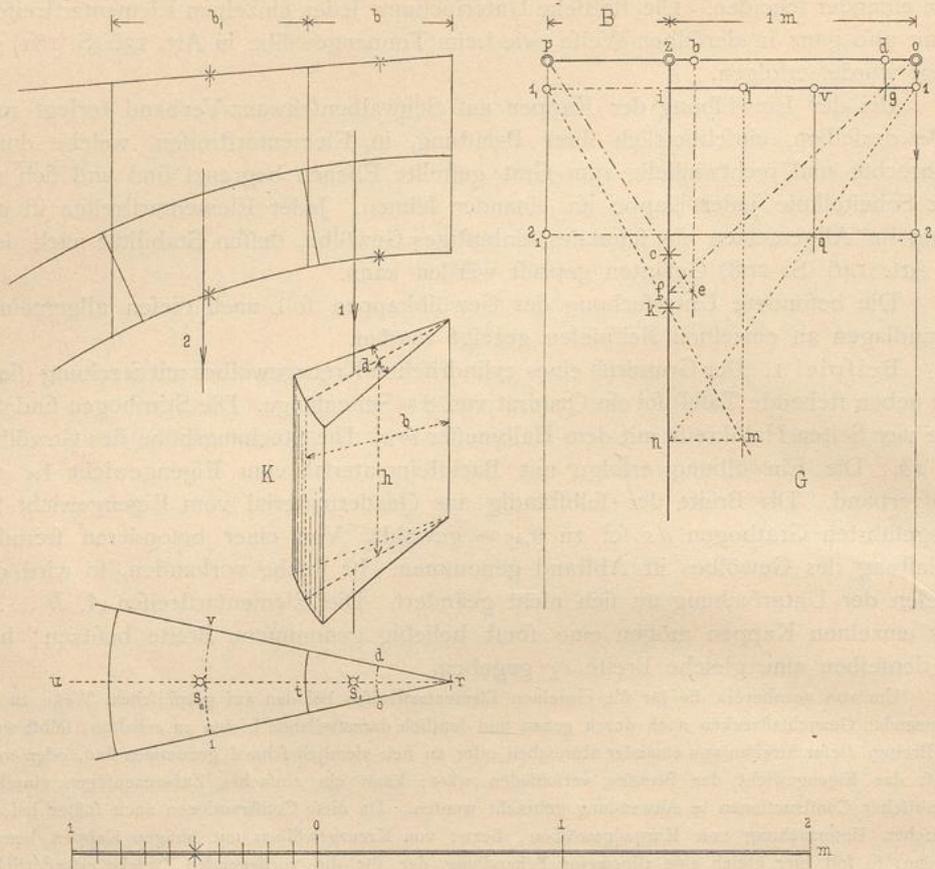
woraus

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

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 zo 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

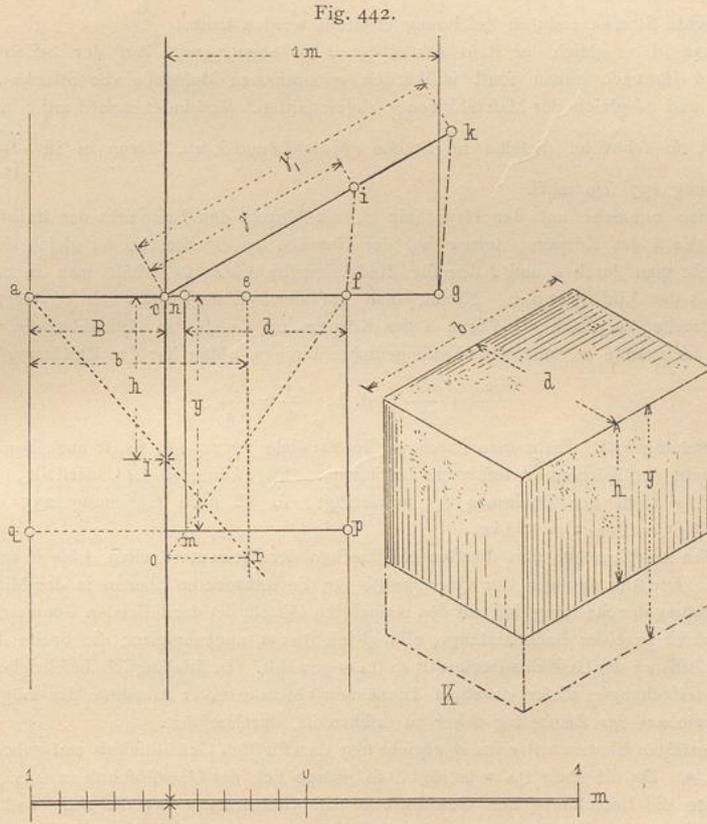
$$\frac{zf}{1} = \frac{dg}{od}, \text{ d. h. } \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

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 $V = b h d$ Cub.-Met. ist, besitze ein Gewicht γ , Tonnen für 1 cbm. Alsdann ist das Gewicht desselben

$$G = b h d \gamma, \text{ Tonnen} \dots \dots \dots 234.$$

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 $B y$ ausgedrückt erscheint, so ist sein Gewicht G , zu berechnen als

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

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

$$b h d \gamma = B y \gamma$$

werden. Da nach Gleichung 227: $b h = B x$ zu setzen ist, so folgt auch $B x d \gamma = B y \gamma$ oder

$$x d \gamma = y \gamma.$$

Hieraus entspringt der Ausdruck

$$\frac{x d}{y} = \frac{\gamma}{\gamma} \dots \dots \dots 236.$$

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' abgezeichnet. 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 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 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

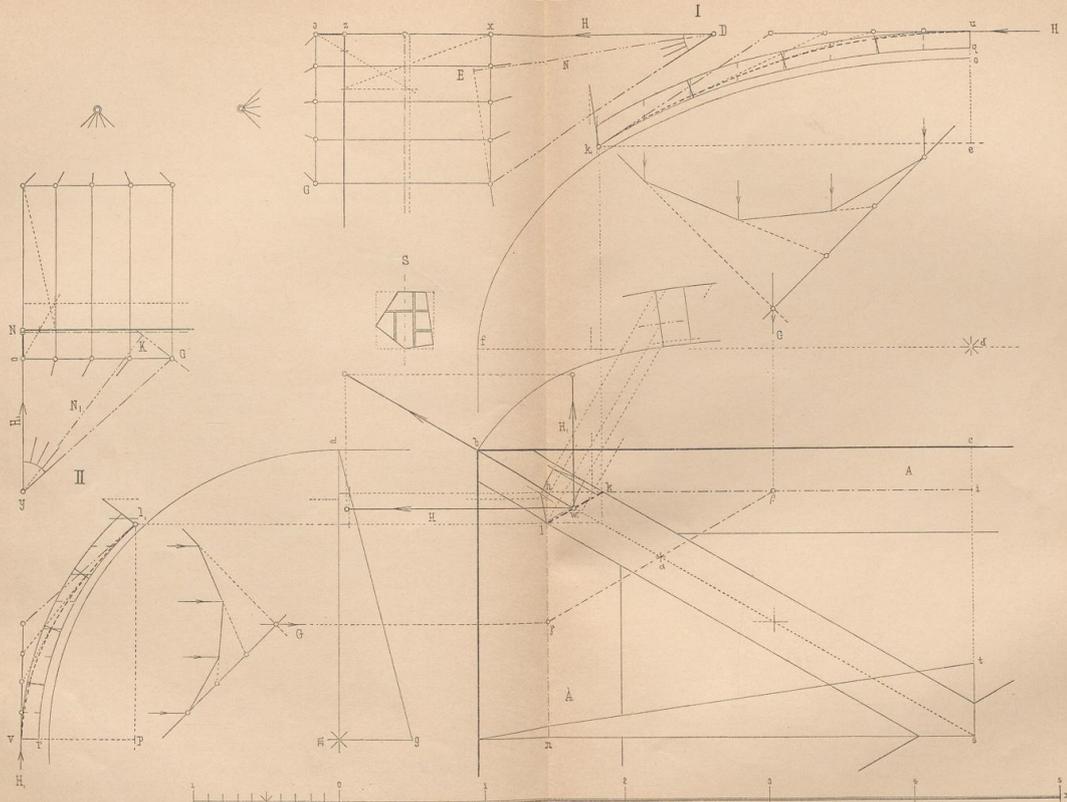
$$H = \frac{1}{0,6} \cdot 0,475 = 0,79 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

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.

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 $mg = st = 0,5$ 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 Ermittlung 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.

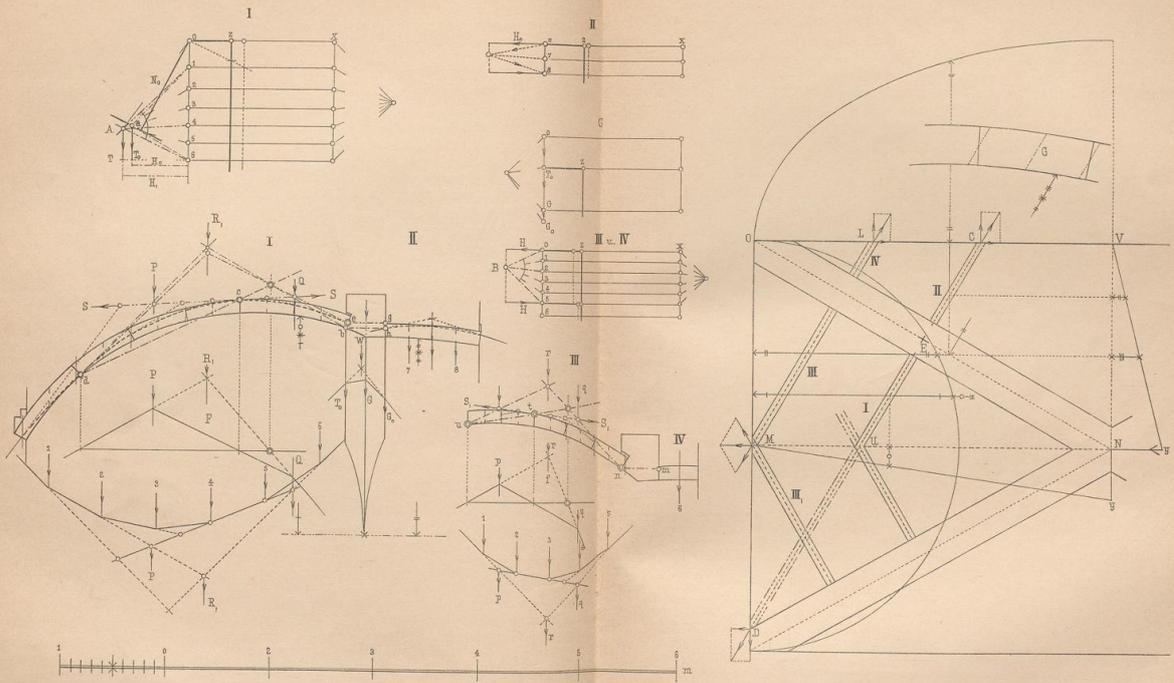
Hätte man den Hauptstreifen der weitesten Kappe 1 Stein stark ausführen wollen, während der zugehörige Hauptstreifen der antretenden schmalen Kappe nur $\frac{1}{2}$ Stein stark verbliebe, so hätte eine Uebermauerung dieses letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müssen, daß die Gewichte, bezw. Flächen oder Inhalte der Streifen das mehrfach erwähnte, in Gleichung 241 ausgesprochene Verhältniß beibehalten konnten. Im anderen Falle würde der Gratbogen durch die Gewölbdücke 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 Grundrisslinie 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 Schwabenschwanz-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 übermächtig 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 Wölbverbanne 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.

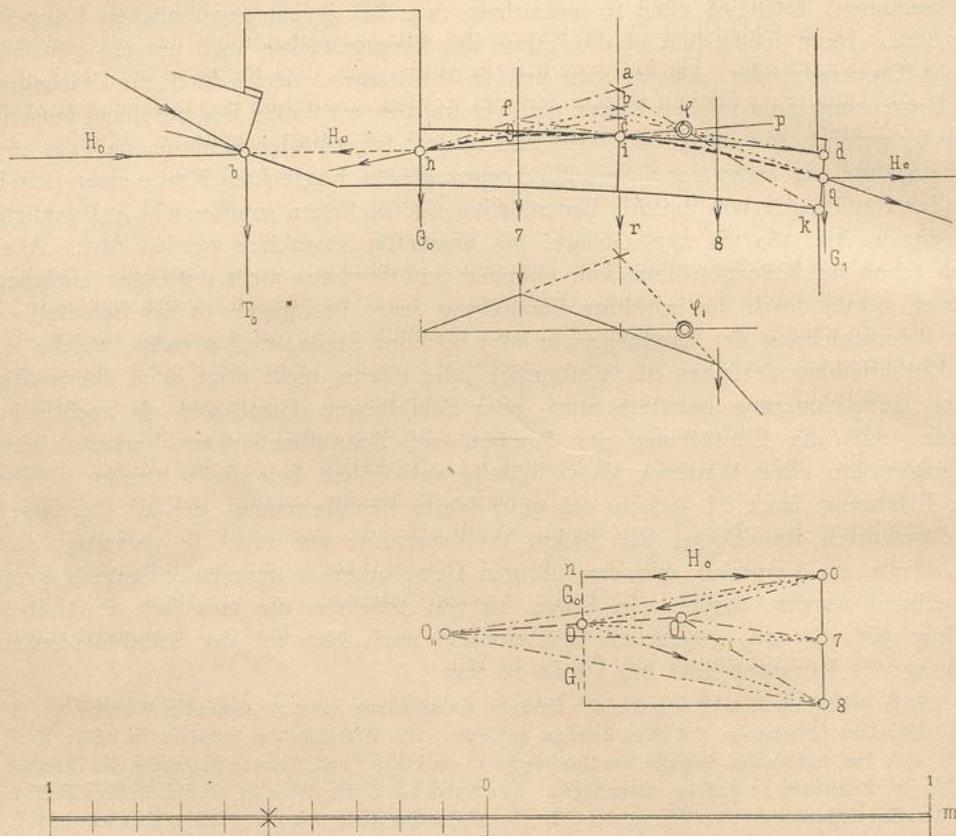
Dem gemäss ist zunächst ein von der Ecke D rechtwinklig auf ON stehender Wölbstreifen mit einer lothrechten Mittelebene CED in Betracht gezogen. Die Wölblinie des Streifens in dieser Mittelebene nebst dem lothrechten Schnitte des Gratbogens ist im Plane I und II unter Beachtung der Stechung, wie aus 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 *ab* 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 Gröfse, 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 Gewichtsplane 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 bleibe 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 Gewölbchübe in db und bh . Zieht man jetzt im Gewichtsplane 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 Gewölbchübe 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 Gewölbchübe 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.

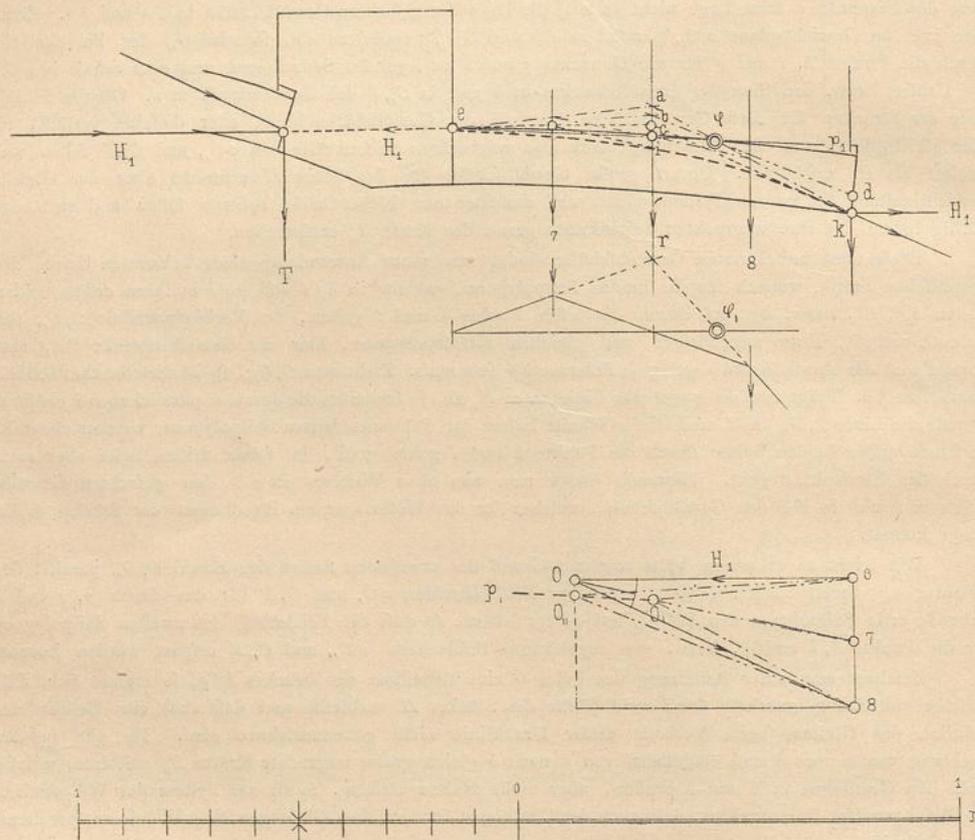
Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl oO'' , parallel der Polaraxe hp bereits ziehen können, nachdem die Polstrahlen oO , und o, δ für das durch h , i und k gehende erste Seilpolygon den Pol O , fest gelegt hatten, so daß die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für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

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

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, 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 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.

β) 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, 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 sachgemäßen 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.

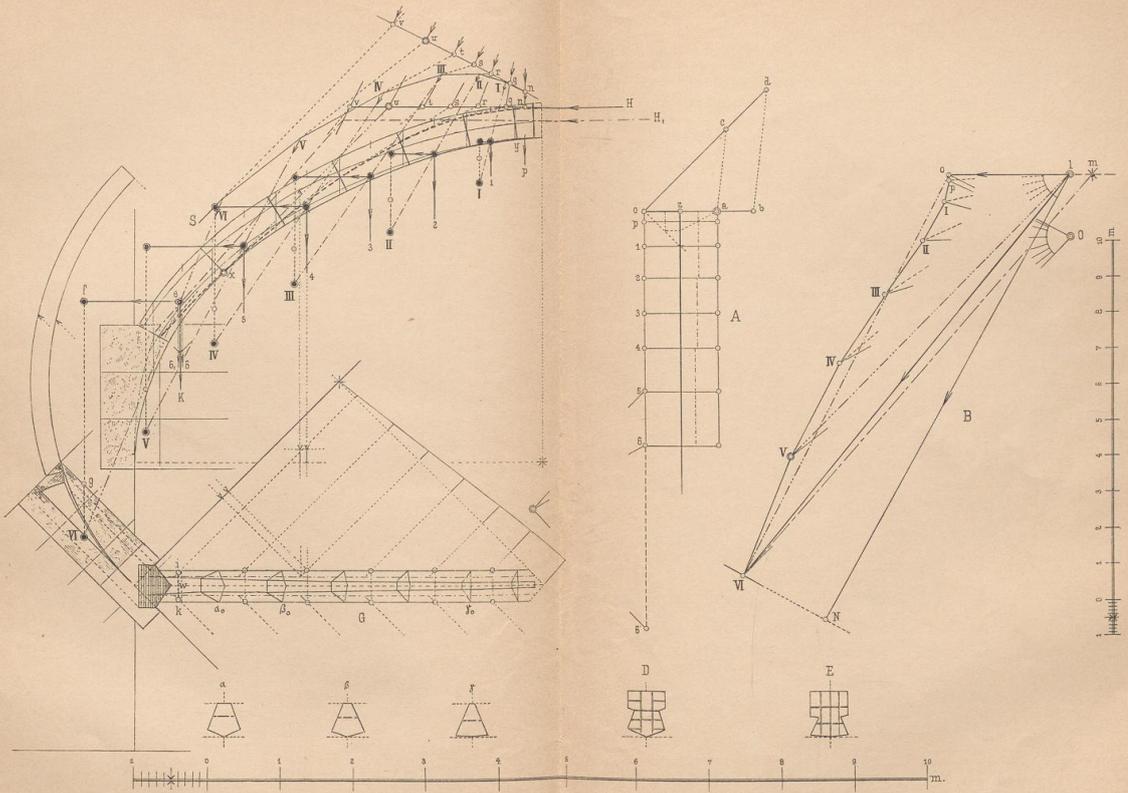
Zunächst ist nach Ausmittlung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreifes und der angenommenen Stechungshöhe, so wie nach Bestimmung der Normalschnitte α, β, γ , deren wagrechte Projectionen $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ sind, das Gewicht der einzelnen Theilstücke des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

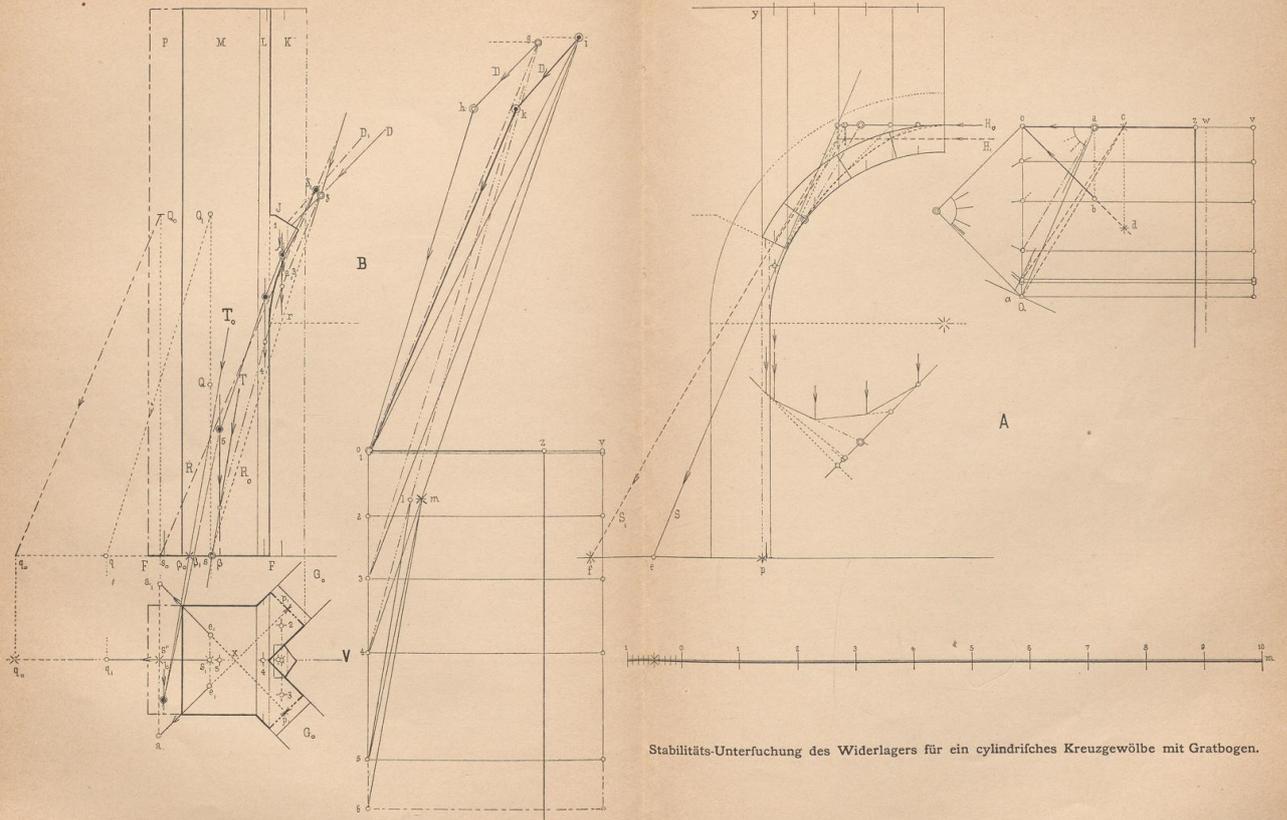
Bei den offenen Kreuzgewölben sind die Stirnmauern durch Oeffnungen frei gehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgeschlossen werden, deren Wöblinien den Stirnlinien des Gewölbes meistens entsprechend gekrümmt gewählt werden. Diese Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben selbst ein gemeinschaftliches Widerlager an den Eckpfeilern des überwölbten Raumes. Diese Eckpfeiler sind die Stützkörper des Wölbensystems. 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 Gewölbdrücken 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 Gewölbdrück 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 feiner 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 schließlichs vom Gratbogen 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 ergiebt 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 $m VI$ 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 $ol VI$, bezw. $om VI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke $l VI$, bezw. $m VI$ 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.

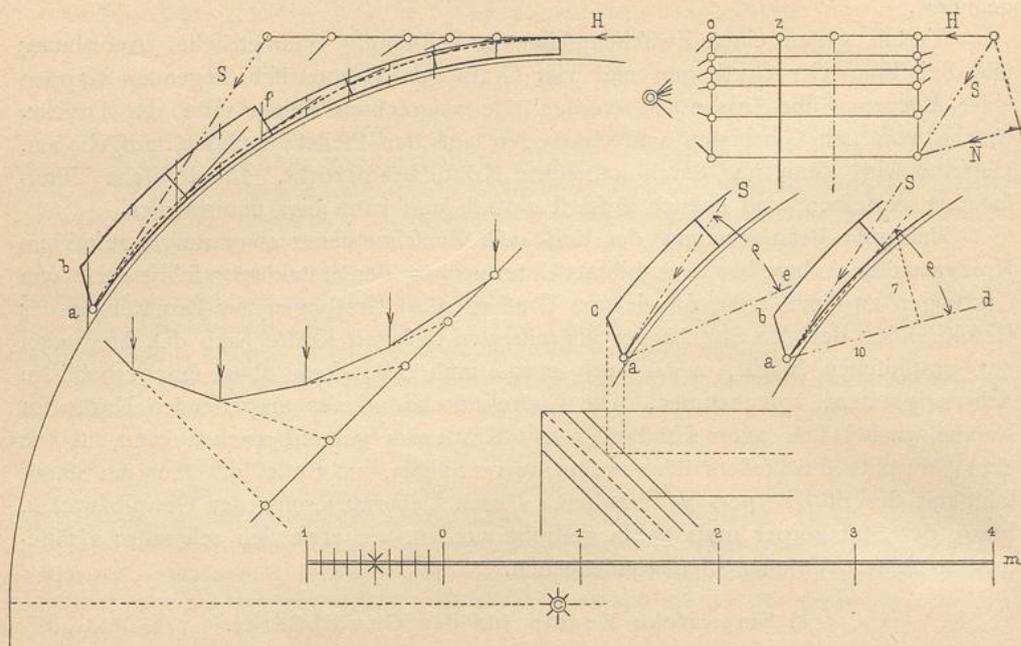
Im Hochbauwesen kommen Kreuzgewölbe, welche größere Kappenstärken als 1 Stein erfordern, selten vor.

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

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

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{S} und \mathfrak{N} mit den in der Tabelle auf S. 202 enthaltenen Größen H und N zeigt, daß \mathfrak{S} 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 $\mathfrak{S} = 0,46$ 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 Wölb-systemes 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 Gefammthöhe, 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 Gratbogen 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.

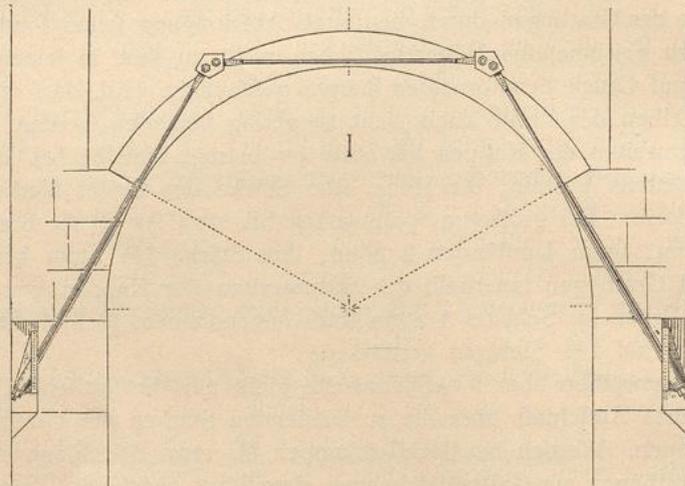
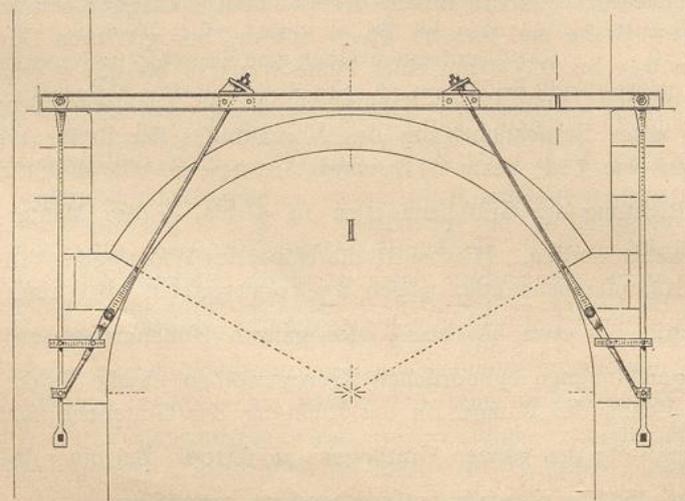


Fig. 447.



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. 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-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«.

Kleine Gewölbe, bis etwa 4^m Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 152 (S. 220) angegeben ist, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinkelig angefügten Stiehkappen eingeschalt werden (Fig. 448). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen

oder auch gewöhnliche Wölfscheiben als Randbogen aufgestellt. Zwei einander gegenüber liegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abstand dieser Randbogen über 2^m, so wird zur besseren Unterstützung der Schalung noch eine Wölfscheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwischen den Randbogen aufgestellt. Auf der Schalung sind die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureißen. Von denselben aus erfolgt die weitere Einschalung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu

gehörigen Lehrbogen oder Wölfscheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diese Schalung kann nach Erfordernis noch durch Wölfscheiben unterstützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der ersten Hauptschalung finden. Je sorgfältiger diese zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ist, um so scharfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Größere Kreuzgewölbe, namentlich solche, welche Stechung erhalten sollen, müssen in anderer Weise eingerüstet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden besondere Lehrbogen aufgestellt. Nach Fig. 449 ist mit *a* ein

ganzer, von einer Ecke zur gegenüber liegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates besteht aus zwei Theilen *b*, welche sich gegen den Lehrbogen *a* setzen und an demselben fachgemäß befestigt werden. Wie beim Klostersgewölbe in Art. 216 (S. 322) angeführt, werden diese Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsstelle durch einen Pfosten (Mäkler, Mönch) unterstützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei größerer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,0^m bis 1,5^m Zwischenbogen *d*, *e* aufgestellt. Dieses Bogen-

system nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie sind zur Erzielung einer scharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zusammenzuschneiden, so daß ihre Fuge hier der Wölblinie des Grates vollständig entspricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verschiedenen Lehrbogen erfolgt

Fig. 448.

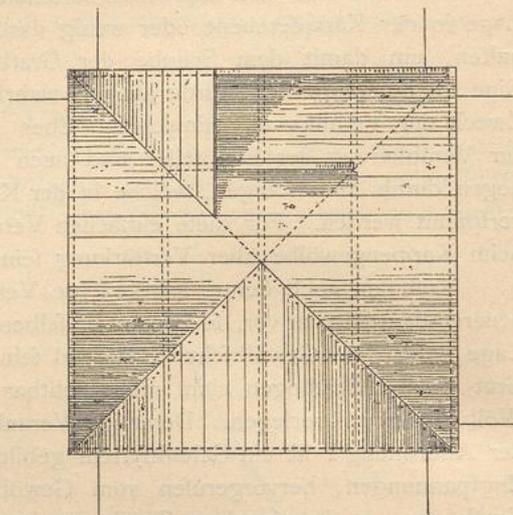
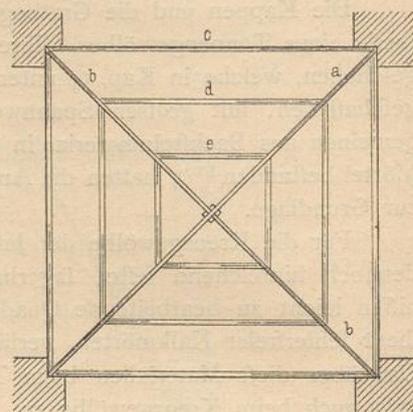


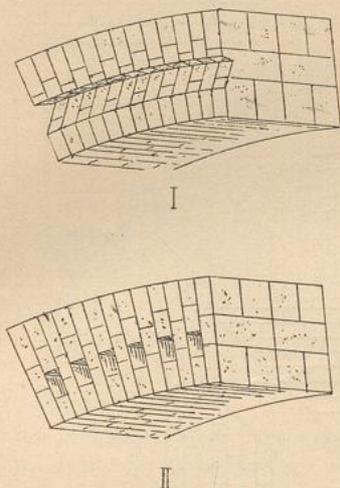
Fig. 449.



in der bei der Ausmittlung 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 gefamnten 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

Fig. 450.



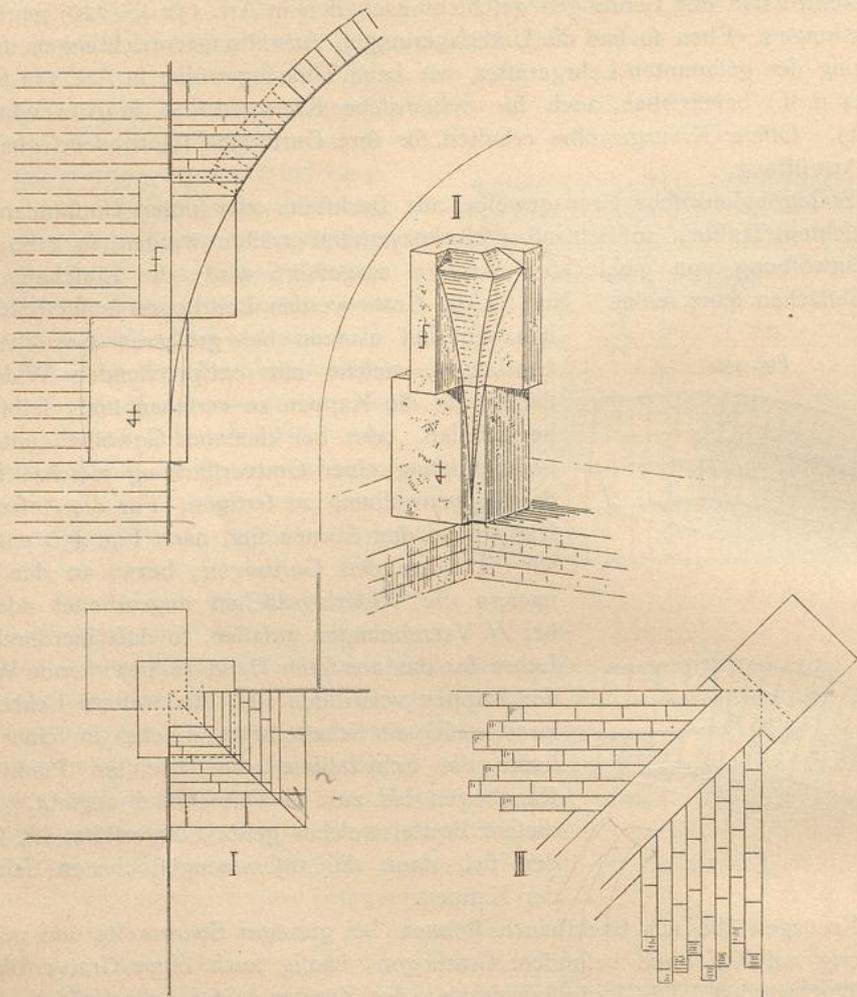
hierüber sind alsdann bei größeren Gewölben die Gratbogen, welche mit entsprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu versehen sind, selbständig herzustellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berücksichtigung einer Gratverstärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung zu fertigen. Für die Ansätze der 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 anliegt. Ueber diesem Brette, welches gehörig unterstützt ist, schneiden sich dann die zusammengeftochenen Schichten der Kappen.

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

266.
Kreuzgewölbe
aus
Backsteinen.

Fig. 451.

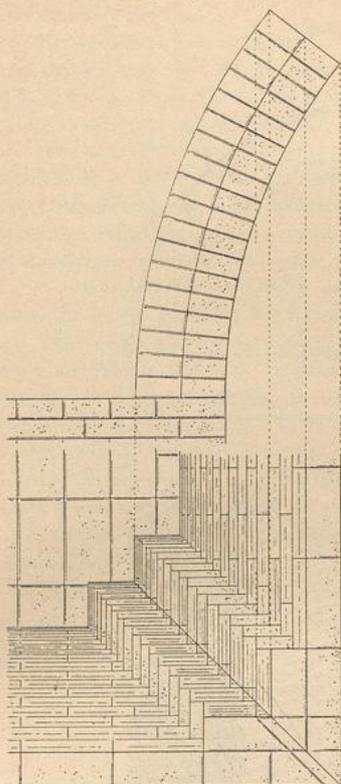


Widerlager für die Kappen bekommen, so wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, selbst wenn dieselben einer größeren Belastung halber statt $\frac{1}{2}$ Stein 1 Stein stark werden müßten.

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 fachgemäßer Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband sollen die einzelnen Lagerflächen der Wölbchichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und senkrecht zur Wölblinie desselben stehen. Die Schnittlinien dieser fog. Normalebene des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wöblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 452.



am Grat- und am Rundbogen voll fenkrecht zu den entstehenden Wöblinien gerichtet sein. Die für diese Forderungen nothwendigen zeichnerischen Ermittelungen sind in Fig. 453 ange stellt.

Für das zu Grunde gelegte Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriss ist der Stirnbogen P der kleinen Seiten ein Halbkreis, der Randbogen U der langen Seiten eine halbe Ellipse mit der großen Halbaxe δu und der kleinen Halbaxe $\delta \delta_1$ gleich dem Halbmesser γu , bzw. $\gamma \gamma_1$ des Halbkreises P . Die wagrechte Projection des Gewölbscheitels ist s ; die Geraden $s\gamma$ und $s\delta$ sind die wagrechten Projectionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung ab versehenen Kappen A und B . Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite $\alpha\beta$ ist Rs .

Nach den in Art. 241 (S. 355) gemachten Mittheilungen ist auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege die lothrechte Projection as_1 der Wöblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Dieselbe gehört hier einer Ellipse mit den halben conjugirten Durchmessern ab und δs_1 an. Sollten die reellen Axen dieser Ellipse gefunden werden, so könnte man sich des in Art. 135 (S. 174) bei Fig. 284 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für einen beliebig angenommenen Punkt f der Gratlinie ist mit Hilfe des halben Stirnbogens $e s_1$, entsprechend dem grundlegenden Halbkreise P , eine Tangente T fest 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 bestimmt.

Die Projectionen der Schnittlinien der Normalebene in f mit den Laibungsflächen der Gewölbekappen A und B ergeben

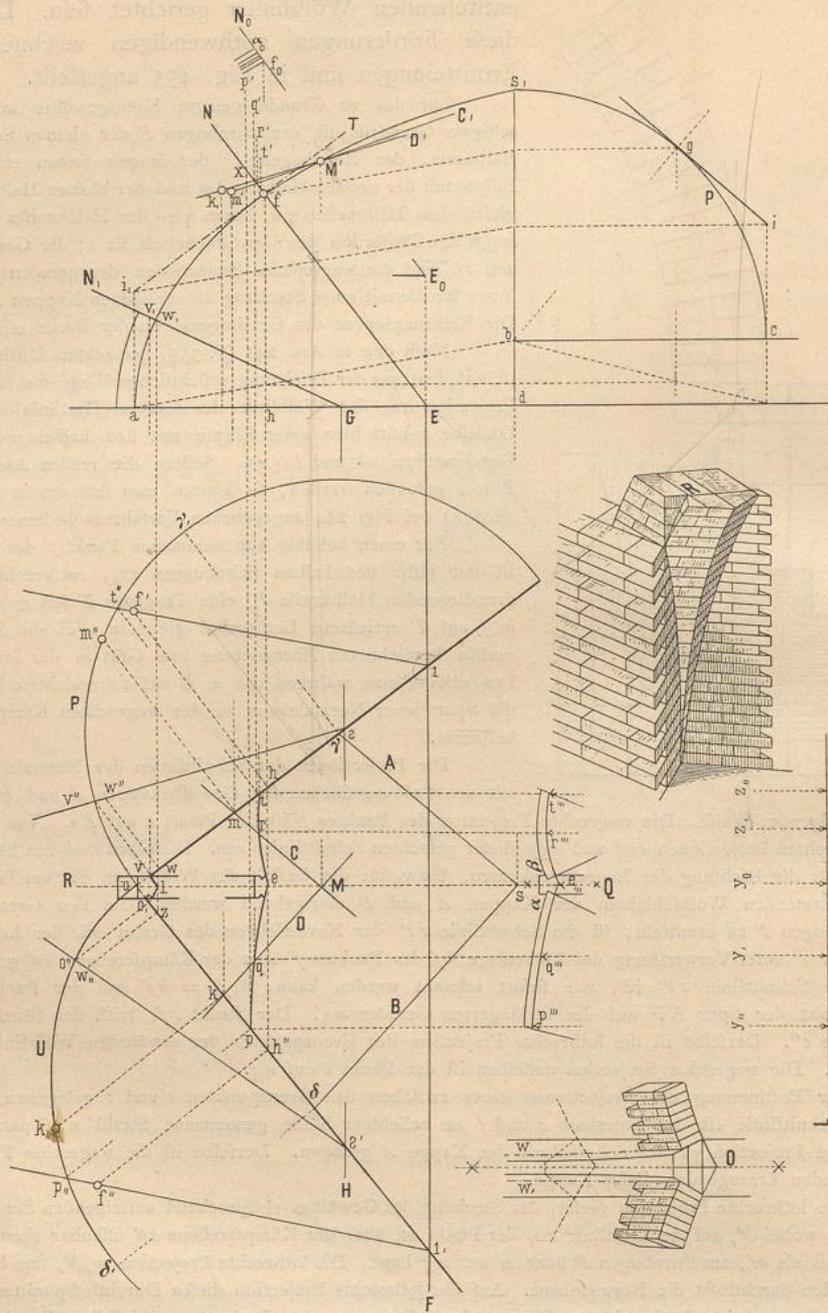
sich in folgender Weise. Die wagrechte Projection des Punktes f ist der Punkt e auf Rs . Von e laufen die wagrechten Projectionen ert und eqp dieser gefuchten Schnittlinien aus. Dieselben sind von Bedeutung, weil sie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bzw. für die Gestalt der Wöblinien der am Gratbogen zusammentretenden Wölbflächen der Kappen A und B maßgebend werden. Um den Grenzpunkt t am Stirnbogen P zu ermitteln, ist die Schnittlinie it'' der Normalebene des Grates mit der lothrechten Stirnebene P unter Verwerthung der Höhenlage hf des Punktes f über der Kämpferebene ad gezeichnet. Für diese Schnittlinie it'' ist, wie sofort erkannt werden kann, $h_1 f_1 = hf$ und der Punkt i der Schnittpunkt der Spur EF auf der verlängerten Geraden $u\gamma$. Der Strahl if_1 trifft den Stirnbogen P im Punkte t'' . Derselbe ist die lothrechte Projection des Grenzpunktes der erwähnten Wöblinie in der Kappe A . Die wagrechte Projection desselben ist der Punkt t auf $u\gamma$.

Zur Bestimmung der Projectionen eines zwischen den Grenzpunkten e und t gelegenen Punktes folcher Schnittlinie ist der innerhalb e und t an beliebiger Stelle genommene Strahl mM parallel zur wagrechten Projection γs der Scheitellinie der Kappe A gezogen. Derselbe ist die wagrechte Projection einer geraden Erzeugenden dieser Kappe.

Die lothrechte Projection dieser, der Stechung des Gewölbes entsprechend ansteigenden Erzeugenden ist m, M , wobei M , auf der Gratlinie as , der Punkt m , über der Kämpferebene ad offenbar eben so hoch liegen muß als m , am Stirnbogen P über m auf $u\gamma$ liegt. Die lothrechte Projection m, M , der benutzten Erzeugenden durchstößt die Normalebene. Auf die lothrechte Projection dieses Durchstoßpunktes in NE ist durch die punktirte Lothrechte r , hingewiesen. Die wagrechte Projection r desselben liegt auf mM , und somit ist der Linienzug ert für die Kappe A ermöglicht. Auf demselben Wege ergibt sich der Zeichnung gemäß der zugehörige Linienzug eqp für die Kappe B , wie überhaupt mehrerer folcher Linien im Wölbgebiete $\gamma s \delta u$.

Die weiteren Wölbgebiete, welche stets durch die Scheitellinien der einzelnen Kappen getrennt werden, sind in gleicher Weise für sich zu behandeln. Auf diesen Scheitellinien treffen sich, dem Wesen des Schwalbenschwanz-Verbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entsprechenden Normalebenen der Gratbogen.

Fig. 453.



Soll der Gratbogen für die Bogenlänge aw , 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 GH find, zu führen, um danach die Projectionen lv und lo , bzw. w, v , der vorderen Kantenlinien der Fußfläche bei w , zu finden.

