



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Balkendecken**

**Barkhausen, Georg**

**Stuttgart, 1895**

b) Gotische Kreuzgewölbe

---

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

## b) Gothische Kreuzgewölbe.

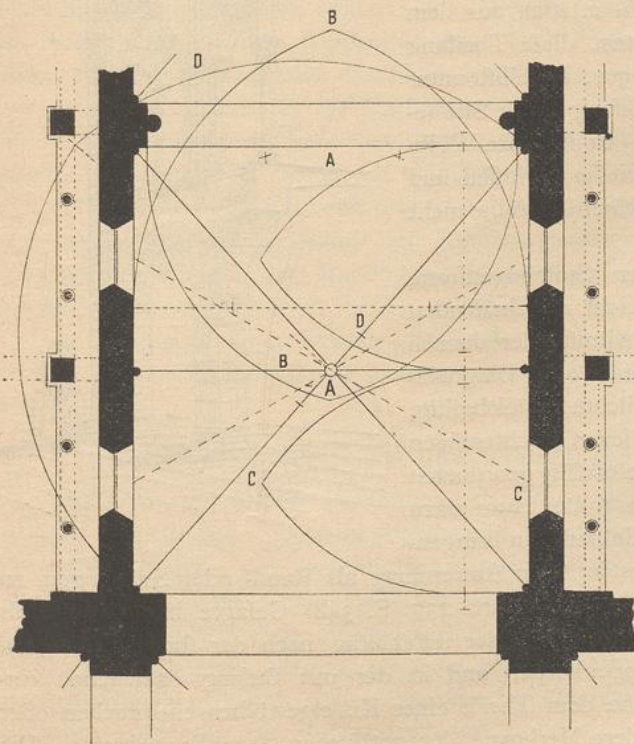
Das Wesen der gothischen Kreuzgewölbe, wodurch sich dieselben von allen anderen Gewölben unterscheiden, ist hinsichtlich ihrer Gestaltung in Art. 237 (S. 348) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwicklung des romanischen Kreuzgewölbes gefunden haben.

Die besondere Bildung dieser in der Baukunst eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berücksichtigen, welche die kunstvolle Technik in der Anlage und Ausführung dieser Gewölbkörper an sich und in ihrem Zusammenhange mit den zugehörigen Widerlagstheilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blüthezeit der Gothik bekunden ein besonders in den Vordergrund tretendes Bestreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmassen so zu gliedern und unter Befreiung von ängstlichen Theilungen beim Zerlegen größerer zu überwölbender Räume so zu gestalten, daß unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit sicherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Theil derselben einen verletzenden Ueberfluß an Material zeigen sollte. Constructionsystern und Form sind in eine innige, sich gegenseitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein wesentliches Hilfsmittel zur Erzielung dieser Verbindung ist die Verwendung des Spitzbogens anzusehen. Wesentlicher aber noch ist bei den gothischen Gewölben die Theilung des Gewölbefeldes durch selbständige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Diese bilden in ihrer gesammten Anordnung ein eigentliches Tragsystem; sie nehmen zwischen sich die besonders gewölbten Kappenstücke auf und übertragen die Gesammtlast der Deckenbildung auf einzelne bestimmte Stützpunkte. Diese Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im Allgemeinen als Freistützen gestaltet werden können. Sie besonders standfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verschwenden, ist eine vorwiegende Bedingung. An den hauptsächlichsten Stützpunkten angelegte Strebe Pfeiler oder mit Strebe Pfeilern ver-

Fig. 461.





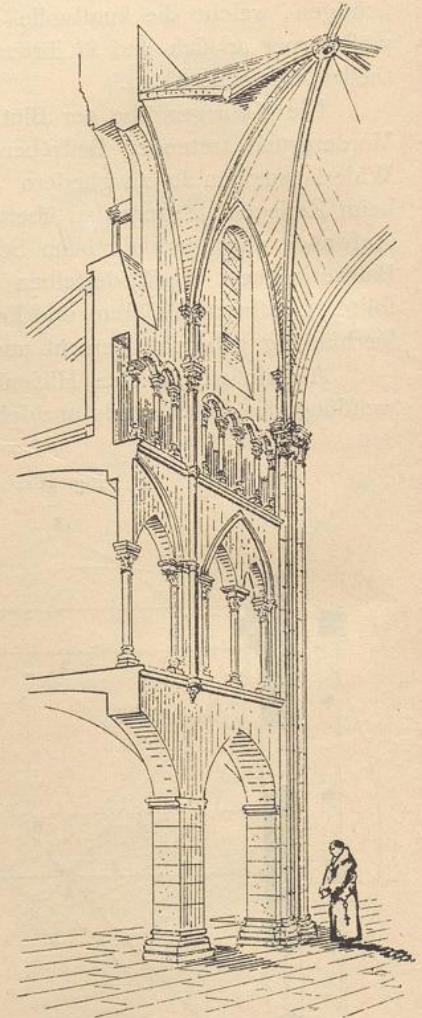
bundene, frei aufsteigende Strebebogen entsprechen jener Bedingung. So entsteht ein vollständig gegliedertes Gewölb- und Stützensystem, welches, an und für sich und unabhängig von dem zwischen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidewandern des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen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

Im Gefolge hiervon steht die freie Auflöfung der Massen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbschube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke; sie können in ausgiebigster Weise durchbrochen oder, mit Oeffnungen versehen, sich dem gesammten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Construction des Gewölb- und Stützensystemes die Herrschaft. Bei dem gewissenhaften Abwägen der Massen, möglichst entsprechend den in ihnen wachgerufenen Kräften, ist in Abhängigkeit von der Construction die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunstgerecht zu bilden.

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.

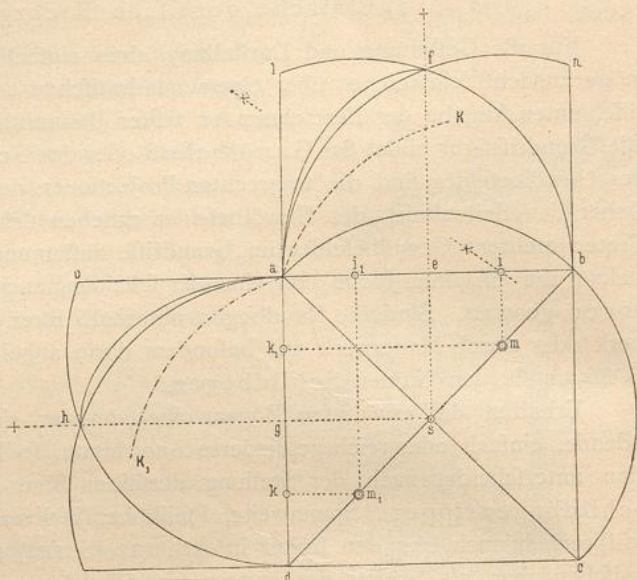
Als Ausgang für die Bestimmung der Form der Randbogen dient der Kreuz- oder Diagonalbogen. Derselbe bedingt in erster Linie die allgemeine Höhenlage des Scheitelpunktes des zu bildenden Kreuzgewölbes. Seine Bogenlinie ist ein Halbkreis oder ein Spitzbogen. Letzterer wird häufig und zweckmäßig als ein 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  
Grundriss.

Ist in Fig. 463 das Quadrat  $abcd$  der Grundriss des Gewölbefeldes und wird ein Diagonalbogen über  $ac$ , bezw.  $bd$  als Halbkreis mit dem Halbmesser  $sa$  gewählt, so ist hierdurch die Scheitelhöhe des Kreuzgewölbes über der wagrechten Kämpferebene gleichfalls in  $sa$  gegeben. Die ihr gleichen Höhen  $ef$ , bezw.  $gh$  sollen für die als Spitzbogen zu konstruierenden 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.

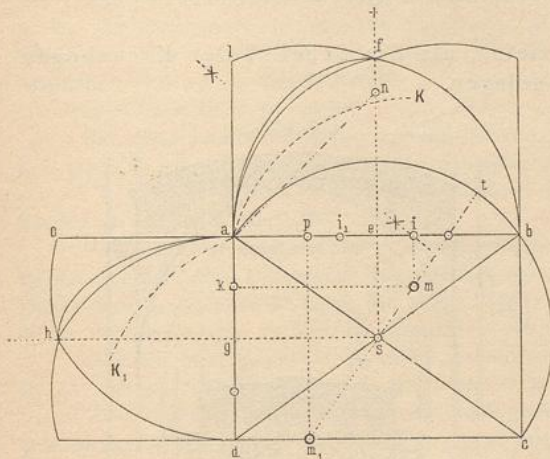
Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Bufung angenommen werden, so daß die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewisser Freiheit aufzustellenden Gesetze zu einer sphäroidischen Fläche auszubilden ist; oder soll unter Umständen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

Fig. 464.



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

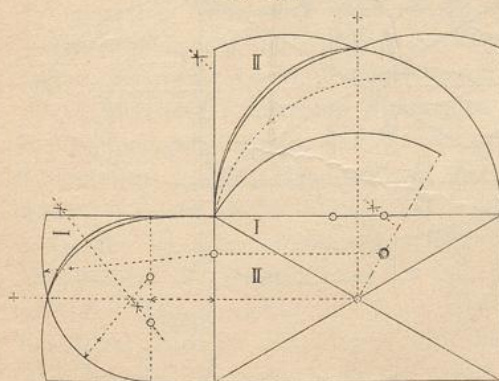
Die Mittelpunkte des Randbogens  $afb$  der langen Seite des Rechteckes werden in  $i$ , bezw.  $i_1$  gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen  $ahd$  liegen in den Endpunkten  $a$ , bezw.  $d$  der kleinen Seite des Rechteckes. Dieser Randbogen umschließt also ein gleichseitiges Dreieck.

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 Spitz-

bogen bedingen. Das hier angegebene Verhältniß der Seitenlängen des Gewölbefeldes kann als ein Grenzmaß in so fern angesehen werden, als bei sehr schmalen, rechteckigen Gewölbefeldern zur Vermeidung eines sehr steilen Spitzbogens der kleinen Rechteckseite oft vortheilhafter ein stumpferer Randbogen, wie in Fig. 465 gewählt werden müßte, welcher zur Erzielung der vorgeschriebenen gleichen Höhenlage seines Scheitels mit den Scheitelpunkten des Kreuzbogens und des Randbogens der langen

Fig. 465.



278.  
Rechteckiger  
Grundrifs.



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.

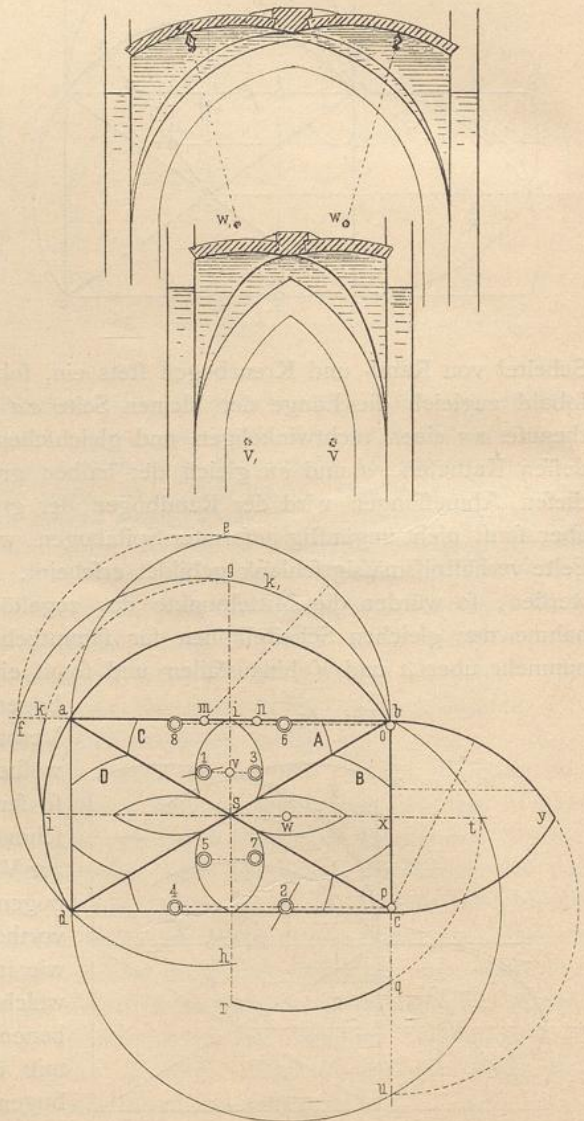
279.  
Rechteckiger  
Grundriß:  
gleiche  
Halbmesser.

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  $\beta$  als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück  $isa$ ,  $\gamma$  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 Gewölbekörpers 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  $\beta$ , in  $D$  aus  $\gamma$  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 Gewölbänfänge 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 Gewölbefeldern die Gestaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmonische Zusammenwirken der einzelnen Bestandtheile verwickelt. 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

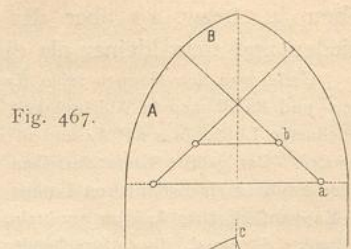


Fig. 467.

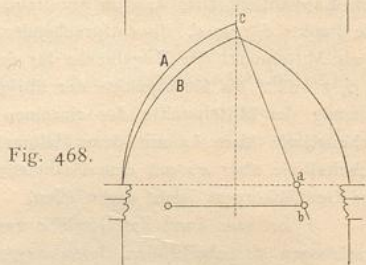
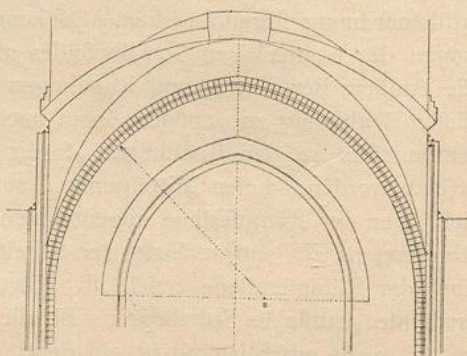


Fig. 468.

Fig. 469.





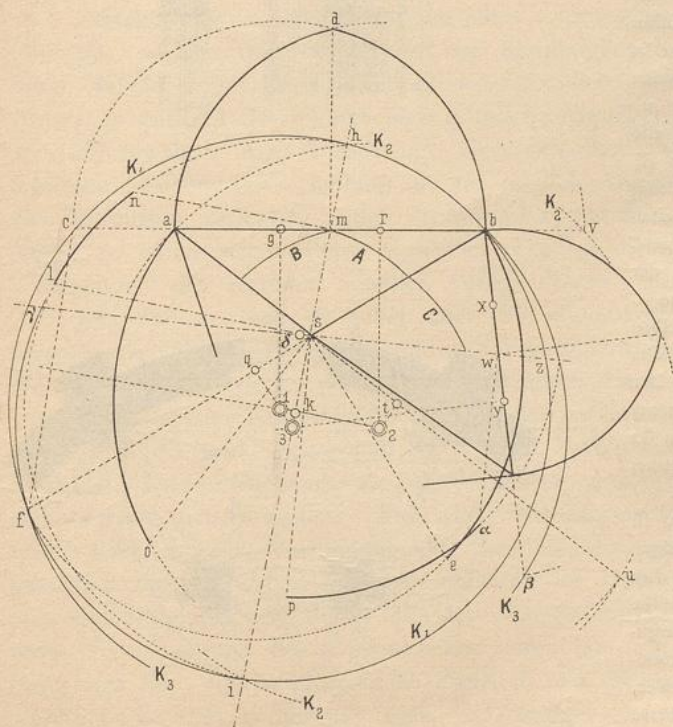
des oberen Abchlusses der in der Schildmauer angelegten grösseren Licht- oder Thüröffnung concentrisch ist. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, so erfährt dieser Bogen eine Stelzung.

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  $\alpha$  und  $\beta$  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.