Um den wirklichen Querschnitt des Gratbogens und die wirkliche Gestalt der Wöblinien aus-

zutragen, welche dem Normalsschnitte mit den Spuren NE und EF zukommen, ist die erforderliche Zeichnung in Q gegeben.

Für die Wöblinien 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 $y_1 = Eq$, und $y'' = Ep$, genommen.

Hiernach erhält man in $f''''r''''t''''$, und in $f''''q''''p''''$, die wirkliche Gestalt jener Wöblinien für die Kappenschicht in A und B . Da die Breite $\alpha\beta$ und die Höhe des Gratsbogens gegeben sind, so läßt sich, sobald die wirkliche Stärke der Wöblschichten oberhalb der Wöblinien angesetzt ist, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen senkrecht zu den betreffenden Wöblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querschnitt des Gratsbogens, wie bei Q und beim Bilde R vom Anfänger des Grates gezeigt ist, fest stellen. Die lothrechte Projection a_0f_0 des Gratschnittes ist in der Richtung E_0N_0 parallel EN nach der Ausmittlung in Q besonders gezeichnet.

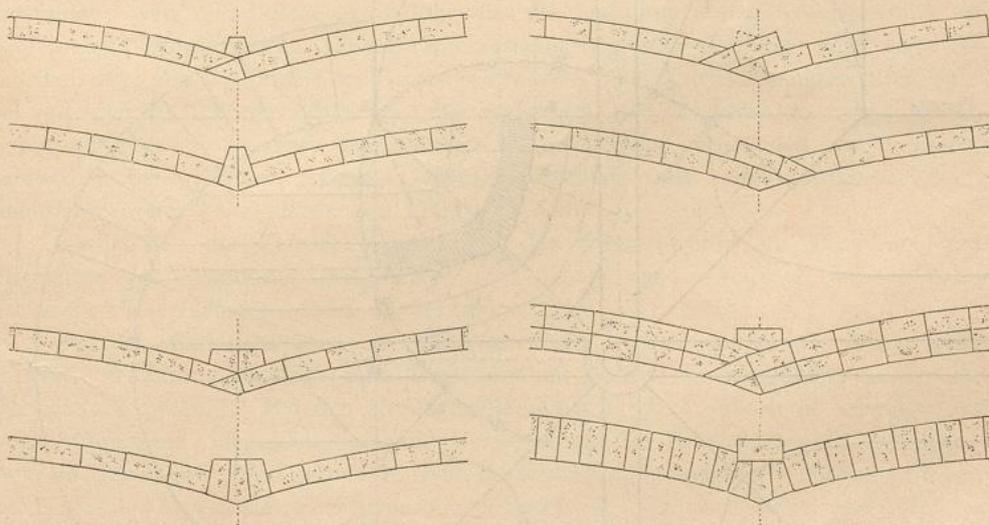
Läßt man nach der Darstellung in O die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, sondern als Flächen auftreten, welche vom Ansatz der Kappen aus nach dem Rücken des Gratsbogens vollständig durchgeführt werden, so ergibt sich für den Gratkörper am Rücken zwischen den gesammten beiden Widerlagsflächen w und w , in jedem Normalsschnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verschiedenen Normalebeneen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Größe stets von einander abweichen. Diesem Umstande ist bei der Ausführung der Gratsbogen dadurch Rechnung zu tragen, daß mehrere Normalsschnitte für den Grat ermittelt werden. Diese Arbeit ist im Besonderen nothwendig, sobald die Gratsbogen für auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergestellt werden sollen.

Die gegebenen Ermittlungen der sog. Normalsschnitte der Gratsbogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmässigen oder unregelmässigen Grundrissen Anwendung.

Für Kreuzgewölbe ohne selbständige Gratsbogen sind Gratsverstärkungen stets zu empfehlen. Namentlich sind dieselben beim Schwalbenschwanz-Verbande gleich in

267.
Grat-
verstärkungen.

Fig. 454.



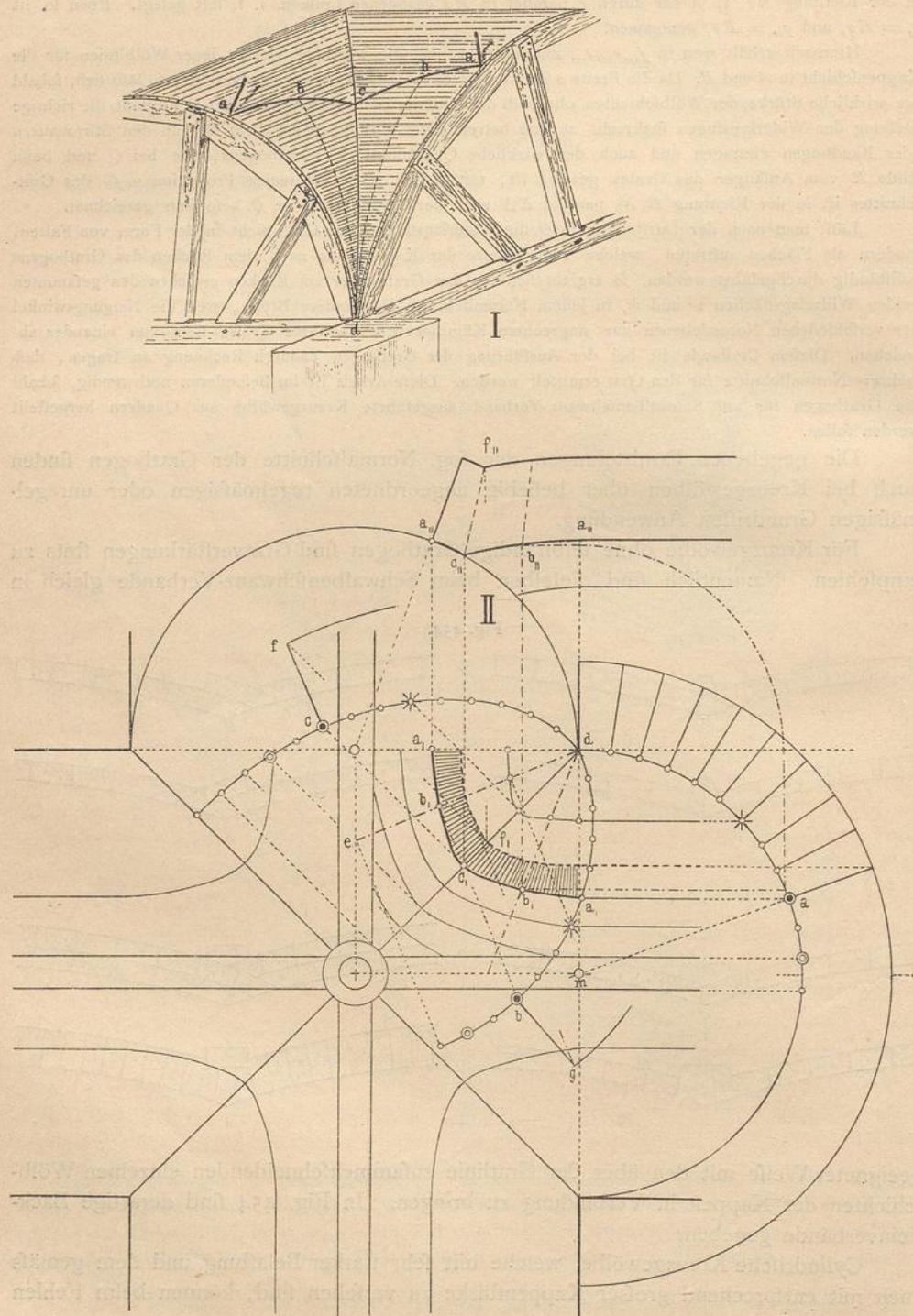
geeigneter Weise mit den über der Gratlinie zusammenschneidenden einzelnen Wöblschichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 454 sind derartige Backsteinverbände gegeben.

Cylindrische Kreuzgewölbe, welche mit sehr starker Belastung und dem gemäß auch mit entsprechend großer Kappenstärke zu versehen sind, können beim Fehlen

268.
Besondere
Verbandarten.

selbständiger Gratbogen oder der Gratverstärkungen in einem besonderen Kufverbande hergestellt werden, wobei die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 455.



zwei zusammengehörigen Wölbcharen 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 Mainz¹⁸⁰⁾ in Anwendung gebracht (Fig. 455).

Zur Feflegung der Lagerfugenkanten gilt ein Gesetz, wonach, entsprechend l 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 l so um d gedreht wird, daß diese Bogenlänge stets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte a die Lagerfugenkanten abc und cba beschreibe. 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 Ermittlung 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 ergibt 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. f. f. in den betreffenden Bogenelementen c , b u. f. f. ihrer Schnittcurven sein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schlußsteinschichten ist aus der Zeichnung zu entnehmen.

Bei den Kreuzgewölben bilden sich oberhalb des Rückens und des Gewölbes an den Ecken des überwölbten Raumes stets trichterartige Vertiefungen. Die Ausfüllung dieser schachtartigen Zwickel mit Backsteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) sollte bei halbkreisförmigen, bezw. halb elliptischen 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. f. f. ist auf das in Kap. 9, unter c beim Tonnengewölbe Gefagte wieder zu verweisen.

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

269.
Zwickel-
ausmauerung.

270.
Kreuzgewölbe
aus
Bruchsteinen.

¹⁸⁰⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1869, S. 259.

großen Bruchsteinen mit vorwiegend regelmäßiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenschwanz-Verband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchsteinen ist in Rücksicht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa $\frac{1}{20}$ der größten Gratbogenweite vortheilhaft. Die Ausführung dieser Gewölbe erfolgt stets auf einer vollen Einrüstung mit Schalung. Auf die Verwendung eines sehr guten Mörtels, welcher die Fugen im Kappenmauerwerk vollständig füllt, ist besonders zu achten.

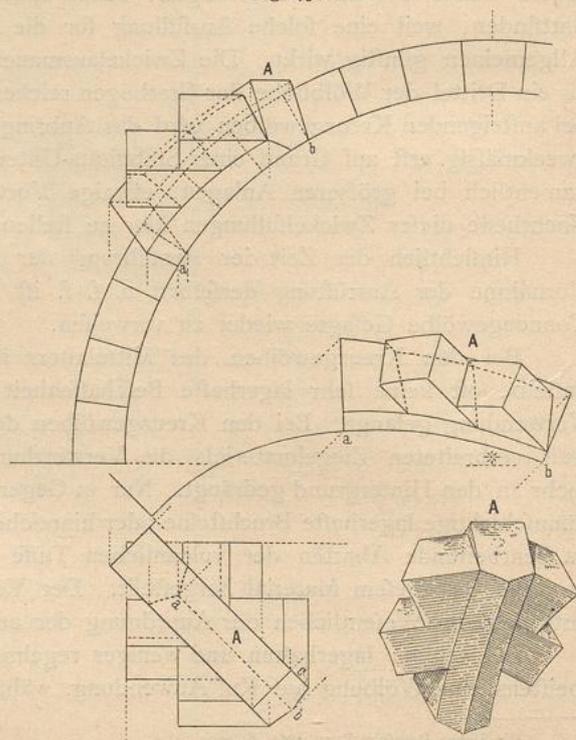
In einigen Gegenden ist es üblich, die Wölbsteine trocken auf der Schalung zu veretzen und schließlich mit flüssigem Mörtelbrei zu vergießen. Diese Einwölbungsart erfordert verhältnismäßig wenig Zeit, wohl aber die größte Aufmerksamkeit einerseits hinsichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererseits in Rücksicht auf das Herbeiführen einer vollständigen Ausfüllung der sämtlichen 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 Backstein, gleichzeitig und gleichmäßig fort schreitend, von allen Gewölbfüßen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schluss des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel ist Art. 269 (S. 393) zu beachten.

271.
Kreuzgewölbe
aus
Quadern.

Für cylindrische Kreuzgewölbe aus Quadern tritt bei den Wölbsteinen eine besondere Bearbeitung nach genau bestimmten Brettungen ein, welche, je nach der Gestalt des Gewölbes, in mehr oder weniger einfacher Weise nach Festlegen eines zu Grunde gelegten Fugenschnittes auszutragen sind. Um das Mühsame in der Bearbeitung dieser Wölbsteine nicht unnötig zu steigern, erhalten Kreuzgewölbe aus Quadern in der Regel keine Stechung; auch behält man in den Kappen meistens und auch zweckmäßig den Verband auf Kuf bei. In Folge hiervon nehmen die Kappensteine die Form der Wölbsteine der einfachen geraden Tonnengewölbe an, so daß nur für die eigentlichen Gratsteine ein besonderer Steinschnitt sich geltend macht. Das unvermittelt eingeführte Zusammentreten der Kappensteine in einer Fugenfläche, welche der lothrechten Ebene der Gratlinie folgt, wie solches beim Fehlen selbständiger Gratsteine sich ergeben würde, ist nicht gut, weil die in der Gratebene zusammenstoßenden Wölbsteine stets an einer Seite eine scharfe Schneide erhalten, welche bei Werkstücken möglichst vermieden werden soll.

Fig. 456.

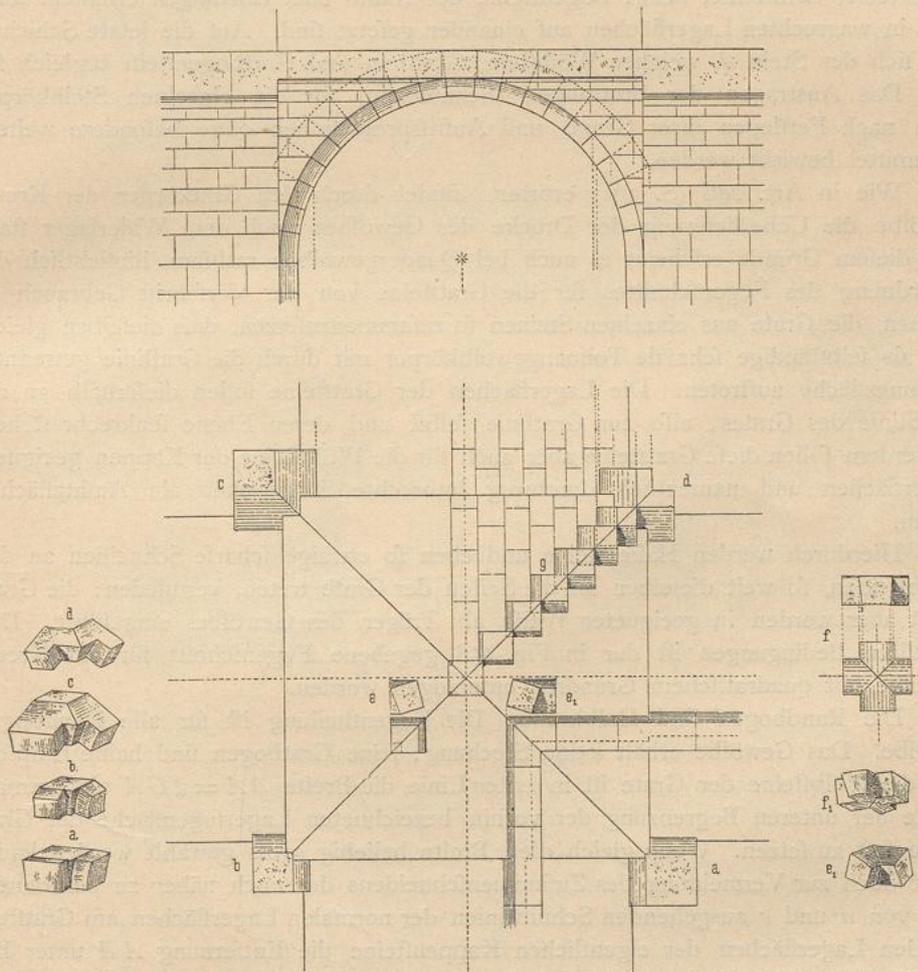


Dieser Mifsstand würde bei den Wölbsteinen auch nicht beseitigt sein, wenn die Grate, wie Fig. 456 angiebt, aus besonderen selbständigen Werkstücken *A* als für sich bestehende schmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenschnitte *a, b* u. f. f. ausgeführt würden, da deren lothrechte Seiten nur Schmieglflächen bieten, gegen welche sich die mit den Schneiden bei *c* dennoch behafteten Wölbsteine der Kappen legen.

Um Wölbsteine zu schaffen, welche sich mit lothrechten Stofsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen senkrecht stehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate setzen, sind die einzelnen Grattsteine dieser Forderung entsprechend im Fugenschnitt zu behandeln.

272.
Quadrigewölbe
über
quadratischen
Grundriß.

Fig. 457.



Eine derartige Anordnung ist in Fig. 457 für ein cylindrisches Kreuzgewölbe über einer quadratischen Grundfläche gegeben. Die Grattsteine können, wie *g*, bzw. *e* zeigt, frei von besonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Anfätzen bleiben oder, wie *e₁*, bzw. *f* und *f₁* erkennen läßt, mit derartigen Anfätzen versehen werden. In letzterem Falle entstehen sog. Hakensteine, wobei der Schlufsstein *f₁* 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. f. f., wie auch die Hakensteine e_1, f_1 u. f. 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 Aufrisprojectionen 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 Wöblinie des Grates, also zur Gratlinie selbst und deren Ebene senkrecht stehen. Außerdem sollen diese Gratsteine aber auch für die Wölbsteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lothrechte Stofsflächen als Ansatzflächen bieten.

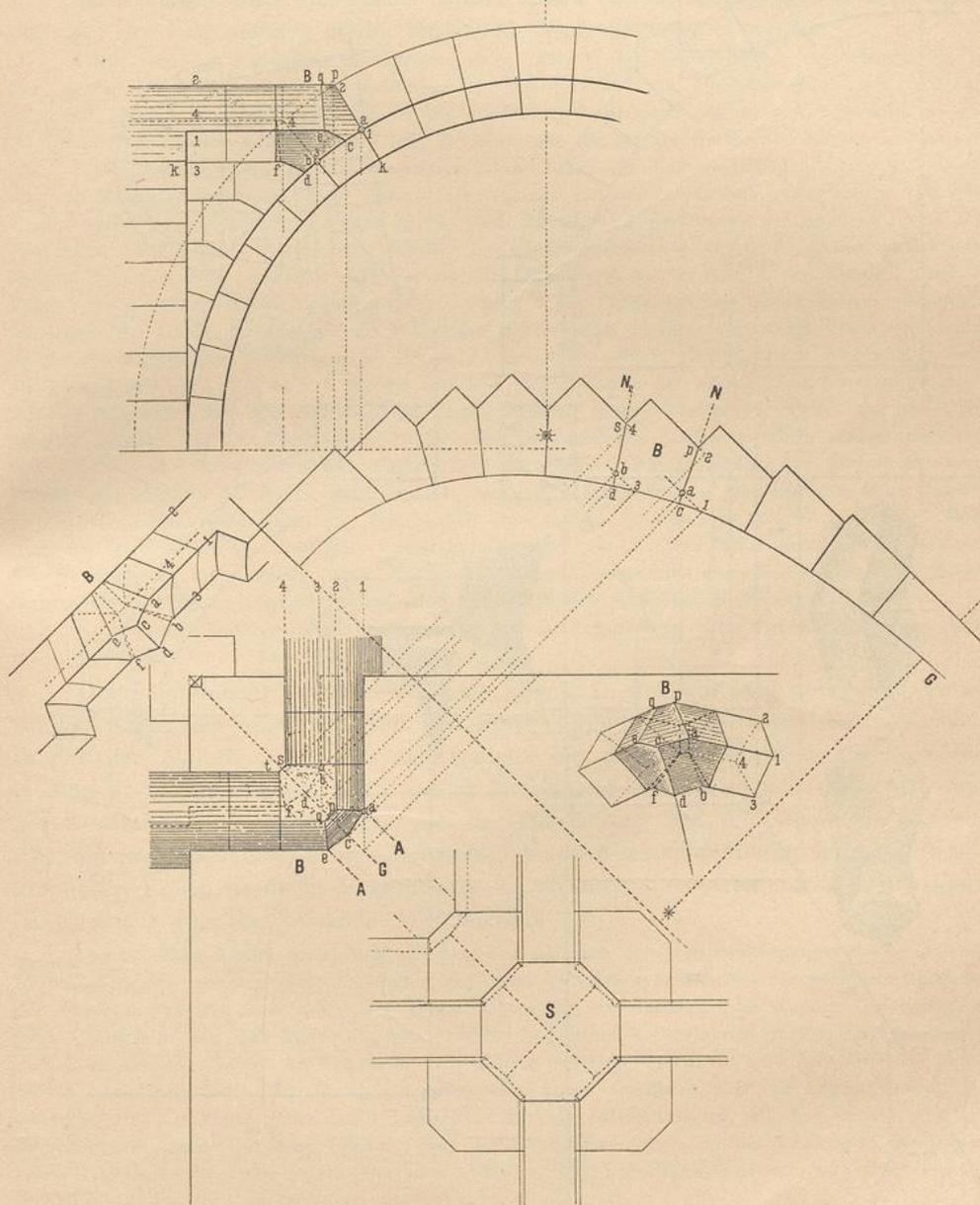
Hierdurch werden Hakensteine und eben so etwaige scharfe Schneiden an den Wölbsteinen, so weit dieselben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate selbst aber werden in geeigneter Weise als Träger des Gewölbes eingeführt. Den gestellten Bedingungen ist der in Fig. 458 gegebene Fugenschnitt 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 Gratabogen sind halbe Ellipsen. Für die Wölbsteine der Grate ist in erster Linie die Breite $AA = 2GA$ 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 Zusammen Schneidens 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 r 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 z der Lagerfugenfläche 12 trifft die Normalebene N im Punkte p , so dafs, wie aus der Zeichnung zu erkennen, ap , bzw. 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 ,

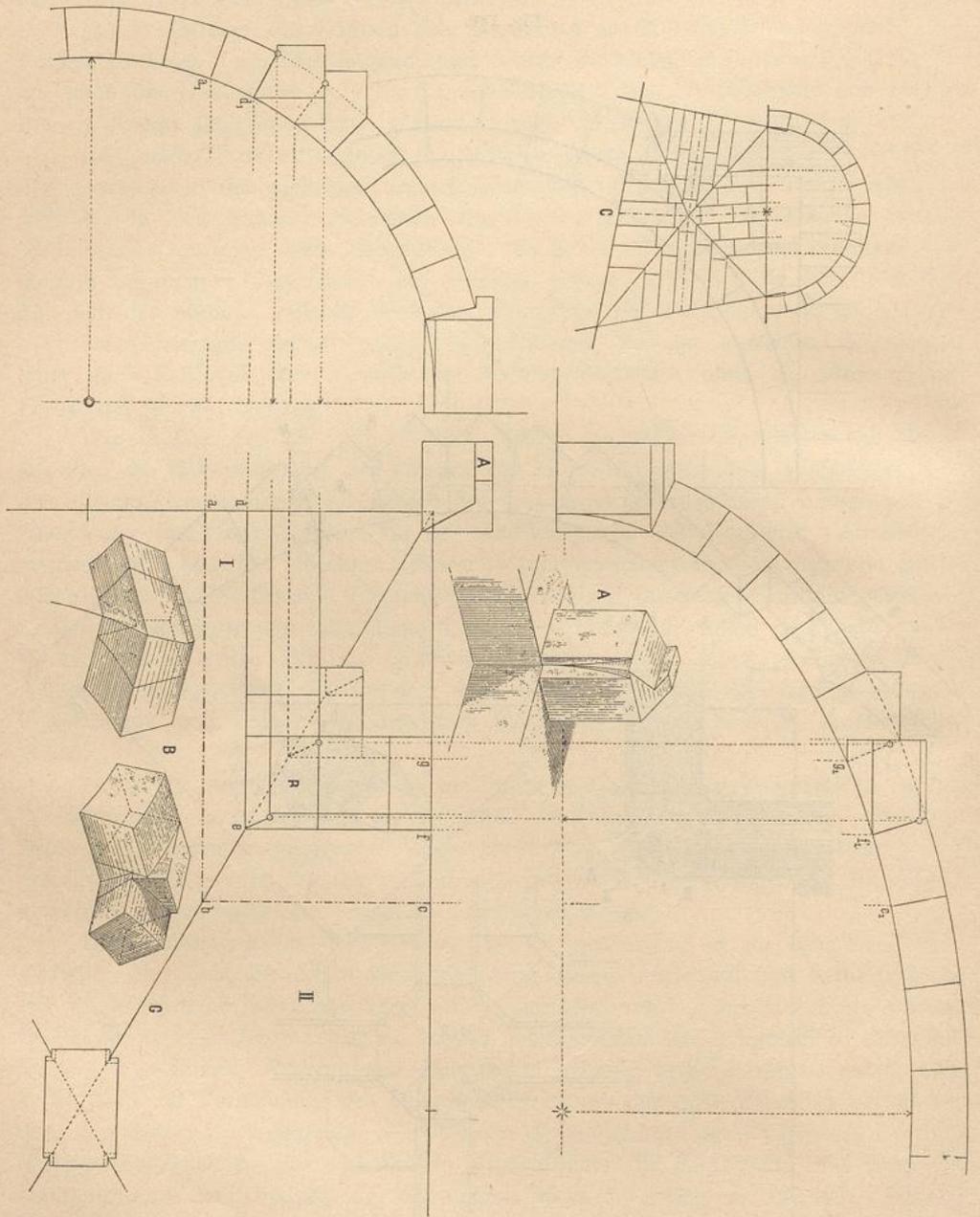


Fig. 459.

bezw. l 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 abgesehnt. 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.

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. f. f. entsprechend, die wagrechten Projectionen der ihr zugehörigen Lagerkanten ab, de u. f. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe I fest, so kann man die auf der Gratlinie G liegenden Punkte b, e u. f. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten bc, ef u. f. 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. f. f. haben in der wagrechten Projection einen grösseren Abstand, als die Lagerkanten ab, de u. f. f. der Kappe I , und in Folge hiervon werden, da die Lagerkanten bc, ef u. f. 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. f. f. für die einzelnen Wölbsteine 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 denselben bleiben, äusserst einfach. Die Ermittlung der Projectionen eines beliebig gewählten Gratsteines B , welcher noch durch eine perspectivische Darstellung in seiner Vorder- und Rückseite näher verdeutlicht ist, ergibt 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 Stofsugenkanten 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 Grundrifs vermöge der ungleichen Breiten der Wölbsteine in einzelnen Kappen ein unschönes Ansehen der Gewölbbildung im Gefolge haben; auch fordert derselbe, so einfach an sich die Bearbeitung der Gratsteine wird, doch immer bei der Herrichtung der Wölbsteine der mit verschiedenen grossen Wölbsteine 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.

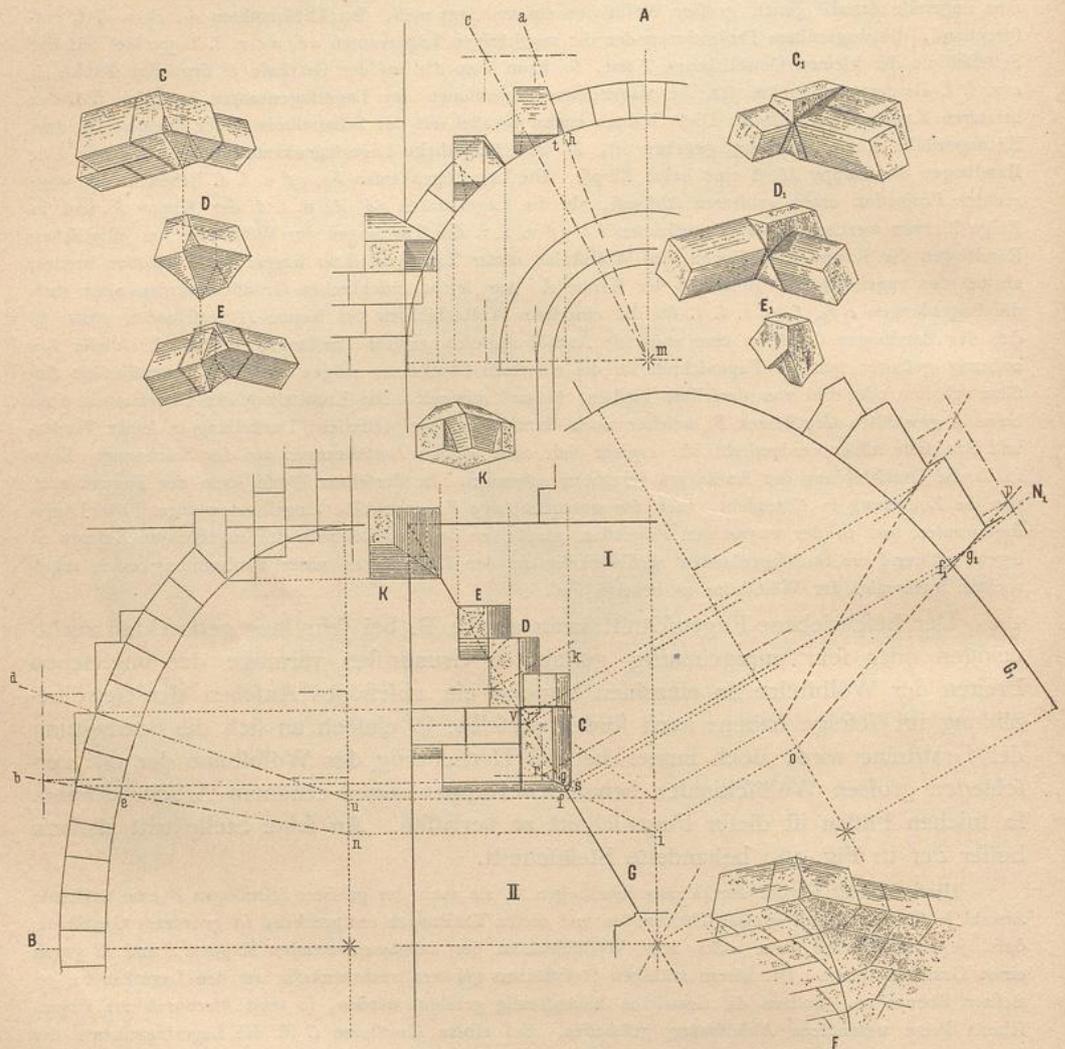
Hierbei erhält sowohl der kleinere Randbogen A , als auch der grössere Stirnbogen B eine ungerade Anzahl je für sich gleich grosser Theilbreiten und diesen Theilungen entsprechend so geordnete Gratsteine, dass, je nach Wunsch, eine oder zwei Wölbsteine der zusammentretenden Kappen I und II gegen einen Gratstein treten. Die hierzu nöthigen Stofsflächen 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 Grundrifsprojection 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 sehen 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

273.
Quadergewölbe
über
rechteckigen
Grundrifs.

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 iv 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 ergibt sich auch die Grundriffsprojection der Normalschnittfläche v am Gratsteine C , wofür die nöthigen zeichnerischen Durchführungen noch näher in Fig. 460 mit angegeben

Fig. 460.



find. 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 Verfetzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. f. w. folgt dem in Art. 170 (S. 246) Gefagten.

b) Gothische Kreuzgewölbe.

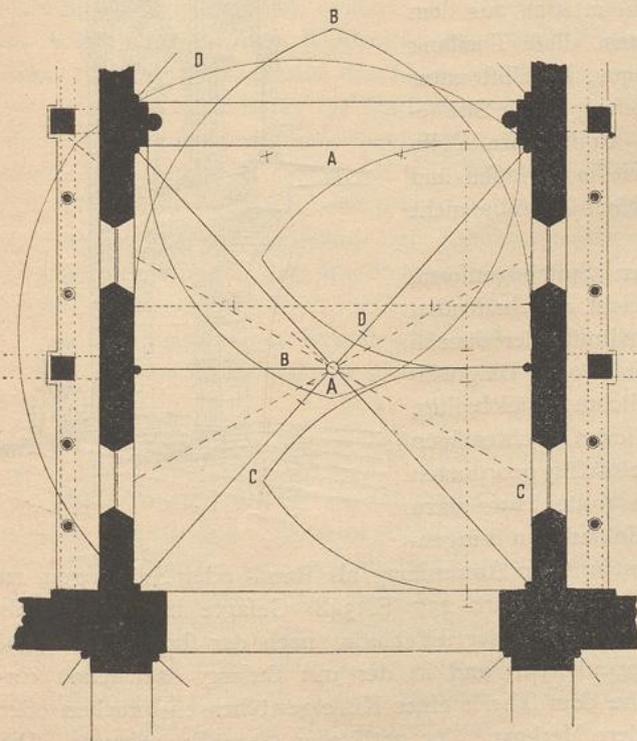
Das Wefen der gothifchen Kreuzgewölbe, wodurch fich dieselben von allen anderen Gewölben unterscheiden, ift hinsichtlich ihrer Gefaltung in Art. 237 (S. 348) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwicklung des romanifchen Kreuzgewölbes gefunden haben.

Die befondere Bildung diefer in der Baukunft eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berücksichtigen, welche die kunftvolle Technik in der Anlage und Ausführung diefer Gewölbkörper an fich und in ihrem Zusammenhange mit den zugehörigen Widerlagstheilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blüthezeit der Gothik bekunden ein befonders in den Vordergrund tretendes Bestreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmassen fo zu gliedern und unter Befeitigung von ängftlichen Theilungen beim Zerlegen größerer zu überwölbender Räume fo zu gestalten, daß unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit ficherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Theil derselben einen verletzenden Ueberflufs an Material zeigen follte. Constructionsystern und Form find in eine innige, fich gegenfeitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein wesentliches Hilfsmittel zur Erzielung diefer Verbindung ift die Verwendung des Spitzbogens anzufehen. Wesentlichlicher aber noch ift bei den gothifchen Gewölben die Theilung des Gewölbefeldes durch selbständige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Diese bilden in ihrer gefamten Anordnung ein eigentliches Tragsystern; sie nehmen zwischen fich die befonders gewölbten Kappenstücke auf und übertragen die Gefammtlast der Deckenbildung auf einzelne bestimmte Stützpunkte. Diese Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im Allgemeinen als Freistützen gestaltet werden können. Sie befonders standfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verschwenden, ift eine vorwiegende Bedingung. An den hauptfächlichsten Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebepfeilern ver-

Fig. 461.



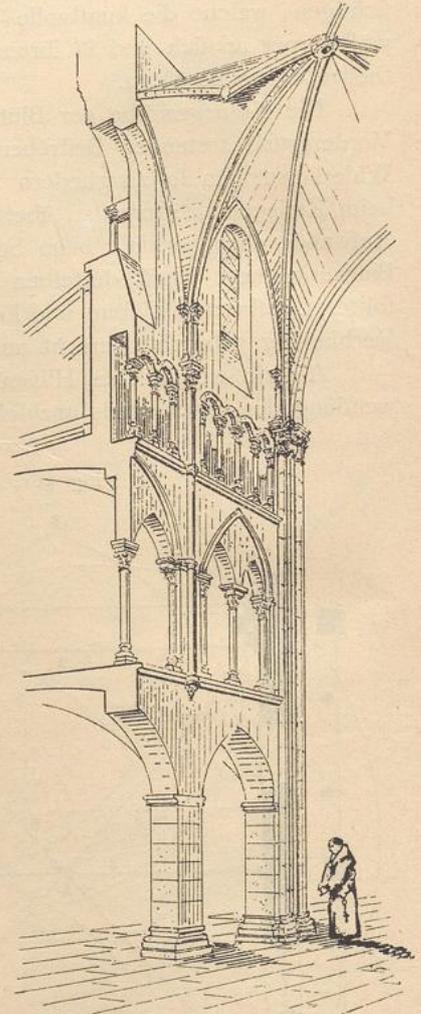
bundene, frei aufsteigende Strebebogen entsprechen jener Bedingung. So entsteht ein vollständig gegliedertes Gewölb- und Stützensystem, welches, an und für sich und unabhängig von dem zwischen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidewänden des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon steht die freie Auflöfung der Massen. Die Umfangswänden, 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.

Ist auch bei den sechstheiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 236, S. 346) aus der Mitte des XII. Jahrhunderts eine Theilung des Gewölbfeldes 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. Jahrhunderts, diese Theilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja selbst unter Einführung der seitlichen Absteifung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt — so ist dieses Wölb-system 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) Gefagte möge nochmals betont werden, dass in der Herrichtung der selbständig nach der statisch günstigen Spitzbogenlinie gebildeten Rippenkörper und in der mit Bufung dazwischen eingewölbten Kappenstücke, welche dem Theile eines Kugelgewölbes entsprechen oder demselben ähnlich sind, besondere Merkmale der gothischen Gewölbe auftreten. Die

Fig. 462.



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 Grundrisfigur 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 Rippenysteme eingefügten Gewölbefstücke heißen Gewölbekappen oder kurz Kappen. Sie finden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältniß der Wölblinie einer Kappenschicht kennzeichnet das Maß der Bufung oder des Bufens der Kappe.

Von Wichtigkeit für die Darstellung des einfachen gothischen Kreuzgewölbes ist die Ausmittlung 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.

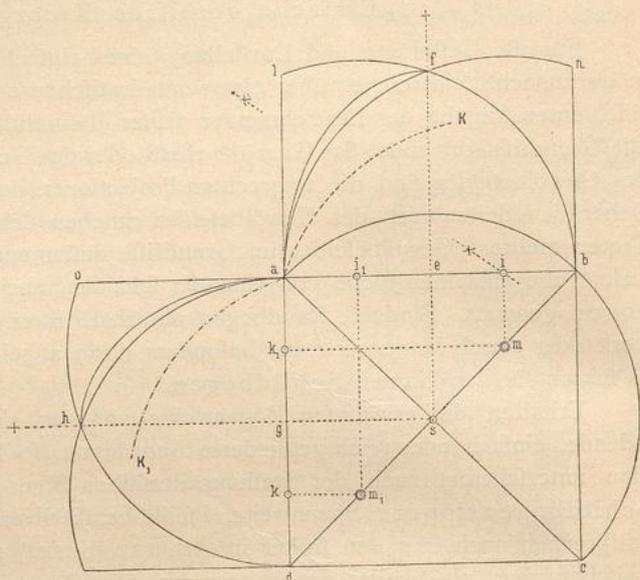
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

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.

277.
Quadratischer
Grundrifs.

Ist in Fig. 463 das Quadrat $abcd$ der Grundrifs 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 . Bemerket sei, daß bei dieser Darstellung der Kreuz- und Randbogen die Halbmesser $ai = bi_1 = ak = dk_1$ nach einer einfachen geometrischen Beziehung gleich $\frac{3}{4}$ 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 Entwicklungen 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 Bufung der Kappenschichten fest gelegt ist.

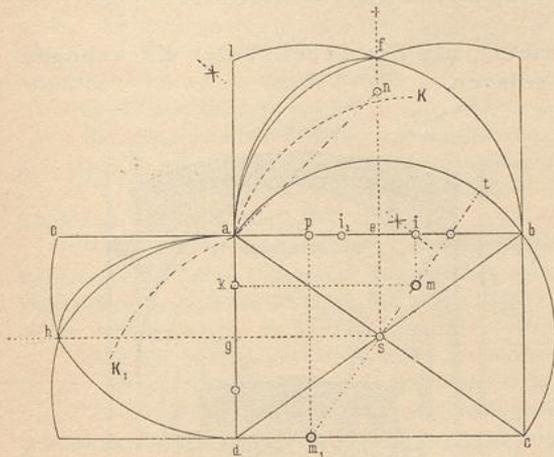
Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Bufung angenommen werden, so daß die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewisser Freiheit aufzustellenden Gesetze zu einer sphäroidischen Fläche auszubilden ist; oder soll unter Umständen bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Bufung 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 zweckmäfsig.

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 Entwicklungen hinsichtlich der Feststellung der Form dieser Randbogen und der Kugelflächen der Kappen keine Aenderung.

Bei dem Gewölbefelde mit rechteckigem Grundrifs $abcd$ (Fig. 464) sei der Diagonalbogen über ac , bezw. bd wiederum ein Halbkreis mit dem Halbmesser sa .

278.
Rechteckiger Grundrifs.

Fig. 464.



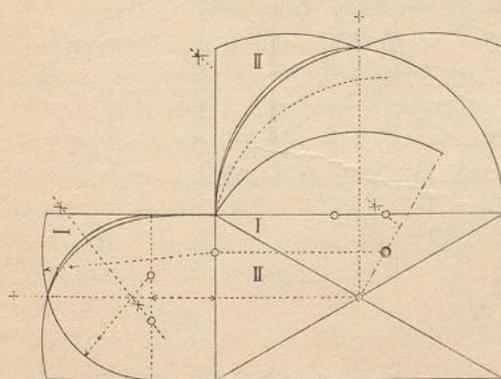
Hierdurch ist die Scheitelhöhe $st = sa$ bestimmt und danach die Höhe der Randbogen $ef = gh = st$ genommen.

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 Grundrifs 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 rechtwinkligen 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 sämtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über a und d hinausfallen und somit einen sehr steil aufsteigenden Spitzbogen bedingen.

Fig. 465.



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

Rechteckseite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen // der schmalen Seiten bei der Beobachtung einer Bufung sphäroidische Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 464 angenommenen Verhältnisse der Breite zur Länge des Gewölbefeldes sich für diese Kappen eben so wohl, als auch für die Kappen der langen Seite die Laibungen als Kugelflächen gestalten lassen. Ohne weitere Bedingungen zu stellen, ergeben sich die Mittelpunkte dieser Kugelflächen in m für die Kappe ase mit dem größten Kreise K und in m_1 für die Kappe asg mit dem größten Kreise K_1 ; auch sind hiernach in hinlänglich gekennzeichnete Weise die Scheitellinien über se und sg als die um k , bzw. p beschriebenen Kreisbogen ho , bzw. fl zu bestimmen.

2) Die Scheitel der Randbogen tiefer, als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

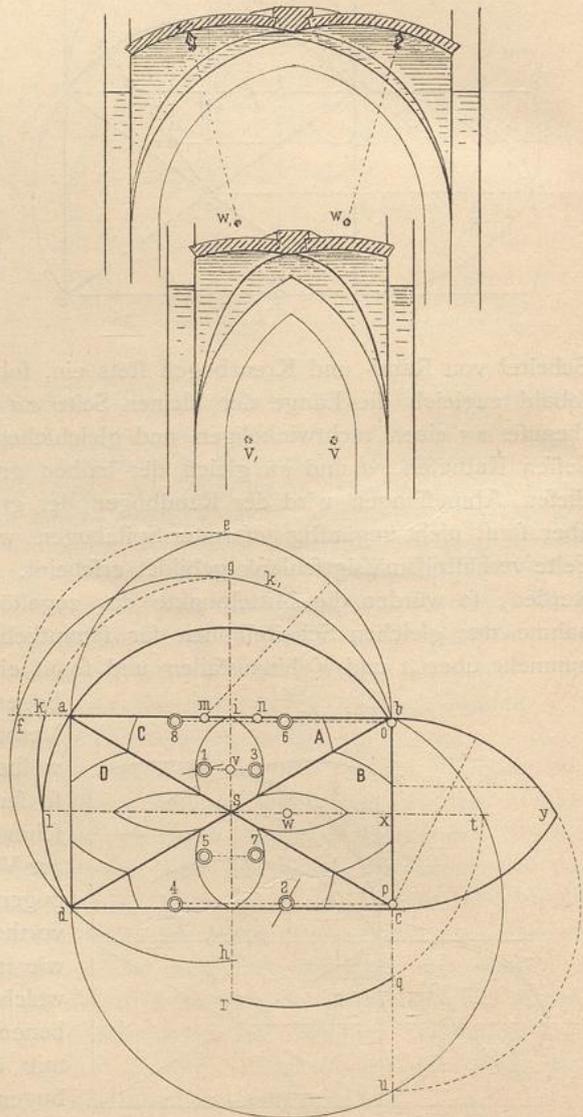
279.
Rechteckiger
Grundriß:
gleiche
Halbmesser.

Für das Austragen der Randbogen gelten nach Annahme der Form der Kreuzbogen dieselben Grundlagen, sowohl für quadratische, als auch für rechteckige Gewölbefelder.

Um zwischen den Diagonal- und Randbogen einen einfachen Zusammenhang zu erhalten, sind bei vielen Kreuzgewölben des gothischen Baustils die sämtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmesser geschlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen sollen für ein rechteckiges Gewölbefeld $abcd$ nach Fig. 466 getroffen werden.

Die kleine Seite bc des Rechteckes sei noch etwas größer, als die Hälfte bs einer Diagonale bd . Der Diagonalbogen sei der Halbkreis dab , so daß $sb = sd$ der für die Gestaltung der Randbogen bestimmende Halbmesser wird. Trägt man $bm = an = sb$ auf der langen Seite ab von den Ecken b und a aus ab, so sind m und n die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens bea . Bestimmt man in gleicher Weise die Punkte p und o auf der kleinen Seite bc durch $bp = co = sb$, so sind diese Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens byc . Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den

Fig. 466.



Höhen ie , bzw. 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 z 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 β als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück isa , γ 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 ergibt 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 wl . 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 t , in B aus z , in C aus β , in D aus γ 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 Abchlussbogens 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 großen 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 Größe benutzt wird.

Die Annahme gleicher Halbmesser für die Bogenform des Rippen-systemes 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 regelmäßiges 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 Gewölbordnung 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 großen 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

Verbindung mit dem anstossenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckseite nicht vollständig regelmässig zu bildende Gewölbanfänger entstehen, sehr wohl zu benutzen.