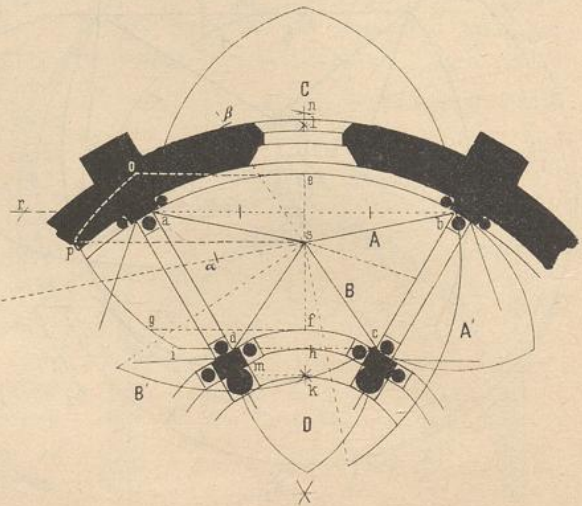
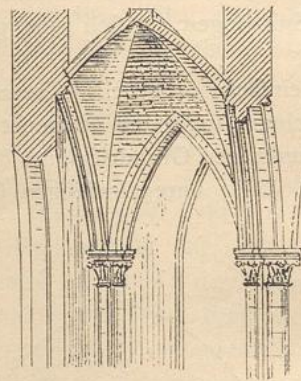


rechteckigen Gewölbefeldern. Das Nähere hierfür soll durch Fig. 470 angegeben werden.

Dieselbe kennzeichnet einen Theil eines unregelmäßigen Gewölbefeldes mit den Ecken  $a, b$  und der Grundrissprojection  $s$  des Gewölbefacheitels. 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  $sm$ , bezw.  $sw$  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 Gewölbefacheitels 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 ersehenden 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  $l$ , bezw. 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  $\delta$ . Der Schnitt  $z$  der erweiterten Geraden  $sw$  mit dem Kreise  $K_3$  liefert mit  $\delta$  in  $\delta z$  den Halbmesser des um  $\delta$  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  $\beta$  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  $\beta$  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.

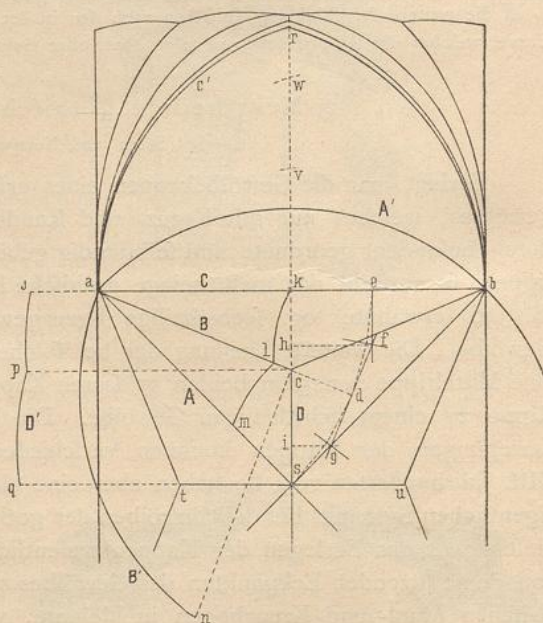
234.  
Einfaches  
Sterngewölbe:  
quadratischer  
Grundriß.

Ist die Grundrißfigur des Gewölbefeldes ein Quadrat, so können alle Bogen der Gewölberippen als Kreisbogen mit gleichem Halbmesser beschrieben werden. Derjenige Bogen, dessen Halbmesser als maßgebend für alle übrigen Bogen angenommen wird, führt den Namen Principalbogen. Meistens wird hierfür ein Bogen, welchem der größte Halbmesser zukommt, gewählt, wie auch sonst die Form dieses Bogens, ob Halbkreis, ob Spitzbogen oder Flachbogen, beschaffen sein mag.

Bei dem quadratischen Gewölbefelde 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.

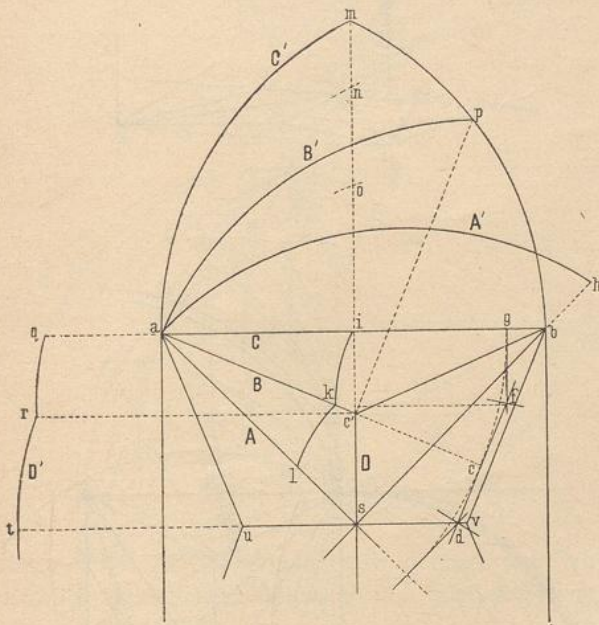




der Zwischenrippe über  $B$  mit dem Halbmesser  $da = sa$  und in  $cn$  die Höhe des Scheitels der Rippen  $ac$  und  $bc$  über der wagrechten Kämpferebene, während in dem Schnitte  $e$  des Kreisbogens  $se$  mit der Seite  $ab$  des Quadrates der Mittelpunkt des Schenkels  $C_1$  des Spitzbogens 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  $1$  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.

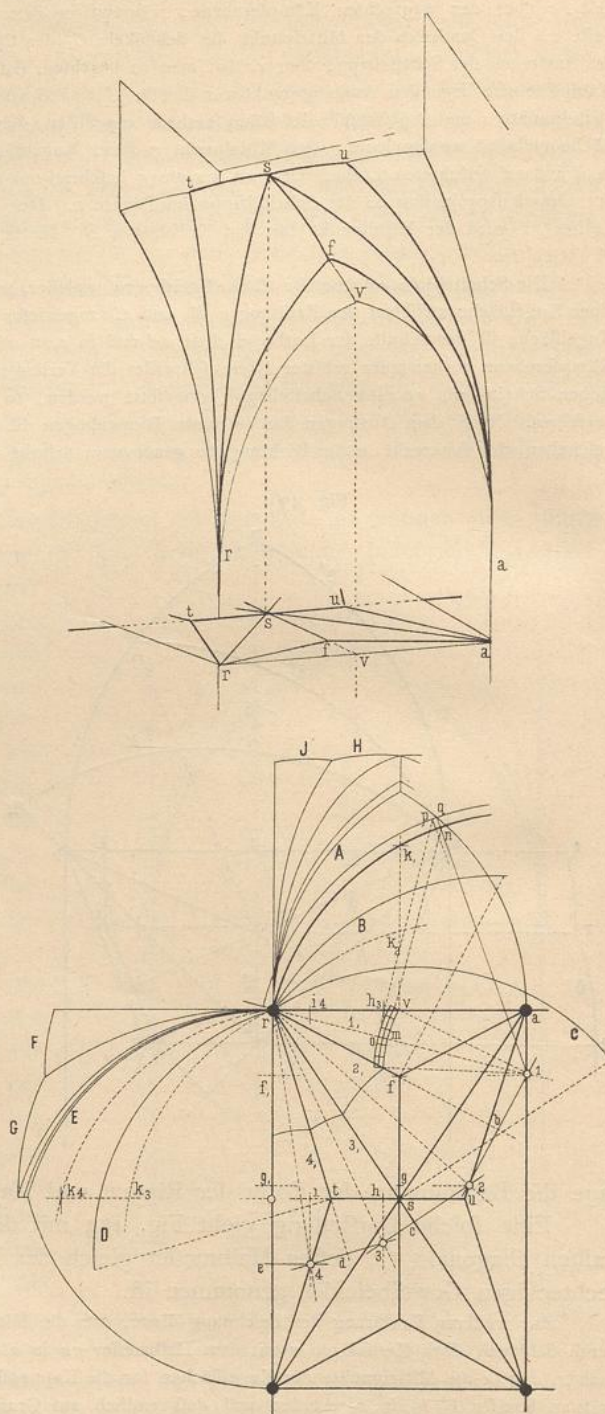


tung  $tu$  gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgestaltung.

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 Bogenfchenkeln  $D$ . Wollte man die Höhe dieses Bogens verringern und etwa gleich  $tq$  nehmen, so ist der mit dem Halbmesser

Fig. 474.

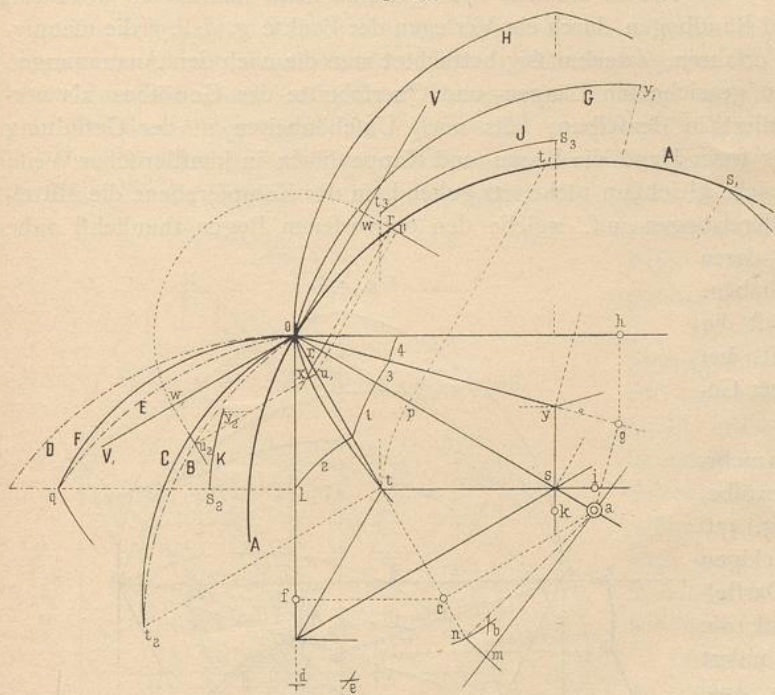




$do = ao$  aus  $o$  und  $q$  bestimmte Kreuzriß  $e$  der Mittelpunkt des Knickbogens  $E$ . Zur Vermeidung dieses Knickbogens, aber zur Erzielung lothrechter Anfätze sämtlicher Bogen in ihren Anfängen und endlich zur Einführung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwischenbogen, welche unter sich in 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 fällt 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  $tp$ , 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.



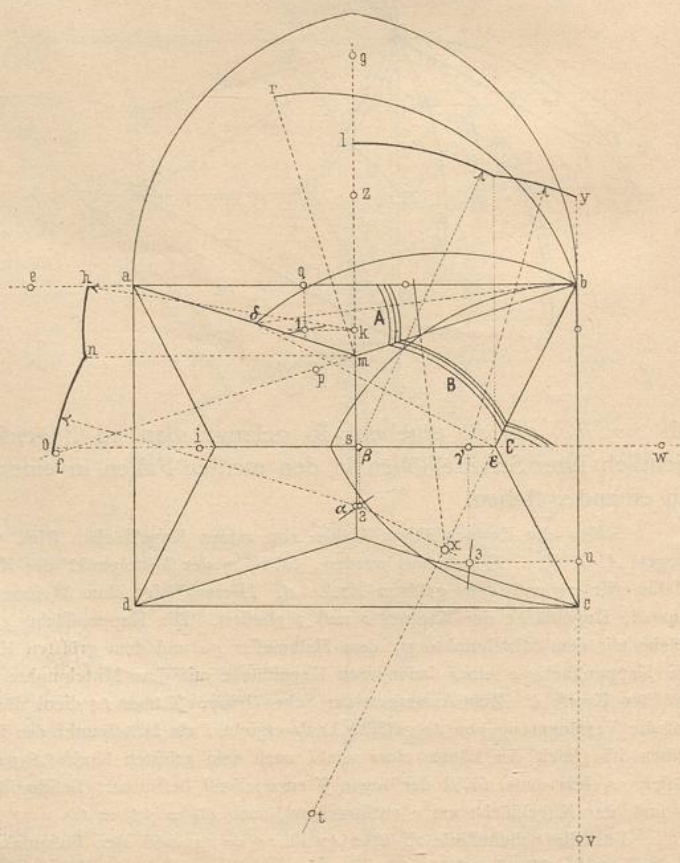
Hätte man unter der Annahme der Höhe  $tt_2 = pt_1$  für den Zwischenbogen über  $ot$  einen Knickbogen mit dem Halbmesser  $ao$  des Principalbogens schlagen wollen, so liefert der aus  $o$  und  $t_2$  mit  $ao = do$  gezeichnete Kreuzrißpunkt  $b$ , welcher um eine Strecke gleich  $mn$  unter der 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 mannigfaltige 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 größter 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.

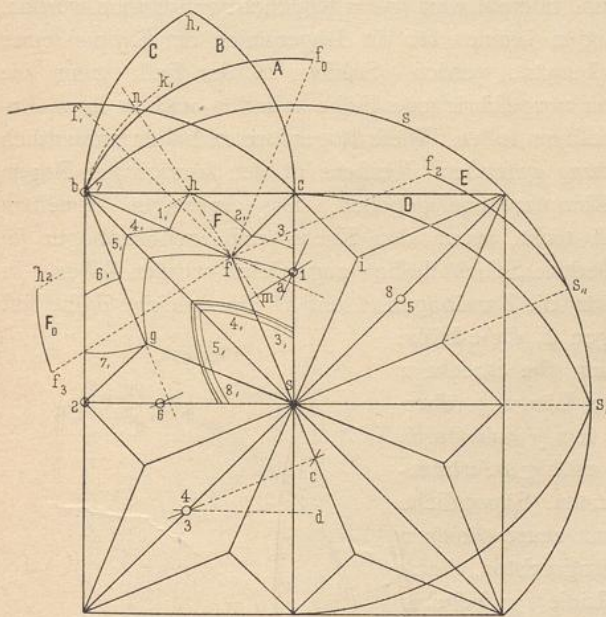
Als Beispiel soll hier ein Sterngewölbe, dessen Grundlage ein achttheiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 477 dienen. Der Grundriss ist ein Quadrat, dessen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, so daß an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entstehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreise sein.

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 Sterngewölbes, 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 Sterngewölbes 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  $fg$  beliebig genommenen 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.

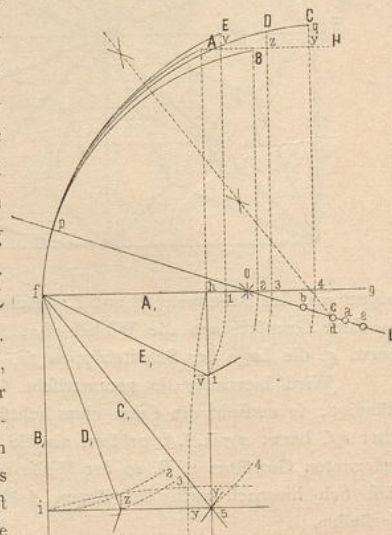
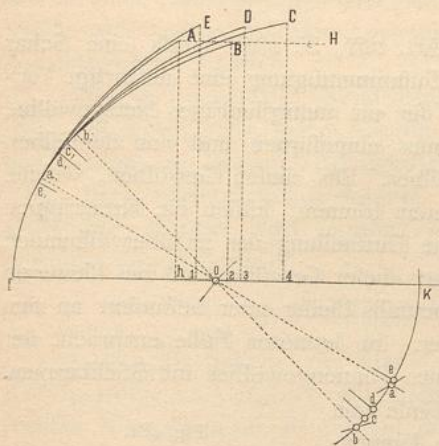




Fig. 479.