Bei diesem gedrückten Spitzbogen steht die Tangente im Kämpferpunkte nicht senkrecht zur Kämpferebene. Mit der lothrechten Begrenzungslinie des stützenden Widerlagers ergibt sich im Ansatzpunkte des Spitzbogens ein stumpfer Winkel oder ein Knick. Aus diesem Grunde führt ein solcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Soll ein Knickbogen vermieden werden, so kann, wenn bei der Forderung der Einschränkung der Scheitelhöhe des grossen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich grosser Halbmesser für die Ansätze der Kreuz- und Randbogen gestellt werden soll, ein aus zwei symmetrischen Korbbogen zusammengesetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 467 ist ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Ansatzbogen *A* ist mit gegebenem Halbmesser um den in der Kämpferebene liegenden Mittelpunkt *a* beschrieben. Durch *a* ist ein sonst beliebiger, hier unter einer Neigung von 45 Grad zur Wagrechten angenommener Strahl gezogen, welcher im Schnitte mit dem Bogen *A* den Endpunkt dieses Bogens bestimmt. Auf diesem Strahle wird der Punkt *b* als Mittelpunkt des mit *A* vereinigten Kreisbogens *B* so ermittelt, dass dieser Bogen durch den festen Scheitelpunkt des Randbogens geht.

Bei dem starren Innehalten eines gleichen Halbmessers, sei es für die ganzen Kreuz- und Randbogen, sei es nur für die Anfänge derselben, wird namentlich bei verhältnissmässig schmalen rechteckigen Gewölbfeldern die Gestaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmonische Zusammenwirken der einzelnen Bestandtheile verwirft. Weit wichtiger, als das Anklammern an einzelne Constructionsregeln, sind hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die massvolle Bildung von Bogenformen, welche, unter sich in Vergleich gebracht, keine zu grosse Abweichung in dem Schwunge ihrer Linien aufweisen. Hierbei kann, als Gruppen angesehen, je für sich entweder die stumpfere oder die schlankere, stellere Bogenform vorherrschend werden. In den meisten Fällen reicht hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus. Bei der Schmiegsamkeit seiner Form kann derselbe sowohl in ästhetischer, als auch in statischer Beziehung mit Leichtigkeit den gewünschten oder vorgeschriebenen Verhältnissen angepasst werden. In besonderen Fällen ist der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmässige Höhenlagen mit feinem Scheitel zu bringen.

Sehr oft und voll berechtigt werden die Randbogen, wenn sie als Schildbogen dienen, nach einem Spitzbogen um *m* (Fig. 469) geformt, welcher der Bogenlinie

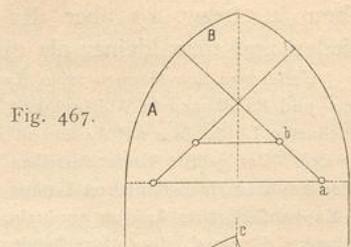


Fig. 467.

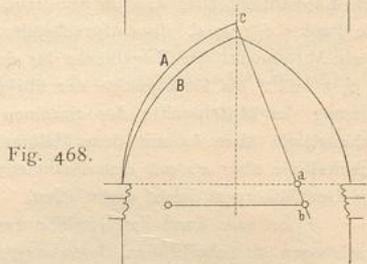
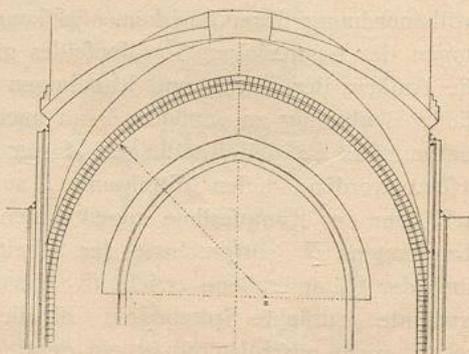


Fig. 468.

Fig. 469.



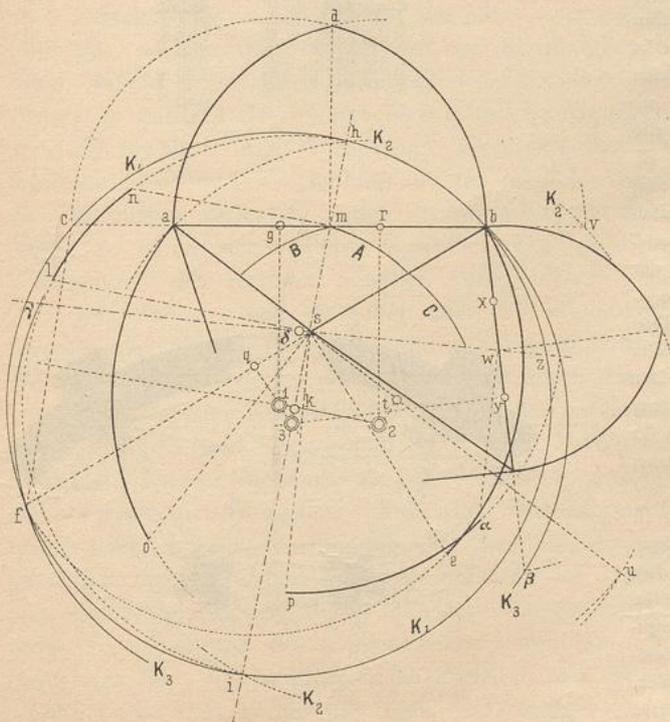
des oberen Abchlusses der in der Schildmauer angelegten grösseren Licht- oder Thüröffnung concentrisch ist. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, so erfährt dieser Bogen eine Stelzung.

γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer, als die Scheitel der Randbogen gelegen.

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 Kappen-system dargestellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieser Entwicklung 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.

Ist ein einfaches gothisches Kreuzgewölbe über einem unregelmäßigen Gewölbefelde herzurichten, so ist die wagrechte Projection des Gewölbescheitels zweckmäßig der Schwerpunkt der Grundriffsfigur. Läßt sich durch die Ecken einer vier- oder mehrseitigen, völlig unregelmäßigen Grundriffsfigur ein Kreis legen, so kann auch

Fig. 470.



der Kreismittelpunkt, wenn derselbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundriffsprojection 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 Grundriffsprojection 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

280.
Verfchieden-
heit.

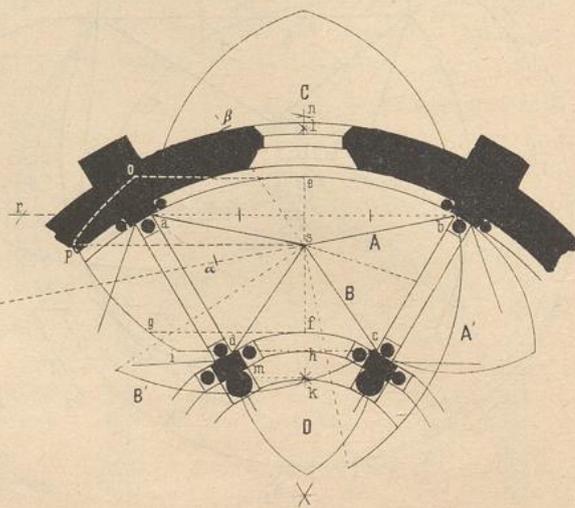
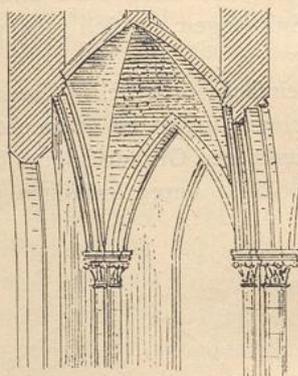
281.
Unregel-
mäßiges
Gewölbefeld.

rechteckigen Gewölbefeldern. Das Nähere hierfür soll durch Fig. 470 angegeben werden.

Dieselbe kennzeichnet einen Theil eines unregelmäßigen Gewölbefeldes mit den Ecken a, b und der Grundrissprojection s des Gewölbefeitels. Danach sind sa und sb die wagrechten Projectionen von Gratlinien, welche die Gewölbekappe 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 , bzw. sw entsprechen dieser Lage. Der Gratbogen über bs sei der Kreisbogen be , dessen Mittelpunkt in q auf der Verlängerung von bs angenommen wurde. Hierdurch ist die Höhe se des Gewölbefeitels über der Kämpferebene fest gelegt. Die Randbogen mögen hier eine geringere Scheitelhöhe erhalten. Nach Annahme der Höhe md des Randbogens adb sind g und r als Mittelpunkte der Bogenschenkel bd und ad ermittelt. Auf ganz ähnlichem Wege ist der zweite, in b antretende Randbogen mit den Mittelpunkten x und y zu gestalten. Der Gratbogen über as muß die Höhe so gleich se besitzen. Hiernach ist derselbe als Kreisbogen ao mit dem Mittelpunkte in t , welcher auf der Verlängerung von as liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenstücke A, B, C u. f. w. in ihren Laibungen Kugelflächen angehören, welche von den angrenzenden Grat- und Randbogen sofort abhängig gemacht werden, so werden in der genügend beschriebenen und aus der Zeichnung noch weiter zu erfahrenden Weise der Punkt l als Mittelpunkt der Kugelfläche A mit dem größten Kreise K_1 , der Punkt z als Mittelpunkt der Kugelfläche B mit dem größten Kreise K_2 und der Punkt j als Mittelpunkt der Kugelfläche C mit dem größten Kreise K_3 gefunden. Unter Benutzung dieser größten Kreise erhält man die Form der Scheitellinie über ms als Schnittlinie der beiden Kugelflächen K_1 und K_2 in dem Kreisbogen nl . Derselbe ist ein Stück vom Kugelkreise hqi , dessen Mittelpunkt k offenbar Halbirungspunkt der Geraden hi der Schnittpunkte h und i der größten Kreise K_1 und K_2 , oder auch einfach der Fußpunkt des von l , bzw. auch von z auf die verlängerte Gerade ms gefällten Lothes sein muß. Beide Beziehungen sind in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen nl der Scheitellinie über ms austragen zu können, hätte man also entweder nur den größten Kreis K_1 oder nur den größten Kreis K_2 nöthig gehabt. Zur Bestimmung der Scheitellinie ap über ws , welche der Kappe C angehört, genügt demnach auch der größte Kreis K_3 der Kugelfläche C allein. Das vom Mittelpunkt j desselben auf die Verlängerung von ws gefällte Loth giebt den Fußpunkt δ . Der Schnitt z der erweiterten Geraden sw mit dem Kreise K_3 liefert mit δ in δz den Halbmesser des um δ beschriebenen Kreisbogens ap jener Scheitellinie.

Das angegebene Verfahren ist für alle Kappen des unregelmäßigen Gewölbefeldes weiter anzuwenden. Ein wagrechter Schnitt durch das Gewölbe würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundrissprojection als A um l , als B um z , als C um j u. f. w. zu beschreiben wären.

Fig. 471.



Ist der Grundriß des Gewölbefeldes ein Ringstück $abcd$ (Fig. 471), so können die erörterten grundlegenden Handhabungen für die Ausmittlung der Grat- und Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darstellung ist s der Schwerpunkt der Grundrißfläche; die von s nach den Ecken derselben gezogenen geraden Linien sind die wagrechten Projectionen der Gratbogen.

282.
Ringförmiges
Gewölbefeld.

Ist die Scheitelhöhe des Gewölbes fest gestellt, so werden derselben entsprechend die Gratbogen wie A_1 für A aus a , B_1 für B aus β u. f. f. als Kreisbogen geschlagen. Für die Kappenflächen aeb und cfd ist die Gestaltung 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 diese Bogen im Allgemeinen verschieden groß annehmen kann, im Besonderen aber in jedem vorliegenden Falle den baulichen Verhältnissen entsprechend wählt, entstehen mehr stumpfe oder mehr schlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten ad und bc sind ohne Weiteres in schicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfsbogens über ab und des Gratbogens über A ist m als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenstückes über ebs mit dem durch b, n, r, q gehenden größten Kreise in der früher angegebenen Weise gefunden und hierauf die Scheitellinie op über es als Kreisbogen mit dem Halbmesser kn geschlagen. Für das Kappenstück über cfs wird β der Kugelmittelpunkt und der um l mit lp beschriebene Kreisbogen pg die lothrechte Projection der Scheitellinie über fs . Führt man den Kreisbogen über g bis i auf dem Lothe hi zu sk fort, so muß hi genau der Höhe des ideellen Randbogens über cd entsprechen. Die nach ab , bezw. cd vorhandenen cylindrischen Begrenzungsflächen durchschneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lothrechte Projectionen, da die Kugelflächen vollständig bestimmt sind, äußerst einfach ermittelt werden können. Sollen statt der einfachen Gratkörper bei einem solchen Gewölbe Gratrippen und eben so an den übrigen, gekrümmten oder geraden Seiten des Gewölbefeldes Gurtrippen, bezw. Schildbogenrippen angeordnet werden, so ist die weitere Durchbildung derselben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittlungen der Curve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

Zerlegt man die Gewölbekappen eines ursprünglich einfachen gothischen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter durch besonders geordnete und selbständig gebildete Zwischenbogen, bezw. Zwischenrippen, so entsteht das mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 236 (S. 346) erwähnte fog. sechstheilige Kreuzgewölbe erscheint als ein mehrtheiliges Gewölbe. Die weitere Theilung der bei solchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden größeren Kappen führt beim Einfügen einer solchen Rippe zu einem achttheiligen Gewölbe. Die bei diesen Gewölbearten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verschiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhunderts vor; sie haben aber eine allgemeine Anwendung im Sinne eines eigentlichen Systemes bei den Gewölben der gothischen Baukunst nicht gefunden. Bei diesen geht das Zerlegen der Kappen wesentlich durch Zwischenrippen vor, welche, von den stützenden Eckpunkten des Gewölbes aus geführt, eine Theilung der Kappen zwischen Rand- und Kreuzbogen in kleinere, weniger weit gespannte Gewölbstücke bewirken. Diese Zwischenrippen oder Nebenrippen (Liernen) sind wiederum tragende Bestandtheile des Gewölbes. Außerdem tritt zur weiteren Ausbildung des Rippen-systemes häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für sich zusammengeführten Zwischenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurt- oder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firtrippen ein. Diese bezwecken eine weitere Verspannung des Rippenwerkes unter sich. Je sorgfältiger ein maßvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern stattfindet, um so wohlthuernder und gediegener wirkt die Anlage des mehrtheiligen Kreuzgewölbes.

283.
Grundgedanke.

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 Rippen-systemes 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 Rippen-system 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 Entwicklungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufrisbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

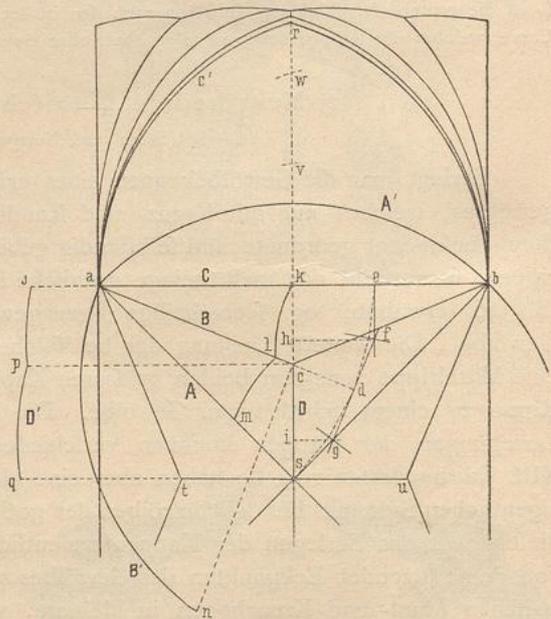
234.
Einfaches
Stern-
gewölbe:
quadratischer
Grundriß.

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.

Bei dem quadratischen Gewölbefeld in Fig. 472 ist die Hälfte A_1 des Diagonalbogens als Principalbogen genommen. Derselbe ist hier ein Viertelkreis ab mit dem Halbmesser sa , also der ganze Kreuzbogen ein Halbkreis mit s als Mittelpunkt. Die geraden Linien ac , at , bc , bt u. f. 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 ac , bzw. bc u. f. f. der Winkel bas , bzw. abs u. f. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen asb u. f. f., welche zwischen den Kreuz- und Randbogen im Grundriss entstehen, bestimmt werden. Die Geraden sc oder st , su u. f. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Beschreibt man um a mit dem Halbmesser as des Principalsbogens A_1 einen Kreisbogen se , so erhält man im Schnitte d desselben mit der verlängerten Geraden ac den Mittelpunkt für den Kreisbogen B_1

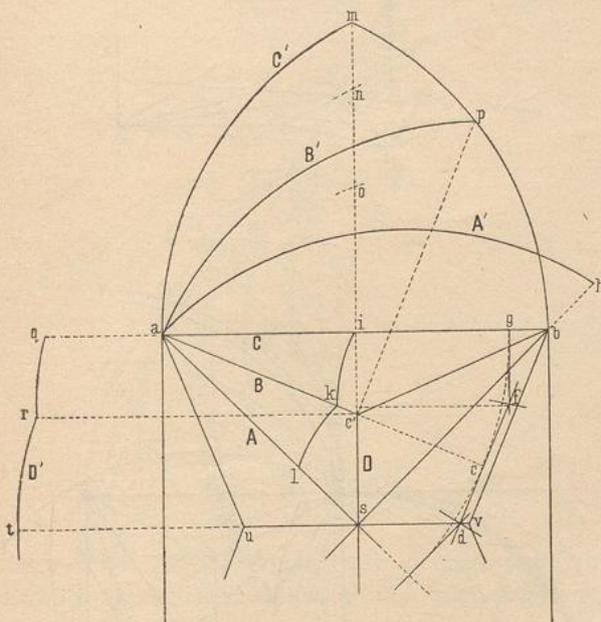
Fig. 472.



der Zwischenrippe über B mit dem Halbmesser $da = sa$ 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, daß vermöge des gemeinschaftlichen 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 gestaltet werden kann. Der Mittelpunkt g dieser Kugelfläche ist der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lothe. Der mit ga um g beschriebene größte Kreis schneidet die Verlängerung der Grundrissprojection cs der Scheitelrippe im Punkte v . Der Fußpunkt i des von g auf sv gefällten Lothes gi wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen D_1 der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmesser ist gleich iv .

Die Scheitellinie op über kc ist ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmesser hw beschrieben, einer Kugelfläche zwischen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiesen wird. Der Mittelpunkt f dieser zweiten Kugelfläche ist der Schnitt der Lothe in d zu ad und in e zu ab ; ihr Halbmesser ist fa , und ihr in der Kämpferebene vorhandener größter Kreis schneidet die Verlängerung von kc in w . Sollte statt der einfachen Scheitellinie op eine Scheitelrippe eingesetzt werden, so bestimmt der Bogen op die Gestaltung derselben. Nach dem Austragen der einzelnen Rippenbogen ist der Aufriss oder, wie in der Zeichnung gefeheren, der senkrecht in der Richtung tu genommene Schnitt des Gewölbes ohne Weiteres darzustellen.

Fig. 473.



Ein wagrecht gelegter Schnitt ergibt z. B. Kreisbogen ml , beschrieben um g und lk , beschrieben um f auf den zugehörigen Laibungsflächen der Kappen.

Ist (Fig. 473) der Principalbogen über as der Schenkel A_1 eines Spitzbogens mit dem Halbmesser ga , so bleibt der einzuschlagende Weg für das Austragen der sämtlichen Kreuz-, Zwischen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung dieses festen Halbmessers, so wie für die Ausmittlung der Kugelflächen der Kappen derselbe, wie vorhin. Aus der Zeichnung ist das Nähere sofort ersichtlich.

Auch bei einem rechteckigen Gewölbefelde kann unter Beibehaltung desselben Halbmessers nach derselben Grund-

lage die Bestimmung der Form der Rippen und Kappen erfolgen.

Eine solche Darstellung giebt Fig. 474 mit dem Principalbogen C über einer halben Diagonale rs , dessen Halbmesser gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbefeldes genommen ist.

Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, daß die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreises um r mit dem Halbmesser ra in a, b, c, d, e gefunden sind, daß der Reihe nach $1, 2, 3, 4$ die Mittelpunkte der Kugelflächen für die Kappenstücke $1_1, 2_1, 3_1, 4_1$ mit den zugehörigen größten Kreisen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und daß endlich auf Grund der Bestimmtheit dieser 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 vorgeschriebenen Stärke der Kappe 1_1 , welche durch den um r concentrisch k_1 geschlagenen Kreisbogen q angegeben ist, die Einwölbung nach concentrischen Ringschichten vorgenommen, so würde om die Grundrissprojection einer solchen Wölbefeld bedingen. Der Aufriss, so wie das nach der Rich-

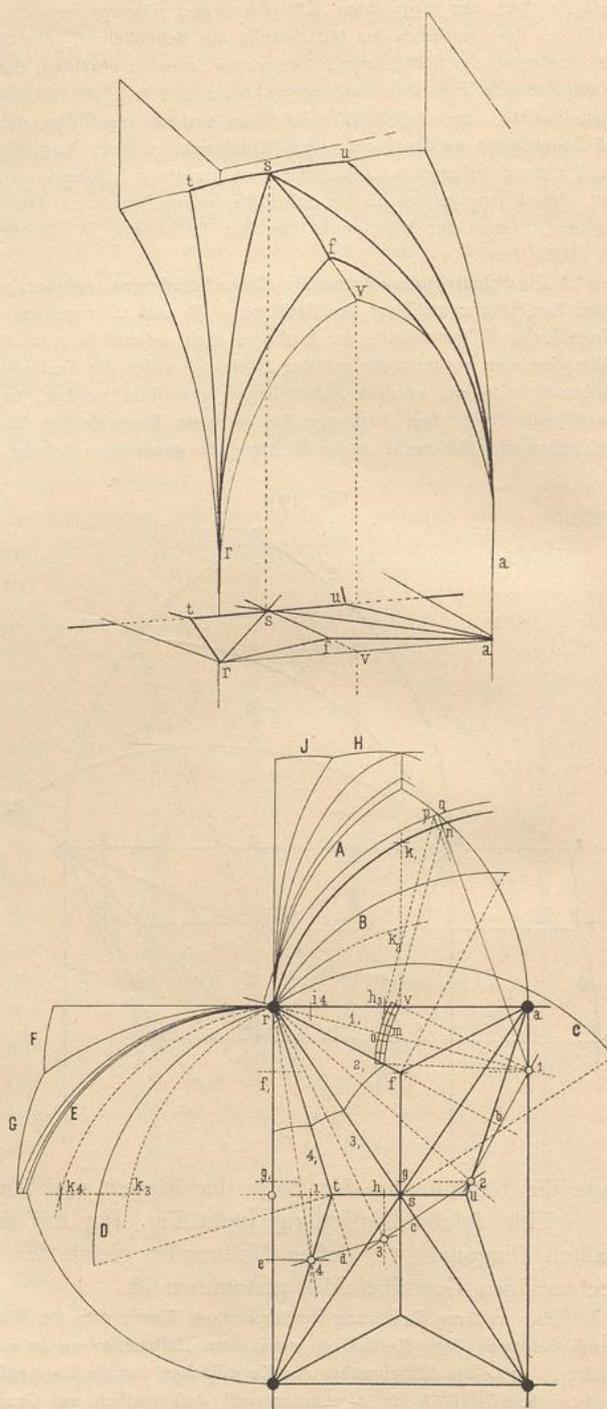
285.
Rechteckiger
Grundriss.

tung tu gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgestaltung.

Der Umstand, daß bei der Anwendung eines und desselben Halbmessers für sämtliche Kreuz-, Rand- und Zwischenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbefeldes in Rücksicht auf den großen Randbogen oder in Bezug auf die Höhen und Formen der übrigen Bogen in der einen oder der anderen Weise nicht günstig werden, giebt oft Veranlassung, die Gestaltung solcher Gewölbe nach festem Halbmesser aufzugeben, vorausgesetzt, daß man zur Erzielung einer bestimmten Höhe für die kleineren Randbogen nicht etwa die in Art. 279 (S. 408) erwähnten Knickbogen oder gestelzte Bogen anwenden will. Aehnliche Verhältnisse könnten sich selbst bei Zwischenrippen in der an der kleinen Rechteckseite liegenden Hauptkappe geltend machen, so daß auch für diese Rippen eine Abänderung des festen Halbmessers rätlich fein würde.

Fig. 475 soll hierüber Aufschluß geben. Der Principalbogen A des hier verhältnismäßig schmalen rechteckigen Gewölbefeldes gehört der Hälfte eines spitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt ist a , also sein Halbmesser gleich ao . Würde man diesen Halbmesser in $do = ao$ für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, so entstände hier ein reichlich steiler Spitzbogen mit Bogenchenkeln D . Wollte man die Höhe dieses Bogens verringern und etwa gleich tq nehmen, so ist der mit dem Halbmesser

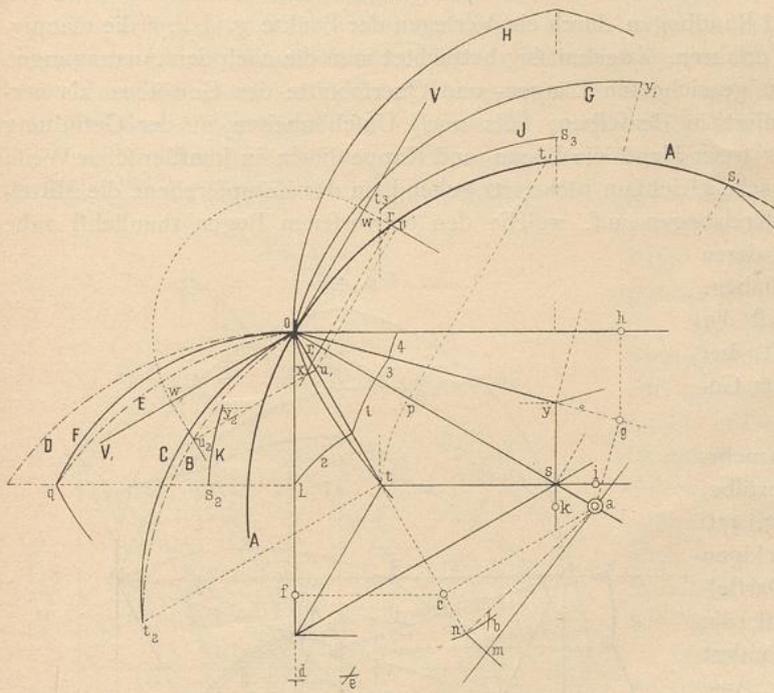
Fig. 474.



$do = ao$ aus o und q bestimmte Kreuzriß e der Mittelpunkt des Knickbogens E . Zur Vermeidung dieses Knickbogens, aber zur Erzielung lothrechter Anfätze sämtlicher 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 Halbierungsstrahle des Winkels hos , in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwischen der kleinen Rechteckseite und den angrenzenden beiden Grundrisslinien der Kreuzbogen, so fälle man vom Mittel-

Fig. 475.



punkte a des Principalbogens A im Grundrisse das Loth ag auf die Verlängerung von oy , ferner von g das Loth gh auf die große Rechteckseite; eben so das Loth ac auf die Verlängerung von ot und das Loth cf 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 go, ho, co, fo ergeben, so gelangt man zu Bogenformen, welche auch hinsichtlich ihrer Scheitelhöhen in den meisten Fällen in einem schicklichen Verhältnisse zu einander stehen.

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 ao und dem größten Kreise A . Hieraus folgt ohne Weiteres, daß die Kreuzrippe über os nur die Kugelfläche der Kappen 1 und 3 gliedert. Die Kappenfläche 4 gehört einer besonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte g , dem Halbmesser go und dem größten Kreise G an. Eben so entspricht die Kappenfläche 2 einer besonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte c , dem Halbmesser co und dem größten Kreise C . Zum Austragen der Scheitelrippe 3 über ts dient die Kugelfläche um a . Das von a auf die Verlängerung von ts gefällte Loth ergibt i als Mittelpunkt des Bogens 3 . Der Halbmesser desselben ist gleich der Länge eines von i nach dem größten Kreise A gezogenen Strahles. Da ss_3 auch gleich ss_1 sein muß, so ist der Bogen 3 ausreichend bestimmt. Beschreibt man um a den Kreisbogen tf , so sind, der Kugelfläche um a entsprechend, auch $tt_3 = pt_1 = tt_2$.

Für die Scheitellinie K über sy ist $ss_2 = ss_1$ und der Fußpunkt k des von a auf yk gefällten Lothes ak der Mittelpunkt.

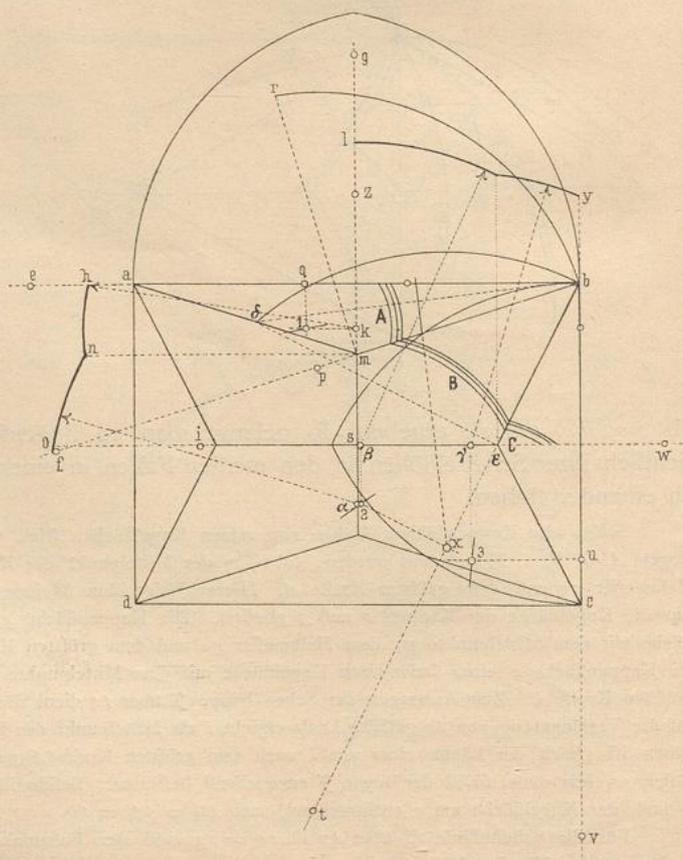
Hätte man unter der Annahme der Höhe $tt_2 = pt_1$ für den Zwischenbogen über ot einen Knickbogen mit dem Halbmesser ao des Principalbogens schlagen wollen, so liefert der aus o und t_2 mit $ao = do$ gezeichnete Kreuzrißpunkt b , welcher um eine Strecke gleich mn unter der Kämpferebene liegen würde, den Mittelpunkt dieses Knickbogens B . Ein Vergleich desselben mit dem vorhin ausgetragenen Bogen C giebt nur mäßige Abweichungen an. Führt man durch die Gewölbekappe r einen wagrechten Schnitt w , bezw. w_1 , so ist der um a beschriebene Kreisbogen r_1x die Grundrißprojection der Schnittlinie. Würde die Bedingung gestellt, daß eine von o nach t_2 aufsteigende Zwischenrippe einer cylindrischen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören sollte, welche für Punkte wie r und w_2 gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhielte, so würde eine gewundene Zwischenrippe entstehen, deren wagrechte Projection als eine krumme Linie oxl leicht bestimmt werden könnte. Derart gewundene Rippen kommen bei gothischen Gewölben hier und dort wohl vor; sie sind im Allgemeinen aber unschön und können nur in ganz besonderen Fällen eine gewisse, meistens jedoch nur geringe Berechtigung in Rücksicht auf die statischen Verhältnisse der beiden von solchen gewundenen Bogen getragenen Kappen haben.

Das in Fig. 475 dargestellte einfache Sterngewölbe kann hinsichtlich der Form seiner Zwischen- und Randbogen durch ein Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfache Abänderung erfahren. Zweckmäßig betrachtet man die nach den Austragungen der einzelnen Bogen gezeichneten Längen- und Querschnitte des Gewölbes als vorläufige Skizzen, bessert in denselben, falls noch Unschönheiten in der Gestaltung erblickt werden, aus freier Hand die Bogen- und Kappenlinien in künstlerischer Weise ein und fucht hiernach, gleichsam rückwärts gehend, in der Kämpferebene die Mittelpunkte derjenigen Kreisbogen auf, welche den entworfenen Bogen thunlichst nahe kommen und an deren Stelle zu treten haben. Auf diesem Wege ist die gefetzliche Freiheit bei der Gestaltung solcher Gewölbe gewahrt.

286.
Einfaches
Netzgewölbe.

Fehlen in einem mehrtheiligen Kreuzgewölbe, wie bei der in Fig. 476 über einem rechteckigen Felde gegebenen Darstellung angenommen ist, die Diagonalbogen, so ändert sich der Gang des Austragens der Rand-, Zwischen- und Scheitelpbogen nicht. Nach den gemachten Mittheilungen sind, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwischenbogen, wofür z. B. $mr = \varepsilon \delta$ genommen ist, fest gestellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung sofort zu erkennenden Ausmittlungen der Bestandtheile vorzunehmen. Bemerkst sei

Fig. 476.



nur, daß z der Mittelpunkt der Kugelfläche A und g ein Punkt ihres größten Kreises ist, während z und w , 3 und i für die Kugelflächen B , bzw. C als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger größten Kreise in Betracht kommen.

Die im Grundrisse gegebene Anordnung des Rippen-systemes, wonach bei dem Fehlen der Kreuzrippen eine Abänderung des einfachen Sterngewölbes eintritt, zeigt die einfachste Gestaltung eines Netzgewölbes.

Wird das Rippen-system des einfachen Sterngewölbes durch Hinzunehmen einer größeren Zahl von Zwischen-, Scheitel- und Nebenrippen als ein erweiterter tragender Gerüstkörper für die Kappenwölbung gestaltet, und entspricht dabei die Grundrisbildung des Rippenwerkes der Form eines mehr- oder vielstrahligen Sternes, so entsteht das mehrgliedrige Sterngewölbe. Dasselbe wird oft Sterngewölbe ausschließlich genannt.

Die Grundlage der Entwicklung dieses Gewölbes bietet das einfache gothische Gewölbe mit feinen Diagonalbogen. Die weitere Theilung der Hauptkappen desselben durch Vervielfältigung der Rippen bedingt die Bildung des oft mannigfaltig und reich gestalteten Sterngewölbes. Hierdurch unterscheidet sich dasselbe von dem später zu berücksichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derselben Weise

vorgenommen werden, wie bei dem einfachen Sterngewölbe gezeigt ist.

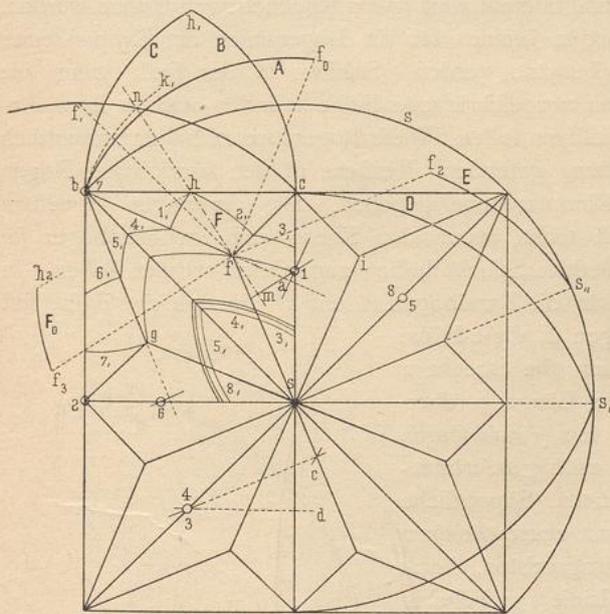
Als Beispiel soll hier ein Sterngewölbe, dessen Grundlage ein achttheiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 477 dienen. Der Grundriss ist ein Quadrat, dessen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, so daß an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entstehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreise sein.

Hierdurch ist die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmesser sb bestimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen c und z geführten Theilrippen gehen durch den Gewölbscheitel, haben also eine Höhe $ss_1 = sb$. Ihre Bogenlinie ist ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie d für D , auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen sind Spitz-

bogen mit den Schenkeln B und C , beschrieben aus b und c . Zwischenrippen wie bf , cf u. f. f. halbiren in ihrer Grundrisslage die Winkel cbz , bcs u. f. f., so daß nach dem Festlegen der Schnittpunkte f , bzw. g , die Lage der Scheitelrippen fs , gs u. f. f. im Grundriss vorgeschrieben wird.

Wird hiernach die geometrische Grundrissfigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollständigt, so entsteht die Form eines achtstrahligen Sternes. Setzt man die Höhe ff_1 der Zwischenbogen über bf , bzw. zg u. f. f. größer, als die Höhe hh_1 der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des gefamnten Gewölbes z. B. in der Weise fest, daß der Punkt z Mittelpunkt für den Bogen cf_1 wird, so läßt sich hiernach auch der Bogen A über bf mit der Höhe $ff_0 = ff_1$ nebst seinem Mittelpunkte a darstellen.

Fig. 477.



Nach diesen Bestimmungen sind alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, daß die Laibungsflächen aller Kappen gefetzmäsig entstehenden Kugelflächen zwischen ihren zugehörigen Rippen angehören sollen, so wird der Schnitt r des Lothes ct auf bc und des Lothes at auf ba der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe r_1 mit dem um r beschriebenen größten Kreise k_1 , dessen Halbmesser gleich rb ist. Die Scheitellinie F_0 über F wird der Kreisbogen $h_2 f_3$ mit dem Mittelpunkte m , also dem Fußpunkte des von r auf hf gefällten Lothes und dem Halbmesser mn , welcher in der Richtung fh von m bis n auf dem größten Kreise k_1 geführt wird. Der Bogen E der Scheitelrippe über fs ergibt sich aus der Bestimmung der Kugelfläche der Kappe s_1 . Errichtet man im Mittelpunkte z des Bogens cf_1 über cf das Loth auf cz und eben so im Mittelpunkte d des Bogens D über cs das Loth auf cd , so ist der Schnittpunkt s dieser Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche dieser Kappe. Ihr größter Kreis würde den Halbmesser sc besitzen. Fällt man von s das Loth se auf die Verlängerung von fs , so ist e der Mittelpunkt des Kreisbogens E der Scheitelrippe über fs . Da ff_2 gleich ff_1 , außerdem auch ss_2 gleich sb sein muß, so ist der Bogen E überreichlich bestimmt. Sein Halbmesser ist ef_2 , bezw. es_2 . Nach gleichen Mafnahmen sind die Punkte $4, 5, 6, 7, 8$ als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen $4_1, 5_1$ bis 8_1 aufgeführt. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diesen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entsprechend bezeichnet, im Grundrisse näher angedeutet sind.

Nach diesen Angaben können die Austragungen der Bestandtheile eines Sternengewölbes, welches in anderer und in sonst beliebiger Weise angeordnet ist, besondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 277 (S. 404), darauf hingewiesen werden, daß, falls die einzelnen Kappen eine andere Bufung erhalten sollen, als die nach einer Kugelfläche gebildete Wölbung ergibt, leicht auf Grund der ermittelten Kugelflächen eine Umwandlung derselben in besondere sphäroidische Flächen vorgenommen werden kann. Hierauf wird später Rücksicht genommen werden.

286.
Korbbogen
als
Rippenbogen.

Statt der einfachen Kreisbogen können für die Bogenlinien der Rippen eines Sternengewölbes auch Korbbogen benutzt werden. Solches ist der Fall, wenn die einzelnen Rippenbogen eine genau vorge schriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen stets gleichen Halbmesser besitzen sollen. Diese Bogenformen haben namentlich in der englischen Gothik Verwendung gefunden. Meistens ist den sämtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpferebene gegeben. Das Austragen derselben ändert sich im Wesen aber auch nicht, wenn den Kreuz- und Zwischenbogen in Bezug auf die Randbogen verschiedene Scheitelhöhen zugewiesen werden sollen. In Rücksicht hierauf ist in Fig. 478 für die Randbogen A und B eine gleiche Höhe festgesetzt, während der Zwischenbogen E diese Höhe um das Maf v , der Bogen D um die Strecke z und der Hauptbogen C um die Länge y überschreitet. Die Höhenunterschiede v, z, y sind durch die im Grundris eingetragenen, mäfsig gekrümmten Hilfslinien hy und iy gewonnen. Sämtliche Bogen sind in ihren Anfängen fp mit einem gleichen Halbmesser po um den auf der wagrechten, durch den Kämpferpunkt p gehenden Linie fg beliebigen Punkt o als Mittelpunkt beschrieben. Auf dem durch o und p geführten Strahle pL sollen die Mittelpunkte der übrigen Bogen liegen.

Um den oberen Theil vom Hauptbogen C zu erhalten, ist $f4 = f5$ auf fg abgetragen, in 4 das Loth $4q$ gleich der Höhe dieses Bogens auf fg errichtet und mit Hilfe von Kreuzrissen aus p und q der Strahl bestimmt, welcher in seinem Schnitte c mit pL den Mittelpunkt des Bogenstückes pC als Fortsetzung des Ansatzstückes fp ergibt. Der Bogen fpq ist der gefuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weise

Fig. 478.

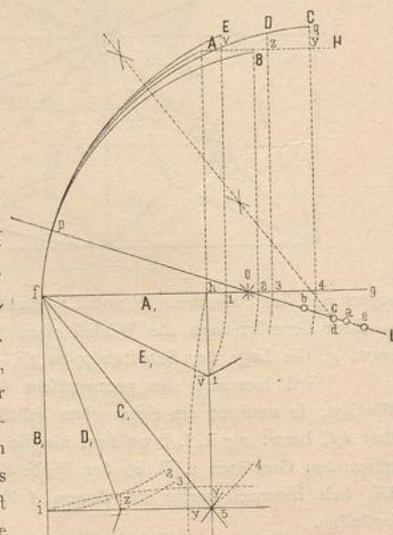
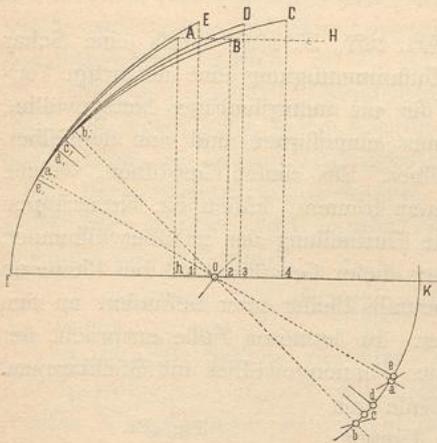


Fig. 479.



werden die Mittelpunkte a für A , b für B u. f. f. ermittelt.

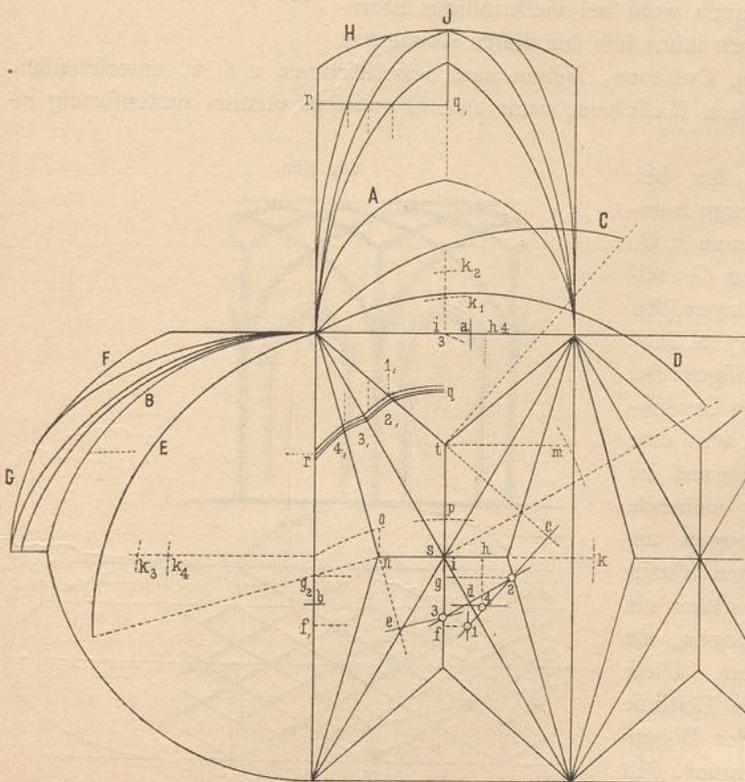
Bei dieser Bildung der Korbbogen sind im Allgemeinen die oberen Bogenstücke mit verschiedenen Halbmessern versehen, während alle Ansätze neben gleichen Halbmessern auch gleiche Bogenlängen aufweisen.

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. f. f. der aus den Scheitelpunkten A, B u. f. f. von um A, B u. f. f. mit dem Halbmesser fK beschriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie K werden die Mittelpunkte der zugehörigen

Fig. 480.



Korbbogenstücke, deren Scheidestrahlen, durch ao, bo u. f. f. geführt, die Vereinigungspunkte a_1, b_1 u. f. f. zwischen Ansatz- und Oberbogen der Rippen ergeben. Erstere erhalten hierbei verschieden grosse Bogenlängen.

Mehrstrahlige Sternengewölbe über unregelmäßigem Grundrifs werden nach denselben, für regelmässige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im Uebrigen ist dabei das in Art. 287 (S. 417) Gefagte zu beachten. Werden mehrere neben einander liegende gleiche Gewölboche (Fig. 480) mit Sternewölben 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 Tragssystem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die selbständig in die Felder des Rippen-systemes 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 Bufung versehen, einer Tonnengewölblfläche nicht angehören und durch ihre eigenartige Gestaltung, welche nicht von der Querschnittsform des Gewölbes, sondern von der Form eines bestimmten angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Die Rippen solcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Gesamtheit Reihungen genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielstrahligen Sterngewölben eintritt. Doch lassen sich bei diesen Reihungen wiederum Hauptrippen, Zwischen-, Neben- und Scheitelrippen u. f. w. unterscheiden. Die Kappenfelder heißen Maschen, wenn ihre Grundrifsprojection rautenförmig erscheint.

Das Austragen der bei diesen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 481 im Grundrifs dargestellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 287 (S. 417) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem lang gestreckten Gewölbefelde, 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. f. f. sein. Diese Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit

Fig. 481.

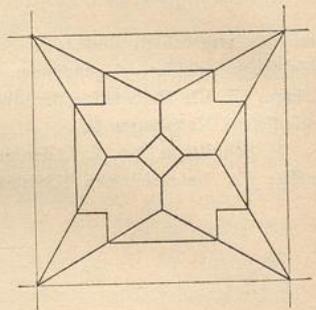
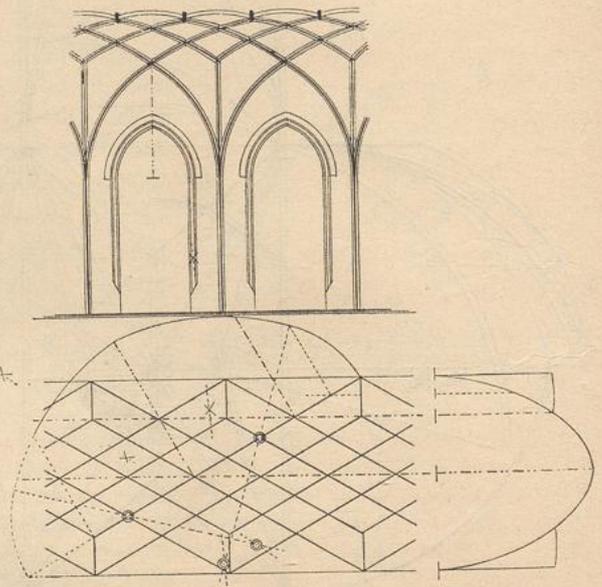


Fig. 482.



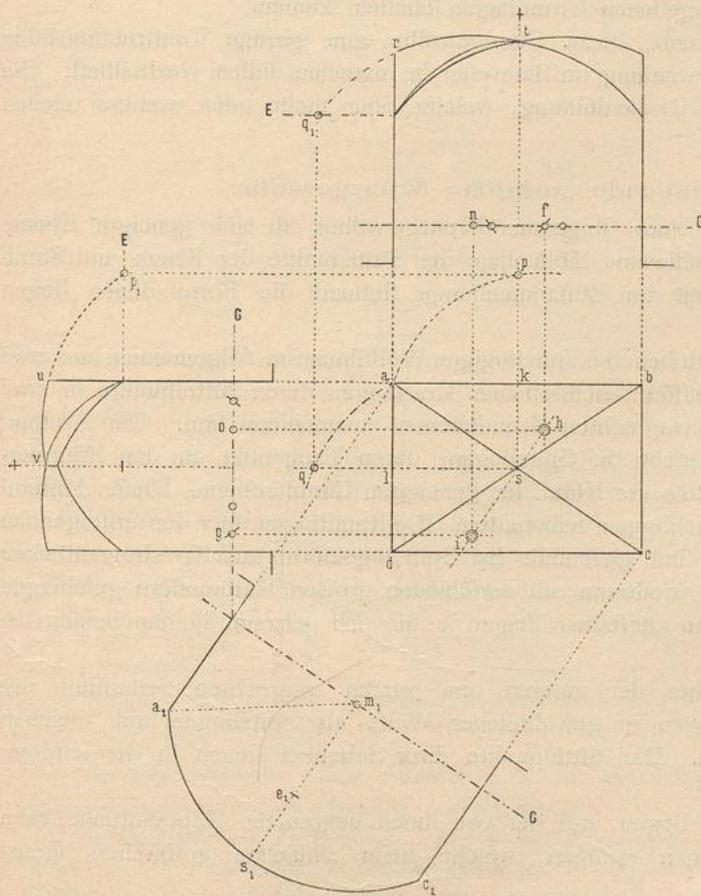
Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Principalbogen fortgeführt werden können, lassen sich in bekannter Weise und wie es aus der Zeichnung ohne Weiteres ersichtlich ist, die nöthigen Ausmittlungen schaffen.

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 Bufung allerdings in gewissem Grade bewirkt.

3) Gothische Kreuzkappengewölbe.

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 Lai-

Fig. 483.



bungen Kugelflächen oder sphäroidischen Flächen, seltener cylindrischen Flächen angehören.

Für die Gestaltung dieser Gewölbe können die bei der Bildung des einfachen gothischen Kreuzgewölbes gegebenen Gefetze gleichfalls befolgt werden.

Für das rechteckige Gewölbfeld $abcd$ (Fig. 483) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe ac ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m_1 , dem Halbmesser m_1a_1 und der Pfeilhöhe e_1s_1 sein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene G heisse die Grundebene. Die Randbogen über ab und ad mögen flache Spitzbogen sein, welche, hier z. B. mit dem-

290.
Gestaltung.

felben Halbmesser $m_1 a_1$ des Kreuzbogens beschrieben, ihre Mittelpunkte wie f, g in der Grundebene G besitzen sollen.

Hierdurch sind bereits die sämtlichen Bogen des Rippenwerkes bestimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, so sind die Mittelpunkte derselben in der Grundebene aufzufuchen. Für die Kappe ask wird offenbar nach den früher gemachten Mittheilungen der Punkt h , für die Kappe asl dagegen der Punkt i der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmesser ha um h beschriebener Kreisbogen ap gehört einem in der Kämpferebene E gelegenen Parallelkreise der Kugelfläche der Kappe ask an, während der mit dem Halbmesser ia um i beschriebene Kreisbogen aq einem Parallelkreise der Kugelfläche der Kappe asl zukommt. Um die Scheitellinie über ls zu erhalten, ist der Punkt i nach n auf G und der Punkt q nach q_1 auf E zu projectiren und sodann um n mit dem Halbmesser nq_1 der Kreisbogen $q_1 t$ zu schlagen. Das Stück rt desselben ist die Scheitellinie über ls . In ähnlicher Weise wird uv als Scheitellinie über ks mit Benutzung der Projectionen h, o und p_1, p gefunden.

Hiernach ist die Ausmittlung 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 Bufung zu verfehenden 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-, bzw. 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.

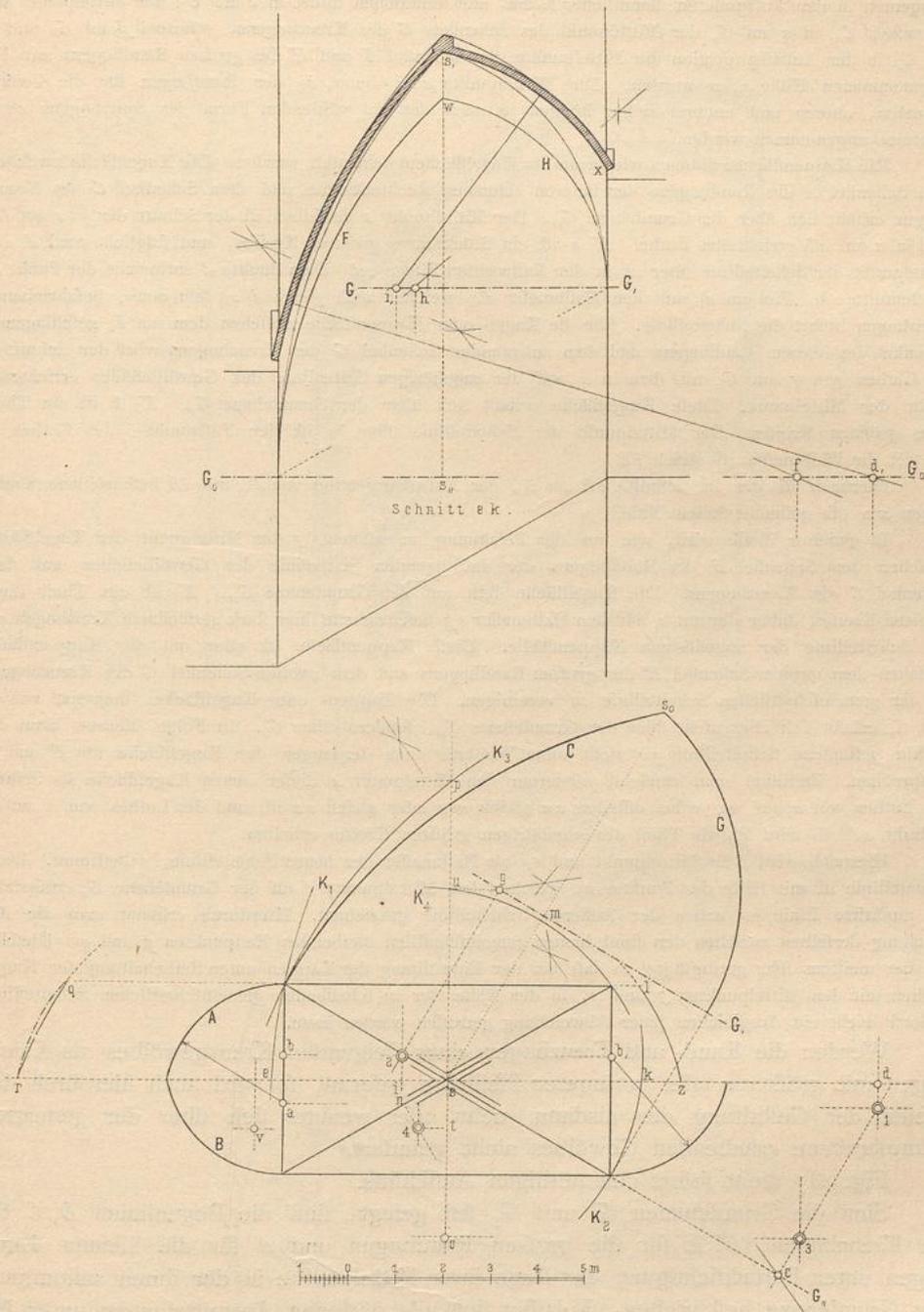
Die Kämpferebene eines steigenden Kreuzgewölbes ist eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verschiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zusammenhange stehend die Form dieser Bogen beeinflusst.

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 verschiedenen 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, bzw. oberen Grundebene.

Das Austragen der Bogen und der von ihnen begrenzten Kappenstücke kann nach denselben Grundlagen erfolgen, welche beim einfachen gothischen Kreuzgewölbe gegeben sind.

Fig. 484.



In Fig. 484 sind diese Austragungen für ein steigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde vorgenommen.

In der Darstellung des Schnittes ek sind G_0 und G_1 die Spuren der bezeichneten beiden Grundebenen. In der Grundrisfebene ist der Kreuzbogen mit den Schenkeln C , G niedergelegt. Die parallelen Geraden G_0 und G_1 bestimmen hier die Lage der Spuren jener beiden Grundebenen. Die Höhe des

Gewölbes sei vorgeschrieben und als $ss_0 = s, s$, aufgetragen. Hiernach ergibt sich bei lothrechten Tangenten in den Fußpunkten sämtlicher Kreuz- und Randbogen sofort in c auf G_1 , der Mittelpunkt des Schenkels C , in g auf G_2 , der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf G_3 , in der Aufrisprojection die Mittelpunkte der Schenkel F und H des großen Randbogens mit der angenommenen Höhe s, w werden. Die Mittelpunkte a, b , bezw. b_1 der Randbogen für die beiden schmalen, 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 zwischen dem Schenkel A des Randbogens der unteren schmalen Rechtecksseite und dem Schenkel C des Kreuzbogens erhebt sich über der Grundebene G_1 . Der Mittelpunkt r derselben ist der Schnitt der in c auf G_1 , und in a auf ab errichteten Lothe. $K_1 e$ ist ein Stück ihres größten Kreifes, und folglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über es in der lothrechten Ebene ed . Dem Punkte d entspricht der Punkt d_1 im Schnitte ek . Ein um d_1 mit dem Halbmesser $d_1 e$, welcher auch gleich $d_1 s_1$ sein muß, beschriebener Kreisbogen liefert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappenfläche zwischen dem um b_1 geschlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt z des Lothes von g auf G_2 mit dem in b_1 auf der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbefeldes errichteten Lothe der Mittelpunkt. Diese Kugelfläche erhebt sich über der Grundebene G_2 . $K_2 k$ ist ein Theil ihres größten Kreifes. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über ks ist der Fußpunkt i des Lothes zi auf ek ; ihr Halbmesser ist gleich ik .

Hiernach ist der im Schnitte ek um i_1 , der Aufrisprojection von i , mit ik beschriebene Kreisbogen xs_1 die gefuchte Scheitellinie.

In gleicher Weise wird, wie aus der Zeichnung zu ersehen, j der Mittelpunkt der Kugelfläche zwischen dem Schenkel F des Randbogens der aufsteigenden Seitenlinie des Gewölbefeldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche steht auf der Grundebene G_1 . K_3 ist ein Theil ihres größten Kreifes, daher der um o mit dem Halbmesser op beschriebene, hier stark gezeichnete Kreisbogen qr die Scheitellinie der zugehörigen Kappenfläche. Diese Kappenfläche ist aber mit der Kappenfläche zwischen dem zweiten Schenkel H des großen Randbogens und dem zweiten Schenkel G des Kreuzbogens an der gemeinschaftlichen Scheitellinie zu vereinigen. Die Kappen- oder Kugelfläche, begrenzt von H und G , erhebt sich aber nicht über der Grundebene G_1 , sondern über G_2 . In Folge hiervon kann die vorhin gefundene Scheitellinie qr nicht ohne Weiteres auch derjenigen der Kugelfläche für H und G entsprechen. Bestimmt man zunächst wiederum den Mittelpunkt q dieser neuen Kugelfläche als Schnitt des Lothes von n auf sn , wobei offenbar sn gleich mg oder gleich sz ist, und des Lothes von h auf G , (Schnitt ek), so wird K_4 als Theil des zugehörigen größten Kreifes erhalten.

Hiernach wird t als Mittelpunkt und tu als Halbmesser der neuen Scheitellinie tz bestimmt. Diese Scheitellinie ist mit Hilfe des Punktes v , welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene G_2 entspricht, als punktirte Linie qr neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derselben zwischen den sonst immer gemeinschaftlich bleibenden Endpunkten p und q . Dieselbe ist aber meistens sehr geringfügig, so daß bei der Einwölbung der Kappen unter Beibehaltung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten j und q , in der Nähe der zu schaffenden gemeinschaftlichen Scheitellinie äußerst leicht ein Ausgleichen jener Abweichung getroffen werden kann.

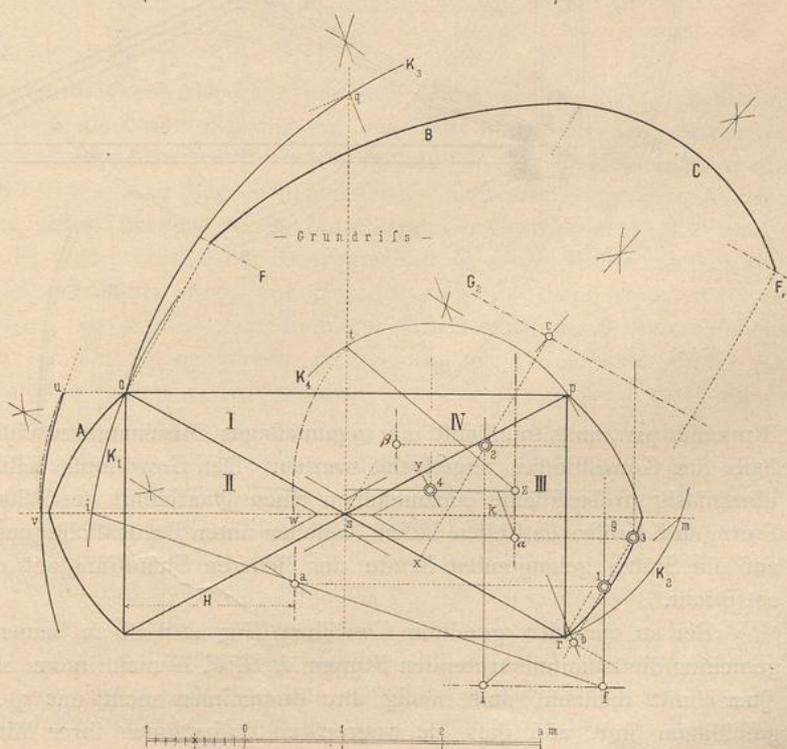
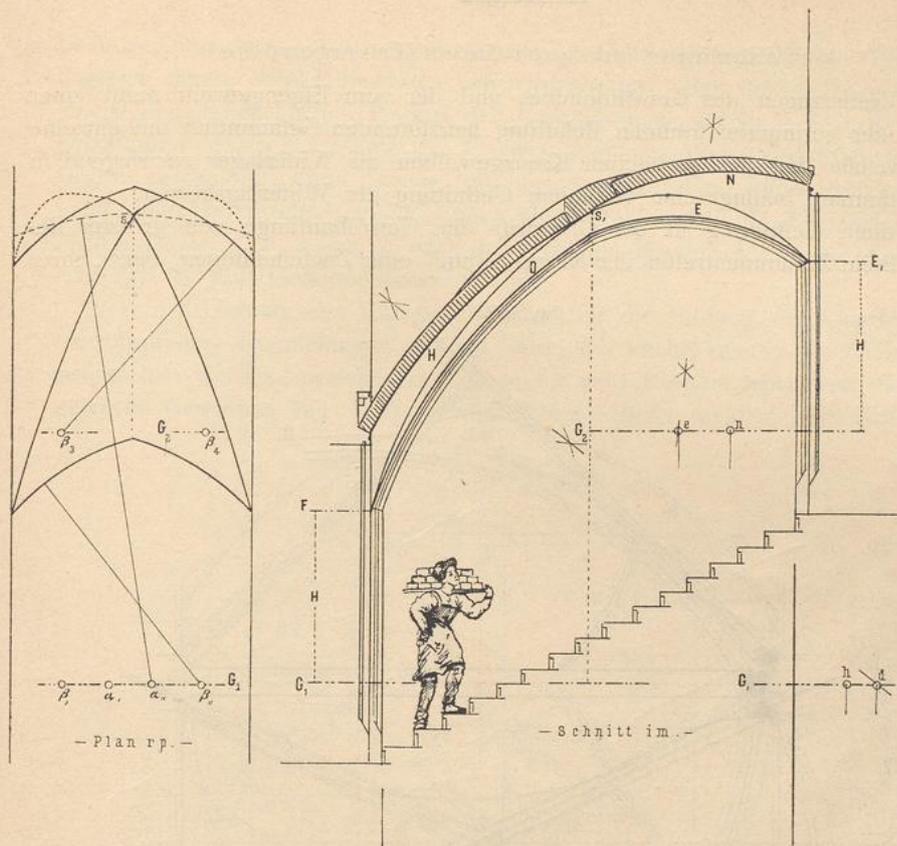
Werden die Rand- und Kreuzbogen eines steigenden Kreuzgewölbes als Knickbogen mit größerer oder geringerer Pfeilhöhe geformt, so wird auch hierdurch das Wesen der Gestaltung des alsdann mehr oder weniger sich über der geneigten Kämpferebene erhebenden Gewölbes nicht geändert.

Fig. 485 gibt sofort den nöthigen Aufschluß.

Sind die Grundebenen G_1 und G_2 fest gelegt, sind die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die großen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berücksichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene beschrieben, so lassen sich alle nöthigen Ausmittlungen unter Benutzung der soeben 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 erfahrenden Handhabungen, welche die Gestaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen lassen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.

Fig. 485.



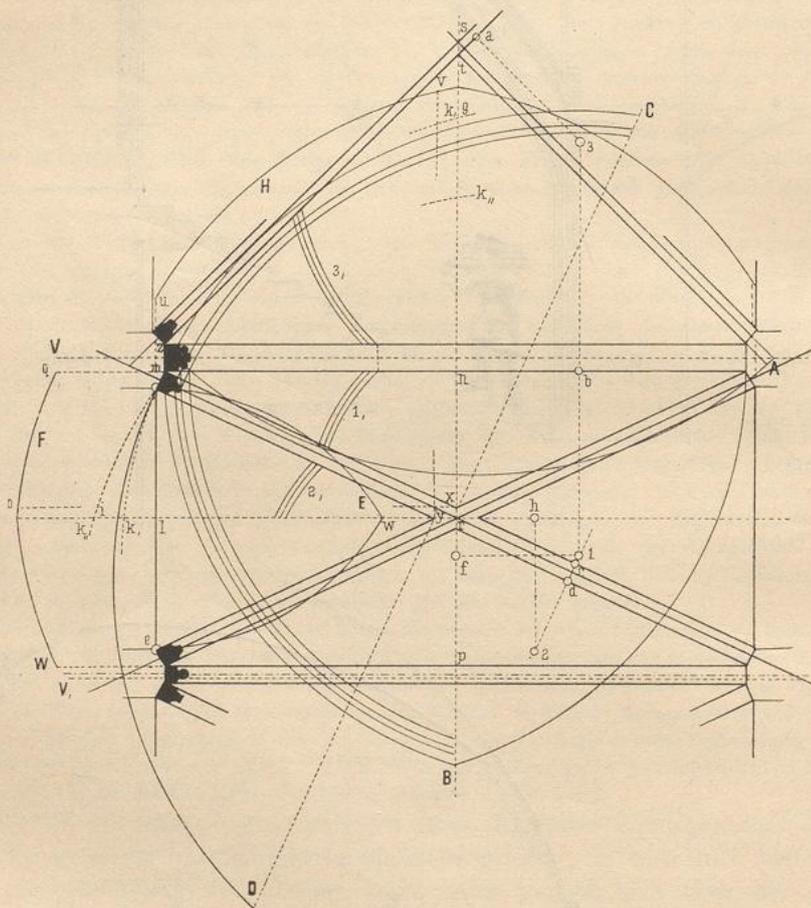
5) Widerlager der gothischen Kreuzgewölbe.

292.
Allgemeines.

Das Uebertragen des Gewölbschubes und der vom Eigengewicht nebst einer grösseren oder geringeren fremden Belastung herrührenden Gesamtlast auf einzelne Stützen, welche bei den gothischen Kreuzgewölben als Widerlager vorwiegend in Betracht kommen, bedingt eine besondere Gestaltung der Widerlagskörper.

Für diese Gestaltung ist der Grundriß der Gewölbanfänge von größter Bedeutung. Beim Zusammentreten der Kreuz-, Rand- oder Zwischenbogen, bezw. ihrer

Fig. 486.



Rippenkörper muß thunlichst ein regelmäßiges Auseinanderwachsen derselben oberhalb des Gewölbfusses angestrebt werden. Der Gewölbfuß selbst soll, ohne eine übermäßig große Fläche einzunehmen, einen Querschnitt des Widerlagskörpers nach Form und Größe entstehen lassen, welcher unter Berücksichtigung der sämtlichen auf die Stütze gelangenden Kräfte der sicheren Standfähigkeit des Gewölbsystems entspricht.

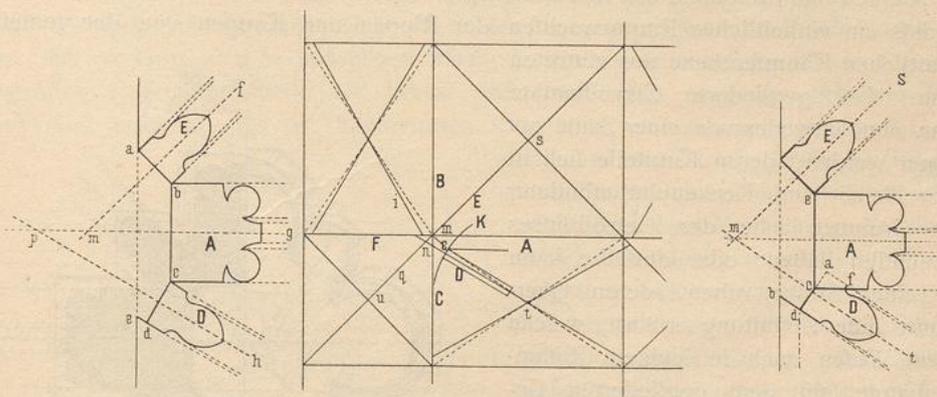
Bei an einander gereihten Gewölben (Fig. 486) ist zu bemerken, daß im Allgemeinen die zusammentretenden Rippen *A*, *B*, *C*, *D* nicht immer einen und denselben Querschnitt besitzen, daß häufig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmesser geschlagen sind, und daß die wagrechten Projectionen ihrer Mittellinien recht oft

beim Zusammentreten von verschiedenartig im Grundrifs angeordneten Gewölbefeldern ungleich grose Winkel zwischen sich einschliessen oder sich auch nicht einmal in einem gemeinschaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diese Umstände beeinflussen die Entwicklung des Querschnittes der Widerlagskörper in merkbarem Grade, auch selbst dann, wenn, wie aus der Zeichnung sofort entnommen werden kann, die Gestaltung der Laibungen der Wölbkappen als Kugelflächen mit den Mittelpunkten 1, 2, bzw. 3 und den grössten Kreifen k_1 , k_2 , u. f. f. nach dem in Art. 237 (S. 348) Gefagten bewirkt wird.

Zur Erklärung des Ganges, welcher für die Bildung des Querschnittes eines Gewölbpfeilers eingeschlagen werden kann, soll nach Fig. 487 ein Zwischenpfeiler m besprochen werden, welcher als Stütze für acht Rippenkörper von vier zusammengelegten Gewölben mit theils quadratischem, theils rechteckigem Grundrifs dient.

293.
Querschnitts-
bildung
für einen
Gewölbepfeiler.

Fig. 487.



Behält man entsprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbefelder die Diagonalen derselben als Grundrifsprojection der Mittellinien der Kreuzbogen bei, so schneiden sich diese im gemeinschaftlichen Eckpunkte m der Gewölbefelder, welcher zugleich der lothrechten Axe des Zwischenpfeilers angehört. Ordnet man nach diesen Mittellinien, unter Hinzunahme der Mittellinien der Gurtruppen A , B , F und C , durch Einführen der Querprofile A der Gurtruppe und D , E der Kreuzrippen, welche hier kleiner als A genommen sind, den Grundrifs des für diese Rippen erforderlichen Gewölbefusses, so ergibt sich meistens für die Rippe D ein unchönes Einschneiden bei af am Rippenkörper A . Sollte zur Vermeidung dieses Einschneidens der Punkt a nach f verlegt werden, so würde der grose Uebelstand des weiteren Vorrückens des Punktes d von der Seitenlinie des Gurtbogens C sich geltend machen, so dafs auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe C von der Rippe A nicht entstände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie mt der Rippe C kann jedoch eine bessere Abzweigung derselben erzielt werden. Zur Bestimmung dieser neuen Lage der Mittellinie der Rippe C kann man in der folgenden Weise verfahren. Beschreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projection t des Scheitelpunktes des Gewölbes zwischen A und C mit dem Halbmesser tc einen Kreisbogen K , so kann man die Breite ad der Rippe D derart einfügen, dafs a nach c gelegt und d auf den Kreisbogen K gesetzt wird. Die von t durch den Halbirungspunkt der Breite cd geführte Gerade tn ist die neue

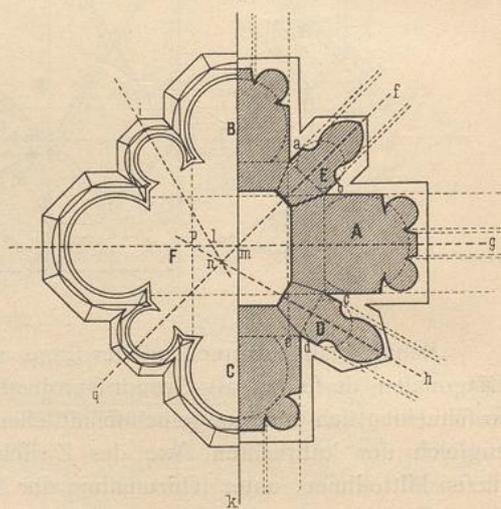
Mittellinie für die Rippe *D*. Benutzt man dieselbe nunmehr als *ph*, parallel zu *nt*, beim Austragen der Fußflächen *A, E, D* der zugehörigen Rippen, so lassen sich diese Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenfeitiges Einschneiden entwickeln. Allerdings 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 Gesamtdrucke noch ein den Pfeiler auf Drehung beanspruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meistens nicht sehr große Drehmoment dieses Kräftepaars 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. f. f., so daß ein einheitliches Emporwachsen der Rippen und Kappen von der gemeinschaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanfatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle sich in ihrer Kelch- und Deckenplattenbildung der Grundriffsfläche 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 Gewölbanfatz bleibt. Hierdurch entsteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

Den Ausmittlungen der Fußflächen der Rippen entsprechend, ist in Fig. 488 die Gestaltung des Querschnittes eines einfachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinlängliche Aufsatzfläche zu schaffen, ist eine zweckdienliche Grundriffsform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsseitig in der Zeichnung angegeben ist, zu entwerfen.

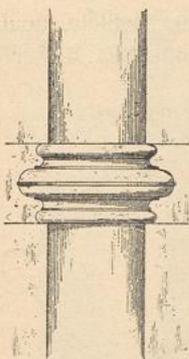
Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbanfatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeiler-Kapitell, dienen besonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querschnitt derselben geht meistens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen selbst führen den Namen Dienste. Ihre Anordnung zeigt 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. Fufung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienst wiederum eine besondere Basis angeordnet ist. Meistens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienste mit

Fig. 488.



294.
Eckige Pfeiler
mit
Diensten.

Fig. 489.

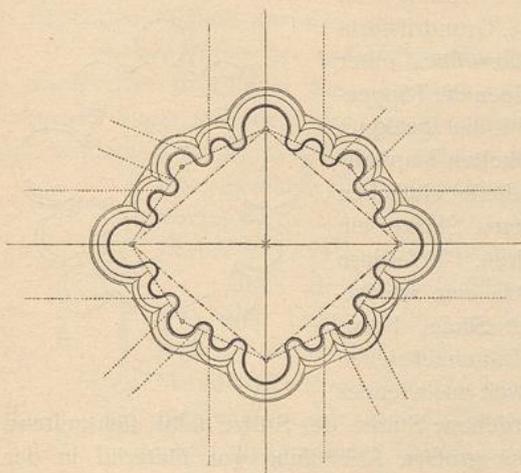


größeren Durchmesser als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienfte heißen alte, die schwächeren dagegen junge Dienfte.

Die in charakteristischer Weise bei diesen gegliederten Pfeilern auftretenden Dienfte werden entweder bei jeder Pfeilerschicht mit angearbeitet, oder sie werden vielfach als selbständige cylindrische Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder selbst so angeordnet, daß sie den Pfeilerkern in geringer Entfernung frei als Säulchen umstehen.

Die selbständigen Dienfte werden bei größerer Höhe außer ihrer Verbindung mit der Basis und dem Kapitell des Pfeilers oft noch mit dem Pfeilerkern durch sog. Ringe, Bunde oder Gürtel (Fig. 489) in Zusammenhang gebracht. Die Stärke und auch die Anzahl der Dienfte richtet sich nach der Querschnittsentwicklung 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 Querschnittstheile der Breite und Höhe nach eine ausgedehntere Entwicklung erfahren, als die Kreuzrippen (Fig. 490), so verlangen erstere an sich

Fig. 490.



stärkere Dienfte als letztere. Hierbei kann die Bildung des Bogenanfanges auch selbst eine Verbindung der Gurt-, bzw. Scheidebogen mit den Kreuzrippen im Gefolge haben, welche für die Kreuzrippen keine besonderen Dienfte bedingt. Diese Rippen werden dann wesentlich durch den eigentlichen Kern des Pfeilers gestützt.

Ist der Querschnitt der Gurt- oder Scheidebogen in sog. Ringen symmetrisch staffelförmig nach oben verbreitert gestaltet, so erhält auch wohl jede Staffel für sich einen Dienst. So würden für einen Querschnitt von zwei Ringen drei Dienfte eingeführt werden können, von welchen der Dienst des unteren breiteren Ringes

stärker sein soll, als die daneben stehenden Dienfte der beiden schmalen Staffeln des oberen Ringes. Die Beobachtung der Querschnittsbildung der Rippen und des danach zu schaffenden Grundrisses des Gewölbanfängers bedingt demnach die Zahl, die Stellung und die Abmessung der Stärke der Dienfte des gegliederten Pfeilers und damit weiter die Grundform der gesammten Pfeilerbildung. In erster Linie tritt für das Festlegen dieser Grundform also die Bedingung auf, den gegliederten Pfeiler in zweckmäßiger Weise als Stützconstruction herzurichten, wenn dabei auch eine völlig regelmässige Gestaltung der Grundform aufgegeben werden muß. Ob die erwähnte Bedingung mit einer regelmässig gebildeten Grundform des Pfeilers in Einklang zu bringen ist, muß in jedem einzelnen Falle einer besonderen Ueberlegung vorbehalten bleiben.

Um die Grundform des Pfeilers möglichst lebendig zu gestalten, sind die einzelnen

Dienste häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform ist durch Anwendung mehrfacher Profilierungen, welche auch selbst eine Umwandlung des Kreisquerschnittes der Dienste im Gefolge hat, äußerst reich und bewegt gebildet. Die Werke der gothischen Baukunst bieten hierfür eine große Anzahl von Beispielen.

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 Fufung (Basis) ist, an und für sich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgestalt des ungliederten Pfeilers. Gestattet die Grundriffsform des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter fachgemäßem 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 Constructionsmitglied erhalten. Erfordern größere Grundriffsflächen der Bogenanfätze eine wesentliche Vergrößerung des Durchmessers der Säule, bzw. 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 großen 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 ungliederten Pfeilern der Spätzeit der Gothik eine Umwandlung 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, bzw. durch kurze auf Auskragungen stehende Dienste mit oder ohne Kapitell u. s. f. getragen. Dabei durchschneiden (Fig. 493) die Mantelflächen des ungliederten Pfeilers nicht allein die Seitenflächen der Rippenkörper, sondern auch vielfach die Gewölbflächen der Kappen, so daß im Allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung entsteht, wenn nicht in geschickter und künstlerischer

Fig. 491.

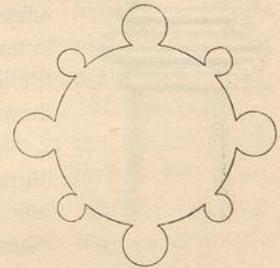


Fig. 492.

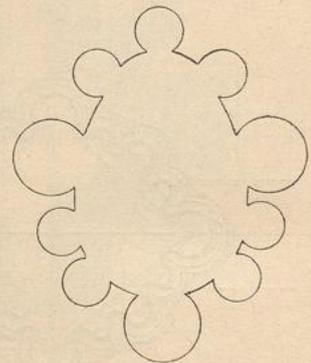
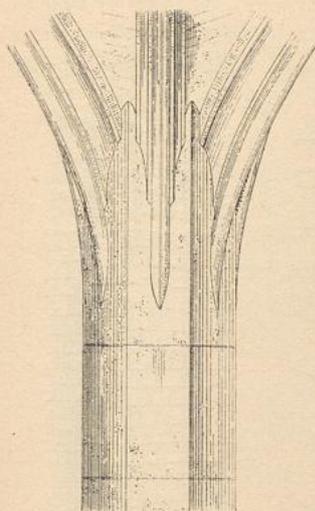


Fig. 493.



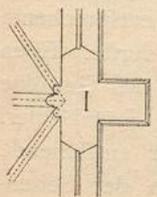
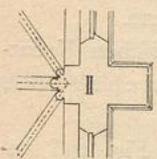
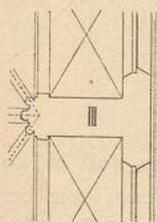
Weise für eine lebendige Verwebung des Bogenanfatzes mit dem Stützkörper geforgt wird.

Die Wandpfeiler sind im Wesentlichen Theile der freistehenden Pfeiler, welche so weit in Benutzung treten, daß eine sichere Auflagerung der Bogenanfätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten sich also vorzugsweise nach der Durchbildung der gegliederten oder ungliederten Pfeiler, so weit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Theile des Bogenanfatzes dabei maßgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verschiedener Weise getroffen werden. Dieselben reichen entweder vom Fußboden bis zum Bogenanfaß, sind dabei mit Diensten versehen, bezw. treten ohne Dienste als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorsprunge auf, welchem unter dem Bogenanfaße 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 freistehenden Pfeilern anzustreben.

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*, außen 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 rechtwinklig 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 Aufzuges 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 Gewicht-

297.
Wandpfeiler.298.
Strebepfeiler.

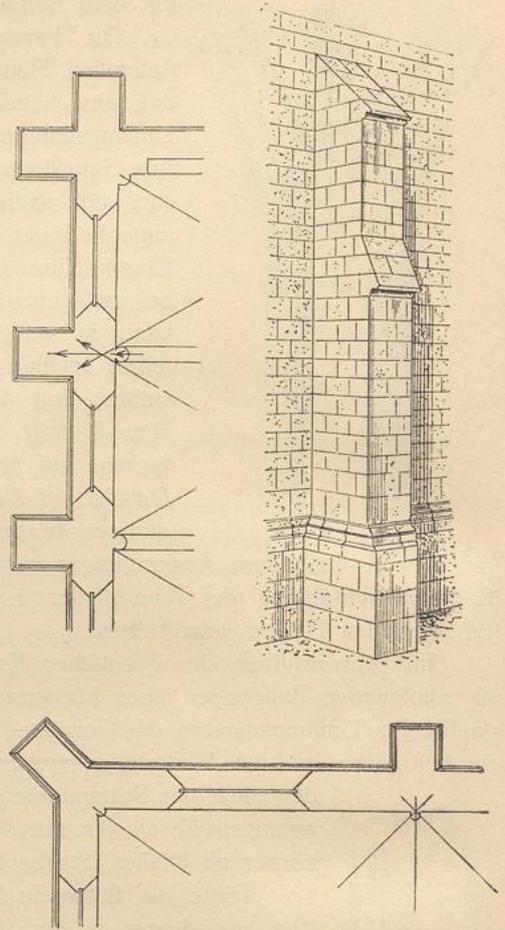
antheilen des Mauerwerkes dieser Widerlagskörper ermitteln läßt. Im Allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Abfätze verbreiterte Aufrifsform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektonische Behandlung im Einklange mit den statischen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abfchrägungen, Abdeckungen der Abfätze durch Gesimsstücke, durch schräge Deckplatten, so wie die Anordnung von Wasserflägen, von fatteldachartigen Ueberdeckungen, oder das Einführen reichen Schmuckes durch Fialen an der oberen Endigung oder an einzelnen Abfätzen des Strebepfeilers, das Anbringen von Figuren u. f. f. bieten hierfür, wie die Bauwerke des gothifchen Stils in ausgiebiger Weise zeigen, eine Fülle von Hilfsmitteln dar.

Noch ist für die folgerechte Entwicklung 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 folches 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 Lifene.

Ein bedeutungsvolles Bauglied ist die bei der Anlage von gothifchen Kreuzgewölben als wichtiges Strebesystem eingeführte Vereinigung von Strebebogen oder Schwibbogen mit den Strebepfeilern.

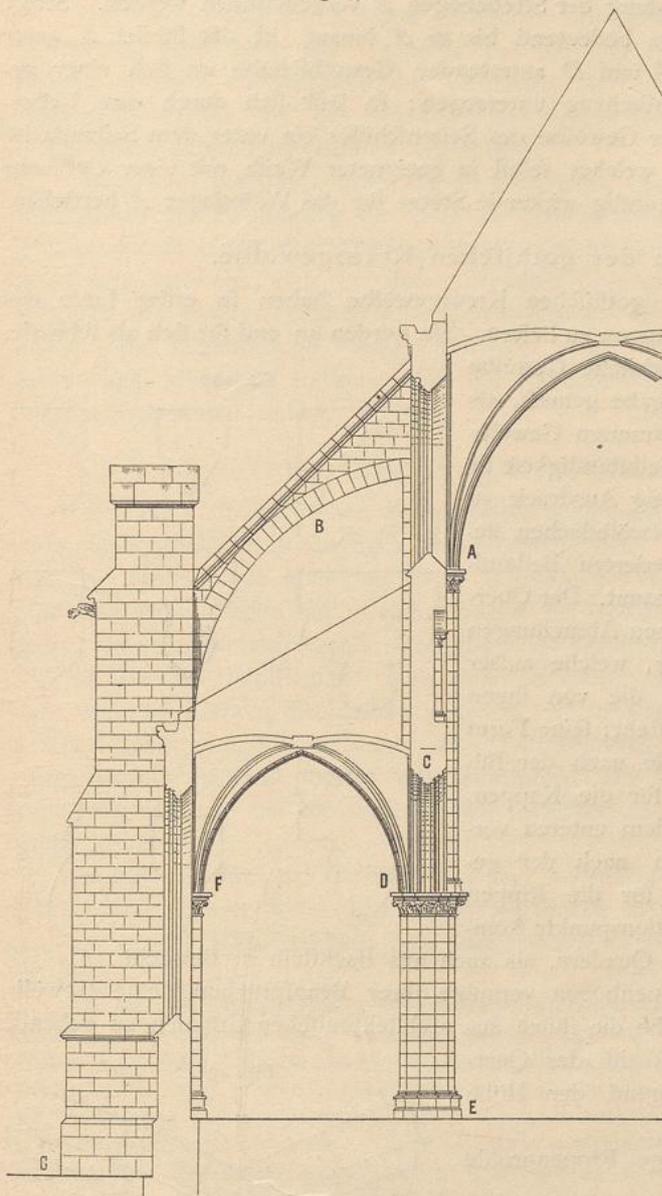
Der Aufbau der gewölbten gothifchen Basilika forderte, wie in Fig. 496 angegeben, eine sichere Abstützung des vom Schube des Gewölbes *A* des Mittelschiffes beanspruchten Pfeilers *C*, bzw. *E*, ohne dafs, diesem Gewölbschube entsprechend, eine an sich erhebliche Verstärkung des Pfeilers vorgenommen 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-

Fig. 495.



schiffe und ihrem Dachwerke hinweg ziehenden Bogens *B*, welcher als Strebe dem Gewölbchube bei *A* Widerstand zu leisten und hierzu am Strebepfeiler *G* ein 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* günstige 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 beeinflussten als mächtiges Stützengedebilde der gothischen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einschlägigen Bauwerke der Gothik sich ergibt, eine architektonische Entwicklung 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 reichster Weise gebildete äußere Constructionsgerüst zurücktritt.

Von rein statischem Gesichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei seitlich neben einander gereihten, symmetrisch geordneten Gewölbanlagen mit verschieden hoch gelegenen Kämpferebenen *A* und *F* die Verstrebung der Stützpunkte *A* auch ohne Anwendung der Strebebogen *B* vorgenommen werden. Steigt der Mauerkörper *C* nicht zu bedeutend bis zu *A* hinauf, ist der Pfeiler *E* unter Berücksichtigung der von *A* und *D* antretenden Gewölbschübe an sich einer gewissen statischen Unterfuchung unterzogen; so läßt sich durch eine Uebermauerung der Gurte *DF* der Gewölbe des Seitenschiffes ein unter dem Seitendache verbleibender Mauerkörper, welcher selbst in geeigneter Weise mit einer Oeffnung versehen werden kann, als günstig wirkende Stütze für das Widerlager *A* herstellen.

6) Rippen der gothischen Kreuzgewölbe.

300.
Rippen.

Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe haben in erster Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liefern. Sie werden an und für sich als schmale, selbständig auftretende cylindrische Gewölbe gestaltet und sind, ihrer Aufgabe gemäß, als tragende Bogen in den gesammten Gewölbkörper einzuführen. Ihrer Selbständigkeit ist in architektonischer Beziehung Ausdruck zu geben durch die vor den Gewölblflächen liegenden, entsprechend gegliederten Bestandtheile, Rippenprofile genannt. Der Querschnitt der Rippen ist in feinen Abmessungen von der Belastung abhängig, welche außer ihrem Eigengewichte durch die von ihnen getragenen Gewölbstücke entsteht; seine Form richtet sich im oberen Theile nach der Bildung der Widerlagsflächen für die Kappen, dem sog. Rückenansatz, in dem unteren vor springenden Theile dagegen nach der gewählten Profilirung. Diese für die Rippen allgemein geltenden Constructionsunkte kommen sowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backstein in Betracht.

Da die tragenden Rippenbogen vermöge ihrer Beanspruchung eine Gewölbstärke erhalten müssen, welche die ihnen aus architektonischen Gründen zu gebende Breite meistens übertrifft, so ist der Querschnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

In Fig. 497 sind einige Rippenprofile gegeben.

Sieht man von einer Anordnung in Fig. 498 ab, wonach der Rippenkörper nur ein einfaches Auflager und kein besonders ausgebildetes Widerlager für die Gewölbkappen gewährt, so ist es geboten, den Rücken-

Fig. 497.