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

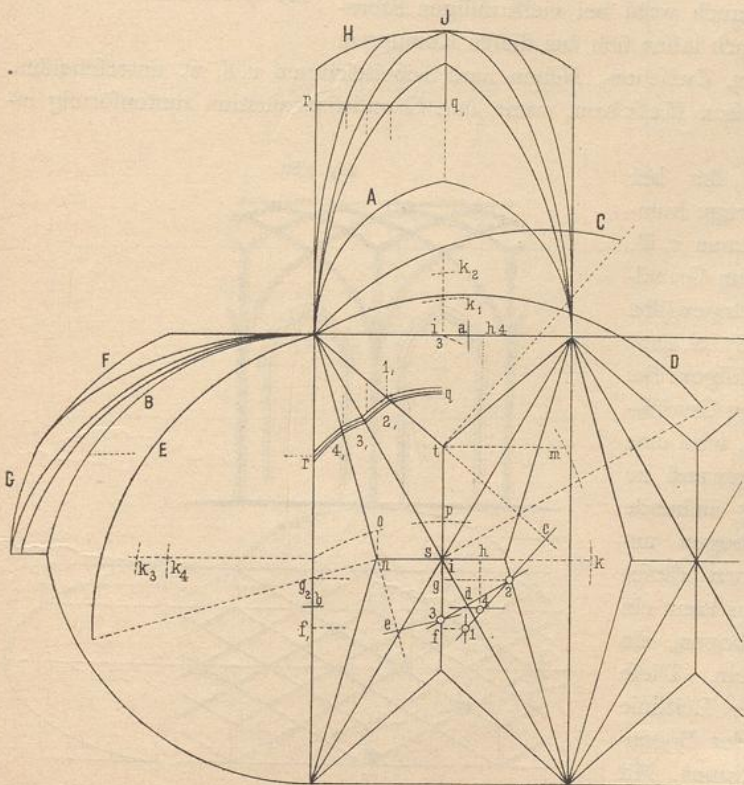
Bei dieser Bildung der Korbbogen sind im Allgemeinen die oberen Bogenstücke mit verschiedenen Halbmessern versehen, während alle Ansätze neben gleichen Halbmessern auch gleiche Bogenlängen aufweisen.

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 Gewölbjoche (Fig. 480) mit Sterngewölben versehen,



so erfolgt die Gestaltung derselben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weise.

289.  
Mehrgliedriges  
Netzgewölbe.

Wird ein einfaches Netzgewölbe (siehe Art. 286, S. 416) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zusammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, so entsteht das 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 Tonnengewölbfäche 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 Grundrissprojection rautenförmig erscheint.

Das Austragen der bei diesen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 481 im Grundriss dargestellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 287 (S. 417) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem lang gestreckten 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.

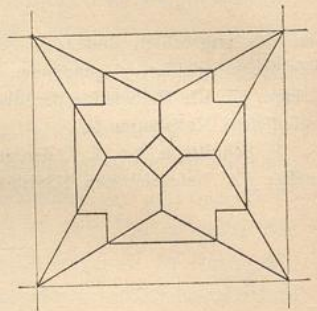
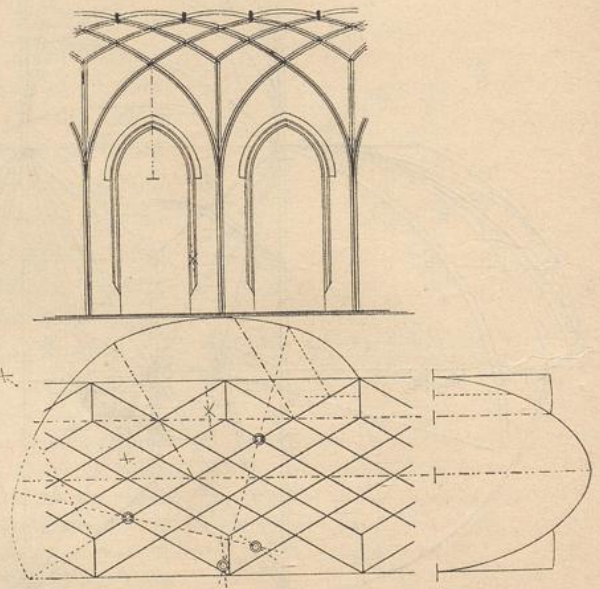


Fig. 482.









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

Hierdurch sind bereits die sämmtlichen Bogen des Rippenwerkes bestimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, so sind die Mittelpunkte derselben in der Grundebene 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-, bezw. Sterngewölbe eine geringe Constructionshöhe erfordern, so ist ihre Verwendung im Bauwesen in manchen Fällen vortheilhaft. Sie liefern eine ansprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausstattung fähig ist.

#### 4) Steigende gothische Kreuzgewölbe.

291.  
Gestaltung.

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

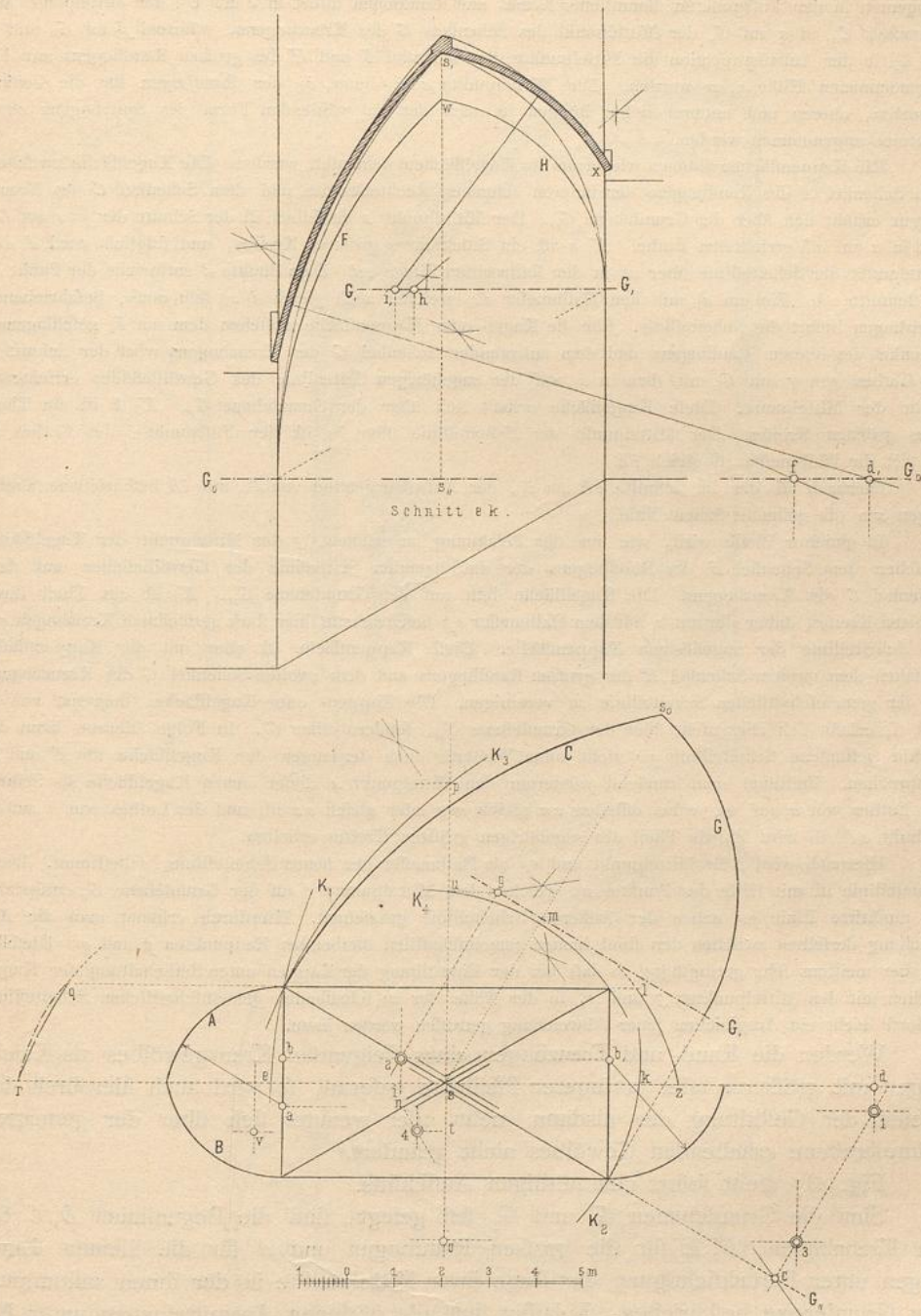
Die Kreuzbogen bestehen bei spitzbogigen Wölblinien im Allgemeinen aus zwei mit verschiedenen Halbmessern beschriebenen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in zwei über einander liegenden wagrechten Grundebenen anzunehmen sind. Der Abstand dieser Grundebenen entspricht bei Spitzbogen, deren Tangenten an den Kämpferpunkten lothrecht sind, stets der Höhe der geneigten Kämpferebene. Dieser Abstand wird auch passend für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der ansteigenden Seitenlinie dieser Ebene sind gleichfalls bei Spitzbogenform aus Kreisbogenstücken zusammengesetzt, welche wiederum mit 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, bezw. oberen Grundebene.

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



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 Aufrissprojection 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  $si$  auf  $ek$ ; ihr Halbmesser ist gleich  $ik$ .

Hiernach ist der im Schnitte  $ek$  um  $i_1$ , der Aufrissprojection 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.

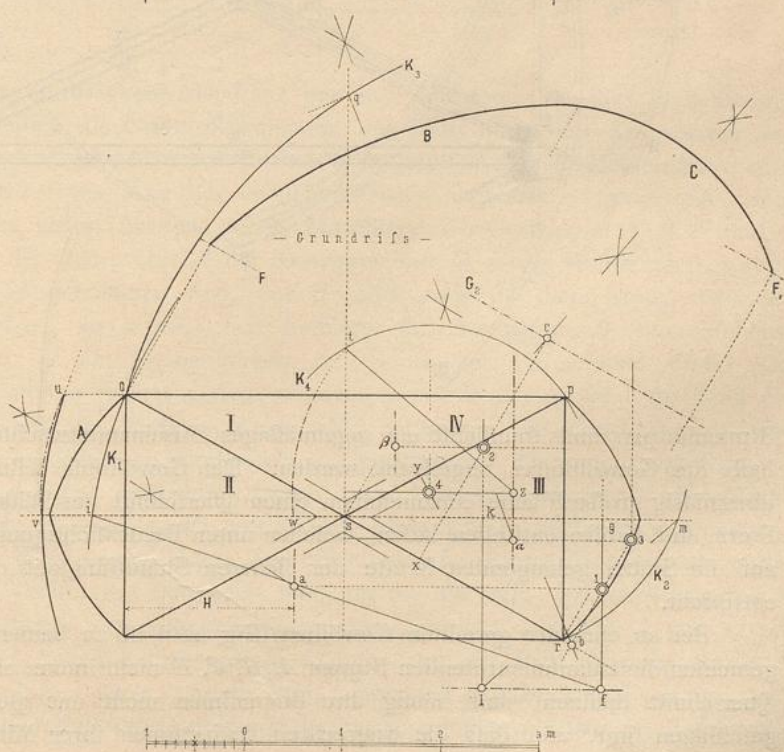
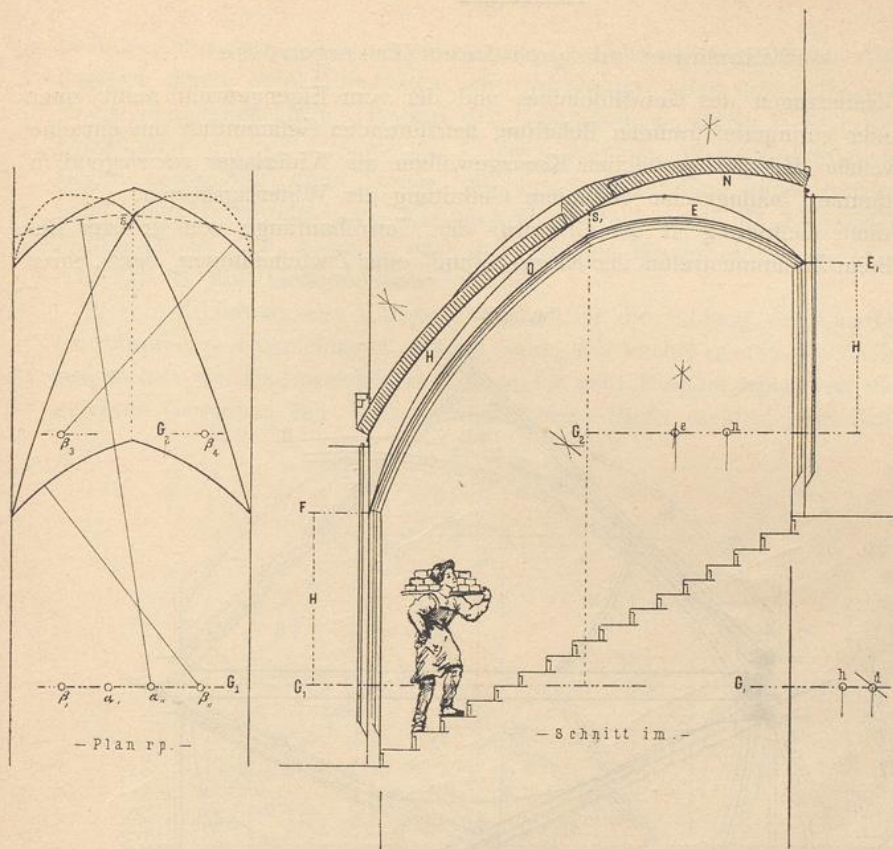
Fig. 485 gibt sofort den nöthigen Aufschluß.

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 Ausmittelungen 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.





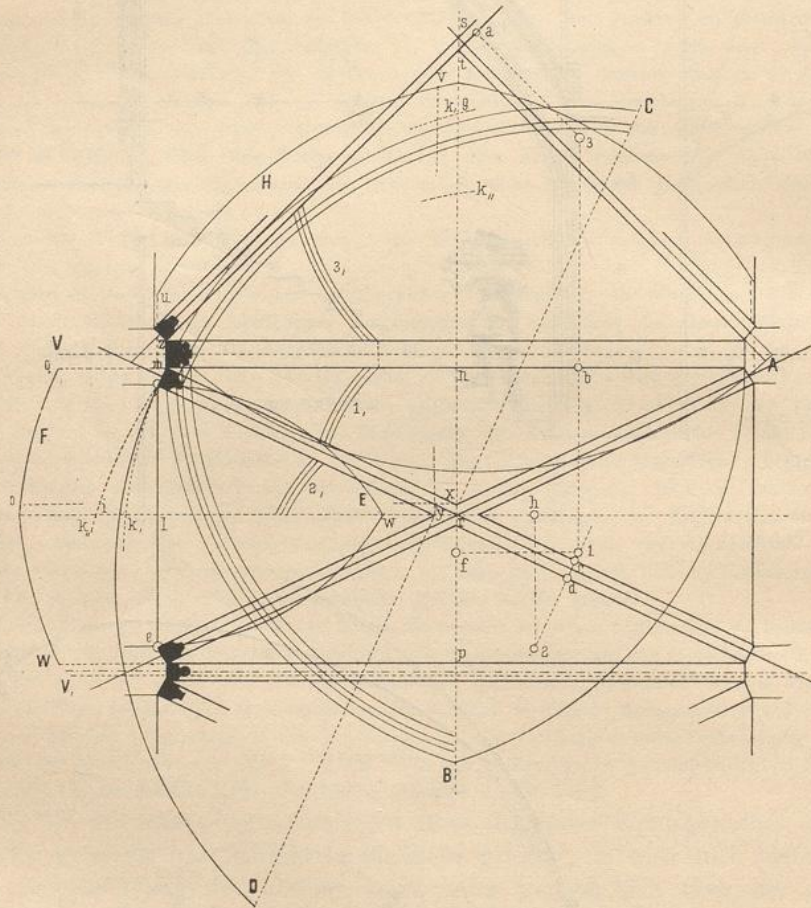
## 5) Widerlager der gothischen Kreuzgewölbe.