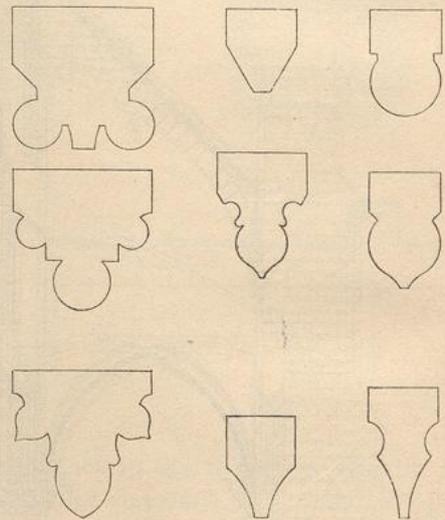
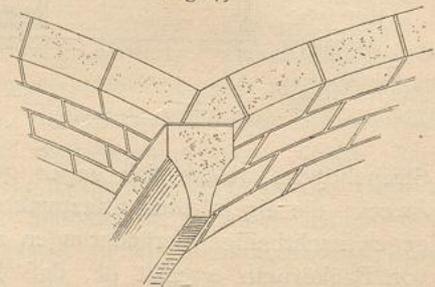


Fig. 498.



anzufang 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.

Die Einwölbung der Kappen gothischer Kreuzgewölbe erfolgt hinsichtlich der allgemeinen Anordnung der Wölbflächen und der Bestimmung ihrer Lager- und Stosfugenflächen entsprechend der Gestaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der sich in Rücksicht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältnisse.

301.
Kappen.

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 Bufung, 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.

a) Bufige Kappen ohne Stelzung.

Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen bufige Flächen ohne Stelzung, so treten hinsichtlich der Richtungen der Wölbflächen, unter Berücksichtigung einer thunlichst freihändigen Mauerung dieser Kappen, vorwiegend vier von einander verschiedene Anordnungen auf, welche sowohl für Gewölbe mit wagrechter Kämpfer Ebene, als auch für ansteigende Gewölbe volle Giltigkeit haben.

a) Die Wölbflächen sind concentrische Ringflächen. In diesem Falle sind die Laibungsflächen der Kappen zweckmäßig als reine Kugelflächen zu gestalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbflächen sind alsdann Kegelflächen, deren gemeinschaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe ist, während die Stosfugenflächen derselben in Meridianebenen dieser Kugel liegen.

302.
Erste
Anordnung
der
Wölbflächen.

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 Kämpfer Ebene 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 Begrenzungsflächen 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-

Fig. 499.

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_1n 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 r den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems . Ein um r , z. B. als r_1 , beschriebener Kreisbogen ist die wagrechte Projection der Lagerkante einer Wölbfschicht; 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.

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 Mafnahmen wird in z der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe goi gefunden. Der um z beschriebene Kreisbogen z_1 ist wiederum die wagrechte Projection der Lagerfugenkante einer Wölbfschicht. 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 ms_1 , wobei $mm_1 = mn$ und $ss_1 = st$ sein muß, während die Scheitellinie der Kappe goi der Kreisbogen o_1i_1 mit dem Mittelpunkte w und den Ordinaten $oo_1 = mn = op$ und $ii_1 = st = ik$ ist.

Den ermittelten Kugelflächen entsprechend, sind die Wölbfschichten in den zugehörigen Kappen als concentrische Ringschichten leicht fest zu legen, und danach sind auch die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Schwierigkeiten zu bestimmen.

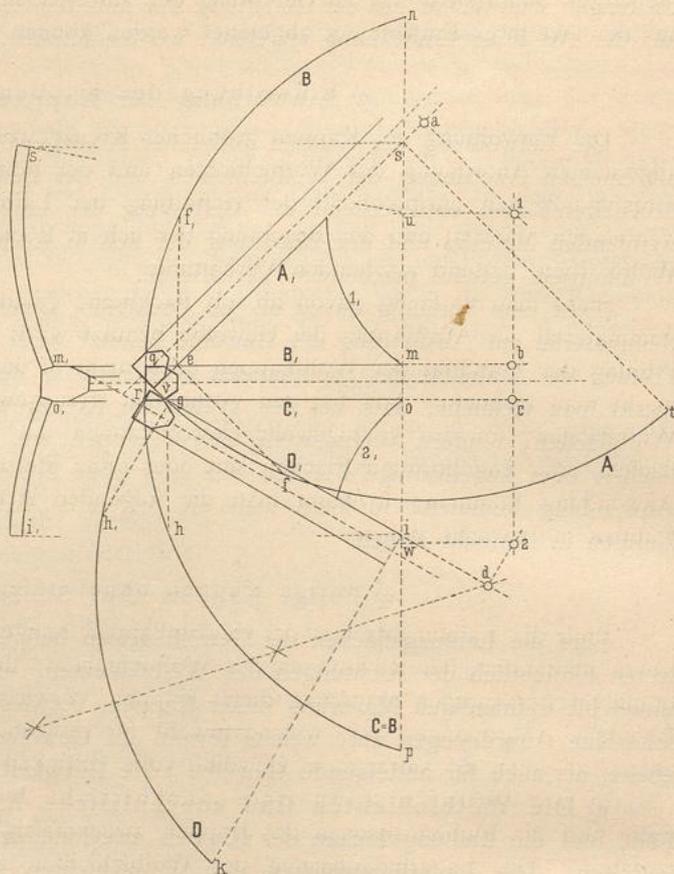
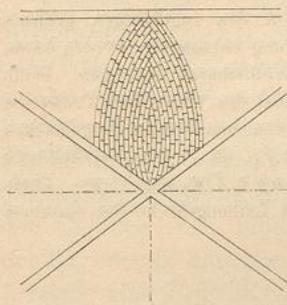


Fig. 500.

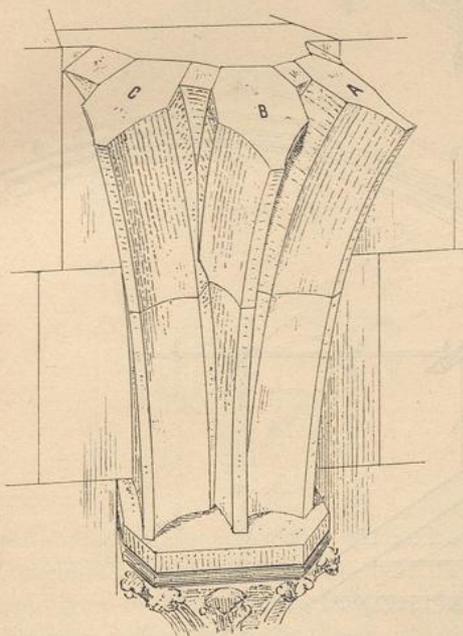


Bei der Anordnung der Wölbung nach concentrischen Ringschichten tritt über der Scheitellinie ein Zusammenschneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenschwanz-Verbandes ein. Die Größe der Halbmesser der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derselben beeinflusst das Zusammenfügen der einzelnen Wölbcharen über den Scheitellinien oft in besonderer Weise.

So kann nach Fig. 500 leicht eine linienförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenschwanz vereiniger Schichten zuweilen wenig günstig ist. In solchen Fällen ist der verbleibende Spalt durch besonders hergerichtete Steine zu schließen.

Wie beim Zusammenschneiden der Fußflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenanatz unter Verwendung von Werkstücken gebildet werden kann, möge durch Fig. 501 angedeutet werden.

Fig. 501.



Um die scharfen Schneiden der Wölbchichten am Fusse der Kappen zu vermeiden, sind die Anfätze der Kappen zweckmäÙig am Anfänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen A, B, C des Rippenanatzes erheben sich ohne Weiteres die einzelnen Rippenstücke frei als selbständige Rippenkörper, wie die Bestandtheile schmaler Tonnengewölbe, so daß zwischen denselben das Einfügen der einzelnen Wölbchichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

Bei sphäroidischen, mit starker Bufung versehenen Kappen ist die Einwölbung nach Art concentrischer Ringschichten, wobei die Lagerfugenkanten je für sich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft sehr erschwert wird.

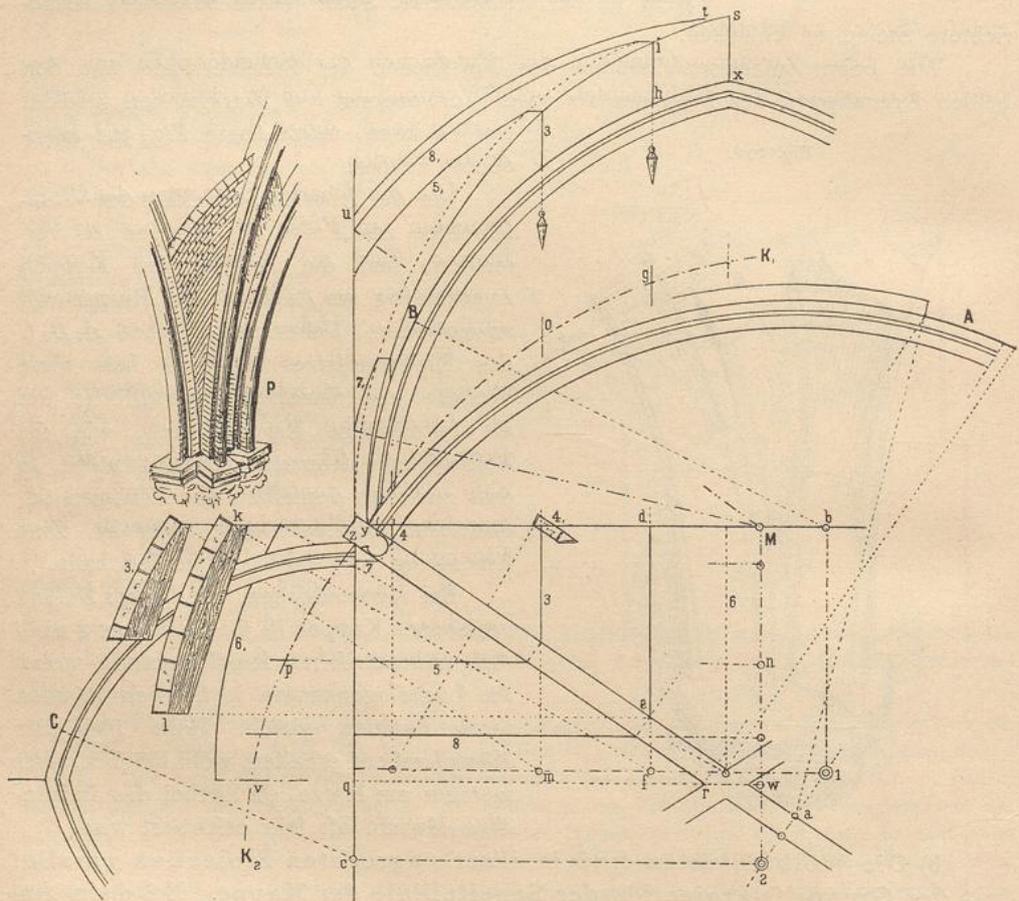
b) Die Wölbchichten sind in ihrer wagrechten Projection parallel mit der Grundrifs-Projection der Scheitellinie der Kappe. Bei dieser Anordnung entstehen streng genommen Wölbcharen, welche eine innige Verwandtschaft mit der Wölbung von cylindrischen Gewölben auf Kufverband aufweisen. Sind bei gothischen Kreuzgewölben die zwischen den Rippen liegenden Kappen cylindrisch gefaltet, so ist die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Voraussetzung einer vorherigen Unterschaltung mit keinen besonderen Umständen verknüpft.

Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rücksichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbchichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerthen Einfluß auf die Gestaltung der Lager- und Stosflächen der Wölbsteine.

303.
Zweite
Anordnung
der
Wölbchichten.

Ist nach Fig. 502 auf Grund der in Art. 237 (S. 348) gegebenen Mittheilungen für die Kappen die Bestimmung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten 1 und 2 nebst den zugehörigen größten Kreifen K_1 , bezw. K_2 getroffen, so lassen sich, wie sofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbcharen austragen. Diese Lagerkanten gehören lothrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projection der zugehörigen Scheitellinien sind. Die Schnittlinien dieser Ebenen mit den betreffenden Kugelflächen sind also Kreisbogen, welche als kl dem Parallelkreise mit dem Halbmesser fg , als 3_1 dem Parallelkreise mit dem Radius mo , weiter als 5_1 dem Parallelkreise mit dem Halbmesser np u. f. w. angehören. Diese Kreisbogen bestimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsfläche der einzelnen neben einander liegenden Wölbchichten.

Fig. 502.

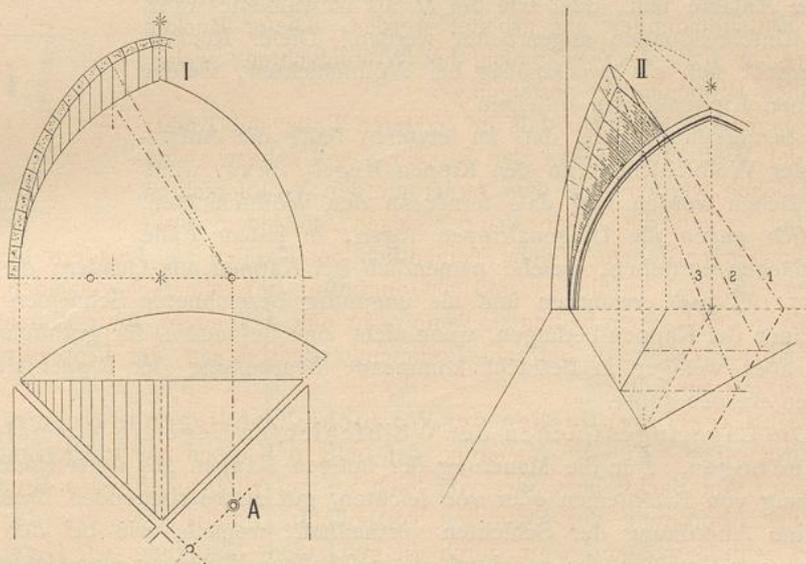


Vermöge der verhältnißmäßig geringen Breite der Wölbcharen können dieselben in Rücksicht auf die Richtung ihrer Stofsflächen als schmale cylindrische Gewölbstreifen angesehen werden, so daß die Stofsflächen nicht als Kegelflächen, welche für alle Wölbcharen die gemeinschaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte finden müßten, sondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in kl und 3_1 , so wie beim Anfänger P angegeben ist, senkrecht zu der Wölblinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbchichten stehen.

Anders gestaltet sich die Anordnung der Lagerfugenflächen der einzelnen Wölbcharen. 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 Wölbchichten 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 Wölbchichten 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 Bufung der Kappen nach reinen Kugelflächen den Vorzug.

Bei einer in anderer Weise angenommenen Bufung, wovon noch unter *b* die Rede sein wird, tritt die Anordnung der windschiefen Lagerflächen ein.

Eine freihändige Ausführung der Kappen ist bei der beschriebenen Anordnung der Wölbfschichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbfschichten auch zur Unterfützung derselben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 502 bei kl und z_1 angedeutet ist, einfache und leichte, senkrecht unter die Wölbfschichten ab und zu aufzustellende Wölbfscheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten selbst, Theile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreise über fg , mo , np u. f. f. ihrer zugewiesenen Kugelflächen sind, mithin je für sich mit dem besonderen Halbmesser jener Parallelkreise beschrieben werden müssen.

Nach der Bildung der Wölbfschichten lassen sich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe fest legen. Diese Widerlagsflächen können nach Fig. 504 entweder wie bei *I* lothrechte Anätze sein, oder wie bei *II* als schwalbenschwanzförmige Einschnidungen angearbeitet werden. Dieser Rückenanzatz ergibt sich als zweckmäfsig bei Wölbfschichten, welche gegen einen Rippenkörper ansteigen.

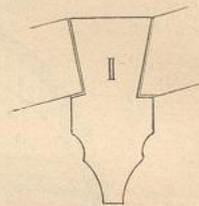
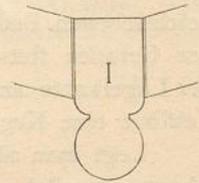
Zu bemerken ist noch, dafs im letzteren Falle die Ansatzflächen der Wölbfschichten an den Rippen Kegel-, bezw. wind-schiefe Flächen werden und dafs ferner an den Wölbfschichten, welche sich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmieglflächen entstehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 271 (S. 394) erwähnten und als ungünstig bezeichneten Schneiden an den Ansatzsteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine besondere, für gothische Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippensteine vorgenommen werden sollte.

c) Die Lagerfugenflächen der Wölbfschichten liegen in Normalebene zum Randbogen. Für die Mauerung der bufigen Kappen aus freier Hand ist bei Verwendung von Backsteinen oder von leichten, gut zu bearbeitenden Bruchsteinen immer eine Anordnung der Schichten vortheilhaft, wonach, wie bei den Kugelgewölben, vom Gewölbefusse an, durch die geschaffene Mauerung eine Unterfützung der höher liegenden Schichten bereits geboten werden kann. Die unter *a* besprochenen concentrischen Ringschichten entsprechen dieser Forderung, während derselben bei der unter *b* mitgetheilten Schichtenlage weniger genügt wird. Ausserdem ist in Rücksicht auf die an sich vorhandenen ebenen Seitenflächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stofs-fugenflächen an sämtlichen Wölbfschichten im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit sehr erwünscht. Diese Gründe geben Veranlassung, die Wölbfschichten in ihren Lagerflächen nach Normalebene zu ordnen, welche für irgend einen hauptsächlich als Träger eines Kappenstückes auftretenden Rippenkörper fest zu legen sind.

Bei den cylindrischen Kreuzgewölben ist schon in Art. 266 (S. 389) auf die Anordnung von Wölbfschichten, geregelt durch Normalebene zum Gratbogen, hingewiesen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben sich auch bei den Wölbfschichten der Kappen gothischer Kreuzgewölbe mit Bufung.

Liegen die Lagerflächen der Wölbfschichten in Normalebene zum Rand-, Gurt- oder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, dessen Kappen nach einer reinen Kugelfläche gefaltet sind, so lassen sich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann

Fig. 504.

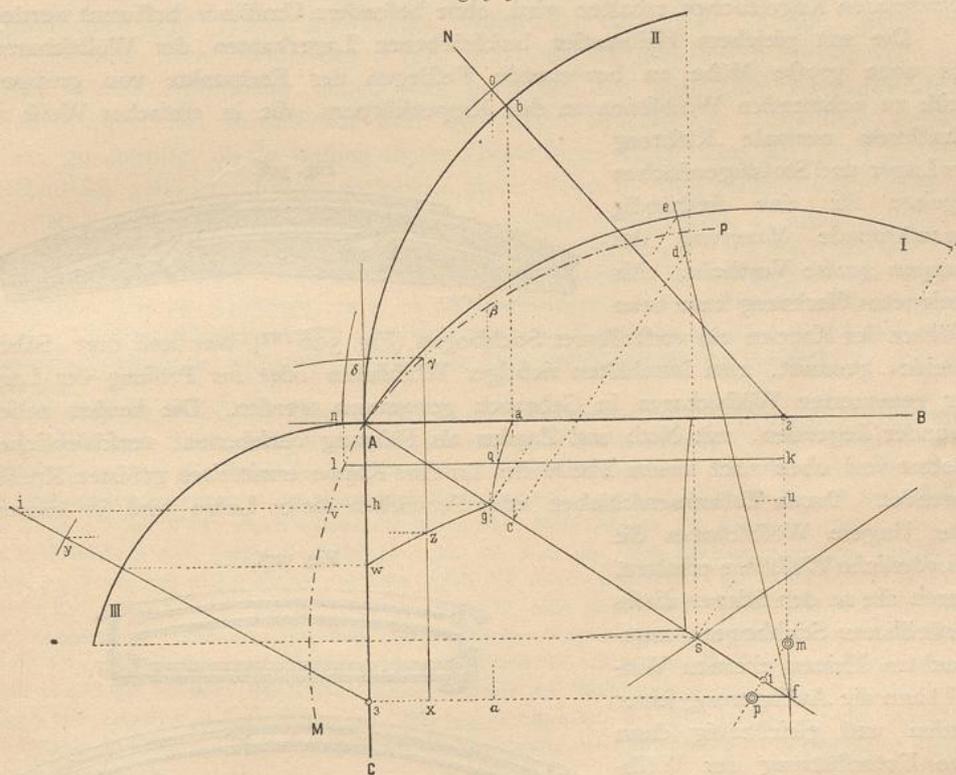


304.
Dritte
Anordnung
der
Wölbfschichten.

in ihrer wagrechten Projection Theile von Ellipsen werden, nach der in Fig. 505 gegebenen Darstellung leicht ermitteln.

Bei dem über einem rechteckigen Gewölbefelde angenommenen Kreuzgewölbe sei *I* der um *r* als Kreisbogen beschriebene Diagonalbogen, *II* der halbe Randbogen für *AB* mit dem Mittelpunkte *z* und *III* der halbe Randbogen für *AC* mit dem Mittelpunkte *z*. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt *b* des Randbogens *II*, welcher hier eben so wie die Kreisbogen *I* und *III* als Schnittlinie der Laibungsflächen der Kappen mit den Rippenkörpern angesehen werden soll, eine Normalebene *N* mit der Spur *zN* in der Ebene des Randbogens *II* und der Spur *zf*, fenkrecht zu *AB*, in der wagrechten Kämpferebene, so ergeben sich die Schnittlinien dieser Normalebene zunächst mit der Ebene des Kreisbogens *I* als *fe*, wofür z. B. die Länge des Lothes *cd* auf *Af*, dessen Fußpunkt *c* in der lothrechten Ebene *ab* enthalten ist, gleich der Länge des Lothes *ab* genommen wurde, und sodann mit der Ebene des Kreisbogens *III* als *gi*, wofür z. B. das dem Punkte *g* entsprechende 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 *zN, fe, gi* mit den zugehörigen Kreisbogen *II, I, III* sind Grenzpunkte der Grundrifs-Projectionen der für die Normalebene *N* entstehenden Wölblinien *ag* der Kappe *sAB* und *gw* der Kappe *sAC*.

Um ohne Festlegen der Axen der Ellipsen, welche bei den hier angenommenen Kugellaibungen der Kappen zum Zeichnen der Projectionen *ag* und *gw* benutzt werden könnten, Zwischenpunkte, wie *q* auf *ag* und *z* auf *gw*, zu bestimmen, sind die größten Kreise *M* mit dem Mittelpunkte *m* für die Kappe *sAB* und *P* mit dem Mittelpunkt *p* für die Kappe *sAC* unmittelbar verwerteth.

Die parallel zu *AB* fenkrecht in *kl* aufgestellte Ebene schneidet die Kugelfläche *sAB* in einem Parallelkreise mit dem Halbmesser *kl*. Derselbe trifft, um *z* mit *zn = kl* beschrieben, die Spur *zN* im Punkte *o*. Die wagrechte Projection *q* auf *kl* dieses Durchganges *o* ist ein Zwischenpunkt auf *ag*.

Eben so wird die Kugelfläche *sAC* von der nach *xγ* geführten lothrechten Ebene nach einem Parallelkreise mit dem Halbmesser *zδ = xγ* geschnitten, welcher auf der Spur *gi* den Punkt *y* liefert, dessen wagrechte Projection *z* auf *xγ* einen Zwischenpunkt der Wölblinie *gw* ergibt.

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. Außerdem haben sämtliche Normalebene 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 Normalebene N der Kappe sAB in dem Theile Av des zwischen den Parallelen zA und ug , bezw. uv gelegenen, zugehörigen größten Kreises M und für die antretende Lagerkante gw in dem von den Parallelen zA und az , bezw. az 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 Stosfugenflächen, 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 Stosfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen große Vortheile. Als geeignetes Werkzeug kann beim

Wölben der Kappen ein verstellbarer Stichbogen (Fig. 506¹⁸¹), 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.

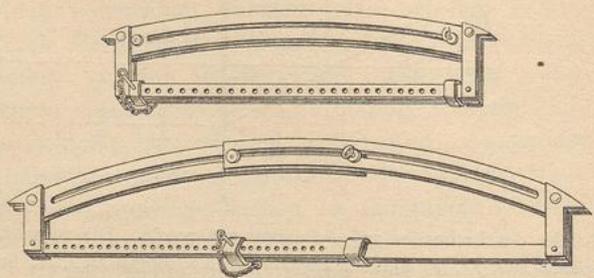
Durch die an den Stirnen dieses verstellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eisernen Winkel kann die Auflagerung seiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterstützung der Wölbscharen durch diese Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden diese verstellbaren Stichbogen nach Fig. 507¹⁸²) auch aus Schmiedeeisen angefertigt.

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-

Fig. 506.



Fig. 507.



¹⁸¹) Siehe: VIOLET-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.

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 feinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchaus Quader als Wölbmaterial Verwendung finden sollen.

δ) Die Lagerfugenflächen der Wölbfschichten liegen in Normalebene zum Gratbogen. Um die Vortheile der unter c erklärten Anordnung der Wölbfschichten für die praktische Ausführung der Kappen vollständig auszunutzen und um außerdem noch einen zweckmäßigeren Zusammenstoß der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenen Wölbfscharen in möglichst rechtwinkelig auf Schwalbenschwanz-Verband geordneten Wölbsteinen zu erzielen, ist die Anlage der Wölbfschichten nach Normalebene 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 Büfung dieser Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen gefetzmaßig gebildeten Fläche entspricht, in der Regel die weit gehendste Anwendung.

Wird zunächst die Gewölbbildung 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 i erhalten; der größte Kreis dieser Kugel mit dem Halbmesser ie ist als ek_1 angegeben.

Für die Kugelfläche der Kappe II ist z in der Kämpferebene der Mittelpunkt, zf 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 zcg in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Axe der Kugelflächen der Kappen I und II ist, durch welche die sämtlichen Normalebene des Bogens C gehen, schneidet als Meridianebene diese beiden Kugelflächen je für sich nach den schon bestimmten größten Kreisen k_1 , bezw. k_2 . Hierdurch ist bereits die wirkliche Gestalt der unteren Lagerkanten der Wölbfschichten 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 i und z der fog. Normal-schnitt in wahrer Größe unter Einführung des Rückenansatzes, so wie der Profilierung am Grat äußerst leicht ausgetragen werden. Sämtliche Stofs-fugenflächen der Wölbfschichten 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 Normalebene 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 Wöblinien 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 Wölbfschichten zu wahren, so sind die Projectionen der Lagerkanten für mehrere Normalebene 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

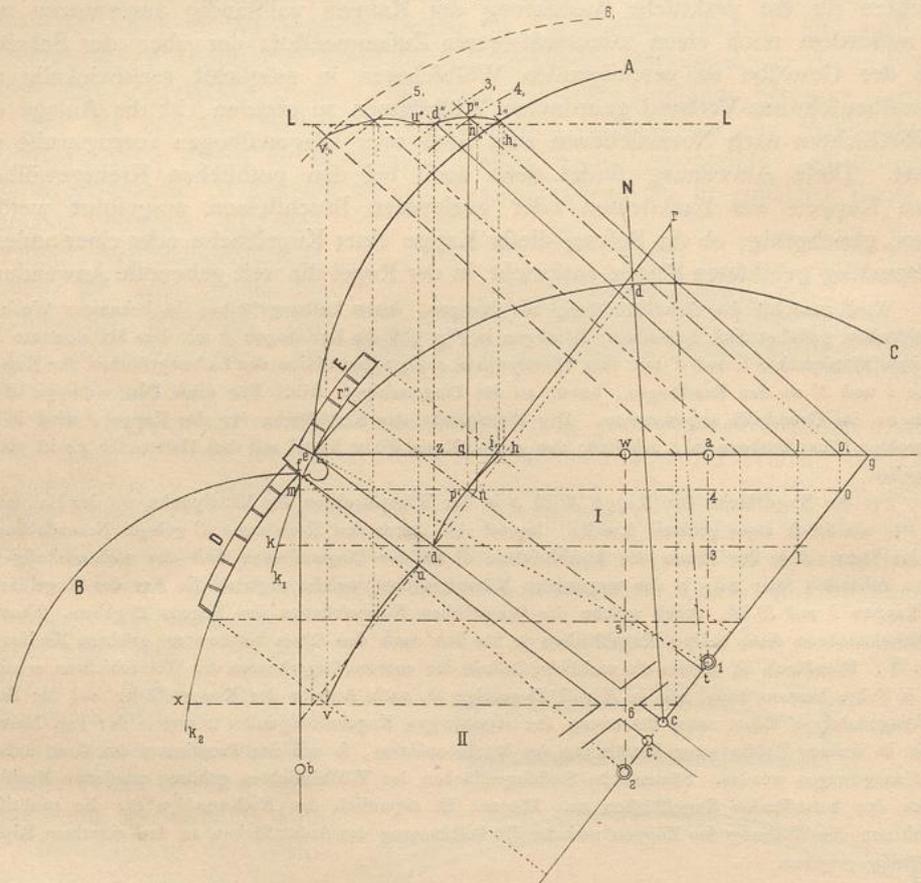
305-
Vierte
Anordnung
der
Wölbfschichten.

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.

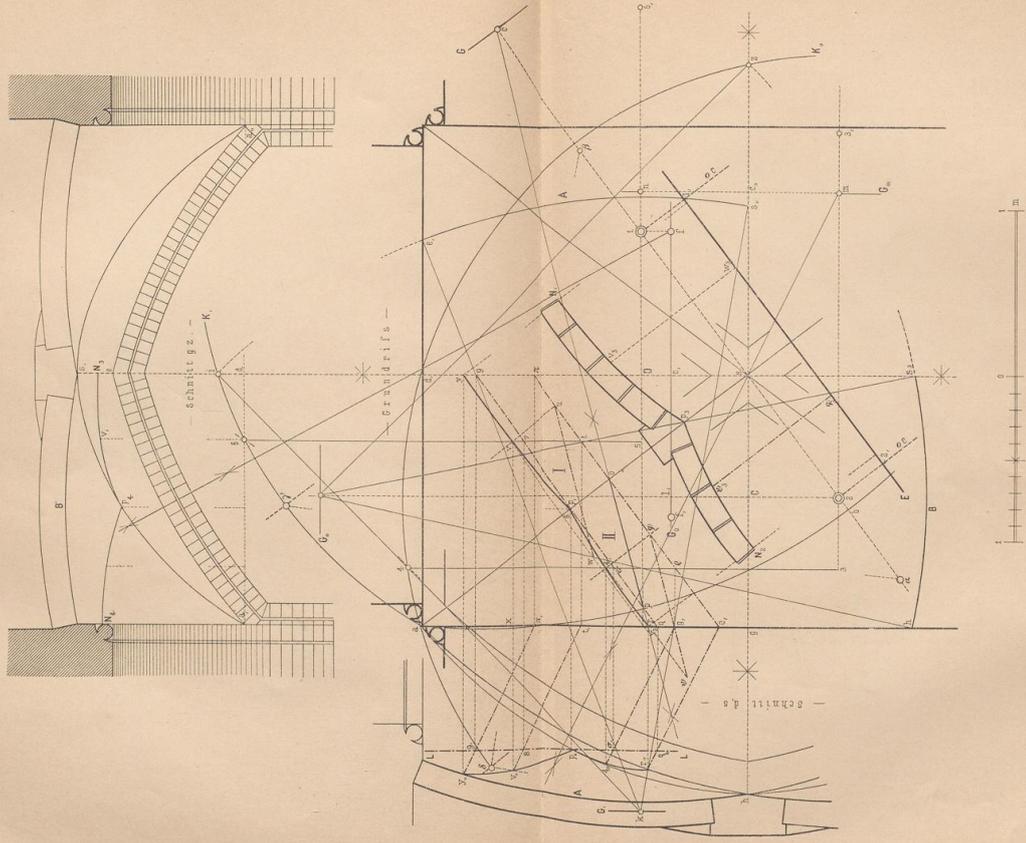
In Fig. 508 ist die wagrechte Projection $d_1 i_1, uv$, so wie die lothrechte Projection d, i, u, v , der Wöblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

Die Punkte d_1 und u ergeben sich ohne Weiteres auf ec , bezw. fc_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 LL

Fig. 508.



dieser Geraden in der lothrechten Ebene des Bogens A ist parallel zu ea im Abstände $eL = d_1d$ zu führen, während die Grundriss-Projection hd_1u derselben parallel zur wagrechten Spur g_2 der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lothrechte Projection h_1 , auf der Geraden LL liefert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur gh_1 , der Normalebene N in der Ebene des Bogens A . Die Verlängerung dieser Spur gh_1 , bis zum Bogen A liefert den Schnitt i_1 , als lothrechte Projection des Anschlusspunktes der gesuchten Wöblinie. Die wagrechte Projection ist i_1 auf ea . Um einen Zwischenpunkt dieser Wöblinie zu ermitteln, ist eine lothrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A , z. B. nach mo , geführt. Dieselbe wird im Grundriss in n von der wagrechten Projection hd_1u der vorhin gekennzeichneten Geraden LL durchstoßen. Die lothrechte Projection n_1 dieses Durchstoßpunktes auf LL giebt in Verbindung mit o_1 , welcher dem Schnitte o der Geraden mo mit der Spur g_2 der Normalebene N entspricht, offenbar die lothrechte Projection n_1, o_1 der Schnittlinie dieser Normalebene mit jener nach mo aufgestellten lothrechten Ebene. Letztere schneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreise mit dem



Kreuzrippengewölbe mit Büfung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.

Halbmesser r . Wird mit diesem Halbmesser um a ein Kreisbogen α_1 beschrieben, so schneidet derselbe die gehörige verlängerte Gerade $n_{11}o_1$ im Punkte p_{11} , 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 z auf ea gefällten Lothe zw liegen. So ist z. B. der Parallelkreis b_1 um w mit dem Halbmesser bx 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 Ausmittlung unmittelbar den Normalchnitt DE .

Soll z. B. die lothrechte Höhenlage des beliebigen Punktes r , einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalchnitte N angehört, dessen Spuren in cd und zg fest gelegt sind, über der Kämpferebene gefunden werden, so falle man von r , das Loth $r_{11}t$ auf zg , ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und schneide $tr = tr_{11}$ ab. Das von r auf $r_{11}t$ gefällte Loth rp_1 ist die gefuchte Höhe. Gleichzeitig ist in p_1 auf $r_{11}t$ 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 $r_{11}t$ geführt ist, schneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreise, dessen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugelaxe ct , bezw. zg liegt, dessen Halbmesser unter Berücksichtigung des größten Kreises dieser Kugelfläche gleich r_{11} 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 Ausmittlung des sog. Normalchnittes 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 außer c auch sämtliche 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 ergibt sich als sc .

Im Schnitte nach gz ist die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade a_1a_{11} bestimmt, während dieselbe in dem Schnitte d_1s 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_1d die Strecke dc_1 gleich der Strecke sc ab, so giebt die durch c_1 parallel zu a_1a_{11} 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_1s maßgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe I an der schmalen Rechtecksseite soll ein flacher Spitzbogen a,ea , sein, dessen Pfeilhöhe de kleiner als die Pfeilhöhe ds , des Gewölbes selbst sein möge. Berücksichtigt man nur die Hälfte a,e dieses mit dem Flachbogen der Diagonalrippe über as im Kämpferpunkte a , zusammen tretenden Spitzbogens, so ergibt sich nach bekannter Construction in f auf G_0 der Mittelpunkt für den Kreisbogen a_1e . Nimmt man auf G_0 die Strecke $c_1f = c_1f_1$, so ist f_1 der Mittelpunkt der anderen Hälfte e_1a_1 , jenes Spitzbogens. Aus diesen Mittelpunkten sind, wie der Schnitt g_1z zeigt, auch die concentrischen Begrenzungslinien der Profile des vorspringenden Rand- oder Gurtbogens zu beschreiben. Errichtet man nunmehr in f das Loth f_1 auf G_0 , so schneidet dasselbe das in c auf G vorhandene Loth cb im Punkte r . Dieser Punkt ist die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung des Kappenstückes I . Der Mittelpunkt der Kugel selbst liegt um die Strecke sc senkrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt r geführt gedachte lothrechte Kugelaxe ergibt im Durchstoßpunkte r mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines dieser Kugelfläche angehörenden Parallelkreises K_r , dessen Halbmesser nun als ra bestimmt ist. Um die Größe des Halbmessers der Kugel zu finden, ist nur durch r eine Parallele $r\gamma$ zu as bis zum Schnitte mit K_r in γ zu ziehen, auf dem Lothe ca zu as , bzw. zu $r\gamma$ die Strecke $ra = sc$ abzutragen, wonach in $a\gamma$ dieser Halbmesser erhalten wird.

Nach dieser Ausmittelung ist die Kugelfläche des Kappenstückes I vollständig fest gelegt. Für das Austragen der Scheitellinie A über d_1s ist von r das Loth rk auf c,d , zu fällen und auf demselben die Strecke $Dk = sc$ abzuschneiden. Die durch k parallel zu c,d , gezogene Gerade G , ist wiederum als Grundebene anzusehen. Der verlängerte Strahl c,d , trifft den Parallelkreis K_r in i ; folglich ist ki der Halbmesser der um k als Kreisbogen zu beschreibenden Scheitellinie A . Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung muß sich, nachdem der Bogen A geschlagen ist, die Länge d,e , gleich der Pfeilhöhe de des Spitzbogens a,ea , im Schnitte g_1z und die Länge s_1s_1 , gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens herausstellen. Der Bogen A ist danach im Schnitte d_1s eingetragen. Die Schnittlinie der Wölbfläche der Kappe II möge ein flacher Spitzbogen sein, dessen Pfeilhöhe gh gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens ist. Für die Hälfte ah dieses Spitzbogens ist unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene G , in m der zugehörige Mittelpunkt bestimmt. Der Schnitt z des in m auf G , errichteten Lothes mit dem Strahle csa ist die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung der Kappe II . Entsprechend den bei der Kugelfläche I angestellten Betrachtungen wird der um z mit dem Halbmesser za beschriebene Kreis K_z , ein in der Kämpferebene gelegener Parallelkreis dieser zweiten Kugel. Der Kugelhalbmesser ergibt sich als $\beta\delta$. Hierzu ist durch z eine Parallele zu as zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreise K_z , zu erhalten, und weiter $z\beta = sc$ auf zc abzuschneiden, wodurch $\beta\delta$ gefunden wird. Für die Scheitellinie B über sg ist auf dem von z auf sg gefällten Lothe die Strecke $Cl = sc$ abzusetzen, so daß G , Grundebene und l Mittelpunkt für den Kreisbogen B wird. Der Schnitt z der verlängerten Geraden gs mit dem Parallelkreise K_z , bestimmt die Länge des Halbmessers lz der Scheitellinie B . Als Probe der Richtigkeit dieses Bogens muß jetzt $s_1s_1 = sb$ und eben so, da die Pfeilhöhe des Randbogens $ah = sb$ genommen war, $gh = sb$ gefunden werden. Im Schnitte g_1z ist dieser Bogen B wiederum berücksichtigt.

Da die Halbmesser $a\gamma$ für die Kugelfläche I und $\beta\delta$ für die Kugelfläche II bekannt geworden sind, so ist hierdurch für alle Normalschnitte zum Gratbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Größe Erforderliche erreicht. Die Wöblinien von sämtlichen Normalschnitten sind Theile der mit den Halbmessern $a\gamma$, bzw. $\beta\delta$ zu beschreibenden größten Kreise ihrer Kugelflächen. So ist auch für den Normalschnitt pc die Wöblinie p_3N_1 mit dem Halbmesser $a\gamma$, die Wöblinie p_3N_2 mit dem Halbmesser $\beta\delta$ zu beschreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in p_3 sich schneidenden Kreisbogen in den durch r , bzw. durch z senkrecht zu ac geführten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen oc liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung geschehen, sämtliche Projectionen der durch eine Normalebene, z. B. pc , des Diagonalbogens ab auf den Wölbflächen I und II entstehenden Schnittlinien dargestellt werden, so kann dazu der folgende Weg dienen. Die durch die wagrechte Projection p , des Punktes p senkrecht auf as gehende Gerade qg sei die Grundriß-Projection einer durch p geführten wagrechten Linie, deren lothrechte Projection im Schnitte d_1s durch Lp , L gegeben ist. Die wagrechte Spur πo , der Normalebene pc geht in der Kämpferebene rechtwinkelig zu as durch den Punkt o . Führt man zur Bestimmung 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 5δ , so wird die durch qg und πo , gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projectionen $t\gamma$ und t,δ getroffen, während die

Kugelfläche I von jener lothrechten Ebene nach einem Kreise geschnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel I mit dem bekannt gewordenen Punkte b auf K , erscheint. Eine lothrechte Axe derselben geht durch r in der Kämpferebene. Trägt man also auf dem Strahle rs die Strecke $rs = sc$ ab, so ist s , der Grundebene des für sb entstehenden Parallelkreises zuzuweisen, wonach sich in sb der Halbmesser dieses Parallelkreises ergibt. Für den Schnitt d, s ist aber G_{III} die Grundebene. In derselben ist durch n der Durchstoßpunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt r enthaltenden lothrechten Kugelaxe bestimmt. Beschreibt man daher um n mit dem Halbmesser sb einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade rs des Schnittes d, s im Punkte v , trifft, so ist hierdurch die lothrechte Projection eines Punktes der gefuchten Wöblinie auf der Kappenfläche I gefunden. Die wagrechte Projection dieses Punktes ist v auf der Geraden sb . Für die Lage des entsprechenden Punktes v_3 im Normalschnitte $N p_3 N_2$ ist $w_3 v_3$ gleich dem wirklichen Abstände innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene E , also gleich der Hypotenuse uw des rechtwinkligen Dreieckes uvw , dessen Kathete vw gleich der Höhe xv , ist und wobei außerdem die Kathete uv parallel zu as gerichtet sein muß. Für einen Punkt der auf der Fläche II durch die Normalebene erzeugten Wöblinie kommt der Parallelkreis K_n , in Betracht. So ist z. B. für das Festlegen des Punktes 4_n im Schnitte d, s zunächst 34 parallel zu ag gezogen, alsdann $33 = sc$ genommen und endlich um m mit dem Halbmesser von der Länge $3,4$ ein Kreisbogen geschlagen, welcher die verlängerte, hier in Frage kommende Gerade g, s , im gesuchten Punkte 4_n trifft. Hiernach ergibt sich 4_n auf 34 als ein Punkt der wagrechten Projection der zugehörigen Wöblinie. Im Normalschnitte ist $\varphi_3 \psi_3$ gleich der Hypotenuse $\varphi \psi$ des rechtwinkligen Dreieckes $\varphi w \psi$, worin $w \psi$ gleich der Höhenlage des Punktes 4_n über ag ist. Nach diesen Angaben können beliebig viele Punkte der Wöblinien eines Normalschnittes pc bestimmt werden.

Für die Ausführung der Gewölbekappen aus Quadern wird zur Herstellung eines ordnungsmäßigen, in gutem Verbande stehenden Fugenschnittes der Wölbteine das Zeichnen der Wöblinien im Aufriss, vorzugsweise aber im Grundriss erforderlich.

Bei der Anordnung der Lagerflächen nach Normalebene zum Diagonalbogen sind die unteren Lagerkanten bei Kappen mit Kugellaubungen einfach Theile eines größten Kreises. Sämmtliche Normalebene gehen durch die Kugelaxe, welche rechtwinklig zur Ebene des Diagonalbogens steht. Je nach der Neigung der einzelnen Normalebene erscheinen also die Grundriss-Projectionen jener Lagerkanten zwischen den Grenzlagen, nämlich der geraden Linie (Kugelaxe) für die lothrechte Stellung der Normalebene und dem Kreisbogen (Theil des größten Kreises) für die wagrechte Lage derselben, als Stücke von Ellipsen. Durch die an sich einfache Bestimmung der Axen dieser verschiedenen Ellipsen wird eine bedeutende Erleichterung für das Festlegen der Grundriss-Projection der Lagerkanten der einzelnen Wölb-schichten herbeigeführt. In Fig. 509 sind die hierfür in Frage kommenden Darstellungen gegeben.

Für ein rechteckiges Gewölbefeld ist der um a beschriebene Kreisbogen A die Ansatzlinie des Kappenstückes qds , der um b geschlagene Kreisbogen B die Randlinie des Kappenstückes rds und der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinie beider Kappentheile an dem hier unprofilirt genommenen Diagonalbogen.

Man findet in r den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe qds mit dem größten Kreise K_1 und dem Halbmesser rd , in s den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe rds mit dem größten Kreise K_2 und dem Halbmesser sd . Die beiden Kugeln gemeinschaftliche, senkrecht auf der Ebene des Diagonalbogens C stehende Axe ist die durch r und s gehende Gerade III .

Die auf III in r senkrecht stehende Gerade rK_1 und das in s auf III gezeichnete Loth sK_2 sind Kugelaxen der Kappen qds und rds , welche in r , bezw. s parallel zur Gratebene C geführten Ebenen angehören. Ueber rK_1 erhebt sich ein größter Kreis $K_1 I$; über sK_2 steht ein größter Kreis $K_2 II$. Dieselben sind nur theilweise gezeichnet, aber gleichzeitig als oe für $K_1 I$ und als pf für $K_2 II$ in die Ebene des Bogens C gebracht.