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 übermächtig 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

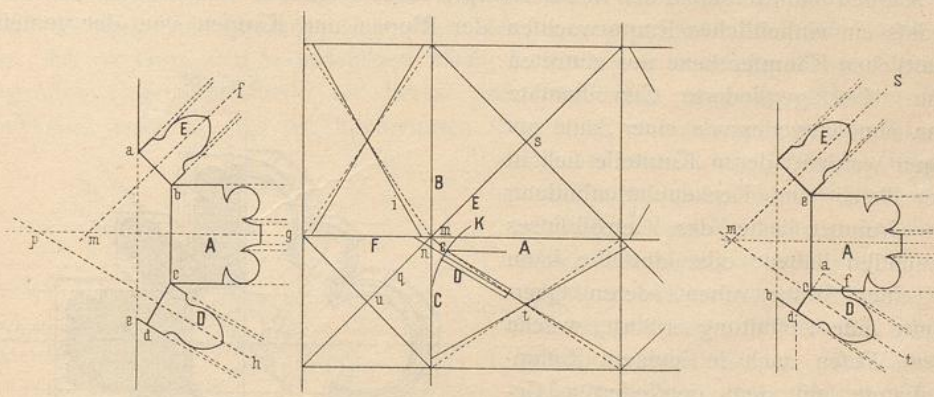


beim Zusammentreten von verschiedenartig im Grundrifs angeordneten Gewölbefeldern ungleich große Winkel zwischen sich einschließen oder sich auch nicht einmal in einem gemeinschaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diese Umstände beeinflussen die Entwicklung des Querschnittes der Widerlagskörper 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 Gewölbepfeilers 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 unschönes Einschneiden bei  $af$  am Rippenkörper  $A$ . Sollte zur Vermeidung dieses Einschneidens der Punkt  $a$  nach  $f$  verlegt werden, so würde der große Uebelstand des weiteren Vorrückens des Punktes  $d$  von der Seitenlinie des Gurtbogens  $C$  sich geltend machen, so daß 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, daß  $a$  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



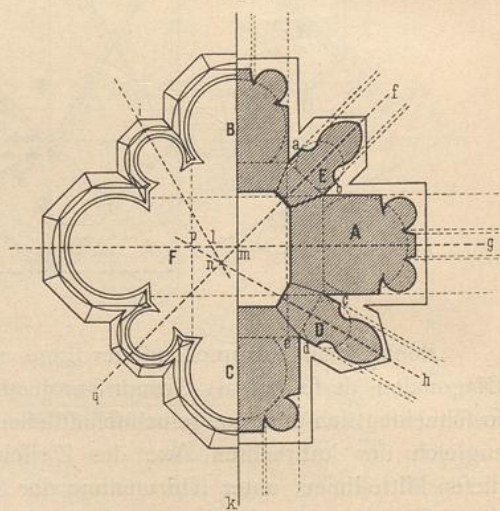
Mittellinie für die Rippe *D*. Benutzt man dieselbe nunmehr als *ph*, parallel zu *nt*, beim Austragen der Fußflächen *A*, *E*, *D* der zugehörigen Rippen, so lassen sich diese Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenfeitiges Einschneiden entwickeln. Allerdings 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 Kräftepaares durch eine in geeigneter Weise ausgeführte Ausmauerung der Gewölbzwickel thunlichst aufgehoben werden kann, wird bei der Stabilitäts-Untersuchung der Pfeiler näher angegeben werden.

Bei der hier getroffenen Anordnung der zusammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten *a*, *b*, *c*, *d* u. 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. Fußung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienst wiederum eine besondere Basis angeordnet ist. Meistens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienste mit

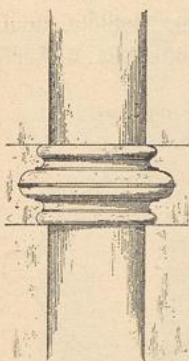
Fig. 488.



294.  
Eckige Pfeiler  
mit  
Diensten.



Fig. 489.



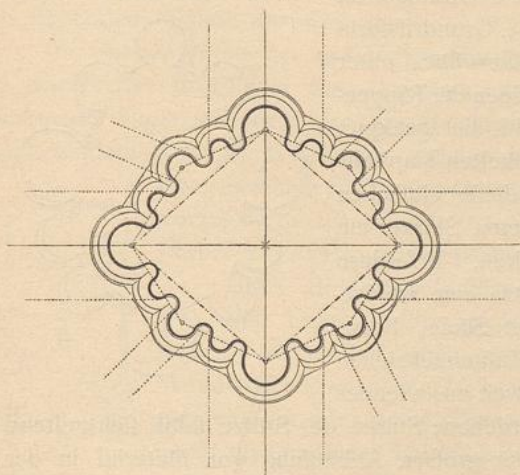
größeren Durchmesser als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienfte heißen alte, die schwächeren dagegen junge Dienfte.

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 schmaleren 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.

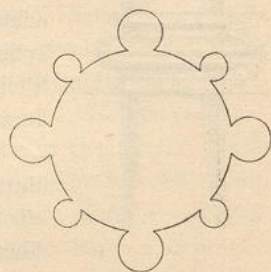


Fig. 492.

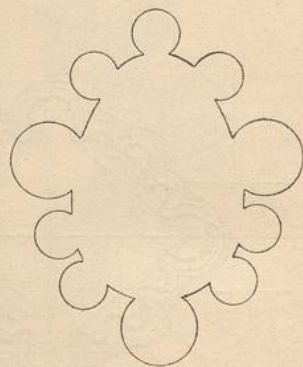
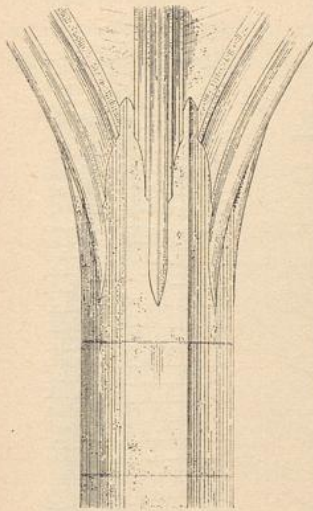




Fig. 493.



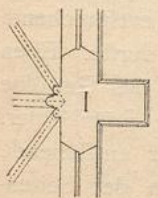
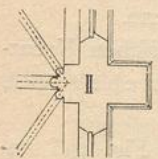
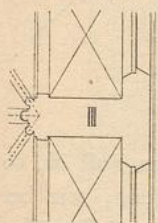
Weise für eine lebendige Verwebung des Bogenanfatzes mit dem Stützkörper gefügt wird.

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 ungegliederten 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.  
Strebepeiler.



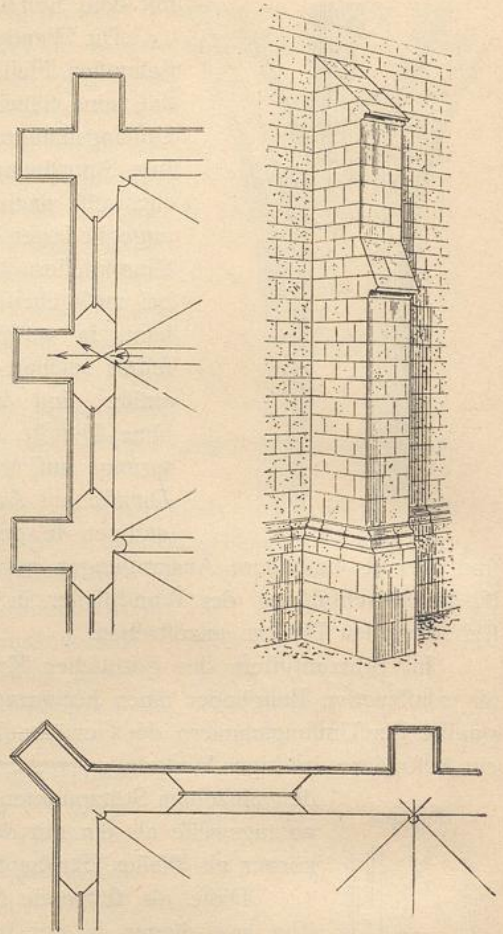
antheilen des Mauerwerkes dieser Widerlagskörper ermitteln läßt. Im Allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Abfätze verbreiterte Aufrifsform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektonische Behandlung im Einklange mit den statischen Anforderungen in mannigfacher Art 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 gothischen 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 gothischen Kreuzgewölben als wichtiges Strebesystem eingeführte Vereinigung von Strebebogen oder Schwibbogen mit den Strebepfeilern.

Der Aufbau der gewölbten gothischen Basilika forderte, wie in Fig. 496 angegeben, eine sichere Abstützung des vom Schube des Gewölbes *A* des Mittelschiffes beanspruchten Pfeilers *C*, 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 Gewölbesystem der Seitenschiffe besondere Stützkörper. Das unter zweckmäßiger Vergrößerung der Stärke dieser Stützkörper entstehende Widerlager gestattete das Einfügen eines frei über das Gewölbesystem der Seiten-

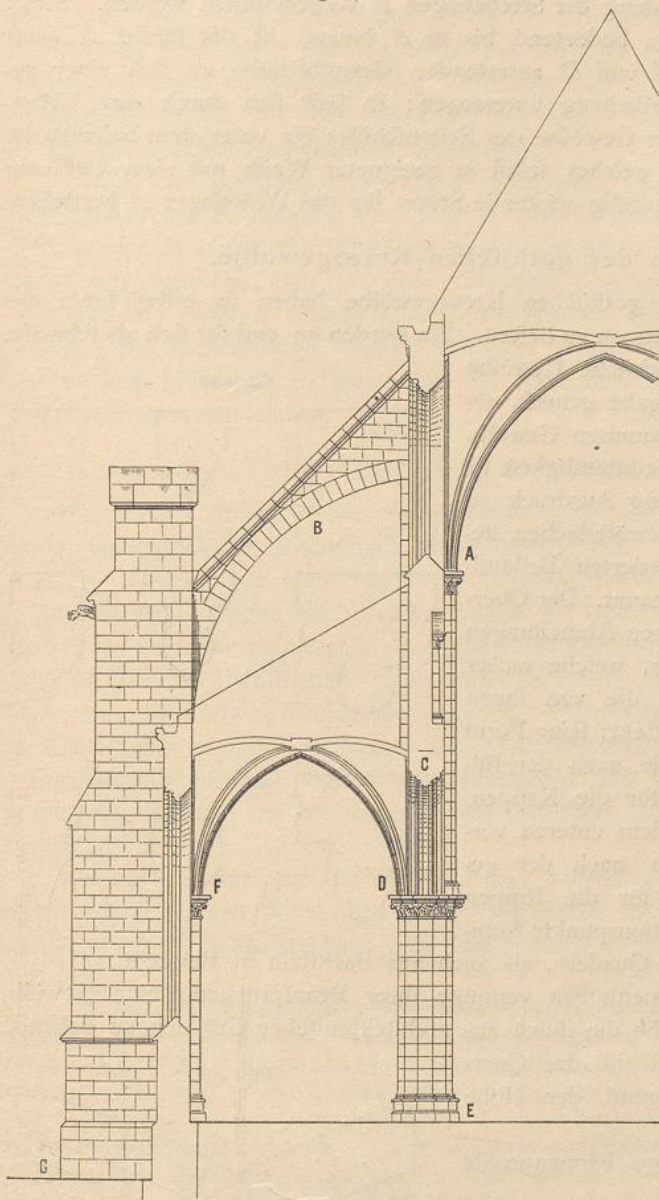
Fig. 495.





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 Stützengedilbe der gothifchen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einschlägigen Bauwerke der Gothik sich ergibt, eine architektonifche Entwicklung des Grundriffes, fo wie des Aufbaues im Inneren und Aeußeren, welche die Schranken, die sich bei der Anlage der fonft bekannten Gewölbe einftellten, zu beseitigen vermochte. Nicht zu verkennen ift, dafs in Folge dieses Conftmctionsmittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr

Strebebogen, welche fich gegen gemeinschaftliche Strebepfeiler fetzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachtheilige Veränderungen zu fchützen, mit einem fo erheblichen Aufwande von Baukörpern erreicht ift, dafs 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 feitlich 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 Constructions punkte 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.

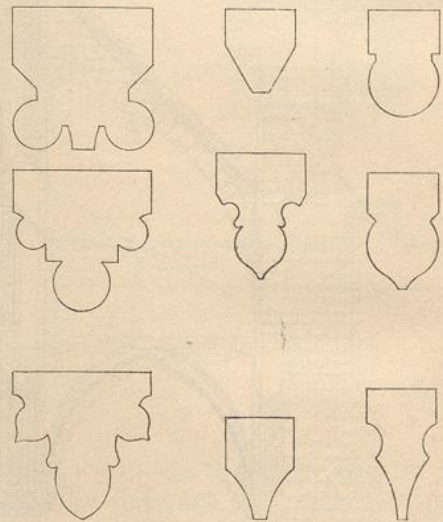
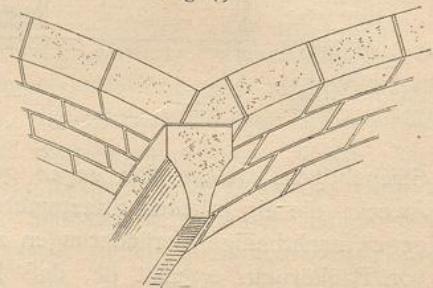


Fig. 498.





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 Stofsflächen entsprechend der Gestaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der sich in Rücksicht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältnisse.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backstein-, Quader- oder geeignetes Bruchsteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; läßt man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, daß bei den gothischen Kreuzgewölben weniger cylindrische Wölbflächen, sondern vorzugsweise Gewölbkappen mit 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 Lagerflächen der Wölbflächen sind alsdann Kegelflächen, deren gemeinschaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe ist, während die Stofsflächen derselben in Meridianebenen dieser Kugel liegen.

In Fig. 499 sind die Fußflächen  $q$  und  $r$  der Kreuzrippen und der Fuß  $v$  der Scheiderippe, deren Axen hier unter ungleichen Winkeln und in verschiedenen Punkten in der 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-

301.  
Kappen.

302.  
Erste  
Anordnung  
der  
Wölbflächen.



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.

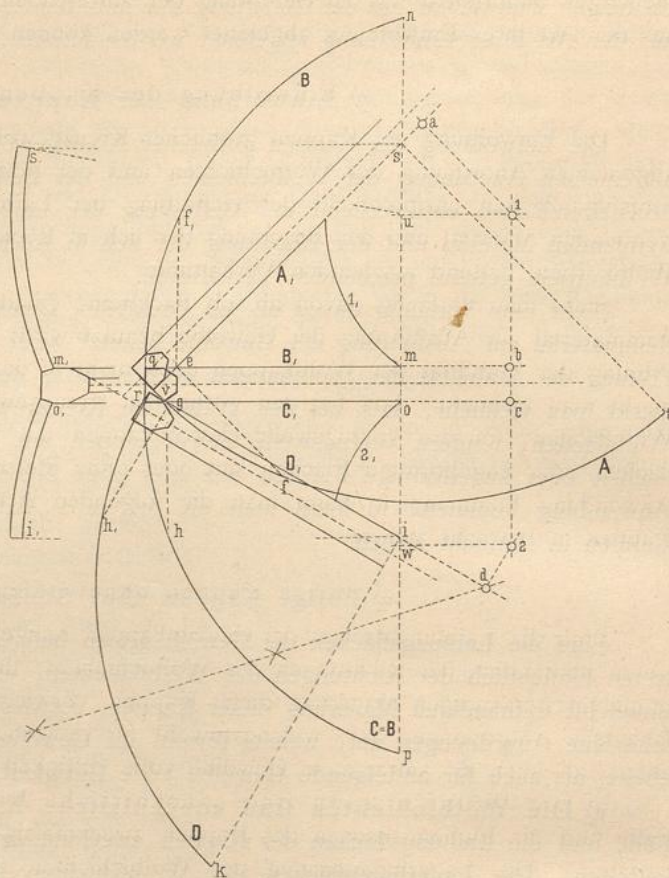
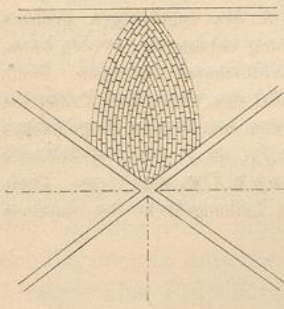




Fig. 500.

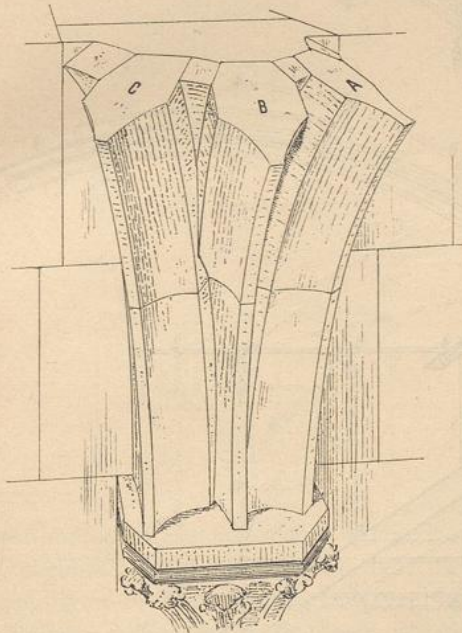


Bei der Anordnung der Wölbung nach concentrischen Ringschichten tritt über der Scheitellinie ein Zusammenschneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenschwanz-Verbandes ein. Die Größe der Halbmesser der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derselben beeinflusst das Zusammenfügen 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 Wölb-schichten am Fusse der Kappen zu vermeiden, sind die Anfätze der Kappen zweckmässig 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 Wölb-schichten 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 Wölb-schichten sind in ihrer wagrechten Projection parallel mit der Grundriss-Projection der Scheitellinie der Kappe. Bei dieser Anordnung entstehen streng genommen Wölb-scharen, 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 Unterschalung mit keinen besonderen Umständen verknüpft.

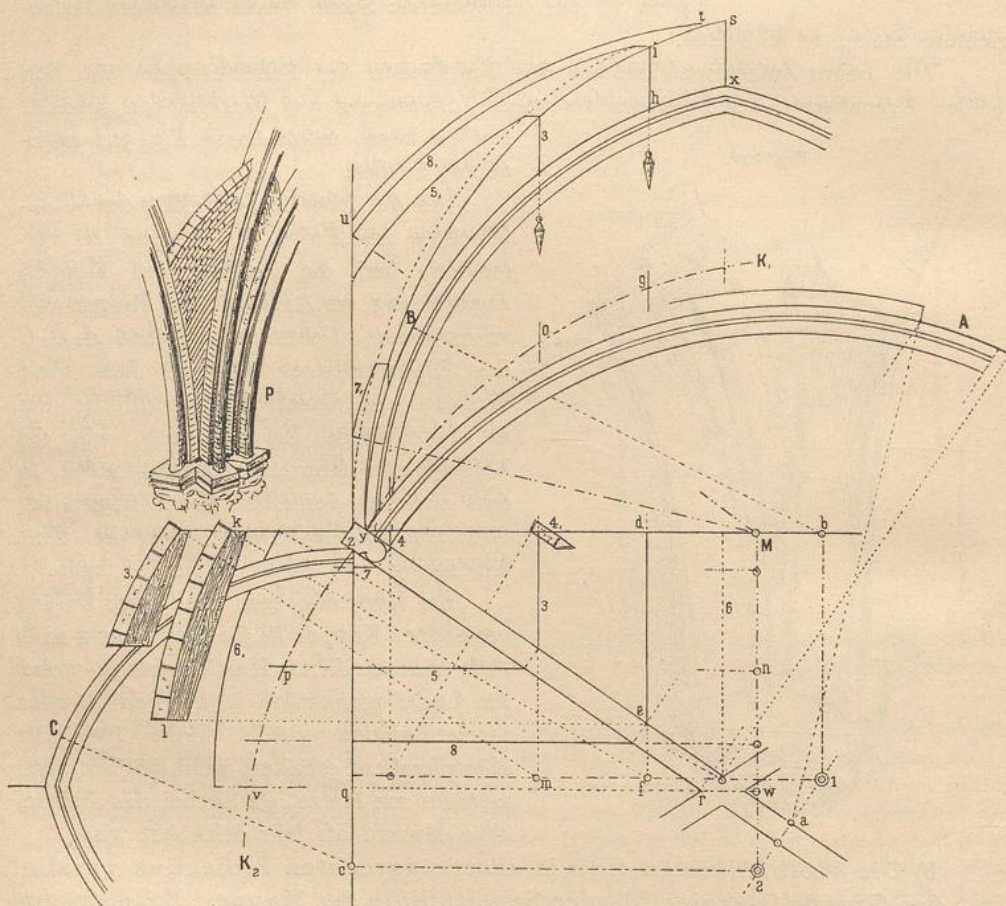
Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rücksichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölb-schichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerthen Einfluss auf die Gestaltung der Lager- und Stos-fugenflächen der Wölbsteine.

303.  
Zweite  
Anordnung  
der  
Wölb-schichten.



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.



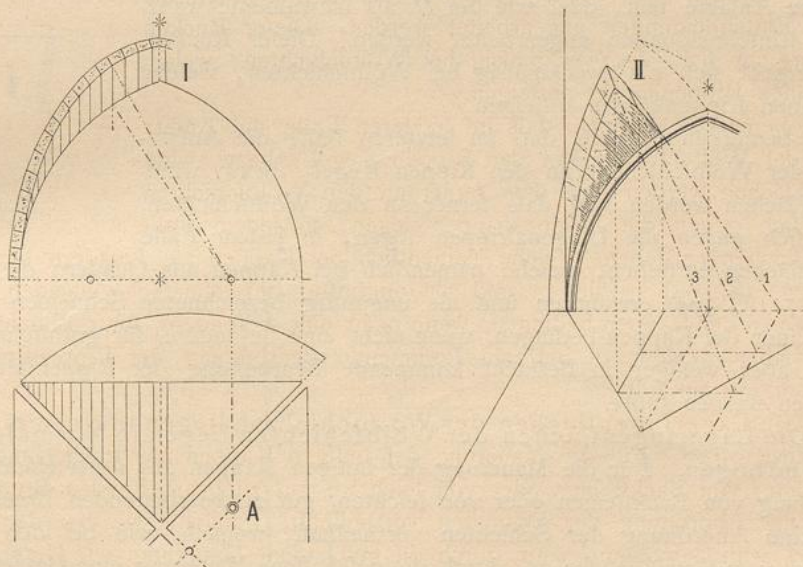
Vermöge der verhältnißmäßig geringen Breite der Wölbcharen können dieselben in Rücksicht auf die Richtung ihrer Stofsflächen als schmale cylindrische Gewölbstreifen angesehen werden, so daß die Stofsflächen nicht als Kegelflächen, welche für alle Wölbcharen die gemeinschaftliche Spitze im zugehörigen 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 Wölbflächen möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbstreifen auch zur Unterfützung derselben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 502 bei  $kl$  und  $z_1$  angedeutet ist, einfache und leichte, senkrecht unter die Wölbflächen ab und zu aufzustellende Wölbflächen, 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 Wölbflächen 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 Rückenansatz ergibt sich als zweckmäßig bei Wölbflächen, welche gegen einen Rippenkörper ansteigen.

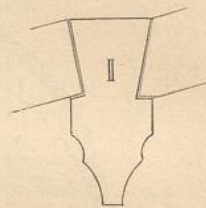
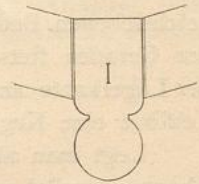
Zu bemerken ist noch, daß im letzteren Falle die Ansatzflächen der Wölbflächen an den Rippen Kegel-, bezw. windchiefe Flächen werden und daß ferner an den Wölbflächen, welche sich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmieglflächen entstehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits 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 Lagerflächen der Wölbflächen 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 Stosflächen an sämtlichen Wölbflächen im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit sehr erwünscht. Diese Gründe geben Veranlassung, die Wölbflächen 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 Wölbflächen, geregelt durch Normalebene zum Gratbogen, hingewiesen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben sich auch bei den Wölbflächen der Kappen gothischer Kreuzgewölbe mit Bufung.

Liegen die Lagerflächen der Wölbflächen 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.



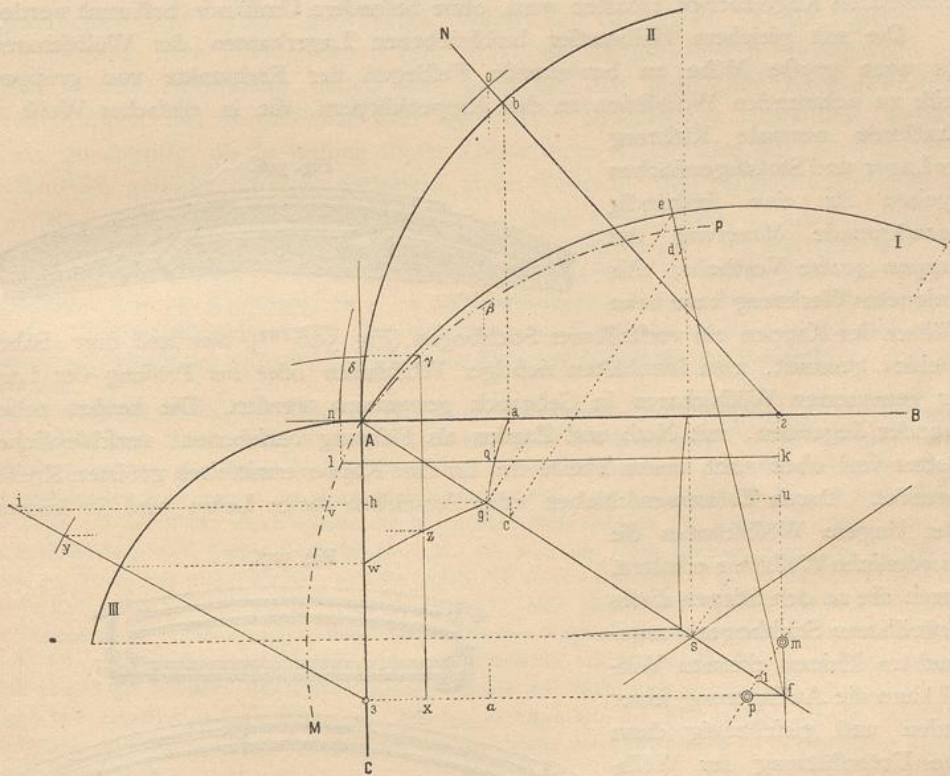
304.  
Dritte  
Anordnung  
der  
Wölbflächen.



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 verwerthet.

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 Wöblinien, also die Lagerkanten der Wölbcharen der Kappen, sind stets Bestandtheile der größten Kreife 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 Kreifes  $M$  und für die antretende Lagerkante  $gw$  in dem von den Parallelen  $zA$  und  $az$ , bezw.  $az$  begrenzten Stücke  $A\beta$  des zugehörigen größten Kreifes  $P$  dargestellt.

Mit Hilfe dieser einfachen Beziehungen können die Ansatzflächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Eintheilung der Wölbcharen an den Randbogen vorgenommen ist, unter Berücksichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsflächen der einzelnen Wölbcharen, 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 Wölbcharen, das ohne große Mühe zu bewirkende Festlegen der Endpunkte von gruppenweise zu nehmenden Wöblinien 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. 506<sup>181</sup>), hier und dort »Säbelscheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wöblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbcharen 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 Kreifes gerundet. Durch Zusammenschieben oder Ausziehen dieser Lehre wird für kürzere oder längere Wölbcharen die erforderliche Wöblinie erhalten.

Durch die an den Stirnen dieses verstellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eisernen Winkel kann die Auflagerung seiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterstützung der Wölbcharen durch diese Wöbllehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden diese verstellbaren Stichbogen nach Fig. 507<sup>182</sup>) auch aus Schmiedeeisen angefertigt.

Bei der beschriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen ein Zusammenschnitt der Wölbcharen 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.

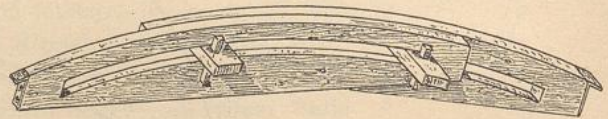
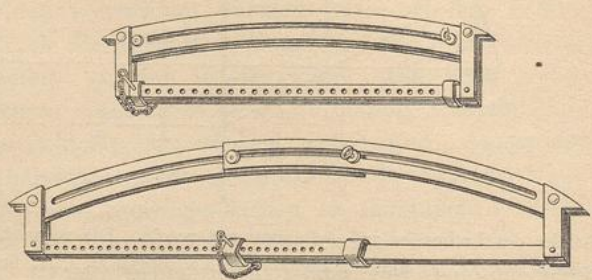


Fig. 507.



<sup>181</sup>) Siehe: VIOLET-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française etc.* Band 4. Paris 1861. S. 106.  
<sup>182</sup>) 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.

b) 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 Bufung dieser Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen gefetzmaßig gebildeten Fläche entspricht, in der Regel die weit gehendste Anwendung.

305-  
Vierte  
Anordnung  
der  
Wölbfschichten.

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

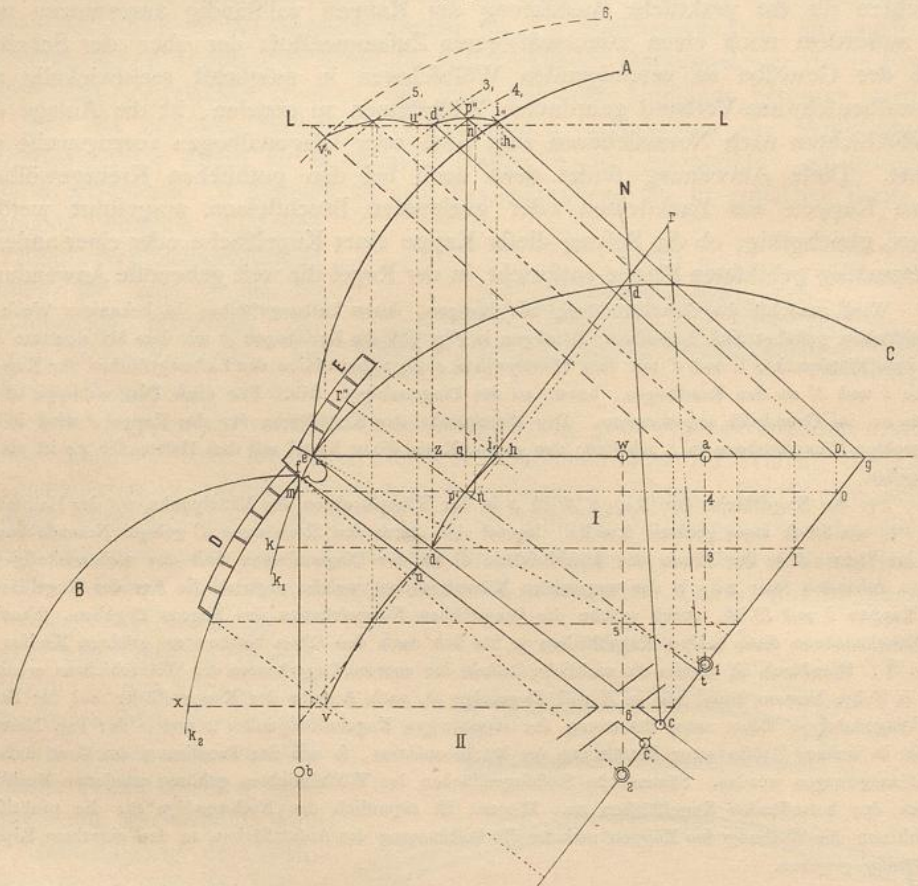


Kappe II angeben zu können. Namentlich ist das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anschlusspunkten auf die Randbogen für eine regelmäßige Gestaltung der Kappenwölbung von Vortheil.

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.