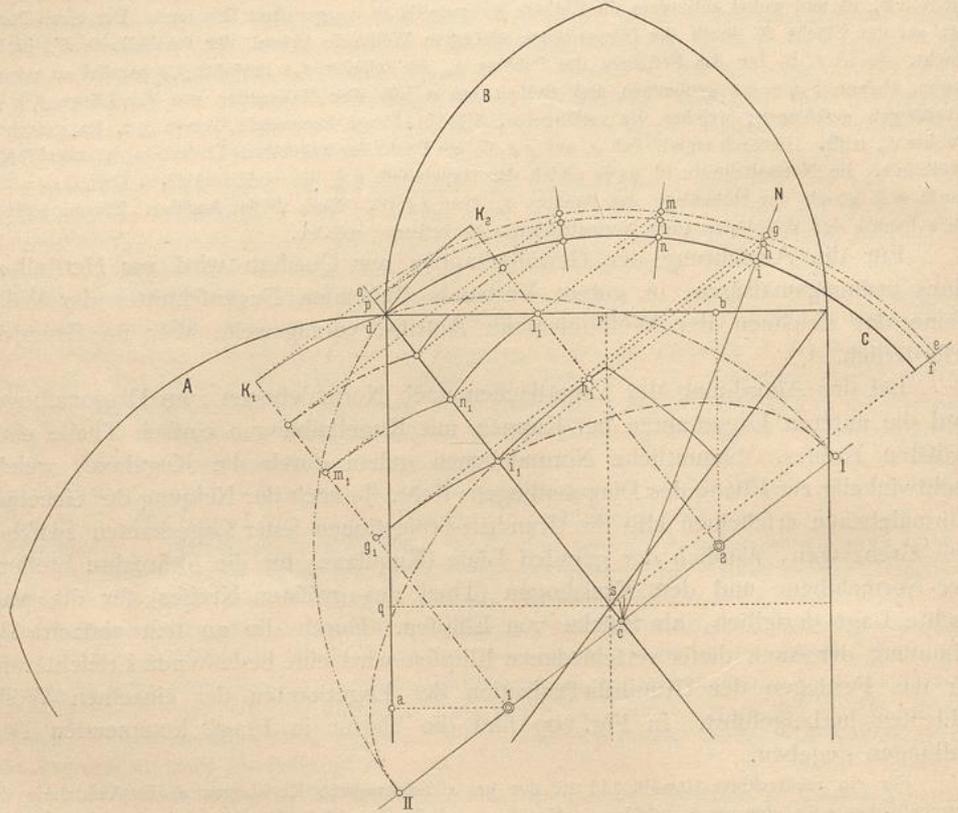
Legt man durch den beliebig angenommenen Punkt i des Diagonalbogens C eine Normalebene mit den Spuren cN und III , wovon cN den größten Kreis oe in g , den größten Kreis pf in h trifft, so wird die Kugelfläche qdc nach einem größten Kreise vom Halbmesser cg , die Kugelfläche rdc nach

306.
Wölbung
aus
Quadern.

einem grössten Kreise vom Halbmesser ch geschnitten. Die auf IK_1 entfallende wagrechte Projection des Halbmessers cg liefert die halbe kleine Axe des in der Grundriss-Projection als Ellipse auftretenden grössten Kreises der Ebene cN , während die halbe grosse Axe dieser Ellipse unverändert gleich $II = Id = cg$ bleibt. Eben so wird die wagrechte Projection zh_1 von ch auf IK_2 die halbe kleine Axe und zII die halbe grosse Axe der für den in der Ebene cN liegenden grössten Kreis vom Halbmesser ch in der Grundriss-Projection in Frage kommenden Ellipse.

Diesen Axen entsprechend sind die beiden in i_1 auf ds sich schneidenden Viertelellipsen g_1I und h_1II gezeichnet. Sie liefern, in i_1g und i_1h_1 , so weit die Kappenflächen qds und rds dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundriss-Projection der Lagerkante für eine in der Normalebene cN enthaltene Lagerfugenfläche einer Wölbfschicht.

Fig. 509.



Für eine andere Normalebene cm entstehen die Lagerkanten $m_1n_1l_1$ als Theile von Ellipsen mit den Halbaxen $I I, I m$ für m_1n_1 und $z II, z l_1$ für n_1l_1 .

Auf gleichem Wege lassen sich unter Beachtung von Fig. 508 (S. 444) auch die Lagerkanten der Wölbfschichten bestimmen, wenn statt einer Gratkante die beiden Ansatzlinien an den Seitenflächen der Diagonalrippe berücksichtigt werden müssen.

Die Breite jeder einzelnen Wölbfschicht nimmt von den senkrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelaxen IK_1 und IK_2 nach beiden Seiten hin gemessen ab. Für Quadermaterial ist diese Veränderung der Breite unbedingt zu berücksichtigen. Für die Theilung der Ansatzlinie der Kappen am Diagonalbogen C können gleich grosse Theilweiten eintreten. Die Theilpunkte bestimmen alsdann die Richtung der zugehörigen Normalebene und bedingen damit die Breite der an die Randbogen A und B stossenden Wölbfschichten.

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 Wölbfsteine 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 Wölbfsteine 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 Stoszfugenflächen 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 Kugellaubungen an den für die Rippen bestimmten Ansatzlinien der Kappen erzeugt.

Meistens ergibt die gefetzmäßige Gestaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günstig erscheinende Bufung und eine gute Form der Scheitellinie.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbekappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, sollen dieselben vielmehr durch Einführung einer besonders gestalteten Bufung eine Umwandlung in kugelhähnliche (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 Bufung ab, welche den Wölbfächen gegeben werden soll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Maß dieser Bufung soll vermieden werden.

In Fig. 510 ist ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Gestaltung einer sphäroidischen Kappe abs unter Annahme einer frei gewählten Bufung vorgenommen ist. Der Grundriß des Gewölbefeldes sei ein Rechteck.

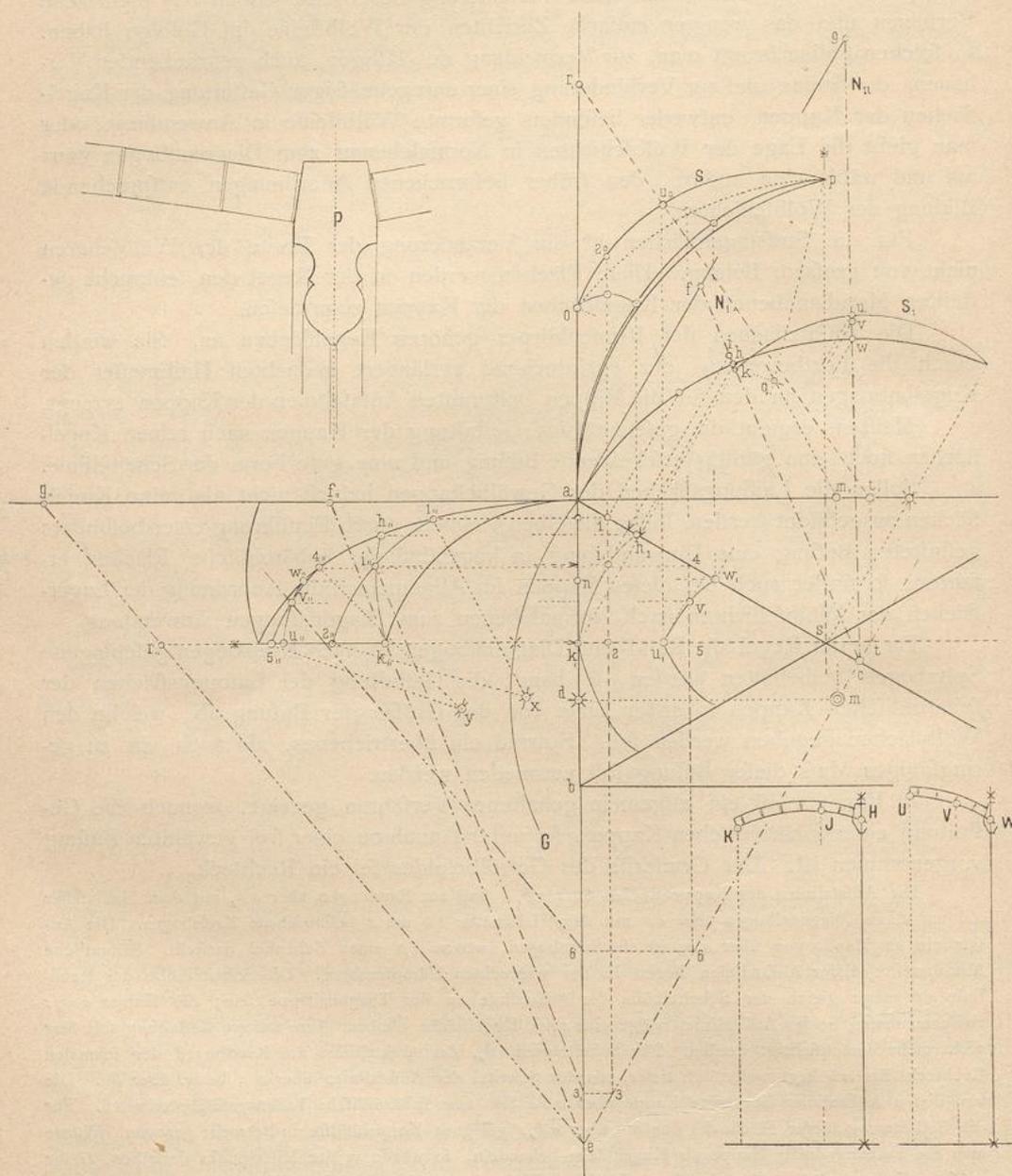
Die Ansatzlinien des Kappenstückes über ak, s sind am Randbogen über ak , mit dem Halbmesser da um d , am Diagonalbogen über as mit dem Halbmesser ca um c beschriebene Kreisbogen. Die Ansatzlinie am Randbogen über am , ist ein Spitzbogen, wovon ap einen Schenkel darstellt. Sämtliche Mittelpunkte dieser Ansatzlinien liegen in der wagrechten Kämpferebene. Die Scheitelhöhe der Randlinie ap möge gleich der Scheitelhöhe der Ansatzlinie an der Diagonalrippe sein; die Kappe am, 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 ab liegt wesentlich tiefer, als der Scheitel der Ansatzlinien über as , bezw. über bs . Die von diesen Ansatzlinien begrenzte Kappe über abs soll eine sphäroidische Laibungsfläche erhalten. Für die Bestimmung dieser Fläche ist nur die über ak, 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, punktiert gezeichnete Kreisbogen op sein. Soll nun, entsprechend einer einzuführenden stärkeren oder geringeren Kappenbufung, eine Umwandlung dieser Scheitellinie op 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 gefetzmäßig gestaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müssen. Meistens wird für diese Scheitellinie ein Kreisbogen

307.
Wölbung
aus
Back- und
Bruchsteinen.

308.
Kappen
mit
kugelförmiger
Laibung.

genommen. In der Zeichnung ist dieselbe als Kreisbogen S mit beliebig gewähltem Halbmesser $oq = pq$ um q beschrieben. Durch diese Scheitellinie S und durch die Ansatzlinien über ak , und as sind die Begrenzungslinien der sphäroidischen Kappenfläche über ak, s fest gelegt. Für die Erzeugung dieser Fläche selbst ist ein bestimmtes Gesetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorschrift, daß jede Schnittlinie,

Fig. 510.



welche auf dieser Fläche durch irgend eine parallel zur senkrechten Ebene des Randbogens der Seite ab geführte Ebene hervorgerufen wird, ein Kreisbogen sein soll, dessen Halbmesser stets die Größe des Halbmessers da der Ansatzlinie ak , behält. Dieser Bedingung entsprechend, sind z. B. vermittels der Ebenen in $1, 2$ und $4, 5$, nach Ausführung einfacher zeichnerischer Darstellungen, welche sofort aus der Zeichnung zu erkennen sind, die erzeugenden Schnittlinien $1, 2$ und $4, 5$ bestimmt. Ist auf dem angegebenen

Wege die Erzeugung und Darstellung einer sphäroidischen Gewölbfläche vorgenommen, so läßt sich ohne Schwierigkeit die Ausmittlung der Lager- und Stofskanten der Wölbflächen 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 Wölbflächen, welche den Normalebenen N_1 , bezw. N_2 , 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 Wölbflächen als HJK und WVU der Normalebenen N_1 und N_2 , 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.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenystem 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 Fußlinien eine Stelzung. Diese Stelzung ist sowohl für die Gestaltung und die Art des Einwölbens der Kappen, als auch für die Entwicklung 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 muß.

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 angefehene Form dieser Ansatzlinien möge eine Stelzung der Ansatzlinie 505 des Randbogens der schmalen Rechteckseite bc um eine lothrechte Strecke $bs = bb_1 = bb_2$, erforderlich machen, während die Ansatzlinie bca am Randbogen der langen Seite ab ohne Stelzung bleibt.

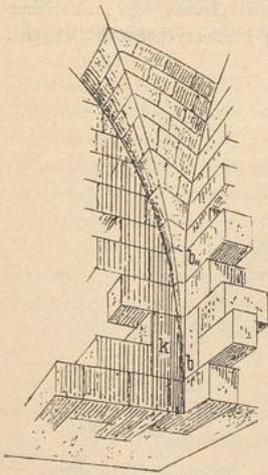
Die Gewölbkappen an den langen Seiten können also ohne Weiteres nach den im Art. 301 (S. 435) unter a gemachten Mittheilungen gestaltet werden. Die Scheitellinie dieser Kappen sei der Kreisbogen ow . Die Gewölbkappen C und D der schmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe D berücksichtigt wird, sollen 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 Fuße in einem Punkte begrenzte lothrechte Ebene, deren Höhe bb_1 , der Strecke der Stelzung b_1s , deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie b_1q entspricht. Oberhalb dieser Wagrechten b_1q 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. Außerdem soll diese Erzeugende bei ihrer Fortbewegung an der Ansatzlinie bb_1 des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Ansatzlinie b_1s 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

309.
Gestaltung.

310.
Beispiel
1.

Fig. 512.

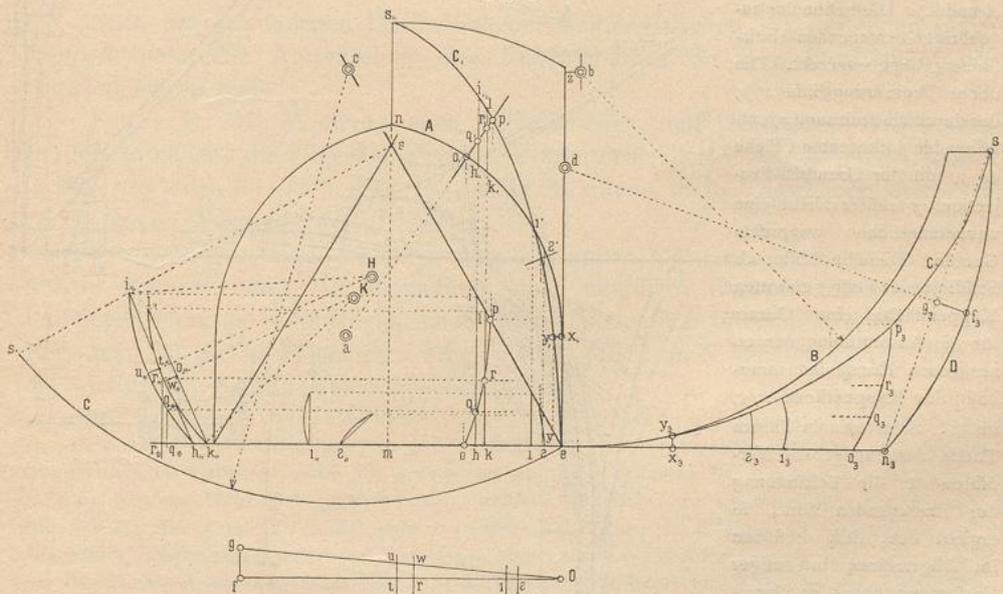


ausgeführt werden, so kann entweder der Fugenschnitt nach Normalebene zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Gestalt der Gewölbefläche durch die Projectionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollständig bestimmt ist, 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.

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.

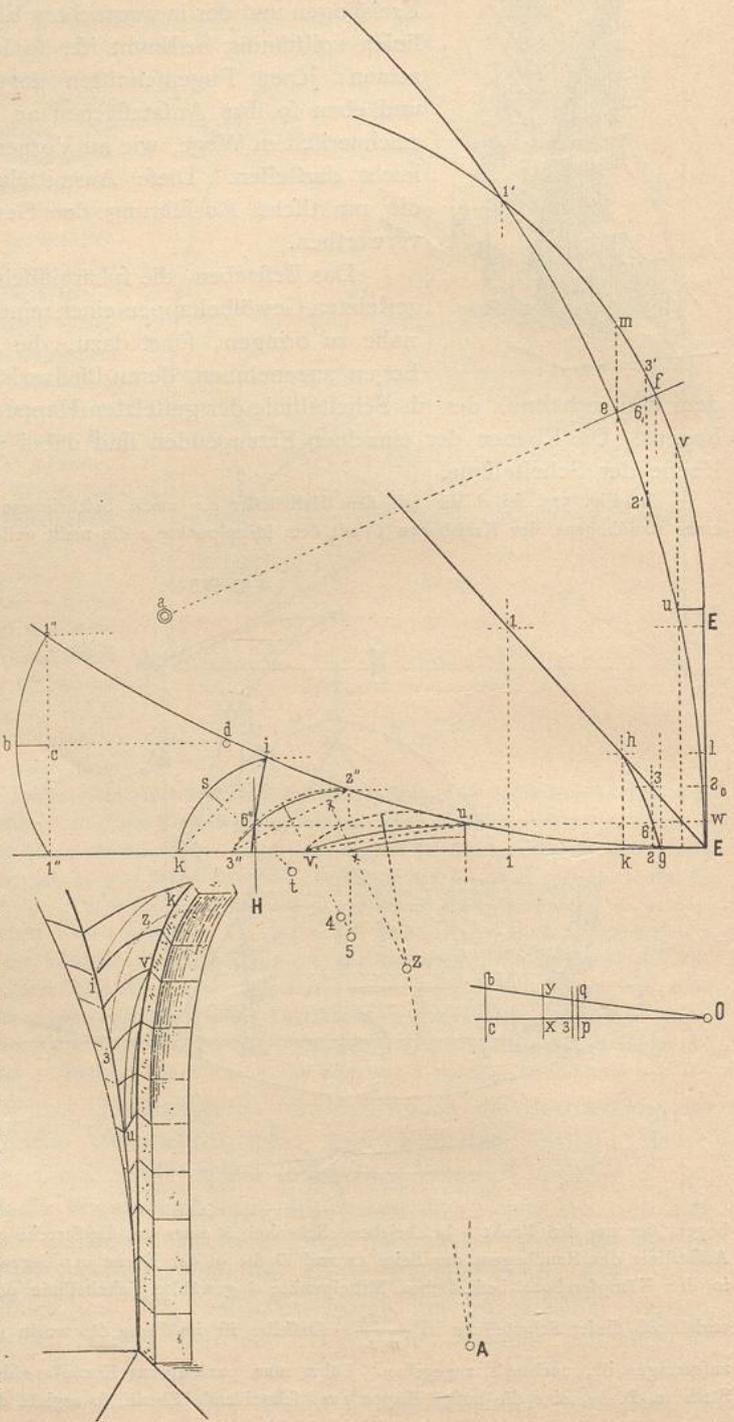


bogen, der um den Punkt b beschriebene Schenkel B eines um die Strecke zb gestelzten Spitzbogens die Ansatzlinie des Randbogens der Seite ex und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpferebene befindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems . Das Pfeilverhältniß 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 bußige Kappe ems schneidende Ebene, so ergibt dieselbe auf der Ansatzlinie A

311.
Beispiel
2.

den Punkt h_1 , auf der Projection C , der Ansatzlinie C den Punkt i_1 . Trägt man auf den in h und i zu hi errichteten Lothen die Strecken $hh_1 = h\hat{h}$, und $ii_1 = h\hat{i}$, ab, so läßt sich die Gerade h_1i_1 als Sehne eines Kreisbogens ansehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältniße behaftet, eine Erzeugende der sphäroidischen Kappe bildet. Das Pfeilverhältniße soll proportional dem Pfeilverhältniße der Scheitellinie sein. Nimmt man $Ot = h_1i_1$, so ergibt die in t parallel zu fg gezogene Linie tu die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte t_1 auf h_1i_1 errichtete Loth erhält die Länge $t_1u_1 = tu$. Der durch die drei Punkte h_1, u_1, i_1 gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünschte Erzeugende. In gleicher Weise sind die Erzeugenden k, l, r und z , für die Ebenen kl, r und z aufgetragen. Für die Ebene r ist r_1 die gemeinschaftliche lothrechte Projection ihrer Schnitte mit den Ansatzlinien A und C . Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie r_1 liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie x, y , der durch die Stelzung ex , entstehenden lothrechten Fläche ex, y , mit der Grundriß-Projection ey auf es bleibt eine unveränderliche wagrechte Gerade. Dieselbe bildet als Fußlinie der bußig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappentheils x, y , bis r_1 . Setzt man in diesem Theile das angegebene Verfahren für die Bestimmung der Erzeugenden fort, so ergibt sich, daß dieselben im Allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie x, y , mit einem größeren oder geringeren Bogenstücke über die Ansatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, also nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne Weiteres nicht beibehalten werden können.

Fig. 514.



Um dennoch eine gefetzmäßige Erzeugung und bildliche Darstellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine fachgemäße Ausführung ihres Gewölbkörpers zu erzielen, läßt man eine weitere Veränderung der bezeichneten Erzeugenden eintreten.

Ist in Fig. 514 $u, I, I,$ der Kappentheil, wofür nach und nach eine Veränderung der erzeugenden Kreisbogen erforderlich wird, so kann diese Veränderung z. B. für die lothrechte Ebene $z\mathcal{J}$ in der folgenden Weise bewirkt werden. Die Ebene $z\mathcal{J}$ liefert auf der Ansatzlinie $E I,$ des Diagonalbogens den Schnitt $z,$, wofür $z_0 z,$ = $z z,$ aus der Zeichnung zu entnehmen ist, und auf der Ansatzlinie $E k I,$ des Randbogens den Schnitt $z,$, wofür $E z,$ = $z z,$ wird. Die Gerade $z, z,$ ist die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane $O b c$ die Bestimmung der Pfeilhöhe dieses Bogens nach proportionaler Theilung wie früher vor, so wird, wenn $O c$ gleich der Sehne $I, I,$ und $c b$ die Pfeilhöhe des Kreisbogens $I, b I,$ ist, bei der Länge $O z$ gleich der Sehne $z, z,$, die in \mathcal{J} parallel zu $c b$ gezeichnete, von $O c$ und $O b$ begrenzte Gerade, die gesuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit dieser Pfeilhöhe behaftete, punkirt eingetragene Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in z zu bestimmen war, scheidet die Ansatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über $z,$, was für die Bildung der Kappenfläche unzulässig ist. Für eine weitere Ausmittlung der Erzeugenden u, v , der lothrechten Ebene $u v$, wobei der Mittelpunkt z gefunden wurde, ist ein derartiges Durchschneiden noch stärker bemerkbar. In diesen Fällen sind die Ordinaten $z_0 z,$, $w u$, der Endpunkte $z,$ der Sehne $z, z,$ und u , der Sehne v, u , als lothrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird \mathcal{J} als Schnitt des im Halbierungspunkte der Sehne $z, z,$ errichteten Lothes mit der durch $z,$ gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens $z, z,$ und A auf der durch u , ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden v, u .

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens v, u , sind die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden u, A zu bestimmen, sobald nur wieder die Schnitte lothrechter, parallel zu $z\mathcal{J}$ geführter Ebenen mit der Ansatzlinie $E k I,$ und der wagrechten Grenzlinie u , bezw. u , der lothrechten Stelzungswand ermittelt sind.

Nach der gewonnenen Darstellung der Laibungsflächen der gestelzten bufigen Kappen bietet die Ausmittlung des Fugenschnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

Soll z. B. eine Wölbung nach Normalebene zum Randbogen vorgenommen werden, so können die Lagerfugenkanten in ihren Projectionen, wie für eine Ebene $a p$, in Fig. 513 oder für $a f$ in Fig. 514, auf bekanntem, in der Zeichnung unmittelbar verfolgbarem Wege fest gelegt werden.

Für eine Vereinigung nicht gestelzter Kappen mit einer größeren Anzahl gestelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichst starken Annäherung ihrer Laibungsflächen an reine Kugelflächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diesen Flächen zu bringen sind, sollen unter Benutzung von Fig. 515 die wichtigsten Anhaltspunkte gegeben werden.

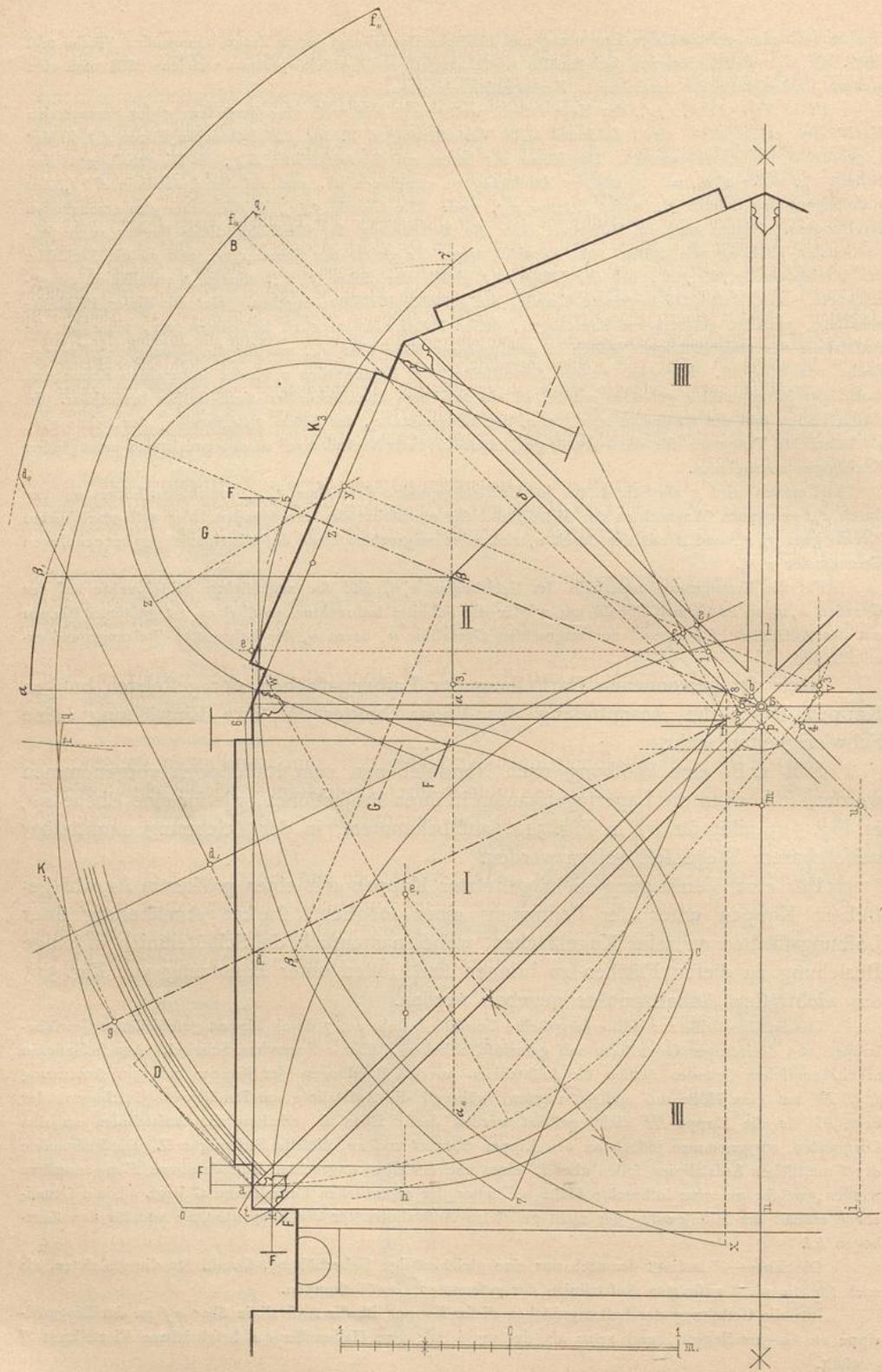
Das im Grundrisse zur Hälfte dargestellte Gewölbe besteht aus 7 durch Rippen geschiedenen Gewölbekappen von dreieckiger Grundform mit gemeinschaftlichem, über s liegendem Scheitel. Aus besonderen architektonischen Gründen müssen die Ansatzlinien an den Randbogen der Kappen mit der Anordnung I, II, IV um eine Höhe $w G$ gestelzt werden, während die Ansatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der Seite $k i$ für die Kappe III nicht gestelzt werden darf. Eben so erhalten die Ansatzlinien an den Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über st und su , dieselbe Stelzung $w G$. Die Fußpunkte der sämtlichen Ansatzlinien sollen aber in einer und derselben wagrechten Kämpferebene F angenommen werden, welche um eine lothrechte Höhe $a F$ unter der eigentlichen Grundebene G liegt. Diese Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht gestelzten Ansatzlinien für die Rippen st, su und für den Gurtbogen $k i$.

Die Ebene F bedingt demnach nur eine gleichmäßige Ueberhöhung, sowohl für die gestelzten, als auch für die nicht gestelzten Ansatzlinien der gesammten Gewölbekappen.

Für die Gestaltung der Laibungsflächen dieser Kappen ist die Ansatzlinie über $a f$ an der Diagonalrippe st als grundlegend, und zwar als der um b mit dem Halbmesser $b a$ beschriebene Viertelkreis B gewählt.

312.
Beispiel
3.

Fig. 515.

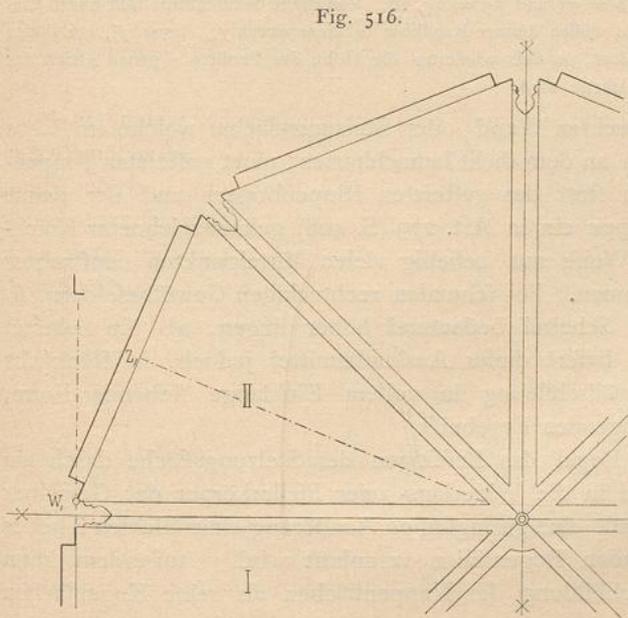


Sollte die Kappe *I* bei der von vornherein gegebenen Höhe *cd* einer an der Seite *ag* zu bildenden Ansatzlinie ohne Rücksicht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, so würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel *ac* mit dem Mittelpunkte *e* punktirt eingetragen ist, die erforderliche Ansatzlinie werden können. Alsdann ist der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte *afd* der Schnitt *r* der in *b* auf *ab* und in *e* auf *ae* errichteten Lothe. Die Punkte *a, b, e* und *r* liegen in der Grundebene *G*. Der um *r* mit dem Halbmesser *ra* beschriebene Kreisbogen *ag* ist ein Stück des größten Kreises dieser Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung *fd* geführten lothrechten Ebene liefert nach Bestimmung des Punktes *z* den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe *I*. Dieser Kreisbogen ist besonders als *d, f, z* ausgetragen und mit dem Halbmesser *z, k, = zg* um *z*, beschrieben. Als Probe der Richtigkeit muß bekanntlich $f, f, z = ff, z$ und $d, d, z = dz$ erhalten werden.

Die Rücksicht auf das Einführen eines stumpferen Spitzbogens als Ansatzlinie am Randbogen der Seite *ag* und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch eine Umformung des vorläufig als Hilfslinie benutzten, nicht gestelzten Spitzbogens *ac*. Dieses neue Gestalten der Ansatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie *d, f, z* 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 *e* gehenden Kreisbogens *he*, so erhält man den gestelzten stumpferen Spitzbogen *ahcg* als Ansatzlinie am Randbogen der Seite *ag*. Die Ansatzlinie am Diagonalbogen *fg* erfährt eine Stelzung *wG*; ihre Form wird aber von der Gestalt der Ansatzlinie der Kappe *II* an demselben Diagonalbogen *fg* abhängig, und zwar sollte sie in erster Linie in Rücksicht auf eine lothrechte Ebene *sw* mit den in diese Ebene projecirten, als Kreisbogen zu beschreibenden Begrenzungslinien der Rippenprofile des Diagonalbogens concentrisch sein. Die Punkte *f* und *s*, auch die Punkte *w* und *g*, haben paarweise gleiche Höhenlage über der Grundebene *G*.

Liegt nun in Folge eines Einschneidens der Seite *wz* in die Fußfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt *w* mit dem Punkte *g* nicht in einer und derselben lothrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewissen Nachtheil hinweisen zu können, angenommen ist, so kann offenbar die von *f* nach *g* zu führende, etwa als Kreisbogen zu bestimmende Ansatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen nicht mehr concentrisch mit der Ansatzlinie *sw* verlaufen. Es entstände vielmehr an der lothrechten

Profilebene der Seite *gf* des Diagonalbogens eine sichelförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abstände der beiden lothrechten Ebenen *wF* und *ae* zuletzt bei *f* in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Ansatzbildungen vor, so lassen sich dieselben doch meistens vermeiden, wenn vorweg eine regelmäßige Gestaltung der Fußfläche des Rippenkörpers *sfwg*, worauf schon in Art. 293 (S. 427) hingewiesen ist, wie hier z. B. durch ein Zusammenstreiten der lothrechten Ebene *ae* mit der Ebene *wF* herbeigeführt wird. Verlegt man den Schnitt *w* von *wz* mit *ae* nach Fig. 516 derart, daß durch ein geringfügiges Verücken der Linie *wz* nach *w, z*, der Punkt *w* nach *w*, in die Linie *L* fällt, welche mit der



Geraden *ae* in Fig. 515 übereinstimmt, so ist eine regelmäßig gestaltete Fußfläche des profilirten Rippenkörpers zu schaffen. Grundrisse und Deckenbildung gehen in Rücksicht auf constructive Anordnungen alsdann Hand in Hand.

Sind die Ansatzlinien der Kappe *I* fest gelegt, so wird die Gestaltung ihrer Laibungsfläche unter

Beibehalten der Scheitellinie d, f_{II} und der lothrechten Stelzfläche D am Diagonalbogen nach dem in Art. 311 (S. 453) Gefagten bewirkt. Die Laibungsfläche ist sphäroidisch; sie nähert sich der reinen Kugelfläche jedoch in bemerkenswerther Weise.

Die Gewölbeflächen der Kappen II, IV können aus reinen Kugelflächen zusammengesetzt werden. Die Fußpunkte sämtlicher Ansatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäßigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene G um die lothrechte Höhe Gw entfernt ist. Die Höhe δx der Ansatzlinie wx am Diagonalbogen ist gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe ff_{II} , bzw. f, f_{III} weniger Gw . Bestimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx , so ergibt derselbe die Ansatzlinie über $w\delta$, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Ansatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen unmittelbar beeinflusst. Ist die Ansatzlinie der Kappe II am Randbogen oberhalb w als stumpfer Spitzbogen gewählt, dessen Schenkel mit dem Halbmesser yw beschrieben sind, so wird \mathcal{J} der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück $\delta w z$, K_3 ihr größter Kreis und folglich der mit dem Halbmesser $4,5$ um 4 beschriebene Kreisbogen $g7$ die Scheitellinie über δz . Die Fläche der zweiten Kappenhälfte ist nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach $\alpha\beta$ rechtwinkelig zu $w\delta$ stehenden lothrechten Ebene mit der Kappenfläche $\delta w 7$ ist der um \mathcal{J}_1 mit dem Halbmesser $\mathcal{J}_1 \gamma$ beschriebene Kreisbogen α, β .

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte α , und β , ist zu bemerken, daß $\alpha\alpha_1 = \alpha\alpha_{II}$ und $\beta\beta_1 = \beta\beta_{II}$ sein muß. Dieselbe Schnittlinie α, β , würde sich auch für eine lothrechte Ebene mit der Grundrissfigur $\beta\delta$ ergeben.

Bei vollständiger Regelmäßigkeit der Fußflächen der Diagonalrippen (Fig. 516) tritt ein concentrischer Lauf der Ansatzlinien der Kappen mit den Grenzlinien der Profile dieser Rippen ein. Die Gestaltung der Gewölbefläche IV entspricht der bei der Kappe II gegebenen Entwicklung.

Endlich ist auch die Laibungsfläche der Kappe III nach reinen Kugelflächen zu bilden. Die Ansatzlinie über kn der Seite ki am Gurtbogen sei der um i mit dem Halbmesser ik beschriebene Schenkel kl eines gleichfalls stumpf genommenen Spitzbogens. Die Ansatzlinie über kp am Diagonalbogen entspricht dem Kreisbogen B . Der gemeinschaftliche Fußpunkt k der beiden in Frage kommenden Ansatzlinien, welche für die Kappe III nicht gestelzt werden sollen, liegt in der Grundebene G .

Nach bekanntem Verfahren wird u der Mittelpunkt der Kugelfläche über $kn\hat{p}$ und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq , für welche $no = nl$ und $pq = bq$, ist. Von dieser Scheitellinie fällt durch Einfügen eines größeren Schlusssteines bei s , dessen äußere Randlinie in einer durch f_{III} , bzw. f_{III} geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, so daß wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe ff_{III} , bzw. f, f_{III} über der Grundebene wird.

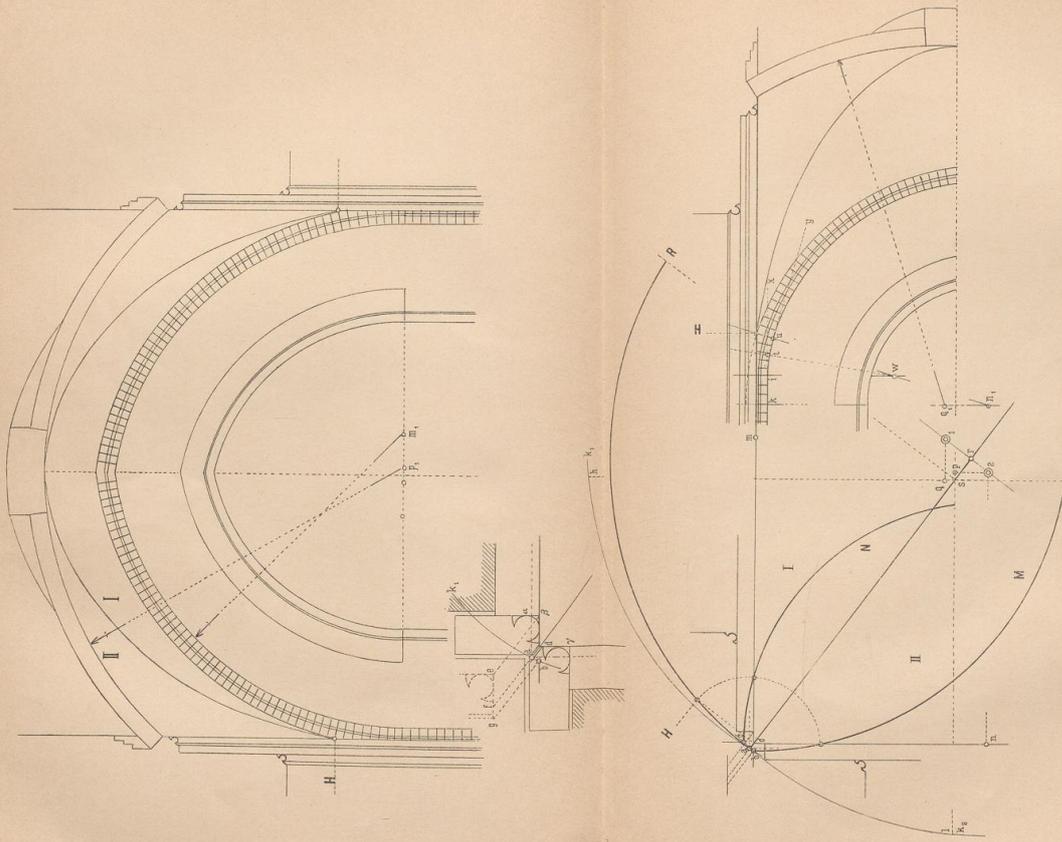
313.
Befeitigen
der
Stelzungs-
flächen.

Zur Vermeidung der lothrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche in Folge der Stelzung einer Gewölberippe an dem dicht benachbarten, nicht gestelzten Rippenkörper entsteht, könnte füglich statt des gestelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Ansatzlinie der Kappe ein in Art. 279 (S. 408) gekennzeichneteter Knickbogen oder ein in geeigneter Weise aus beliebig vielen Mittelpunkten construirter Korbbogen in Anwendung kommen. Bei schmalen rechteckigen Gewölbefeldern, so wie auch bei Gewölben, deren Scheitel bedeutend höher liegen, als die Scheitel der sonst zu stelzenden Bogen, liefert dieses Auskunftsmittel jedoch, in Rücksicht auf eine mit der ganzen Gewölbefeldbildung in vollem Einklange stehende Form, meistens kein besonders befriedigendes Ergebnis.

Weit besser kann in der Regel das Befeitigen der Stelzungsfläche durch ein Zurücksetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, selbst wenn damit eine geringfügige Aenderung eines kleinen Theiles am Fusse der sonst zu stelzenden Bogenlinien veranlaßt wird. Außerdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenflächen als reine Kugelflächen aufrecht erhalten werden.

Die Grundlagen für diese Gestaltung sind in Fig. 517 enthalten. Würde bei gestelzten Randbogen M , bzw. N der Seiten dm und dn eines Gewölbefeldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpferebene gleich dH werden, so würde beim Einführen dieser Wand der Diagonalbogen R seinen Fußpunkt in d bekommen,

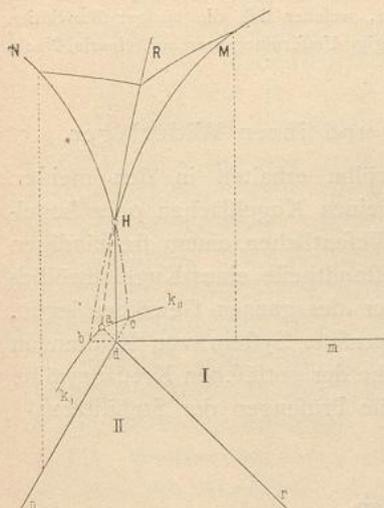
Zu S. 459.



Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbfelde.

Handbuch der Architektur. III. 4. c.

Fig. 517.



pen. Diesen Grundlagen entsprechend ist auf neben stehender Tafel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbe-felde gegeben.

Die profilirten Randbogen der Seiten dm und dn , sind in ihren Begrenzungs-linien wesentlich concentrisch mit den Bogenlinien der oberen Abschlüsse der Licht-öffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R ist der in a auf der Kämpferebene beginnende, als Kreisbogen um r mit ra beschriebene Diagonalbogen. Punkt m , und demnach auch m ist der gegebene Mittelpunkt des Fensterbogens der Seite dm . Da m , bzw. m auch Mittelpunkt des Randbogens und damit zugleich die Ansatzlinie über dm für die Kappe I sein soll, so ergibt sich im Schnitte r 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 r mit dem Halbmesser ra beschriebene Kreisbogen k , bezeichnet ihren größten Kreis. Die lothrechte Ebene md schneidet gehörig erweitert den Kreis k , 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 , bzw. n und r ergibt sich in z der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück II mit dem Halbmesser za und dem größten Kreise k_1 , so wie in dem um n mit dem Halbmesser nc beschriebenen Kreise N die gefuchte, 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 Anfätze dieser Bogen zweckmäßig unter Benutzung des größten Kugelkreises k , 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 , k um n , 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 , 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 sämtlichen 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 , so wird w der Mittel-

und ein in der Höhe dH liegender Punkt dieses Bogens würde in der Richtung dr um eine wag-rechte 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 , 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 Ansatz-linien der nach Kugelflächen zu gestaltenden Kap-

punkt eines kurzen Kreisbogens ui , und die Lothrechte ik ergibt eine mäfsige, nicht ungünstig wirkende Ueberhöhung der nunmehr fest gelegten inneren Begrenzungslinie, welcher sich die übrigen Randlinien gleich laufend anzuschließen haben. Durch diese an sich geringfügige Umformung werden keinerlei Nachtheile für die Gewölbbildung verursacht.

8) Stärke der gothifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

314.
Uebersicht.

Die Gewölbekappen der gothifchen Kreuzgewölbe erhalten in den meisten Fällen eine Bufung. Ihre Laibungsflächen gehören reinen Kugelflächen oder kugelförmigen Flächen an; ihre Wölbung entspricht im Wesentlichen einem freihändigen Zusammenfügen der Wölbsteine in der Weise, daß Bestandtheile eines Kugelgewölbes entstehen, welche sich gegen die Rippen als Träger des ganzen Gewölbes legen. Letztere liefern das gefamnte im Gewölbe wach gerufene System von Kräften an die Gewölbstützen ab. Die zur Ermittlung der Stärke der gothifchen Kreuzgewölbe zu führenden Untersuchungen umfassen vorwiegend die Prüfungen der Stabilität:

- a) der Gewölbekappen,
- β) der Gewölberippen und
- γ) der Gewölbewiderlager oder Gewölbstützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte sind noch besonders die bei den gothifchen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebe- oder Schwibbogen zu berücksichtigen.

a) Stabilität der Gewölbekappen.

315.
Stabilität
der
Gewölbekappen.

Die bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe sind, wie auch die Art ihrer Einwölbung beschaffen sein mag, im Wesentlichen als Bestandtheile eines Kugel-, bzw. eines Kuppelgewölbes anzusehen. Ihre statifche Untersuchung und die damit verknüpfte Bestimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszustande dieser besonderen Gewölbe zur Richtschnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ist in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff. ¹⁸³) dieses »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen sollen im Folgenden bei den statifchen Untersuchungen der in Frage kommenden Gewölbekappen mit berücksichtigt werden.

Ein Kuppelgewölbe besteht im Allgemeinen aus concentrischen Wölbflächen oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringschichten, welche nach und nach für sich geschlossen und über einander gelagert werden. Ihre Lagerflächen sind Kegelflächen mit einer gemeinschaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stofsfugenflächen liegen in lothrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinschaftliche Schnittlinie dieser Schar von Meridianebenen ist die lothrechte Kuppelaxe. Ein von zwei benachbarten Meridianfchnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergibt einen Meridianstreifen.

Diesem besonderen Aufbau und Zerlegen der Kuppelgewölbe, wodurch sich dieselben wesentlich von der Herrichtung der cylindrischen Gewölbe unterscheiden, entsprechend, muß bei der statifchen Untersuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszustand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diese Kräftegruppen umfassen erstens das auf die ebenen Stofsfächen der Wölbkränze einwirkende Kräftesystem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen dieser Kränze gelangenden Kräfte.

¹⁸³⁾ 2. Aufl.; Art. 287 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 außerdem, in Bezug auf die unteren Lagerkanten desselben, die Lage der Lothrechten, worin das Gewicht eines Kranzsteines, einschliesslich seiner etwa vorhandenen Belaftung, 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 Stosfugen 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 Wölb-schicht eines Meridianstreifens gefunden, so lässt sich dieses System von Kräften, in entsprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsuntersuchung des ganzen Meridianstreifens benutzen.

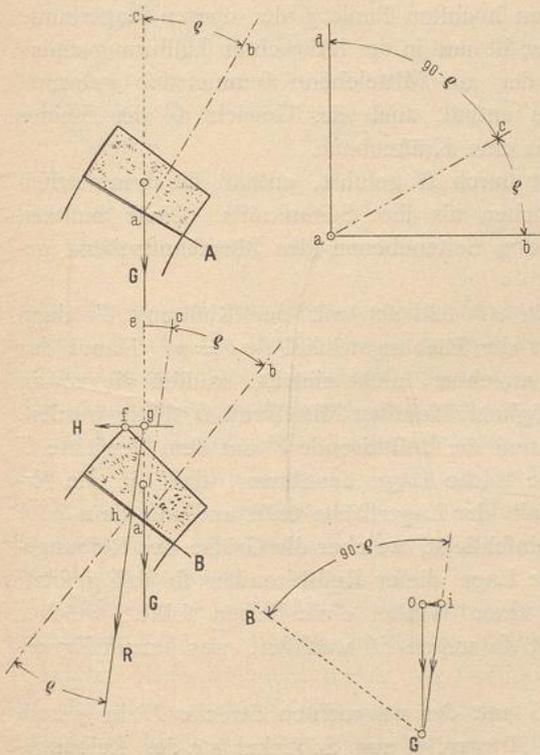
Um die in den Stosflächen der Kranzsteine entstehenden Pressungen, wobei zunächst auf die Elasticität der Wölbsteine und auf die stärkere oder geringere

Bindefähigkeit des Mörtels keine Rücksicht genommen werden soll, zu ermitteln, können die folgenden Fälle in Behandlung treten.

a) In Fig. 518 ist Aa die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten sei gleich dem Reibungswinkel $cab = \angle \rho$ 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 Krafrichtung G den Winkel $cab = \angle \rho$ 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 außerdem, vermöge der Lage des Punktes a der Krafrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzsteines, durch die Kraft G

316.
Pressungen
der
Stosflächen
Erster Fall.

Fig. 518.



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 Stosflächen erzeugt. Dasselbe gilt, selbst wenn die Krafrichtung 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 Stosflächen des Kranzes keine Pressungen entstehen.

317.
Zweiter Fall.

h) Bleibt der Angriffspunkt a der Krafrichtung 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 Stosflächen 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 Stosflächen ist zu bemerken, dass dieselbe ein solches Mass annehmen 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 Grenzwert für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; dieser Grenzwert 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 Halbiringsebene 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 Stosflächen 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.

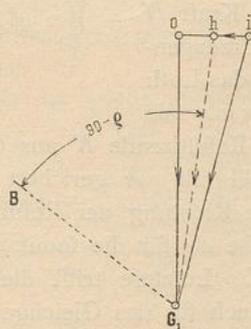
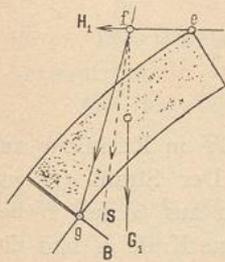
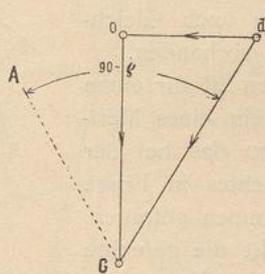
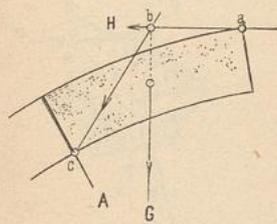
Um diese Kraft H zu bestimmen, muss die Resultirende R aus dem Gewichte G und der noch unbekanntem Kraft H eine solche Lage annehmen, dass sie die Erzeugende Ba in einem Punkte h innerhalb der Lagerfläche trifft und mit dem in h auf Ba errichteten Lothe einen Winkel einschliesst, welcher die Grösse des Reibungswinkels nicht überschreitet. Würde die Lage dieser Resultirenden so fest gesetzt, dass dieselbe mit dem Lothe auf Ba einen Winkel einschliesse 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-

winkels ρ , dessen zweiter Schenkel auf Ba lothrecht genommen wurde, so ist die Lage der Mittelkraft aus G und H bestimmt. Die Gröfse von R und von H ist mit Hilfe des Kräfteplanes oGi leicht zu finden. In demselben stellt oG die Gröfse des Gewichtes vom Kranzsteine dar; Gi ist parallel zu R und oi parallel zu H gezogen, so dafs nunmehr iG gleich der Gröfse 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 mufs alsdann ebenfalls parallel zu ac sein.

Fig. 519.



378.
Dritter Fall.

c) Schneidet die Kraft-
richtung G die Lagerfläche
des Kranzsteines nicht, ist
der Neigungswinkel der Er-
zeugenden Ac in Fig. 519
zur Wagrechten gröfser als
der Reibungswinkel ρ ; so
hat der Stein das Bestreben,
sich um die Lagerkante c zu
drehen und ausserdem auf
der Lagerfläche zu gleiten.

Die Mittelkraft H der in
den Stofsugen des Kranzes
zur Herstellung des Gleich-
gewichtszustandes wach ge-
rufenen Pressungen mufs also
denjenigen möglichst kleinen
Werth annehmen, welcher
ausreicht, jene Drehung und
jenes Gleiten zu verhindern.

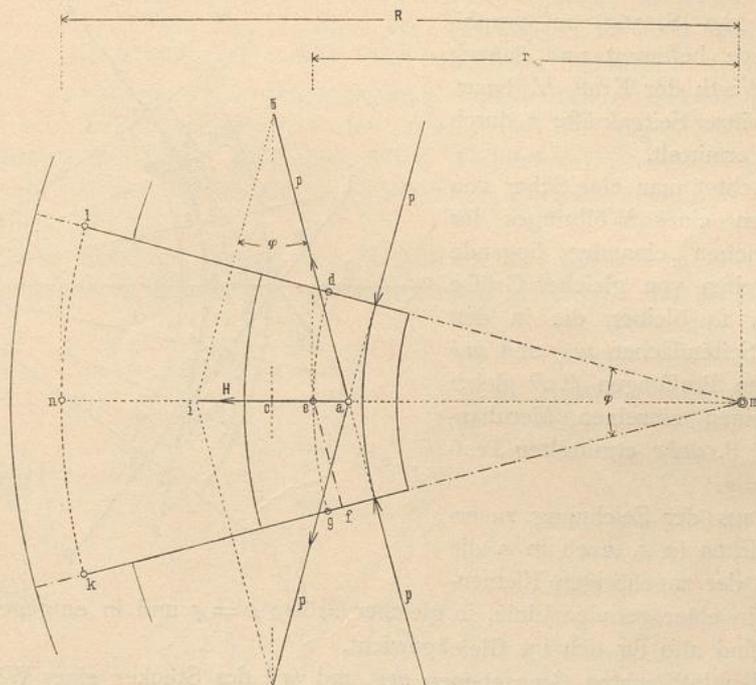
Die Resultirende aus G
und der durch den höchsten
Punkt a der oberen Lager-

kante des Steines gerichteten Kraft H mufs also zunächst eine solche Lage bc annehmen, dafs sie durch den Drehpunkt c der unteren vorderen Lagerkante geht und fodann mit der Senkrechten auf Ac einen Winkel einschliesst, welcher kleiner oder mindestens gleich dem Reibungswinkel ρ , aber niemals gröfser als ρ wird.

Für die Erzeugende Ac ergibt sich nach dem Kräfteplane, dafs die Mittelkraft dG in der Richtung bc auch mit der Senkrechten auf ac gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einschliesst, so dafs die Strecke do die Gröfse der Mittelkraft H ergibt, 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

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 rechtwinkligen 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 dafs

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{r \frac{\varphi}{2}} \quad \text{oder} \quad p = \frac{H}{\varphi} \quad \dots \dots \dots 247.$$

wird.

Bezeichnet man die mittlere Dicke dg mit d , so ist $d = r\varphi$, also $\varphi = \frac{d}{r}$, mithin nach Gleichung 247 auch

$$p = \frac{Hr}{d} \quad \dots \dots \dots 248.$$

Wird kl mit D bezeichnet, so ist ferner $\frac{r}{d} = \frac{R}{D}$, wodurch sodann

$$p = \frac{HR}{D} \quad \dots \dots \dots 249.$$

erhalten wird.

Das Gewicht G wird meistens nach Art. 249 (S. 363) auf graphischem Wege bestimmt und danach auch der Werth der Kraft H , bzw. die GröÙe ihrer Seitenkräfte p durch Zeichnung ermittelt.

319.
Wölbkranz.

Betrachtet man eine Schar von Kranzsteinen eines Wölbbringes für mehrere neben einander liegende Meridianstreifen von gleicher GröÙe (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 $p = q$.

Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c , auch in e , die Pressungen der zugehörigen Elementarstreifen in einer geraden Linie, in gleicher GröÙe $p = q$ 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 GröÙe 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 , bzw. 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 mg 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.

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, bzw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, aufser Acht gelassen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 141 (S. 194) angeführt sind,

Fig. 522.

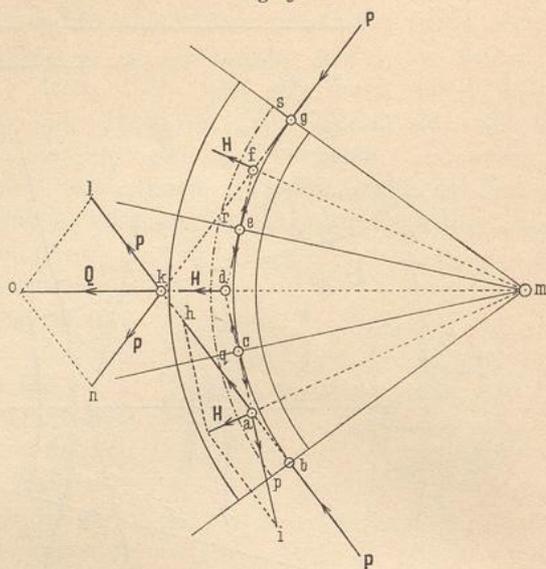
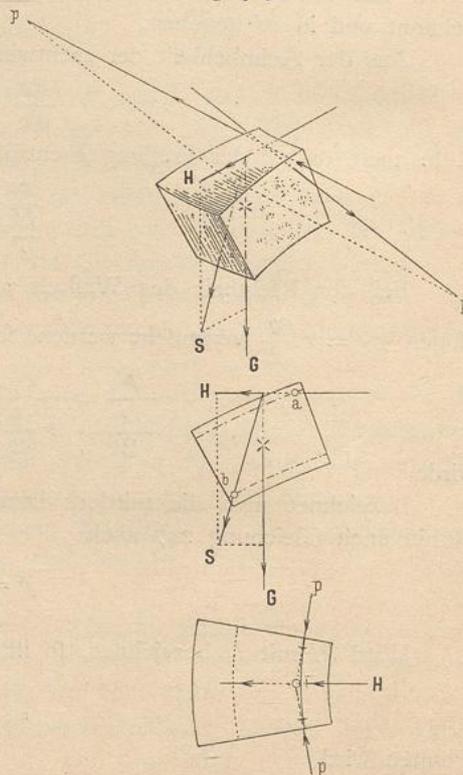


Fig. 523.



kann man bei Berücksichtigung der Pressbarkeit des Materials die Angriffspunkte a von H und b von S , wie Fig. 523 ohne Weiteres erklärt, um eine gewisse Strecke in das Innere des Wölbsteines rücken, sonst aber beim Bestimmen der Gröfsen der Kräfte H , S und p , wie im Vorhergegangenen mitgeteilt ist, vorgehen. Erfahrungsgemäfs ist auch bei Kuppelgewölben das Zurückziehen der Angriffspunkte a und b von den Kanten bei guten, hinlänglich festen Wölbsteinen nur äufserst gering. Die Angabe eines genauen Mafses für die Gröfse dieses Zurückziehens ist bis jetzt noch nicht möglich.

Mit dem Ermitteln der an den Stofsflächen der Kranzsteine eines Meridianstreifens entstehenden Kräfte, geht die Bestimmung der Drücke auf die Lagerflächen

321.
Pressungen
der
Lagerflächen.

der Wölbsteine dieses zugehörigen Streifens Hand in Hand. Ueber einander gelagerte Kranzsteine bilden den Meridianstreifen.

In Fig. 524 sind zur Erklärung des bei der Stabilitäts-Untersuchung eines Meridianstreifens einzuschlagenden Weges zwei über einander liegende Kranzsteine in ihrem Schnitte mit der Symmetrie- oder Kräfteebene vom Gewichte 1 , 2 und mit den Lagerfugen oder Erzeugenden der Lagerflächen C , D angenommen.

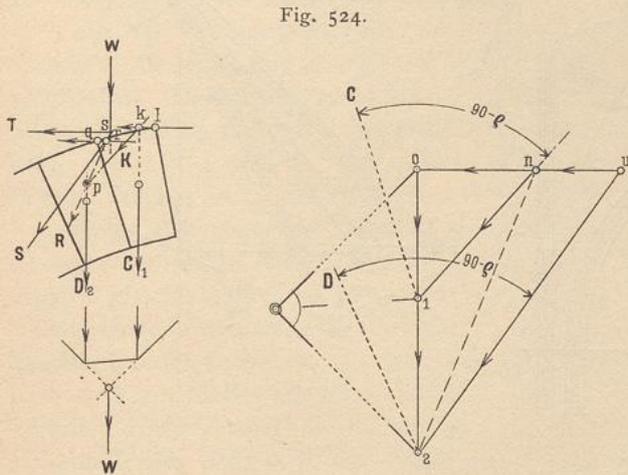


Fig. 524.

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 Weise gefunden wird, zu der Mittelkraft $K = n1$ in k auf lk zusammen, so trifft dieselbe die Fuge C . Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehen ist beim Herrschen 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 zusammen, so schneidet dieselbe die durch den höchsten Punkt q des zweiten Kranzsteines gehende wagrechte, noch unbekannte Kraft im Punkte r . Zieht man zur Bestimmung dieser Kraft im Kräfteplane zD parallel zur Erzeugenden D , trägt man an zD den Winkel $90 - \rho$, so begrenzt der Schenkel zu dieses Winkels die durch o , bzw. n gelegte Wagrechte im Punkte u , und folglich wird nunmehr un die in r wirkende wagrechte Kraft und $u2$ die gleichfalls durch r ziehende Resultirende S der beiden wagrechten Kräfte un und $no = uo$ und der beiden Gewichte 1 und $2 = o2$, welche in ihrer Gesamtheit für die Fuge D in Wirksamkeit treten. Auch diese den Druck für die Lagerfuge D angehende Kraft S bekundet Gleichgewicht in Rücksicht auf Gleiten und Drehung bis zur Fuge D des Meridianstreifens.

Die wagrechte Seitenkraft uo von S ist die Mittelkraft derjenigen Pressungen, welche bis zur Fuge D an den Seitenflächen des Meridianstreifens entstehen.

Setzt man dieses 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

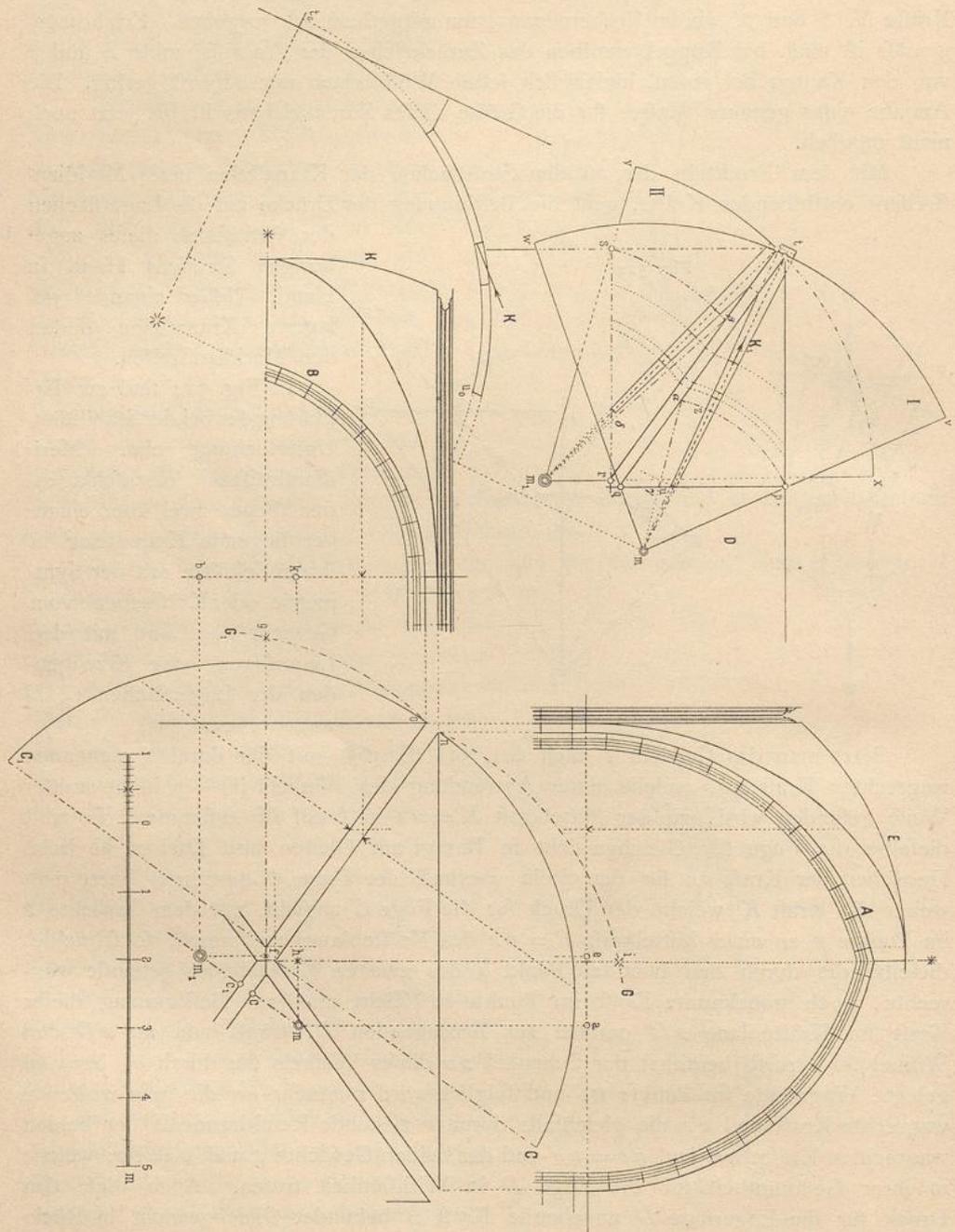


Fig. 525.

fort, so gelangt die statische Untersuchung des Meridianstreifens fowohl in Bezug auf die Pressungen in den Stosflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerflächen zum Abschluss.

Hätte man die Kräfte n_0 und u_n 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 u_2 gelegte Resultirende S ebenfalls durch den Punkt r gehen.

Die besprochenen, für die Stabilitäts-Untersuchung der Kuppelgewölbe wichtigsten Punkte lassen sich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der bufigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe übertragen. Da die sphäroidischen, nicht nach reinen Kugelflächen gewölbten Kappen doch im Allgemeinen in Rückficht 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 größten 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 gleichmäßige 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 größten 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.

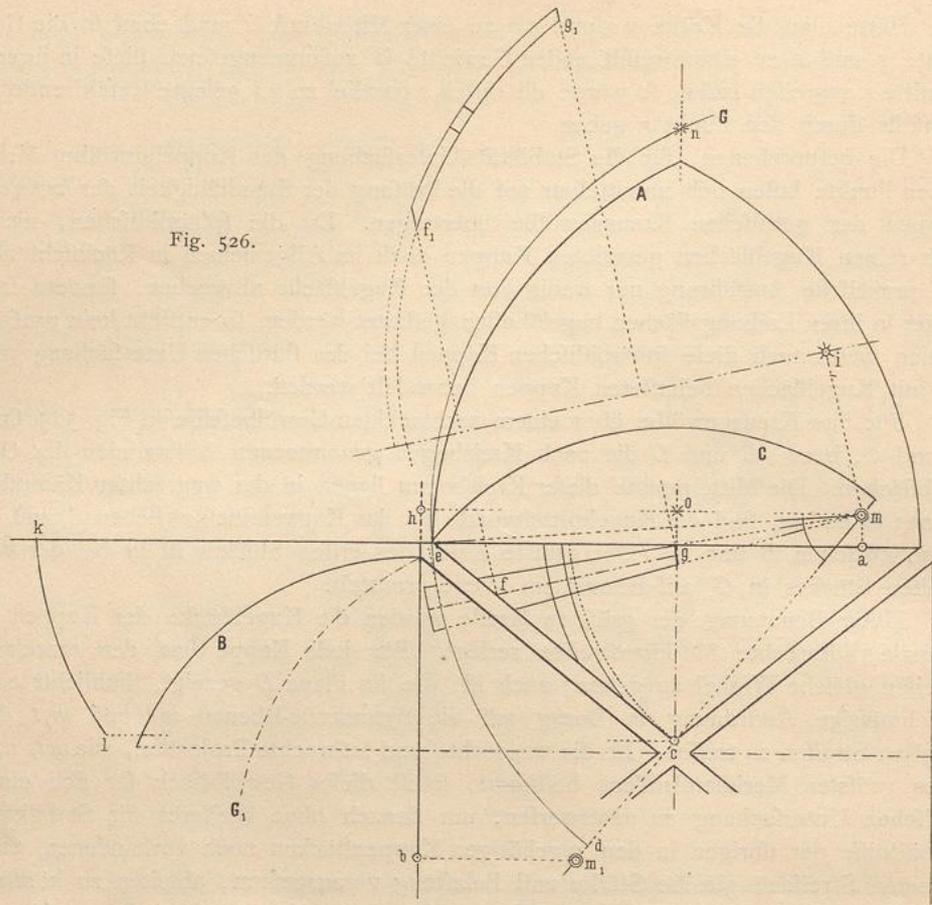
Beim Zerlegen der Kappenstücke in Meridianstreifen ergeben sich weiter in Rückficht auf die Scheitellinien qp der Kugelfläche I , mit dem größten Kreise vw , und rs der Kugelfläche II , mit dem größten Kreise xy , durch die Ringlinien pa , bezw. $s\beta$ und durch die Scheitellinien qp , bezw. rs bestimmt begrenzte Gebiete gap 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 , außerhalb des eigentlichen Gewölbefeldes, so ist nach dem Festlegen ihres größten Kreises G wiederum nur ein zweckmäßiges Zerlegen des Kappenstückes in schmale Meridianstreifen vorzunehmen. Der größte dieser Streifen, wie z. B. gf mit der lothrechten Projection g,f , ist für die statische Untersuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung ist die Ermittlung der Seitenpressungen, welche die bufigen 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 größten Streifen $hfe g$, 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 sämtliche Kranzsteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Dieselben machen sich sowohl

Fig. 526.



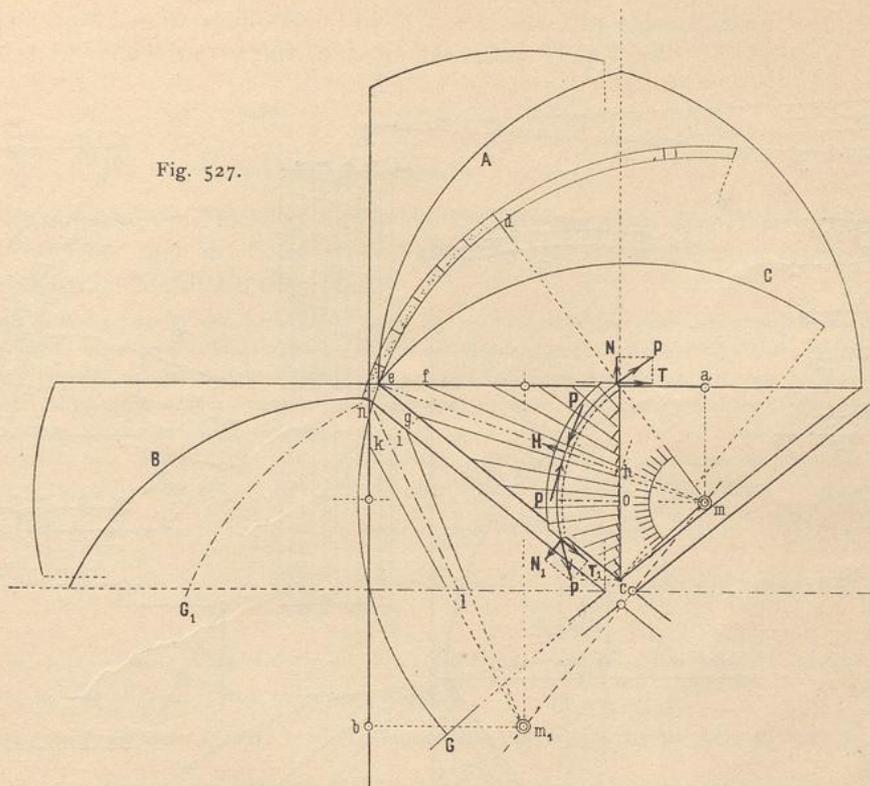
in den Ansatzflächen der Kränze, so fern die Kräfte in den Stofsflächen bei einzelnen Ringschichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite ea , als auch am Diagonalbogen ec geltend. Sie sind auch hier bei einer normalen Stellung zu den äußersten Meridianebenen der Kranzschicht wagrecht gerichtet 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 , bzw. N , und T , rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bzw. 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 Stofsflächen 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 Wölbflächen 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_1 , welche für die beiden in der Scheitellinie sv zusammengefüzten 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 Schlufssteinen 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 Schlufssteine verbunden, so erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche sich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpflanzen.

Dafs derartige Schübe vorhanden sein müssen, zeigt die folgende Ueberlegung. Bestände die Kappe, statt aus zwei Kugelstücken mit den Mittelpunkten m und m_1 , 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_0M 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 vm_1smv begrenzt ist, sind die Wölbkränze o bis 4 angenommen.

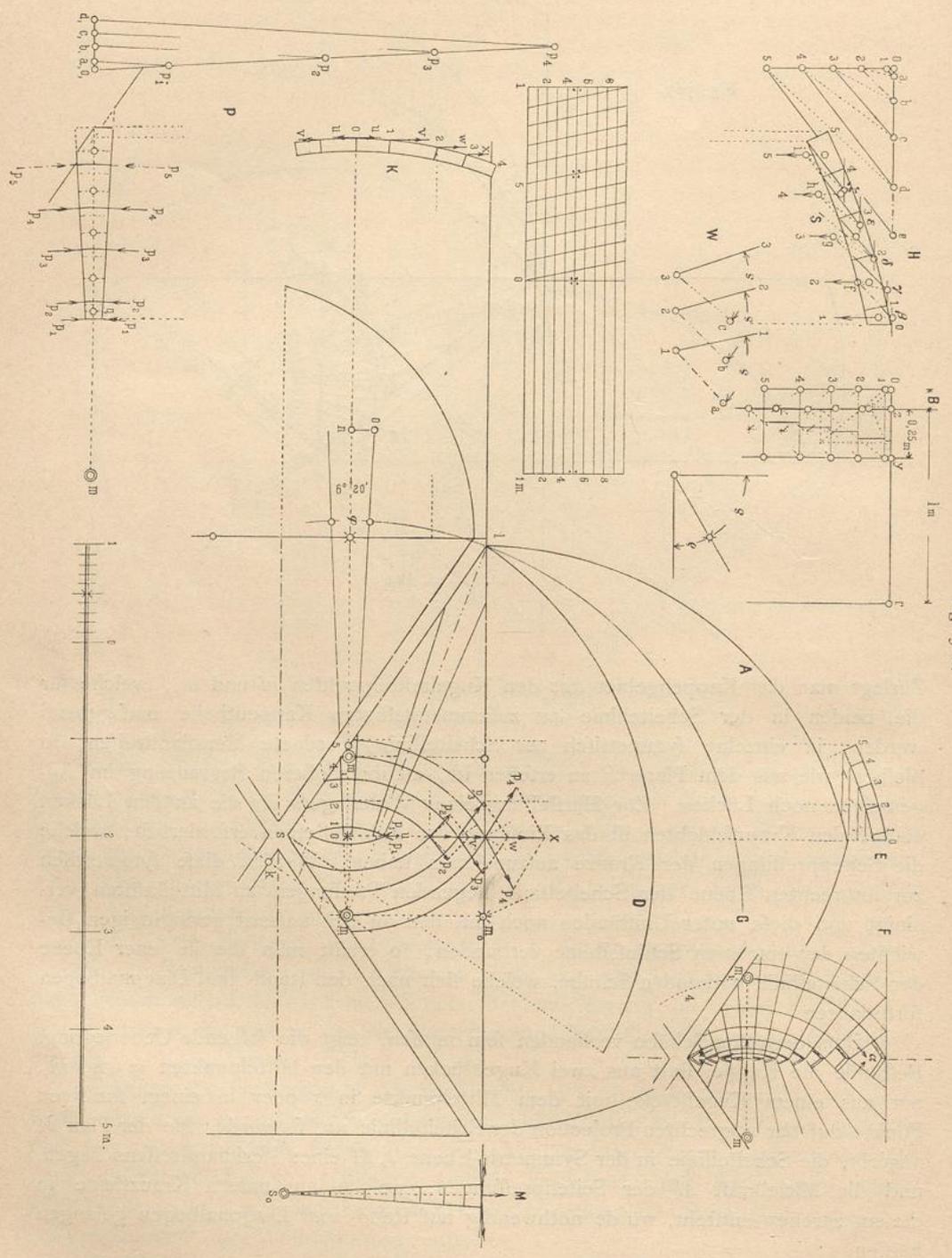


Fig. 528.

Der grösste Meridianstreifen ist p, l mit der Symmetrie-Ebene ml . Sein Winkel φ ist mittels des rechtwinkligen Dreieckes onm durch

$$\operatorname{tang} \frac{\varphi}{2} = \frac{on}{nm} = \frac{0,275}{5} = 0,55,$$

d. h. $\frac{\varphi}{2} = 3^{\circ} 10'$ und $\varphi = 6^{\circ} 20'$ gefunden.

Die statische Untersuchung dieses Meridianstreifens ist in den Plänen H und P für 5 Wölbsteine nach der Grundriss-Projection $o5$ und der lothrechten Projection E im vergrösserten Mafsstabe ausgeführt.

Um die Strecken für den Rauminhalt, bezw. für die Gewichte der Kranzsteine, welche nur $0,12$ m Höhe besitzen, ohne eine besonders grosse Zeichnung anzufertigen, doch in einer Grösse darzustellen, welche zur scharfen grapho-statischen Behandlung geeignet ist, kann man die in Art. 249 (S. 363) näher angegebene Bestimmung solcher Strecken noch mit einer weiteren, beliebig gewählten Vergrößerung in einfacher Weise durch Zeichnung versehen.

Benutzt man zum Zwecke der Vergrößerung jener Strecken eine besondere Grundlinie zy kleiner als 1 m, also statt der im Art. 239 (S. 364) in Fig. 441 gezeichneten Strecke zo gleich 1 m, eine weit kleinere Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., so entsteht nach Gleichung 232 (S. 363) $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$ nunmehr in Rücksicht auf die Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{\frac{1}{n}} = \frac{w}{d}$, woraus $w = nxd$ folgt. Hier-

nach wird w in n -facher Vergrößerung erhalten. Im Plane H ist $zy = 0,25$ m $= \frac{1}{4}$ m gewählt. Da $n = 4$ ist, so wird w sofort 4-fach vergrössert dargestellt.

Da endlich die Basis $B = 0,1 = \frac{1}{10}$ m angenommen wurde, so ist im Ganzen durch $\frac{1}{n} B = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ eine 40-fache Vergrößerung der Strecke für die Rauminhalte der Kranzsteine in der Zeichnung gewonnen.

Im Uebrigen ist die Bestimmung der Rauminhalte, bezw. der Gewichte dieser Steinkörper nach den im Art. 249 (S. 363) gemachten Angaben getroffen.

Soll nun der Rauminhalt v , z. B. des Wölbsteines \mathcal{J} , zahlenmässig ausgedrückt werden, so ist die zugehörige Strecke $z\mathcal{J}$ im Inhalts- oder Gewichtsplane zu messen. Ihre Länge beträgt $0,15$ m. Hiernach ist unter Berücksichtigung der 40-fachen Vergrößerung der Inhalt

$$v = 0,15 \cdot \frac{1}{40} \text{ cbm} = 0,00375 \text{ cbm.}$$

Aus dem Grundriss P des Meridianstreifens ergibt sich für den Stein \mathcal{J} durch Messung eine mittlere Dicke, welche durch den Weg seines Schwerpunktes innerhalb des Streifens bestimmt ist, zu $0,125$ m; seine Querschnittsfläche wird nach dem Plane H zu $0,12 \cdot 0,25 \text{ qm} = 0,03 \text{ qm}$ gefunden; folglich ist sein Inhalt $v = 0,03 \cdot 0,125 \text{ cbm} = 0,00375 \text{ cbm}$, wie vorhin. Wiegt 1 cbm Wölbmaterial, z. B. Backstein, 1600 kg, so ist das Gewicht des Steines \mathcal{J} gleich $0,00375 \cdot 1600 \text{ kg} = 6 \text{ kg}$.

In Uebereinstimmung mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Gefagten ist unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitäts-Untersuchung des Meridianstreifens $o5$ im Plane H auf graphischem Wege ausgeführt.

Für den ersten 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 fest gelegten Reibungswinkels $11a$ durch β gezogen, schneidet die Fuge 1 . Zieht man im Plane H den Strahl $1a$ parallel zu βf , bezw. parallel zum Schenkel $1a$ des Reibungswinkels $11a$, so erhält man in der Strecke ao des Planes a die Mittelkraft der Seitenpressungen des ersten Kranzsteines und in $a1$ den Druck auf die Lagerfläche 1 . Die Kraft-richtung βf schneidet die Gewichtslinie 2 im Punkte f .

Ein Strahl $f\gamma$, parallel zur Mittelkraft aa 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 also ohne Weiteres auch im Plane H den Strahl $2b$ parallel zu γg oder, was dasselbe ist, parallel zum Schenkel $2b$ des

Reibungswinkels $\alpha\alpha b$ ziehen, um in ba die Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines und in $b\alpha$ den Druck für die Lagerfuge α zu erhalten. Beim dritten Kranzsteine schneidet die durch g parallel zu $b\beta$ geführte Kraftstrecke die durch α gezogene Wagrechte im Punkte δ . Der durch δ parallel zum Schenkel βc des Reibungswinkels $\beta\beta c$ der Fuge β gelegte Strahl S trifft die Fuge β nicht mehr. Deshalb 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 Krafrichtung δh durch den tiefsten Punkt der Fuge β gelegt werden. Nimmt man hiernach βc parallel zu δh , so ist cb die gefuchte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines und $c\beta$ der Druck in der Lagerfuge β . Da für die Fuge β der Reibungswinkel $\beta\beta c$ die Bestimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinflusst, so kann die weitere Zeichnung der Reibungswinkel für die Fuge γ u. f. f. unterbleiben. Der Strahl δh schneidet die Gewichtslinie γ im Punkte h . Die durch h parallel zur Resultirenden $c\gamma$ der Kräfte $c\beta$ und $\beta\gamma$ gezogene Gerade $h\epsilon$ trifft die durch β gelegte Wagrechte in ϵ . Von ϵ aus braucht man nur einen Strahl ϵi durch den tiefsten Punkt γ zu legen, um, nachdem im Plane H durch γ eine Parallele zu ϵi gezogen ist, in der Strecke dc die Mittelkraft der Seitenpressungen des vierten Kranzsteines und in $d\gamma$ die Pressung in der Lagerfuge γ zu gewinnen. Fährt man in dieser Weise fort, so kommt man an eine Fuge, welche ohne Weiteres bei genügender Gewölbstärke nicht mehr außerhalb, sondern innerhalb ihrer Begrenzungspunkte von den Mittelkräften, wie solche in den Strahlen $c\delta$, $d\gamma$ u. f. f. sich ergeben, geschnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzsteine keine Bestimmungen von Seitenpressungen mehr ein. Durch einfache Zusammenfassung 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 beforgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte ao , ba , cb , dc der Seitenpressungen der Kranzsteine für die im Wölbgebiete $v m, s m v$ 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. f. f. liegen in wagrechten Ebenen und stehen senkrecht zu den Seitenebenen des Meridianstreifens.

Nimmt man im Plane P die Strecke oa , gleich der wagrechten Mittelkraft ao für die Seitenpressungen am ersten Kranzsteine des Planes H , zieht man o, p_1 und a, p_1 parallel zu den senkrechten Strahlen p_1 des Meridianstreifens m , so erhält man in den Strecken o, p_1 , bzw. p_1, a , die gefuchten Seitenpressungen.

Für den zweiten Kranzstein ist ob , $= ba$ des Planes H . Die Strecken $o_1 p_2$, bzw. $p_2 b$ geben die Seitenpressungen dieses Steines u. f. 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 $6^\circ 20'$ ermittelt war, so ist die Bogenlänge φ bei einem Halbmesser 1 gleich 0,1105. Die Strecke cb mißt 0,19 Met., bzw. Cub.-Met. Hiernach wird

$$p = \frac{0,19}{0,1105} = \infty 1,72 \text{ cbm.}$$

Die Zeichnung liefert $p_3 = o_1 p_3 = 1,75 \text{ cbm.}$

Die Rauminhalte, bzw. Gewichte sind jedoch in 40-facher Vergrößerung gezeichnet; mithin ist $p_3 = \frac{1,75}{40} = \infty 0,044 \text{ cbm}$ zu setzen, wofür bei Backsteinmaterial ein Gewicht von $0,044 \cdot 1600 \text{ kg} = 70 \text{ kg}$ entfällt.

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes $v m, s m v$ 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 ergibt sich aus dem Plane K die Beanspruchung des Randbogens und der Diagonalbogens durch dieses in der Scheitelebene sv wirkende Kräftesystem.

Die Vereinigung dieses Systemes mit den, meistens jedoch in geringer Größe auftretenden, Gewichten der Schlufssteine der früher erwähnten Lücken α liefert alsdann die in der Scheitelebene sv liegenden resultirenden Schübe für die Rand- und Diagonalbogen.

Bei Kappen mit sphäroidischer Bufung kann der im Vorhergegangenen erklärte Gang der statischen Untersuchung beibehalten werden. Die gemeinschaftliche loth-

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 auferhalb der zugehörigen Kappe liegen; für das Zerlegen dieser sphäroidischen Kappen bleiben die in Art. 322 (S. 469) für Kugelkappen angegebenen Mafsnahmen bestehen.

In gleicher Weise ist auch die statische Unterfuchung der Kappen bei den flachen Kreuzgewölben, den Stern- und Netzgewölben, gleichgiltig, ob dieselben nach reinen Kugelflächen oder nach sphäroidischen Flächen gestaltet sind, zu führen.

Die Stärke der Gewölbekappen kann für die Praxis nach der Gröfse der Pressungen, welche auf die Stofs-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden.

Wie aus der statischen Unterfuchung 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 Bekanntheit 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 Unterfuchung der bufigen 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 fogar gleich Null ist, sondern nur von der Gröfse der normalen Pressungen, welche die Stofs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzsteines beeinflussen, füglich die Rede sein. Deshalb 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 grofs genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fußfläche des gröfsten Meridianstreifens einer Kappe kommt. Aber wenn auch dieselbe Gewölbstärke nicht durchweg für alle Wölbfschichten, vermöge etwa sehr stark nach dem Fusse des Streifens anwachsender Drücke, beibehalten werden kann, so ist man mit Hilfe der statischen Unterfuchung und der erwähnten Gleichungen doch stets in der Lage, für irgend eine Kranzschicht die Gewölbstärke ausfindig zu machen.

Beispiel. So ist in Fig. 528 (S. 472) für den Stein \mathcal{J} im Plane H eine normale Pressung $p_3 = 0,044$ cbm gefunden. Die Breite der Kranzschicht ist bei der Theilung des Meridianstreifens o_5 zu $0,25$ m angenommen; mithin mufs, um die für den Normaldruck bei einer Tiefe gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stofsflächen des Steines \mathcal{J} 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 ergibt sich bei Backsteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0,176) 0,176} = 0,065 \text{ m;}$$

323.
Stärke
der
Kappen.

324.
Beispiel.

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 $c\mathcal{J}$ für die untere Lagerfläche des Steines \mathcal{J} ergibt sich, unter Berücksichtigung der 40-fachen Vergrößerung der Kraftstrecke $c\mathcal{J}$, im Plane H zu $\frac{0,475}{40} = \approx 0,012$ cbm.

Nach dem Grundriss m des Meridianstreifens ist die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich 0,15 m. Die aus $c\mathcal{J}$ für diese Fläche entstehende normale Seitenkraft ist etwas kleiner als $c\mathcal{J}$, möge aber hier gleich der Strecke $c\mathcal{J}$ 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 Stofsflächen 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 Stofsflächen, 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 belasteten cylindrischen Gewölben gezeigt wurde.

325.
Empirische
Regeln.

Im Allgemeinen bedürfen die unbelasteten bußigen 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 Kappenystem 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 bußige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm, d. h. $\frac{1}{2}$ 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.

β) Stabilität der Gewölberippen.