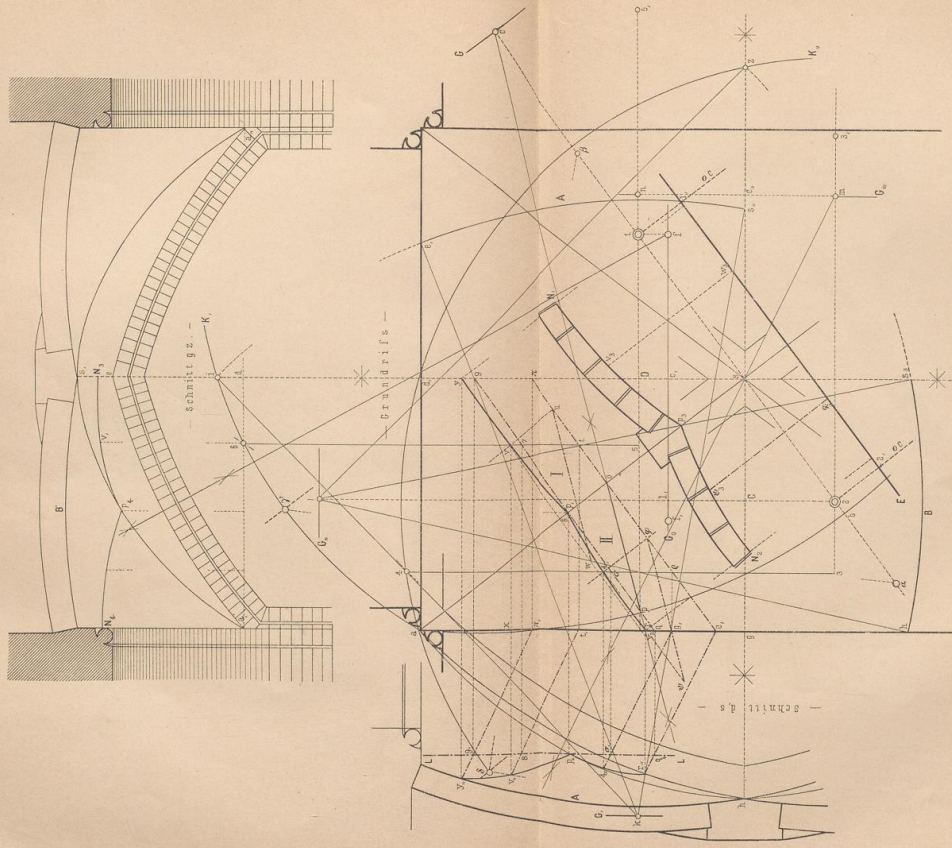


dieser Geraden in der lothrechten Ebene des Bogens  $A$  ist parallel zu  $ea$  im Abstände  $eL = d_1d$  zu führen, während die Grundriffs-Projection  $hd_1u$  derselben parallel zur wagrechten Spur  $g_2$  der Normalebene  $N$  zieht. Die zu  $h$  gehörige lothrechte Projection  $h_{11}$  auf der Geraden  $LL$  liefert in Verbindung mit dem Punkte  $g$  die Spur  $gh_{11}$  der Normalebene  $N$  in der Ebene des Bogens  $A$ . Die Verlängerung dieser Spur  $gh_{11}$  bis zum Bogen  $A$  liefert den Schnitt  $i_{11}$  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  $n_{11}$  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  $n_{11}o_1$  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  $\alpha_1$  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  $\delta_1$  um  $w$  mit dem Halbmesser  $\delta x$  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 Benützung 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  $a$ , zusammenstretenden 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  $1$ . 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  $1$  geführt gedachte lothrechte Kugelaxe ergibt im Durchstoßpunkte  $1$  mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines dieser Kugelfläche angehörenden Parallelkreises  $K_1$ , dessen Halbmesser nun als  $1a$  bestimmt ist. Um die Größe des Halbmessers der Kugel zu finden, ist nur durch  $1$  eine Parallele  $1\gamma$  zu  $as$  bis zum Schnitte mit  $K_1$  in  $\gamma$  zu ziehen, auf dem Lothe  $ca$  zu  $as$ , bzw. zu  $1\gamma$  die Strecke  $1\alpha = sc$  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  $1$  das Loth  $1k$  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  $K_1$  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  $K_2$ , 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  $\delta$  mit dem Parallelkreise  $K_2$ , 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  $K_2$ , bestimmt die Länge des Halbmessers  $lz$  der Scheitellinie  $B$ . Als Probe der Richtigkeit dieses Bogens muß jetzt  $s_2s_2 = sb$  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  $1$ , 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  $\pi o$ , 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  $5\delta$ , so wird die durch  $qg$  und  $\pi o$ , gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projectionen  $17$  und  $t,8$  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  $s, b$  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  $s, b$  einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade  $t, s$  des Schnittes  $d, s$  im Punkte  $v_{II}$  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  $xv_{II}$  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  $K_{II}$  in Betracht. So ist z. B. für das Festlegen des Punktes  $4_{II}$  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  $4_{II}$  trifft. Hiernach ergibt sich  $4$ , 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  $4_{II}$  über  $ag$  ist. Nach diesen Angaben können beliebig viele Punkte der Wöblinien eines Normalschnittes  $p c$  bestimmt werden.

Für die Ausführung der Gewölbekappen aus Quadern wird zur Herstellung eines ordnungsmäßigen, in gutem Verbande stehenden Fugenschnittes der Wölbsteine 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 Kreifes. 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 Kreifes) 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

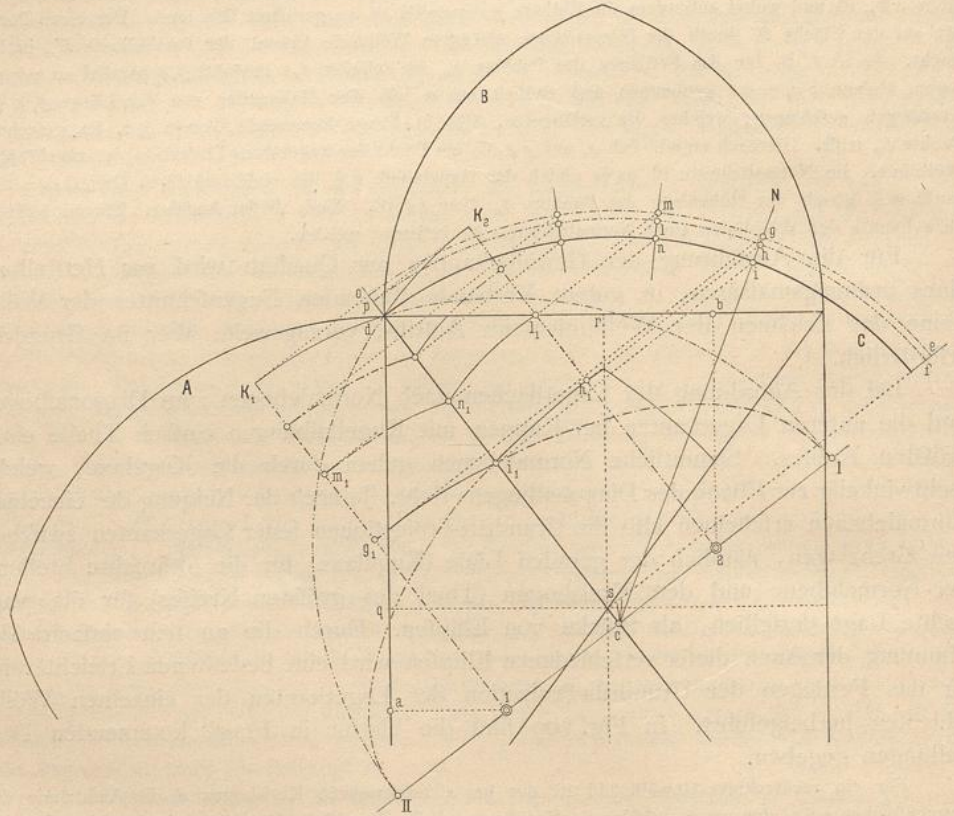
306.  
Wölbung  
aus  
Quadern.



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 Stofsflächen 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.







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  $b_1f$  entspricht. Oberhalb dieser Wagrechten  $b_1f$  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  $b_1s_1c$  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.





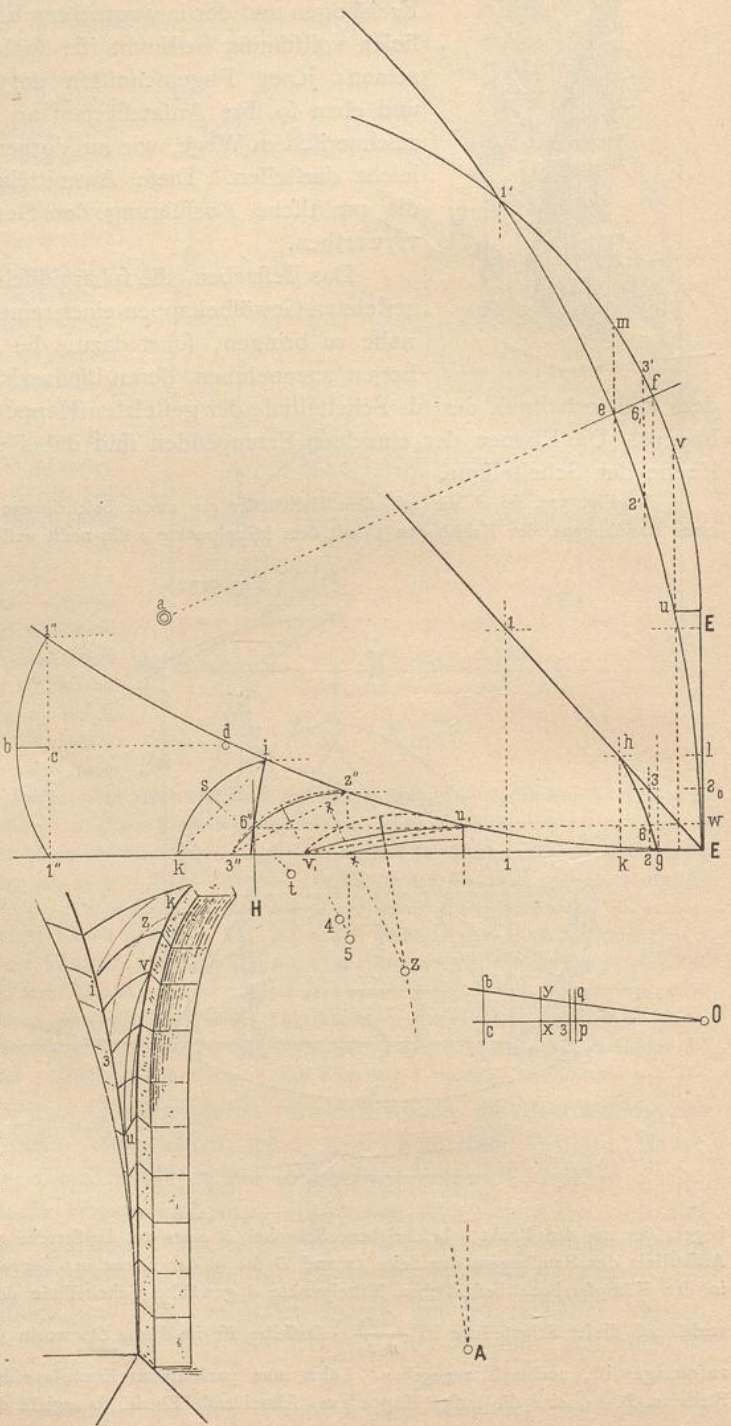






den Punkt  $h_1$ , auf der Projection  $C$ , der Ansatzlinie  $C$  den Punkt  $i_1$ . Trägt man auf den in  $h$  und  $i$  zu  $hi$  errichteten Lothen die Strecken  $hh_1 = h'h$ , und  $ii_1 = h'i$ , ab, so läßt sich die Gerade  $h_1i_1$  als Sehne eines Kreisbogens ansehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältniße behaftet, eine Erzeugende der sphäroidischen Kappe bildet. Das Pfeilverhältniß soll proportional dem Pfeilverhältniß 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, punktiert eingetragene Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in  $z$  zu bestimmen war, schneidet 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  $k i$ .

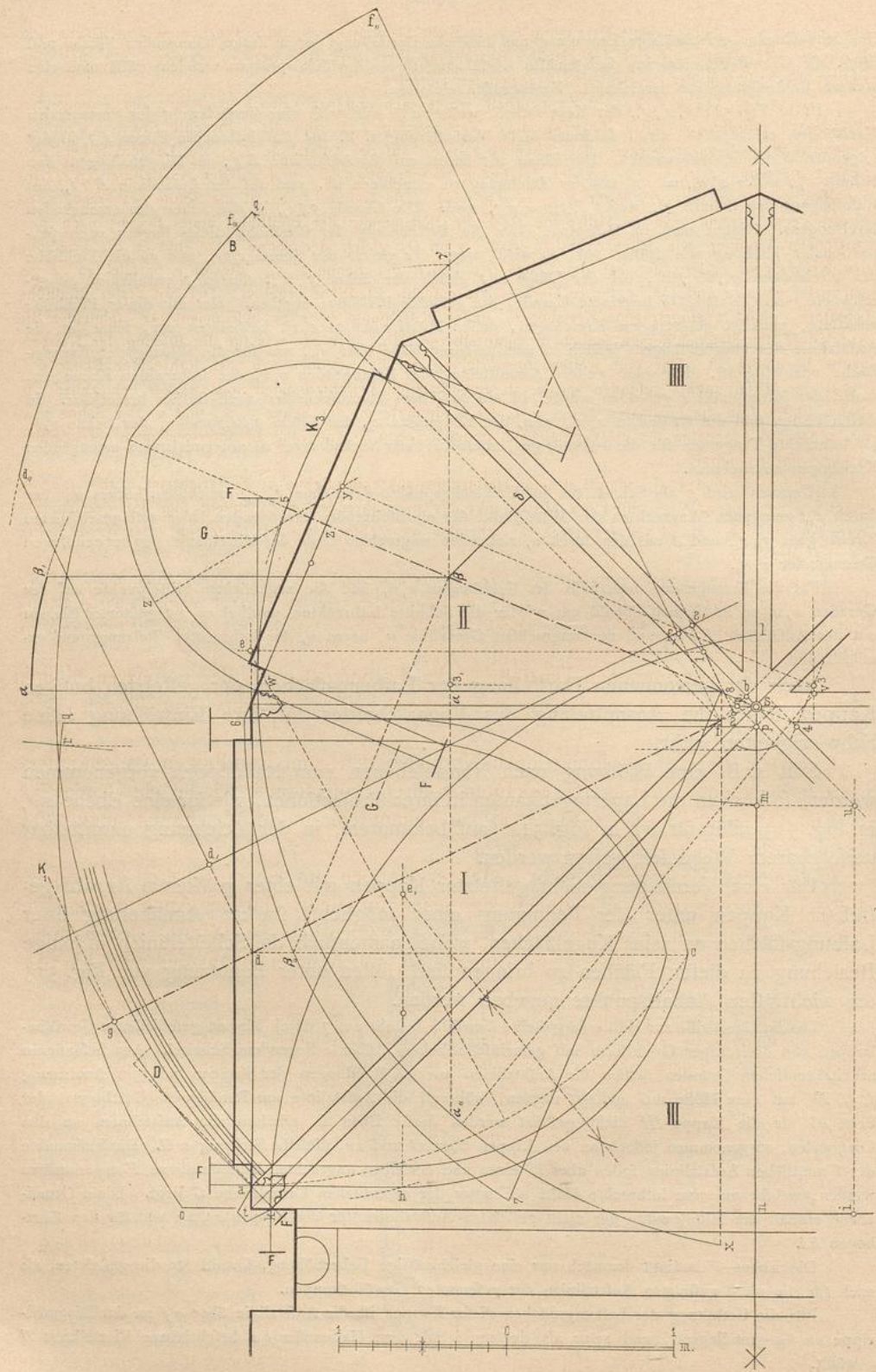
Die Ebene  $F$  bedingt demnach nur eine gleichmäßige Ueberhöhung, sowohl für die gestelzten, als auch für die nicht gestelzten Ansatzlinien der gesammten Gewölbekappen.

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.









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  $\delta x$  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  $\delta z$ . 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  $\alpha, \beta$ .

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte  $\alpha$ , und  $\beta$ , ist zu bemerken, daß  $\alpha\alpha_1 = \alpha\alpha_{II}$  und  $\beta\beta_1 = \beta\beta_{II}$  sein muß. Dieselbe Schnittlinie  $\alpha, \beta$ , 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,







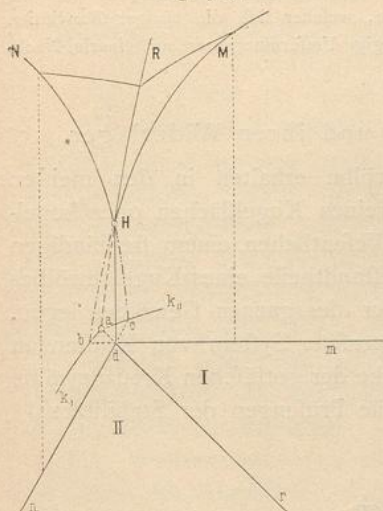








Fig. 517.