326.
Gewölberippen.

Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe sind in den meisten Fällen Bestandtheile cylindrischer Gewölbe, deren Bogenlinie, abgesehen von einem Halbkreife oder einem Korbbogen, am häufigsten als Spitzbogen mit Kreisbogenfchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derselben lothrechten Ebene und ist die Belastung beider Bogenfchenkel dieselbe, so bildet der Rippenkörper ein cylindrisches, symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes Gewölbstück. Eben so können auch Rippenkörper in besonderen Fällen als einfchenkelige 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

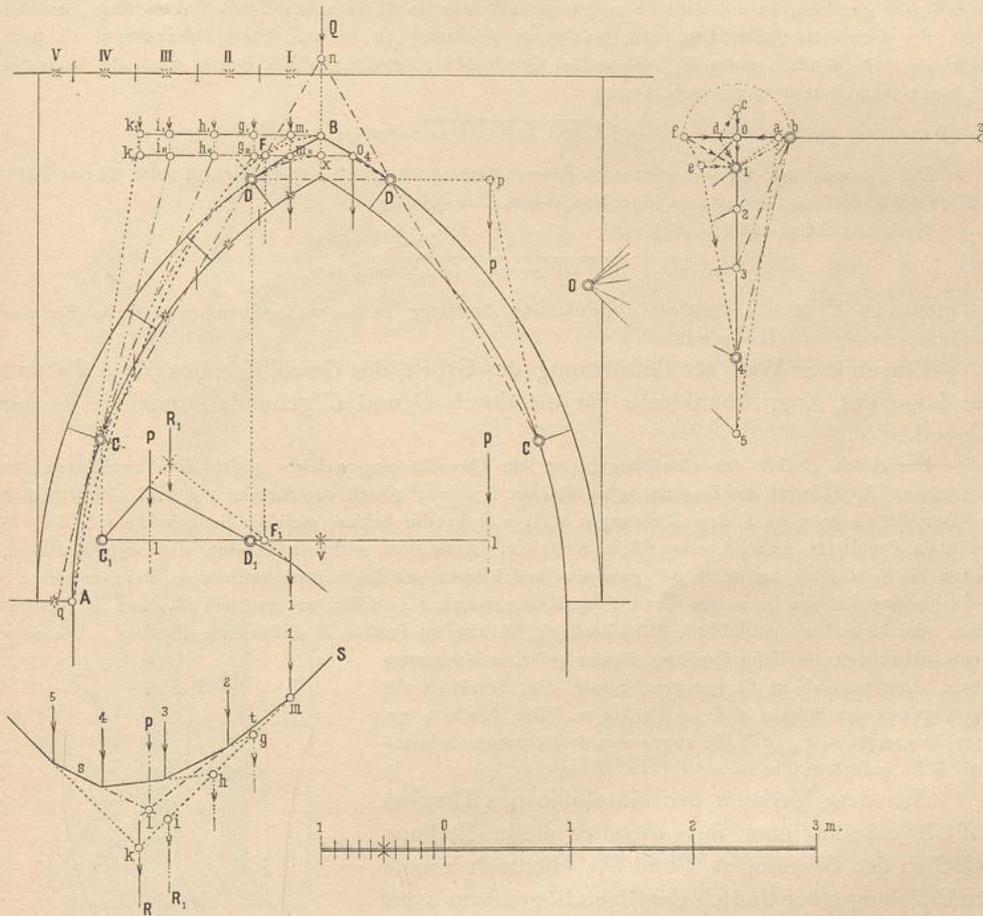
Ermittlung des Gleichgewichtes cylindrischer Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtschnur zu nehmen.

Für die Stabilitäts-Untersuchung eines symmetrisch geformten und symmetrisch belasteten Spitzbogengewölbes ist Fig. 529 als Beispiel in Betracht gezogen.

327.
Spitzbogen-
gewölbe.

Die Tiefe des Gewölbes sei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Theilstreifen I, II u. s. f. und Bestimmung der Gewichte $o1, 12$ u. s. f. dieser prismatischen Theilkörper unter Benutzung der Reductions-Basis $oz = 2$ m, ist unter Annahme eines möglichst kleinsten, durch den höchsten Punkt B der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbschubes für die Gewölbhälfte BA

Fig. 529.



eine Mittellinie des Druckes für die Punkte B und den vorderen Punkt A der Widerlagsfuge gezeichnet. Dieselbe verläßt jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wöblinie; sie kennzeichnet in den Punkten D und C zwei Bruchfugen, und folglich ist der für diese vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontalschub ao noch nicht fähig, den Gleichgewichtszustand im Wölbssystem herzustellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem größeren Horizontalschube behaftet, durch die Punkte D und C geht und dem entsprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes x in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbschub bedingt.

Zur Auffindung dieser 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 $o_4 i_1, C$ mit der Resultirenden $R_1 = o_4$ im Gewichtsebene 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_1 , durch q gezogenen Strahles qb 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 abgegeschlossen.

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. gefetzt wird, die senkrecht zur innern Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 0,94) 0,94} = \infty 0,22 \text{ m.}$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A ist gleich der Gewichtsstrecke $0,5$ mal Basiszahl oz , d. h. $= 2,425 \cdot 2 = 4,85$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met.

Nach Gleichung 148 (S. 186) wird

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 4,85) 4,85} = \infty 0,28 \text{ m,}$$

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.

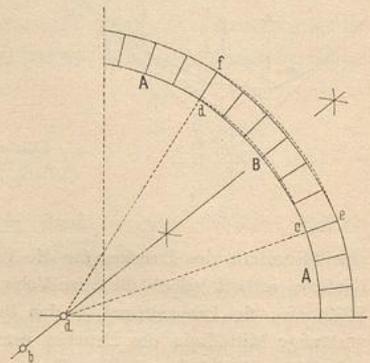
Ein anderer Weg zur Bestimmung der Größe des Gewölbschubes $fo = bo$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie ist der folgende.

Das Stück DBD des Gewölbes besitzt ein Gewicht cI , welches gleich dem zweifachen der Strecke oI ist, während das Gewicht jedes Stückes $DC = P$ gleich der Strecke Iq wird. Zerlegt man das Gewicht cI in n nach den Richtungen nD , nD in die beiden gleichen Seitenkräfte cd , dI , so wirkt im Punkte D zunächst eine solche Kraft dI . Außerdem wirkt in D eine wagrechte Kraft eI , welche als Seitenkraft der durch pC gehenden und hiermit der Lage nach bestimmten Resultirenden eI in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Krästdreieck Iqe sofort zu ermitteln ist. Die in D wirkfame, aus dI und eI entstehende Mittelkraft fI ist die im Punkte D auftretende Pressung. Die wagrechte Seitenkraft fo dieser Pressung ist der gesuchte Horizontalschub. Der parallel zu fI gezogene Strahl Do_4 schneidet die Gewichtslinie des Stückes BD im Punkte o_4 . Die durch o_4 gelegte Wagrechte o_4k_1 trifft die angenommene lothrechte Scheitelfuge B im gesuchten Punkte x .

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.

Ist das gefamnte Rippenystem eines gothischen Kreuzgewölbes planmäßig fest gelegt, ist die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

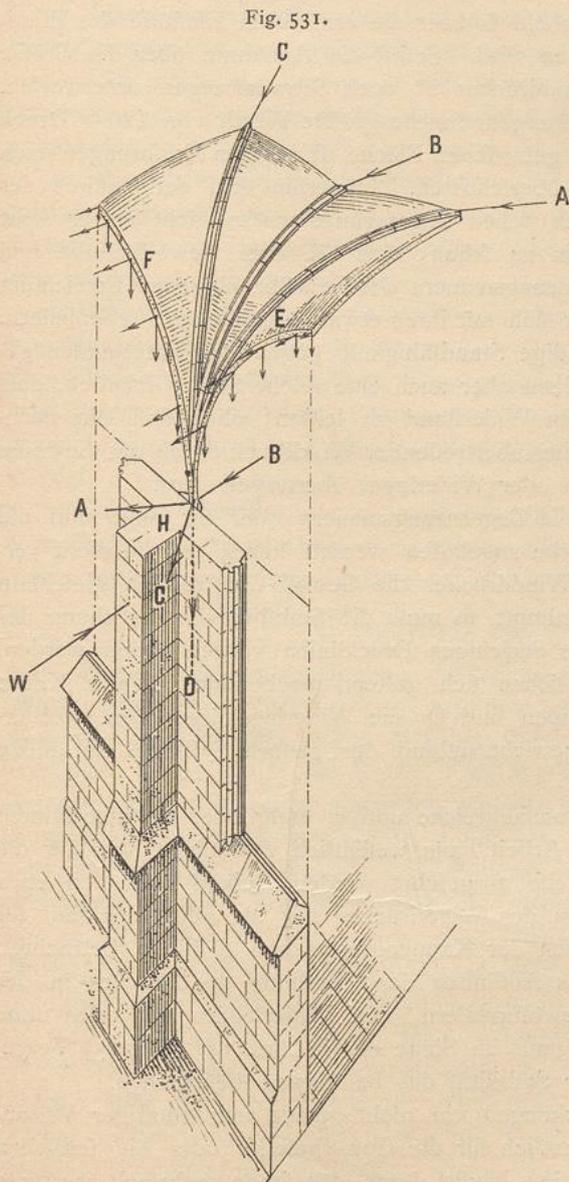
Fig. 530.



328.
Statische
Untersuchung.

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 Entwicklungen entsprechend, die von den Gewölbekappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Pressungen zu ermitteln. Sodann sind die hieraus resultierenden 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 Rippenystems 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.



Eben so ist nach der Bestimmung des für den Rippenbogen entstehenden Horizontalstribes, 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.

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 aussen der Winddruck ein, dessen resultierende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Pressung *W* die aus den Gewölb-

329
Stärke
der
Rippen.

330.
Winddruck.

schüben entstehende Mittelkraft an GröÙe übertrifft, so wird dieser Ueberschufs des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenschaft ziehen und, durch dasselbe fließend, sowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulensystem, wie auch schließlic die andere seitliche Außenmauer des Gewölbegebietes 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 Gewölbe theile 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 Ermittlung dieser sämtlichen 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 GröÙe 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. Deshalb 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 Strebebeylern, 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 GröÙe 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 Ueberschufs des Winddruckes die Gewölbe-Construction gleichsam für sich als Laufbahn in Anspruch nimmt, so muß die Stabilitäts-Untersuchung der ganzen Anlage durch das Auffuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittlung der sämtlichen sich geltend machenden äußeren Kräfte für die Gewölberippen, Gewölbekappen und für die Widerlagkörper 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 Ueberschufs der GröÙe 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 Strebebeylern, 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

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens *B*, unter Beachtung des in Art. 143 (S. 197) Gefagten, einen fachgemäßen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach besondere Vortheile für eine gesicherte Standfähigkeit der einzelnen Bautheile erzielen.

Die äußerst mannigfaltig in größter Anzahl ausgeführten gothischen Kreuzgewölbe zeigen hinsichtlich der Abmessungen der Rippenquerschnitte so große Verschiedenheiten, daß das Aufstellen empirischer Regeln für die Bestimmung der Stärke der Gewölberippen zwecklos erscheinen muß. Schon die aus architektonischen Bedingungen hervorgehende Profilierung der Rippen veranlaßt häufig einen weit größeren Rippenquerschnitt, als die Pressungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günstigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entstehen.

Nimmt man zunächst eine gewissenhaft durchgeführte statische Untersuchung der Gewölberippen vor und bestimmt man hiernach, wie in Art. 139 (S. 193) angegeben wurde, die Stärke der Rippen, so läßt sich schließlich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerschnittes, die geplante Profilierung desselben vornehmen.

Oft ergibt eine solche Untersuchung allerdings auch so geringe Querschnittsgrößen, daß die praktische Ausführbarkeit der Rippen größere Abmessungen erforderlich macht. Immerhin sollte diese statische Untersuchung nicht ohne Weiteres von der Hand gewiesen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10 m Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25 cm und, einschließend des Rückenansatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36 cm. Rippen aus Backsteinen oder besonderen, kleineren oder größeren Formsteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis 1½ Stein breit und mit dem Rückenansatz 1½ bis 2 Stein hoch genommen werden.

Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerschnitte mit 9 cm Breite und 15 cm Höhe ohne Rückenansatz. Diese Abmessungen dürften selten noch eine weitere Verminderung erfahren.

γ) Stabilität der Widerlager.

Werden die Umfangsmauern, die hauptsächlichsten Widerlagskörper der Anlage eines gothischen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 298 (S. 431) Gefagten in einzelnen Stützpunkten, mögen dieselben durch Strebepfeiler an sich schon verstärkt sein oder nicht, durch die Kräfte beansprucht, welche mit Hilfe der im Vorhergegangenen besprochenen statischen Untersuchung der Gewölbekappen und ihres Rippen-systemes ihrer Lage, Größe und Richtung nach bekannt werden, so läßt sich unter Verwendung dieser Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächst von einer besonderen Versteifung derselben durch Strebebogen ab, so erfolgt die Fortführung der Stabilitäts-Untersuchung und die damit im Zusammenhange stehende Bestimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphischen Statik auf demselben grundlegenden Wege, welcher in Art. 236 (S. 378) zu gleichem Zwecke beim cylindrischen Kreuzgewölbe gekennzeichnet ist. Beim Feststellen der Grundrißfläche des Widerlagskörpers wird die Grundrißlänge *l* (Fig. 532) unter richtiger Würdigung der geschaffenen Planlage möglichst gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunsten des Sicherheitsgrades des Stütz Körpers angebahnte Verringerung seines Gewichtes in Rechnung zu stellen. Die

331.
Empirische
Regeln.

332.
Widerlager
ohne
Strebebogen.

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. Kernes¹⁸⁵⁾ des Querschnittes birgt und daß außerdem eine Gefahr in Rücksicht auf Gleiten ausgeschlossen bleibt.

333.
Empirische
Regel.

Eine hier und dort angegebene empirische Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwischen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite der Gewölbe wechselt, erscheint, ohne eine Rücksichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerthe angegebenen, weit von einander abtweichenden Grenzen, nicht besonders beachtenswerth. Eine leicht zu bewirkende Stabilitäts-Untersuchung der Widerlager befreit von den Mafnahmen der an sich oft unrichtigeren 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-Constructions 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 einhäufigen Gewölbes erscheinende Strebebogen ändert die Richtung des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitäts-Untersuchung von einhäufigen 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 nebenstehender Tafel besprochen werden.

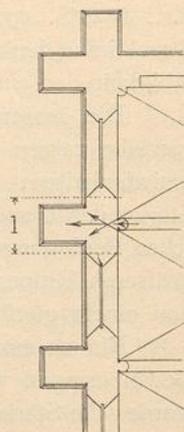
Der in der lothrechten, als Kräfteebene fest gesetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers G und des Strebebogens γo wirkende resultirende Gewölbschub S der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Gesagten vorweg zu bestimmen ist, vereinigt sich mit dem Gewichte G des in seiner Grundriffsfläche und Höhenentwicklung 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 Fulsebene 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 γo 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.

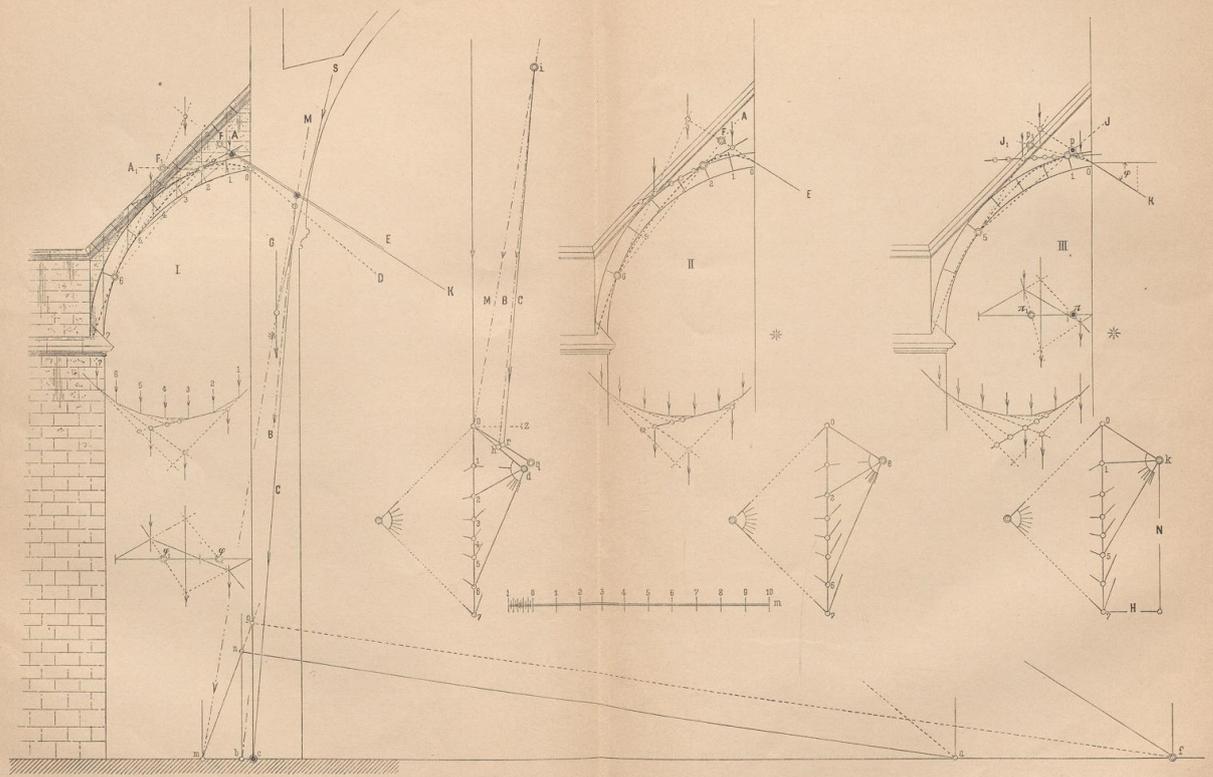
Zunächst ist die statische Untersuchung des Strebebogens selbst vorzunehmen. Die Tiefe desselben sei gleich 1 m.

Unter Einführung einer beliebig gewählten Basis $oz = 2^m$ ist, entsprechend den Angaben in Art. 146 (S. 208), ein Gewichtsplan $o\gamma$ gezeichnet und unter Anwendung der Polaraxen oA 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 Gewölbfäche des Strebebogens.

Fig. 532.



¹⁸⁵⁾ Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88) dieses »Handbuches«.



Statische Unterfuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.

Handbuch der Architektur. III. 2, c.

Befitzt der Strebebogen eine grössere oder geringere Tiefe, als 1 m, so ist der Gewichtsplan $o\gamma$ offenbar nach der Vorschrift in Art. 249 (S. 363) zu zeichnen. Die übrigen Bestimmungen erleiden dadurch im Wesen keine Aenderungen.

Der Gewölb Schub 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 Unterfuchung 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 Grabbogen gesehen ist, berechnet werden.

Eine Vorunterfuchung 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 halbart, wodurch offenbar die Bestimmung der Lage der Mittelkraft B aus M und D nicht beeinflusst wird. Die GröÙe 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 Fulsebene mf ebenfalls noch in einem außerhalb der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkte b . Hierdurch zeigt sich, daß der einer Minimal-Drucklinie des Strebebogens γo zukommende Gewölb Schub D vom Gewölb Schube 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 Gewölb Schub herrschen muß, wenn derselbe fähig sein soll, das Drehbestreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Auffuchen dieses größeren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächst in Rückficht 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 Fulsebene 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 Gewölb Schub 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 GröÙe 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 Wöblinie in der Nähe der Fuge 5 in merkbarem Abstände. Hieraus folgt, daß der Gewölb Schub $E = eo$ in der angewiesenen Lage und mit der gefundenen GröÙe nicht fähig ist, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wöblfläche des Strebebogens verläuft. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchfugen oberhalb des Stückes oz und in der unteren Kante der Fuge 5 . Berücksichtigt man ferner, daß unter Beachtung dieser Bruchfugen dennoch im Allgemeinen ein noch möglich kleinster Gewölb Schub 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 aufzufuchen, welche durch den höchsten Punkt der als Bruchfuge angenommenen Fuge 1 , durch den tiefsten Punkt der zweiten Bruchfuge 5 zieht, und welche außerdem einem Gewölb Schube zukommt, dessen Richtung durch den festen Punkt f der Fulsebene mf geht.

Bestimmt man auf der durch s und durch den höchsten Punkt der Fuge r gelegten Polaraxe \mathcal{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 Fulsebene mf den Strahl K : so ist alles Nothwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane III zeichnen zu können. Für dieselbe ergibt sich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher bestimmten zweiten Polaraxe \mathcal{Y}_1 , welche durch den Angriffspunkt der Kraft K auf der Fuge o und durch den höchsten Punkt der Bruchfuge r 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 Gewölbchubes 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 Gewölbchub 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 Gewölbchub für den Strebebogen möglich ist, wobei die aus M und dem neuen Gewölbchube 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 Gewölbchubes K eine Ueberschreitung der Größe dieses Reibungswinkels bekunden sollte, die Ansatzfuge o in ihrer Neigung in dem Mafse 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 Gewölbchubes 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.

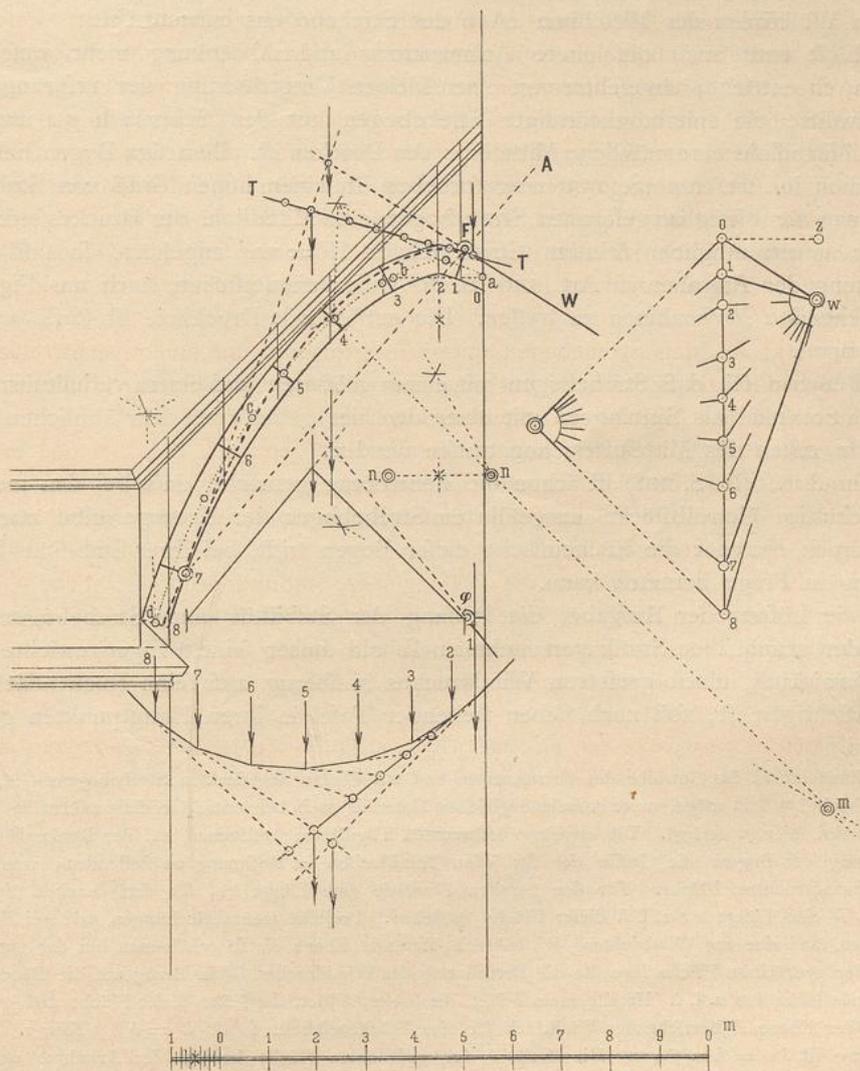
335.
Anfatzhöhe
der
Strebebogen.

Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinschaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanspruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anfatzhöhe 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 Gewölbchub D , welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbchüben des Strebebogens am kleinsten ist, fähig sein kann, bei feiner Zusammenfassung 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

Schubes D , so würde dieselbe die neue Lage des Ansatzpunktes o des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in seiner Gefammtheit 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 angeetzte Strebebogen.

Werden zwei über einander liegende Strebebogen zur Absteifung eines gemeinschaftlichen Widerlagers angeordnet, so läßt sich die zugehörige Stabilitäts-Untersuchung eines solchen Baufsystems 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, bzw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchsten Punkte der Bruchfuge *1* aus die beiden seitlichen Aefte 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 *q* und *n*, bzw. *n*, 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 *o2* 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 $W = w_0$ angehört, so sind unter Befolgung der Angaben in Art. 146 (S. 208) die erforderlichen, auch aus Fig. 533 zu ersehenden Mafnahmen zu treffen. Die entstehende Drucklinie ist stark punktirt eingetragen.

Bemerkte sei, daß Strebebogen mit einem größeren und einem verhältnismäßig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen sehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

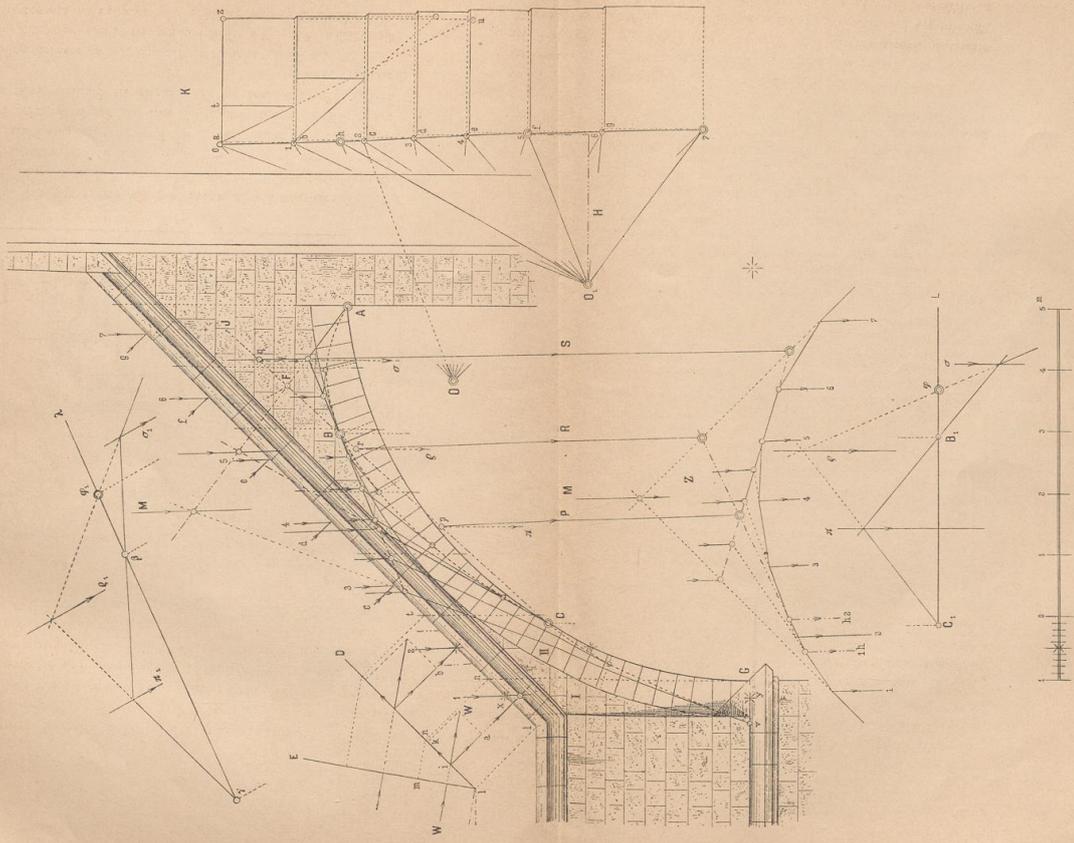
337.
Winddruck
bei
Strebebogen.

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

Zu S. 486.



Statische Unterfuchung eines Strebebogens unter Berücksichtigung des Winddruckes.

Handbuch der Architektur. III. 2. C.

die Strebebogen meistens zu zählen sind, ausübt wird, möge $p = 300 \text{ kg}$ für 1 m^2 gerechnet werden. Hiernach wird $W = 1 \cdot 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ kg}$. Für den Strebebogen kommt die senkrecht zu seiner Rücken-ebene D wirkende Seitenkraft ia in Frage¹⁸⁶⁾. Dieselbe ergibt sich zu 216 kg .

In gleicher Weise sind die lothrechten Drücke b, c, d u. f. 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. f. f. bis 7 zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei ist jedoch die Länge der Kräfterecken 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 m , sonst aber eine Länge gleich der gewählten Maßzahl 2 m der Basis az des Gewichtsplans K erhält.

Wiegt 1 cbm des Wölbmaterials 2400 kg , so ist hiernach die Strecke oa des Planes K , welche die Größe des senkrecht auf der Rückenfläche des Theilstreifens vorhandenen Winddruckes gleich 216 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 ax 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. f. 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 \mathcal{F} gelegt. Für das Stück AB des Strebebogens ergibt 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 7 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 \mathcal{F} das folgende Verfahren einschlagen.

Man bringt die Strahlen P, R und S mit der Polaraxe \mathcal{F} in p, r und q zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte P, R, S in diesen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade $C\mathcal{F}$ 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 gefuchten Fixpunktes F auf der Axe L ermitteln.

Projicirt man φ parallel zu CC_1 nach F auf \mathcal{F} , 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 $C\mathcal{F}$ 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 \mathcal{F} 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 \mathcal{F} gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte B der Gewölbschub O_15 , bezw. $5O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens ist die wagrechte Seitenkraft H von O_15 , bezw.

¹⁸⁶⁾ Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21) dieses Handbuchs.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am stärksten gepresste Wölbuge in bekannter Weise zu verwerthen.

Die punktirt eingetragene Mittellinie des Druckes ABC u. f. 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.

335.
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 sämtlichen 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. f. f. wirken meistens in sich kreuzenden geraden Linien, liefern also, wie schon in Art. 293 (S. 427) erwähnt ist, ein im Raume gelegenes Kräftefytem, 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 Rippenfytems 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.

9) Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe.

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.

339.
Gewölbe-
kappen.

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-, bzw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchschneiden sich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer besonderen Firft- oder Zellenkante, welche in Gemeinschaft mit den beiden von den Rippenlinien fattelförmig 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 Kegellinien symmetrisch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmesser der Basislinie gleichen Abstände.

340.
Zellengewölbe.

Dafs ein Verhauen der als Wölbsteine benutzten Backsteine bei den fog. 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 Durchbildung¹⁸⁷⁾ im Allgemeinen nach geraden Kegelflächen angeordnet sind, erkennen. Da die Stellung der schmalen Wölbflächen in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebene zur gemeinschaftlichen Basislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äußerst einfach erfolgen kann, da außerdem 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 sämtlichen 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 ab gleichfalls beliebig angenommen ist.

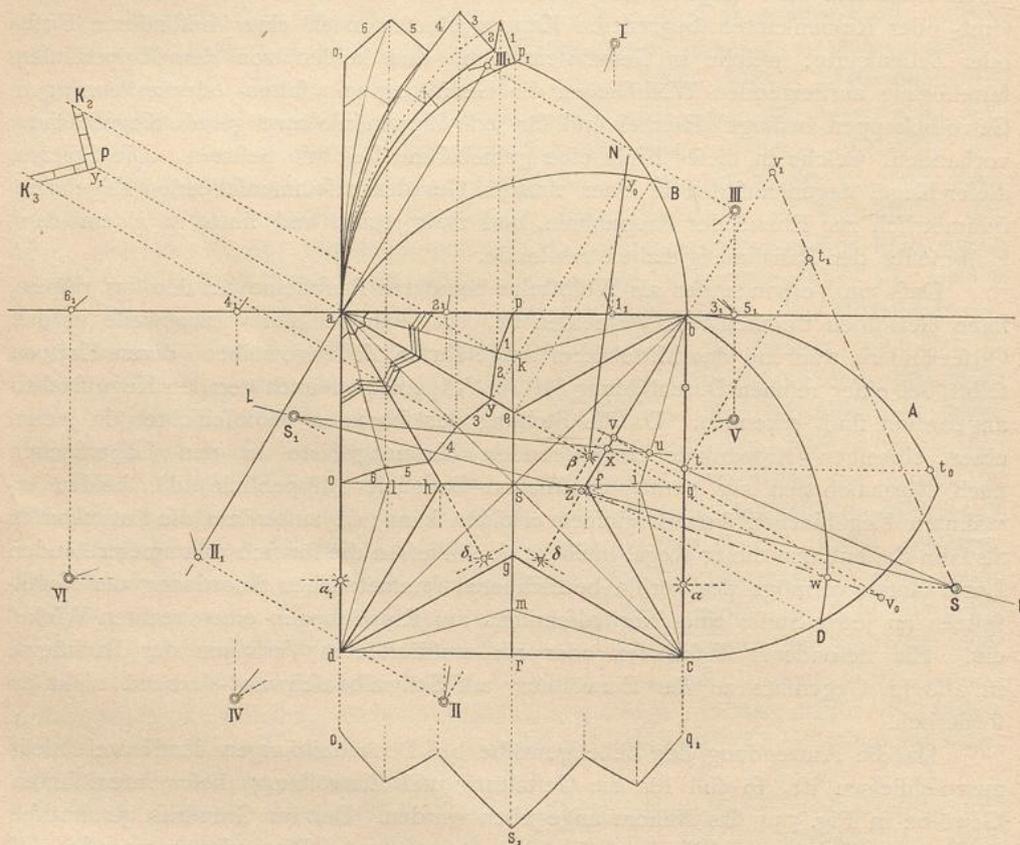
Die Mittelpunkte α , β dieser Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet bfq treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie A für bq und der Leitlinie D für bs mit dem Halbmesser δb gleich βa des Bogens B zusammen. Die Spitze des Kegels für bq ist S im Lothe αS auf bc , wobei $\alpha S = ab$, während die Spitze des Kegels für bs 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.

Beide Kegelflächen, deren Leitlinien A und D hier verschiedene Halbmesser besitzen, durchschneiden sich nach einer in der wagrechten Projection dargestellten Linie bi , welche die Grundrifs-Projection der Zellenkante der Kappe bfq liefert. Die Linie bi ist im vorliegenden Falle noch in einzelnen Zwischenpunkten, wie z. B. in u , näher zu bestimmen. Verbindet man die Spitzen S und S_1 der beiden für A und D in Betracht kommenden Kegelflächen durch eine Gerade LL , so kann dieselbe als Drehungsaxe einer Ebene angesehen werden.

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, schneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diese 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 ist, hervor. Der

Fig. 534.



Durchstoßpunkt v , dieser Seitenlinie mit der lothrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens bf liegt um $vv_0 = vv_1$, wie ohne Weiteres mit Hilfe des verlängerten Strahles St_1 , für welchen $tt = tt_0$ ist, gefunden wird, über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Die durch LL und Sv gehende Ebene schneidet 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 ist der Punkt x auf bf . Durch x und S_1 muß die Seitenlinie S_1x gehen, welche durch die bezeichnete Ebene LSv auf der Kegelfläche für die Leitlinie D entsteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie S_1x mit der Seitenlinie Sv ist die wagrechte Projection eines Punktes der Zellenkante bi . In gleicher Weise können beliebig viele Punkte der Grundrifs-Projection dieser Zellenkante bestimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäßig gestalteten Netzes $aebfcgdh$ gehören gerade Kegelflächen mit vollständig 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 Halbierungslinien der Winkel eah , ebf u. f. f. mit den Diagonalen des Grundrisses zusammenfallen.

Sind die sämtlichen Grundriss-Projectionen der Zellenkanten eingetragen, so lassen sich die Lagerkanten der Wölbchichten 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 Wölbchichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, stets Normalebene zu dieser Rippenlinie angehören sollen, für einen Punkt y_0 einer Wölbchicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufrissspur βN und der wagrechten Spur $II\beta III$ bestimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebene des Bogens B unverändert.

Den zusammengefügtigen 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 Abstände 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 $y\mathcal{Z}$ im Kappenstücke ase , so sind in den Linien z und \mathcal{Z} die wagrechten Projectionen der Lagerkanten einer Wölbchicht der Normalebene $y_0 N$ gefunden. Ist nun der Bogen B mit den Theilpunkten der einzelnen Wölbchichten nach den Backsteindicken versehen, so kann, unter Verfolgung des für den Punkt y_0 angegebenen Weges, die gefamnte 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 z und \mathcal{Z} für die übrigen angrenzenden Kappengebiete akp , ash , ahl und alo im Grundriss fortsetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwicklungen nur nöthig, die Axen und Spitzen der entsprechenden Kegelflächen in der Grundriss-Projection zu bestimmen.

So erhält man für das Stück akp die Gerade $r, I = r, a = b\alpha$ als Kegelaxe und I als Kegelspitze. Zieht man vom Schnitte der Kante z mit der Zellenkante ak aus den Strahl r nach I , so ist die wagrechte Projection der Lagerkante r im Gebiete akp im Zusammenhange mit dem Zuge z, \mathcal{Z} erhalten. Für die Lagerkante q ist IV , für \mathcal{Z} ist V und für δ ist VI , wie aus der Zeichnung sofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufriss-Projection $p, I 2 3 4 5 6 o$, des bezeichneten Zuges der zusammengehörigen Lagerkanten ergibt sich unter Benutzung der Aufriss-Projectionen der einzelnen Kegelspitzen r, z , u. f. f. bis δ , 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.

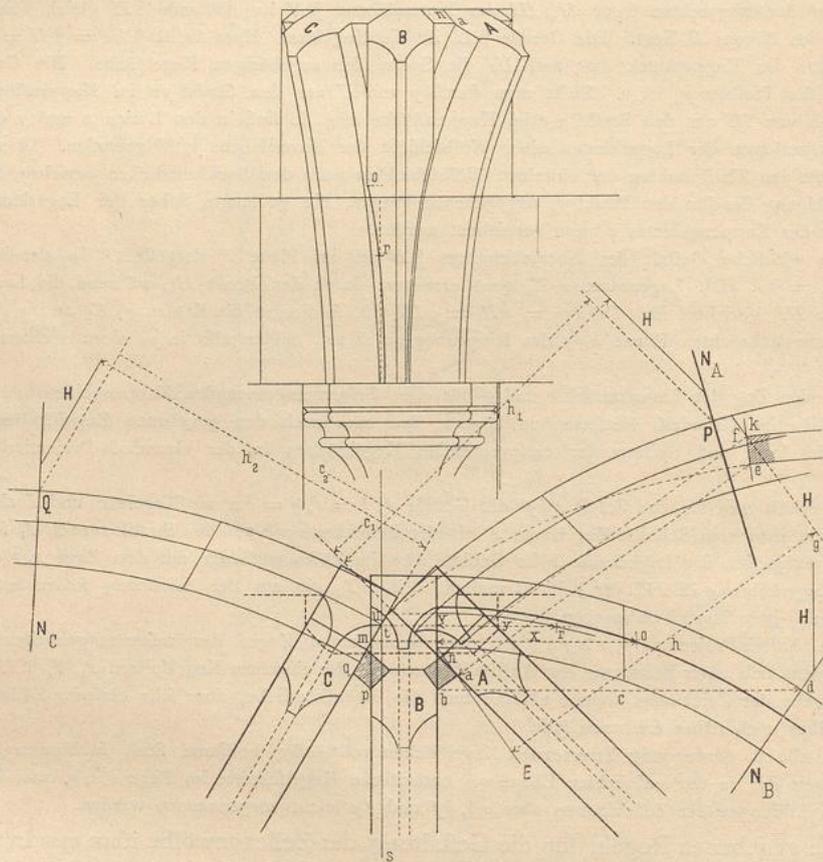
Die gegebenen Regeln für die Gestaltung der Zellengewölbe über quadratischem Grundriss finden auch Anwendung bei rechteckigen, sonstigen regelmässigen und bei unregelmässigen Grundrissen.

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.

Die Gewölbeanfätze an den Ecken des Raumes werden am zweckmäßigsten als Quaderanfänger, etwa mit einer Höhe von 1,0 bis 1,5 m über der Kämpferebene aufgehend, angefertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meistens nur $\frac{1}{2}$ Backstein. Zur Vermeidung sehr weit gespannter Zellenkappen, welche, abgesehen von der Einführung einer größeren Stärke, ein zu bedeutendes Divergieren der Lagerkanten veranlassen, ist das System der Rippenlinien so anzuordnen, daß sich verhältnismäßig kleine Zellengebiete geltend machen.

Als Wölbmaterial für die Kappen dienen von den künstlichen Bausteinen hauptsächlich gute Backsteine, voll oder durchlocht, ferner fog. poröse Backsteine

Fig. 535.



von nicht zu geringer Festigkeit und außerdem die sehr geschätzten, meistens 25 cm langen, 12 cm breiten und 10 cm dicken, bei Andernach am Rhein angefertigten fog. Schwemmsteine.

Von den natürlichen Baumaterialien gelangen leichtere Sand- und Kalksteine, krySTALLINISCHE Schiefergesteine und die Tuffe, sobald damit ein freihändiges Wölben möglich ist und ihre Anschaffung billiger wird, als die der Backsteine, zur Verwendung.

Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein sorgfältig zubereiteter, verlängerter Cementmörtel.

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 Leitfäden in Art. 152 (S. 220) herzurichten und fachgemäß zu unterlagern. Ist für ein ausgedehnteres Rippenystem 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 Gefagte 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 Kappenanfätze 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.

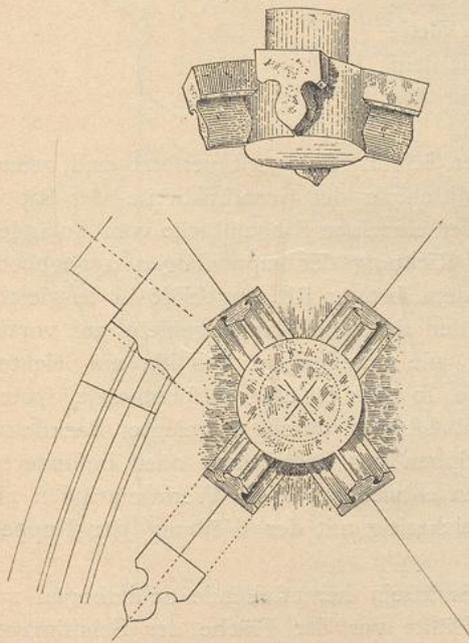
Die untere Schicht ist durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche *H* im Abstände $h = h_1 = h_2$ über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebene N_A, N_B, N_C bestimmten Ansatzflächen der Rippen *A, B, C* und Kappenanfätze, wie *n*, zeigt. Die Ausmittlung 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 ge-

arbeitet. In Fig. 536 ist ein einfacher Schlussstein mit cylindrischem Kern und besonders angearbeiteten Rippenanfätzen dargestellt. Der Durchmesser des cylindrischen Kernes ist stets so groß zu nehmen, daß ein hässliches Ineinander schneiden 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.

Für das Verfetzen der Werkstücke der Rippen ist das Einlegen dünner Blei-

Fig. 536.



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 Kantenheilen möglichst verhindert. Beim Versetzen der Rippenstücke in Mörtel findet das in Art. 170 (S. 246) Vorgetragene Berücksichtigung.

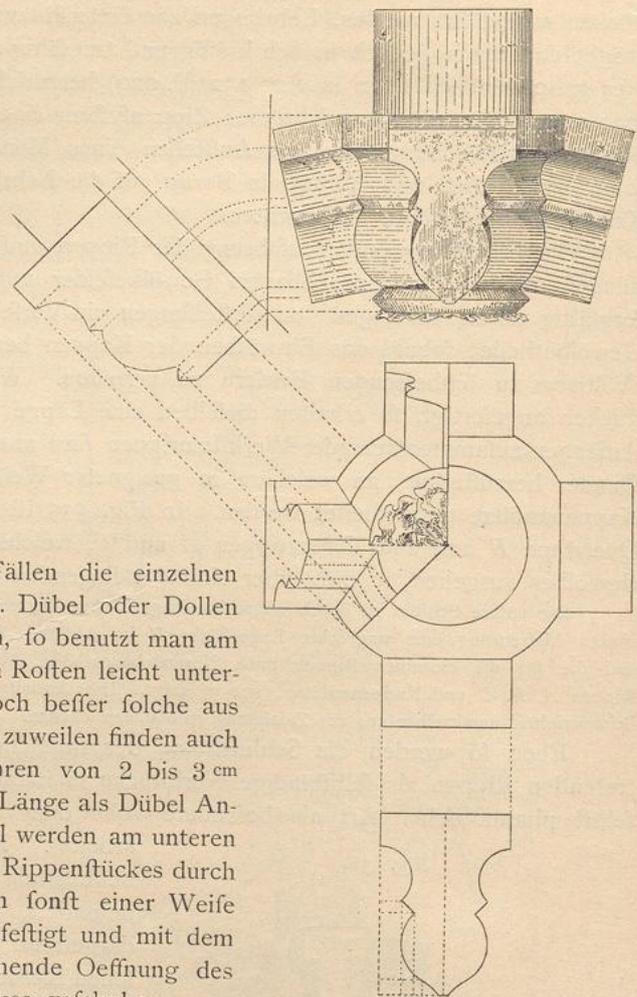
Sollen in besonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch fog. Dübel oder Dollen mit einander verbunden werden, so benutzt man am besten, statt der eisernen, dem Rosten leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, noch besser solche aus Kupfer, Bronze oder Messing; zuweilen finden auch Messingröhren 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, Eingypfen 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 geforgt 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

Fig. 537.



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. f. f. sind in regelrechtem Verbands 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-, bzw. trichterartige Gewölbeform.

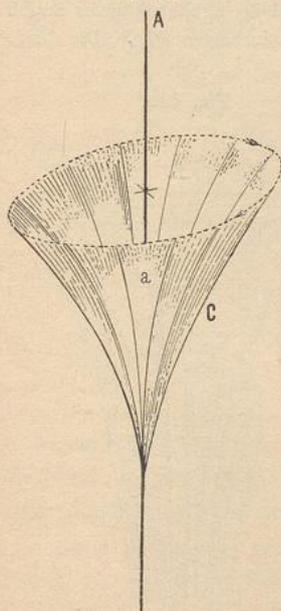
Die allgemeine Grundgestaltung der Laibungsflächen *a* dieser Gewölbe ist in Fig. 538 mit der erzeugenden Curve *C* und der festen lothrechten Axe *A* gekennzeichnet.

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bzw. ein Viertelkreis, eine elliptische Linie, bzw. eine Vierteilellipse, ein Korbbogen u. f. 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 mächtig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines sog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende auf.

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 außerhalb 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 Abstände *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 mächtig

Fig. 538.



342.
Form.