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  $m$ , bezw.  $m$  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  $n$ , bezw.  $n$  und  $r$  ergibt sich in  $z$  der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück  $II$  mit dem Halbmesser  $za$  und dem grössten Kreise  $k_2$ , 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  $\gamma$  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 Begrenzungsline 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 Begrenzungsline für die Strecke  $ku$  stattfinden. Für die Fusslinie  $ktiu$  geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe  $H$  durch  $u$  nach  $n$ . Vom Scheitel dieses Bogens bis  $u$  verläuft die Bogenlinie concentrisch mit sämmtlichen übrigen Bogenlinien. Die Lothrechte  $kx$  schneidet die in  $u$  gezogene Tangente  $y$  im Punkte  $t$ . Nimmt man  $tu = ti$  und zieht  $iw$  parallel zu  $kn$ , 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 Kreife einer Kugel mit dem durch  $a$  gehenden grössten Kreife  $k_1$  für die Kappe  $I$  und ferner  $N$  als Kreis einer Kugel mit dem ebenfalls durch  $a$  zu führenden grössten Kreife  $k_2$  für die Kappe  $II$ , so wachsen die Bogen  $R$ ,  $M$  und  $N$  aus dem gemeinschaftlichen Punkte  $H$  hervor. Sie bilden die Ansatzlinien der nach Kugelflächen zu gestaltenden 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 Gewölbekonstruktion verursacht.

### 8) Stärke der gothischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

314.  
Uebersicht.

Die Gewölbekappen der gothischen 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 gesammte im Gewölbe nach gerufene System von Kräften an die Gewölbstützen ab. Die zur Ermittlung der Stärke der gothischen 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 gothischen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Streb- oder Schwibbogen zu berücksichtigen.

#### a) Stabilität der Gewölbekappen.

315.  
Stabilität  
der  
Gewölbekappen.

Die bufigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe sind, wie auch die Art ihrer Einwölbung beschaffen sein mag, im Wesentlichen als Bestandtheile eines Kugel-, bzw. eines Kuppelgewölbes anzusehen. Ihre statische Untersuchung und die damit verknüpfte Bestimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszustand 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.<sup>183</sup>) dieses »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen sollen im Folgenden bei den statischen 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 Stoszfugenflächen liegen in lothrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinschaftliche Schnittlinie dieser Schar von Meridianebenen ist die lothrechte Kuppelaxe. Ein von zwei benachbarten Meridianen 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 statischen Untersuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszustand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diese Kräftegruppen umfassen erstens das auf die ebenen Stosflächen der Wölbkränze einwirkende Kräftesystem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen dieser Kränze gelangenden Kräfte.

<sup>183)</sup> 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 Stoszfugen 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.

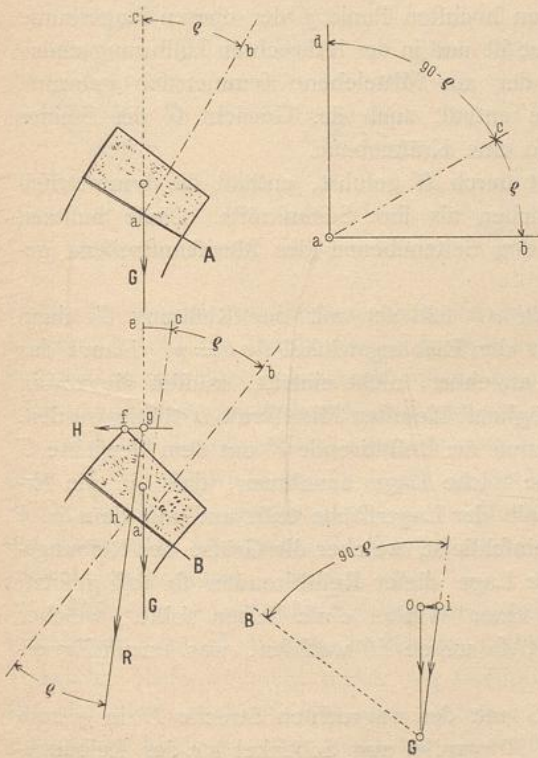
Um die in den Stosflächen der Kranzsteine entstehenden Pressungen, wobei zunächst auf die Elasticität der Wölbsteine und auf die stärkere oder geringere

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  $\rho$  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  $\rho$ , 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 anzunehmen hat, als zur Herstellung des Gleichgewichtes eben nothwendig ist, dass also ein Mehraufwand in diesem Kraftmaasse 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.

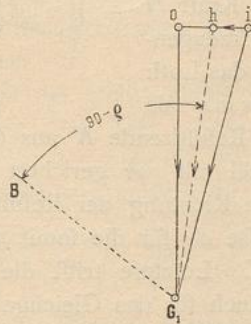
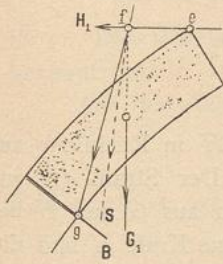
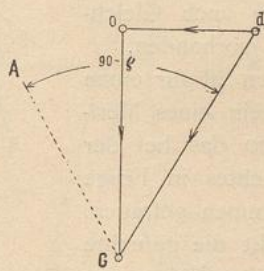
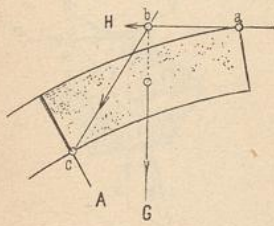
Bringt man daher die Richtung  $G$  mit der wagrechten Strecke  $H$  in  $g$  zum Schnitte, zieht man durch  $g$  den Strahl  $R$  parallel zum Schenkel  $ac$  des Reibungs-



winkels  $\rho$ , dessen zweiter Schenkel auf  $Ba$  lothrecht genommen wurde, so ist die Lage der Mittelkraft aus  $G$  und  $H$  bestimmt. Die GröÙe von  $R$  und von  $H$  ist mit Hilfe des Kräfteplanes  $oGi$  leicht zu finden. In demselben stellt  $oG$  die GröÙe des Gewichtes vom Kranzsteine dar;  $Gi$  ist parallel zu  $R$  und  $oi$  parallel zu  $H$  gezogen, so daß nunmehr  $iG$  gleich der GröÙe von  $R$ ,  $io$  gleich der Kraft  $H$  ist.

Um das Zeichnen der Schenkel des Reibungswinkels  $\rho$  am Wölbsteine zu vermeiden, hat man aus leicht ersichtlichen Gründen nur nöthig, im Kräfteplane selbst den Strahl  $GB$  parallel zur Erzeugenden  $Ba$  zu ziehen und an  $GB$  den Winkel  $90 - \rho$  anzutragen. Der Schenkel  $Gi$  dieses Winkels muß alsdann ebenfalls parallel zu  $ac$  sein.

Fig. 519.



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 größer als  
der Reibungswinkel  $\rho$ ; 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 Stosfugen des Kranzes  
zur Herstellung des Gleich-  
gewichtszustandes wach ge-  
rufenen Pressungen muß also  
denjenigen möglichst kleinen  
Werth annehmen, welcher  
ausreicht, jene Drehung und  
jenes Gleiten zu verhindern.

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

kante des Steines gerichteten Kraft  $H$  muß also zunächst eine solche Lage  $bc$  annehmen, daß sie durch den Drehpunkt  $c$  der unteren vorderen Lagerkante geht und fodann mit der Senkrechten auf  $Ac$  einen Winkel einschließt, welcher kleiner oder mindestens gleich dem Reibungswinkel  $\rho$ , aber niemals größer als  $\rho$  wird.

Für die Erzeugende  $Ac$  ergibt sich nach dem Kräfteplane, daß die Mittelkraft  $dG$  in der Richtung  $bc$  auch mit der Senkrechten auf  $ac$  gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel  $\rho$  einschließt, so daß die Strecke  $do$  die GröÙe 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



Preffungen im Kranze müssen wachsen, und zwar in der Weise, daß ihre Mittelkraft  $H$ , für einen Stein des zugehörigen Meridianstreifens eine GröÙe erhält, welche die Resultirende aus  $G$ , und dieser Kraft  $H$ , so weit zurück treibt, bis diese neue Resultirende durch den Drehpunkt  $g$  läuft. Zieht man also durch den Schnitt  $f$  der Kraft  $G$ , und der Wagrechten  $ef$  den Strahl  $fg$ , so ist hiermit die Lage der bezeichneten Resultirenden gefunden. Zeichnet man im Kräfteplane  $G, i$  parallel zu  $fg$ , so ergibt sich in  $iG_1$  ihre GröÙe und zugleich in  $io$  die GröÙe der für das Gleichgewicht nothwendigen Mittelkraft  $H$ . Da die Resultirende  $iG$ , in ihrer Richtung  $fg$  mit der Normalen einen Winkel einschließt, welcher um  $\sphericalangle iG, h$  kleiner wird, als der Reibungswinkel  $\rho$ , so ist bei dem Herrschen der Kraft  $H, = io$  auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Nach diesen Erörterungen ist für einen beliebig genommenen Kranzstein eines Meridianstreifens  $mgb$  in Fig. 520 das bei der Untersuchung des Gleichgewichtes in Frage kommende Kräftesystem zusammen getragen.

In der Richtung  $he$  wirkt die gefuchte Mittelkraft  $H$  der in den Seitenflächen  $mg$  und  $mb$  in  $g$  und  $b$  entstehenden Preffungen  $P, P$ . Setzt man das Gewicht  $G$  in  $d$  mit der unbekanntenen, aber in  $he$  liegenden Kraft  $H$  zusammen, errichtet man auf der Erzeugenden  $mf$  der Lagerfläche des Steines das Loth  $mn$  und trägt man den Winkel  $nmo$  als Reibungswinkel  $\rho$  an; so muß die Resultirende  $K$  aus  $G$  und  $H$  in Rücksicht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit  $om$  gerichtet sein. Der Strahl  $df$  entspricht dieser Lage. Da  $G$  und die Richtung der Resultirenden aus  $G$  und  $H$  bekannt sind, so ergeben sich die GröÙe  $de$  für die somit gefundene Kraft  $H$  und die GröÙe  $dK$  für die Resultirende  $K$ . Letztere trifft die Lagerfläche des Steines; folglich genügt die Kraft  $de = H$  auch für das Gleichgewicht gegen Drehen.

Die Preffungen  $P, P$  sind Seitenkräfte von  $H$ ; sie liegen mit  $H$  in einer wagrechten Ebene und sind senkrecht zu den Seitenflächen  $mg, mb$  des Meridianstreifens  $mgb$  gerichtet.

Zerlegt man die Kraft  $H = de = Hc$  unter Benutzung der Strahlen  $Pc, Pc$ , die ihrer Lage und Richtung nach für die zu bestimmenden Kräfte  $P, P$  maßgebend werden, so liefert das Kräfte-Parallelogramm  $HPcP$  in  $Pc$  und  $Pc$  die gefuchten Preffungen  $P, P$ .

Gehört ein Meridianstreifen einem reinen Kugelgewölbe an, so ergibt sich durch Rechnung eine einfache Beziehung zwischen den Preffungen  $P$  und ihrer Mittelkraft  $H$ .

In Fig. 521 ist  $mk l$  der Grundriß eines solchen Meridianstreifens mit der lothrechten Symmetrie-Ebene  $mn$  und dem sehr kleinen Winkel  $\varphi$ . Der Gewölbefuß dieses Streifens besitzt die mittlere Dicke  $kl$ ; der Halbmesser des Bogens  $kl$  ist  $R$ . Für einen Kranzstein dieses Streifens sei die in der Kugelfläche, welcher der Bogen  $kl$  angehört, gelegene mittlere Dicke gleich  $gd$ , und der Halbmesser des Bogens  $gd$

Fig. 520.

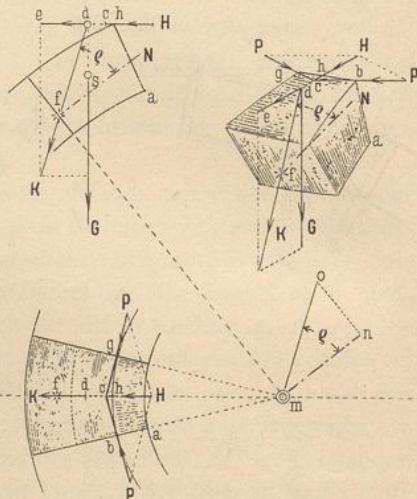
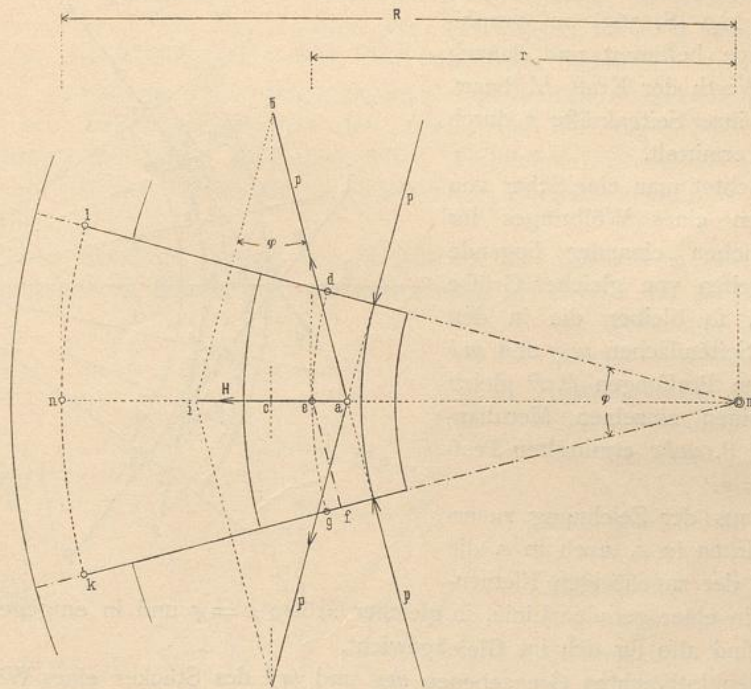




Fig. 521.



fei  $r$ . 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  $\varphi$  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  $mgb$  in den Seitenebenen  $mg$  und  $mb$  gegen besondere Widerlagskörper, so hätten diese den Kräften  $P$  zur Herstellung des Gleichgewichtes einen gleich großen Widerstand zu leisten.

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.

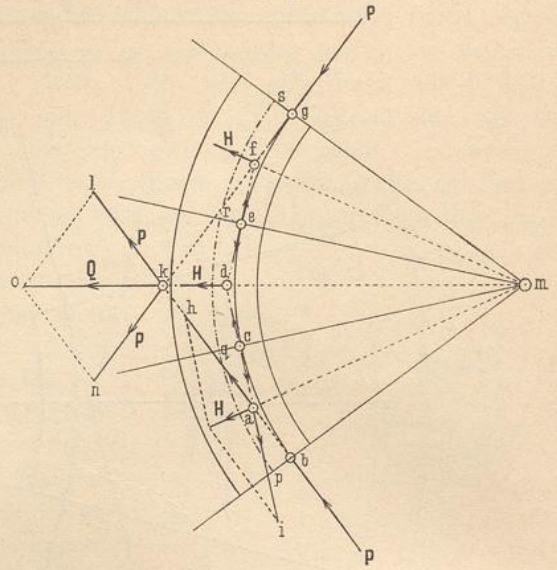
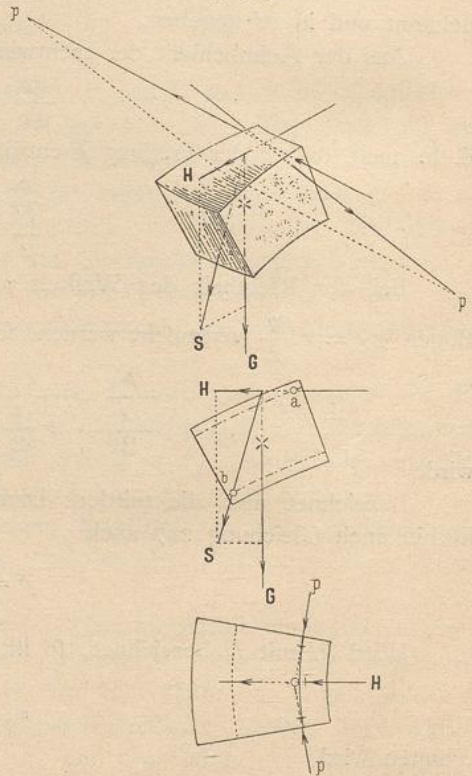


Fig. 523.





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 Stabilitätsuntersuchung 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.

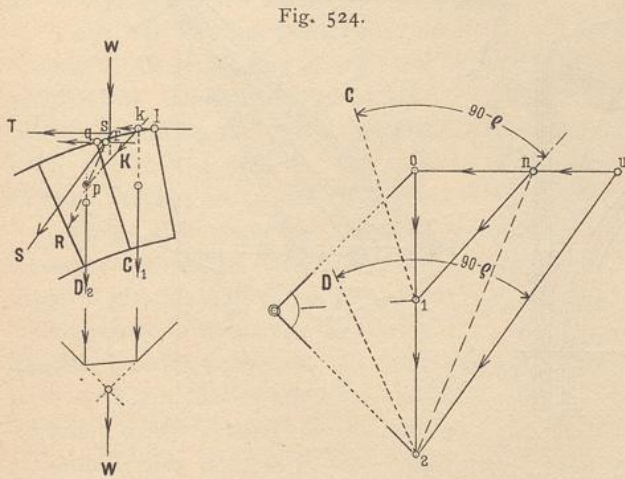


Fig. 524.

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 soll, unter Beobachtung der in Art. 315 (S. 460) behandelten und eintretenden Fälle

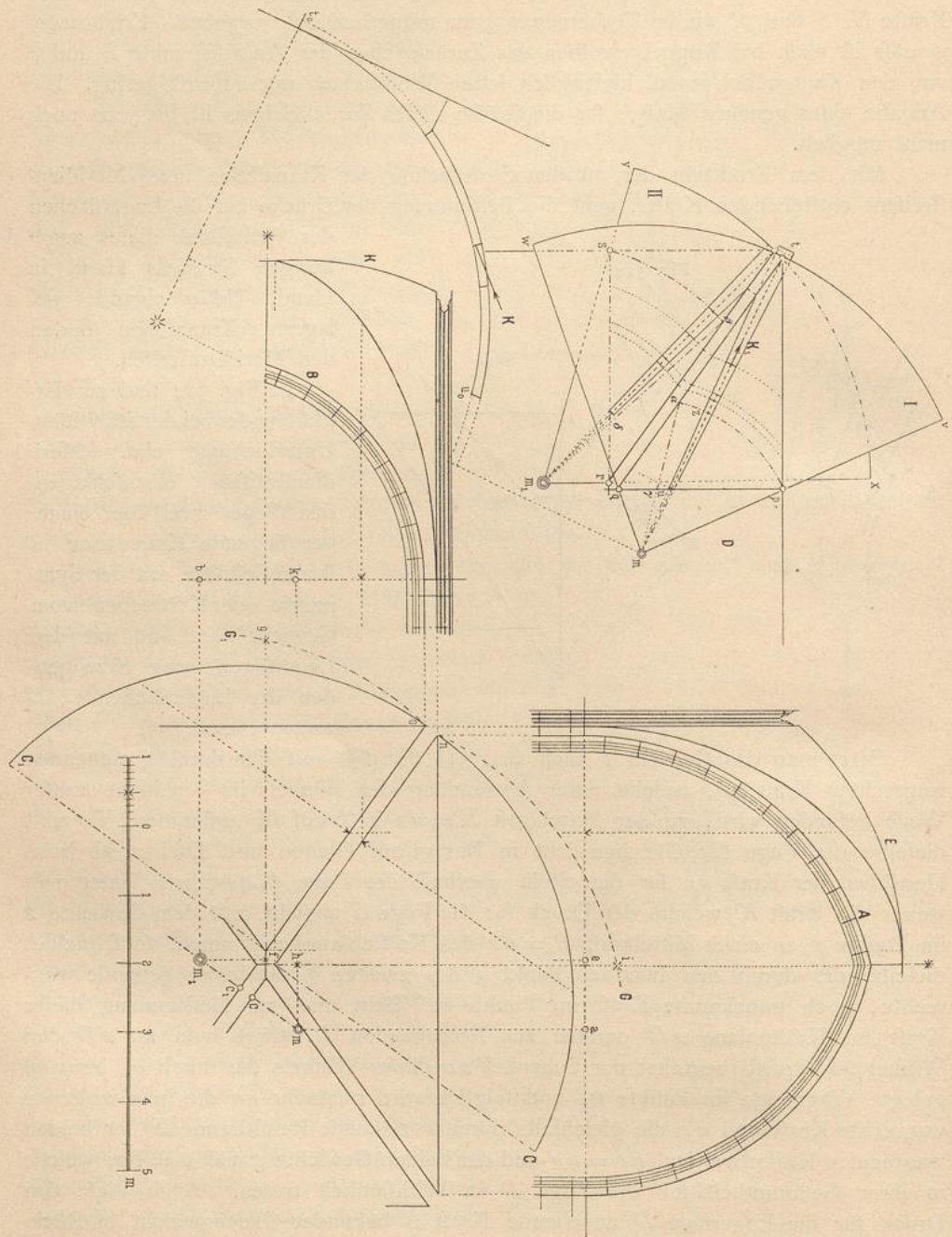


Fig. 525.

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 Rücksicht auf ihre praktische Ausführung nur wenig von der Kugelfläche abweichen, sondern fast immer in ihren Laibungsflächen kugelähnlich gestaltet werden, so entsteht kein großer Fehler, wenn auch diese sphäroidischen Kappen bei der statischen Untersuchung wie die mit Kugelflächen behafteten Kappen behandelt werden.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde in Fig. 525 sind  $A$  und  $C$ , bezw.  $B$  und  $C$  die nach Kreisbogen genommenen Ansatzlinien der Gewölbflächen. Die Mittelpunkte dieser Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpferebene;  $m$  und  $m_1$  sind die Kugelmittelpunkte für das Kappenstück zwischen  $A$  und  $C$ , bezw. zwischen  $B$  und  $C$ . Der größte Kreis des ersten Stückes ist in  $G$ , der des zweiten Stückes in  $G_1$  auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der 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 Rücksicht 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.

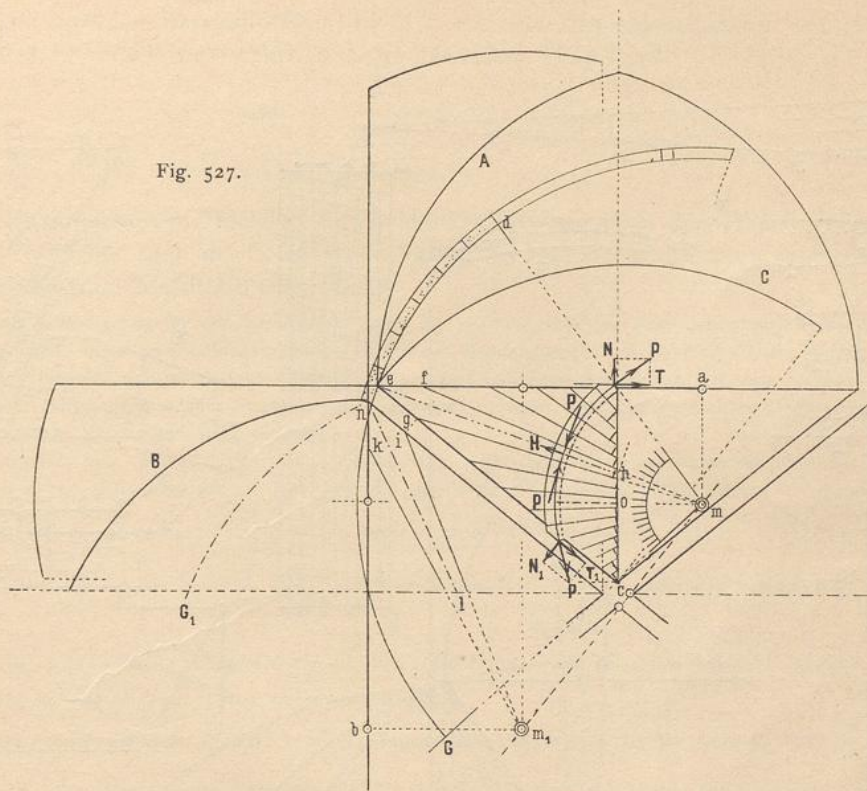
Ist nach Fig. 527 das Zerlegen der Kappen in Meridianstreifen vorgenommen, so kann man, z. B. für den größten Streifen  $hfe g$ , die in der besonders stark gezeichneten Kranzschicht entstehende wagrechte Kraft  $H$  ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 319 (S. 466) und danach die Pressungen  $P$  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. 527.



Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten  $m$  und  $m_1$ , welche für die beiden in der Scheitellinie  $sv$  zusammengefühten 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.



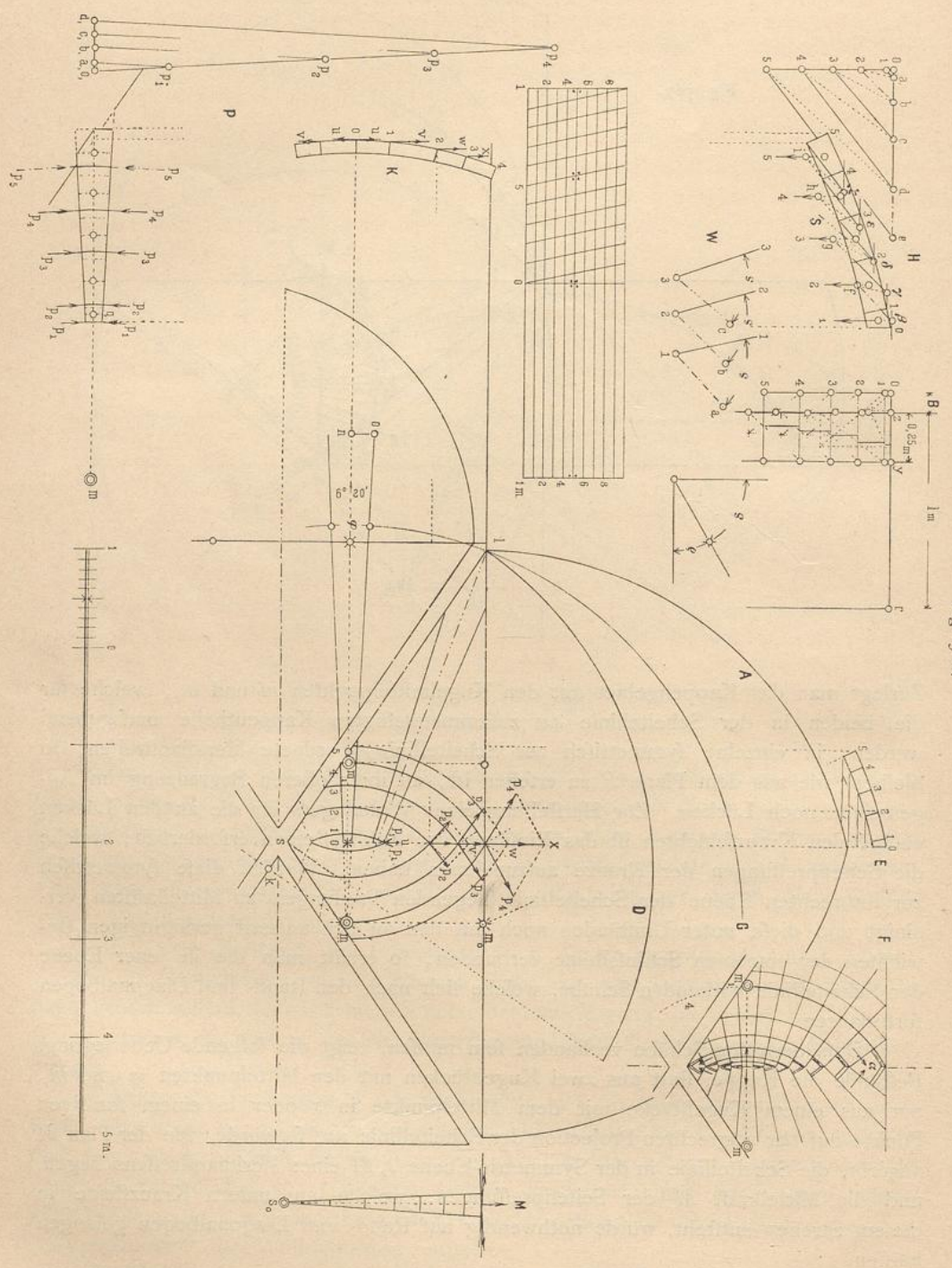


Fig. 528.



Der grösste Meridianstreifen ist  $p, l$  mit der Symmetrie-Ebene  $ml$ . Sein Winkel  $\varphi$  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  $\beta$ . Der Strahl  $\beta f$ , parallel mit dem Schenkel  $1a$  des für die Fuge  $1$  fest gelegten Reibungswinkels  $11a$  durch  $\beta$  gezogen, schneidet die Fuge  $1$ . Zieht man im Plane  $H$  den Strahl  $1a$  parallel zu  $\beta f$ , 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  $\beta f$  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  $\gamma$ . Eine Linie  $\gamma g$  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  $\gamma g$  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  $\alpha$  zu erhalten. Beim dritten Kranzsteine schneidet die durch  $g$  parallel zu  $b\beta$  geführte Kraftstrecke die durch  $\alpha$  gezogene Wagrechte im Punkte  $\delta$ . Der durch  $\delta$  parallel zum Schenkel  $\beta c$  des Reibungswinkels  $\beta\beta c$  der Fuge  $\beta$  gelegte Strahl  $S$  trifft die Fuge  $\beta$  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  $\delta$  ausgehende Krafrichtung  $\delta h$  durch den tiefsten Punkt der Fuge  $\beta$  gelegt werden. Nimmt man hiernach  $\beta c$  parallel zu  $\delta h$ , so ist  $cb$  die gefuchte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines und  $c\beta$  der Druck in der Lagerfuge  $\beta$ . Da für die Fuge  $\beta$  der Reibungswinkel  $\beta\beta c$  die Bestimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinflusst, so kann die weitere Zeichnung der Reibungswinkel für die Fuge  $\gamma$  u. f. f. unterbleiben. Der Strahl  $\delta h$  schneidet die Gewichtslinie  $\gamma$  im Punkte  $h$ . Die durch  $h$  parallel zur Resultirenden  $c\gamma$  der Kräfte  $c\beta$  und  $\beta\gamma$  gezogene Gerade  $h\varepsilon$  trifft die durch  $\beta$  gelegte Wagrechte in  $\varepsilon$ . Von  $\varepsilon$  aus braucht man nur einen Strahl  $\varepsilon i$  durch den tiefsten Punkt  $\gamma$  zu legen, um, nachdem im Plane  $H$  durch  $\gamma$  eine Parallele zu  $\varepsilon i$  gezogen ist, in der Strecke  $dc$  die Mittelkraft der Seitenpressungen des vierten Kranzsteines und in  $d\gamma$  die Pressung in der Lagerfuge  $\gamma$  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  $c\gamma$ ,  $d\beta$  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  $o, a$ , gleich der wagrechten Mittelkraft  $ao$  für die Seitenpressungen am ersten Kranzsteine des Planes  $H$ , zieht man  $o, p$ , und  $a, p$ , parallel zu den senkrechten Strahlen  $p$ , des Meridianstreifens  $m$ , so erhält man in den Strecken  $o, p_1$ , bzw.  $p_1, a$ , die gefuchten Seitenpressungen.

Für den zweiten Kranzstein ist  $o, b$ , =  $ba$  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  $\varphi$  zu  $6^\circ 20'$  ermittelt war, so ist die Bogenlänge  $\varphi$  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 Diagonalbogen 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  $\alpha$  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



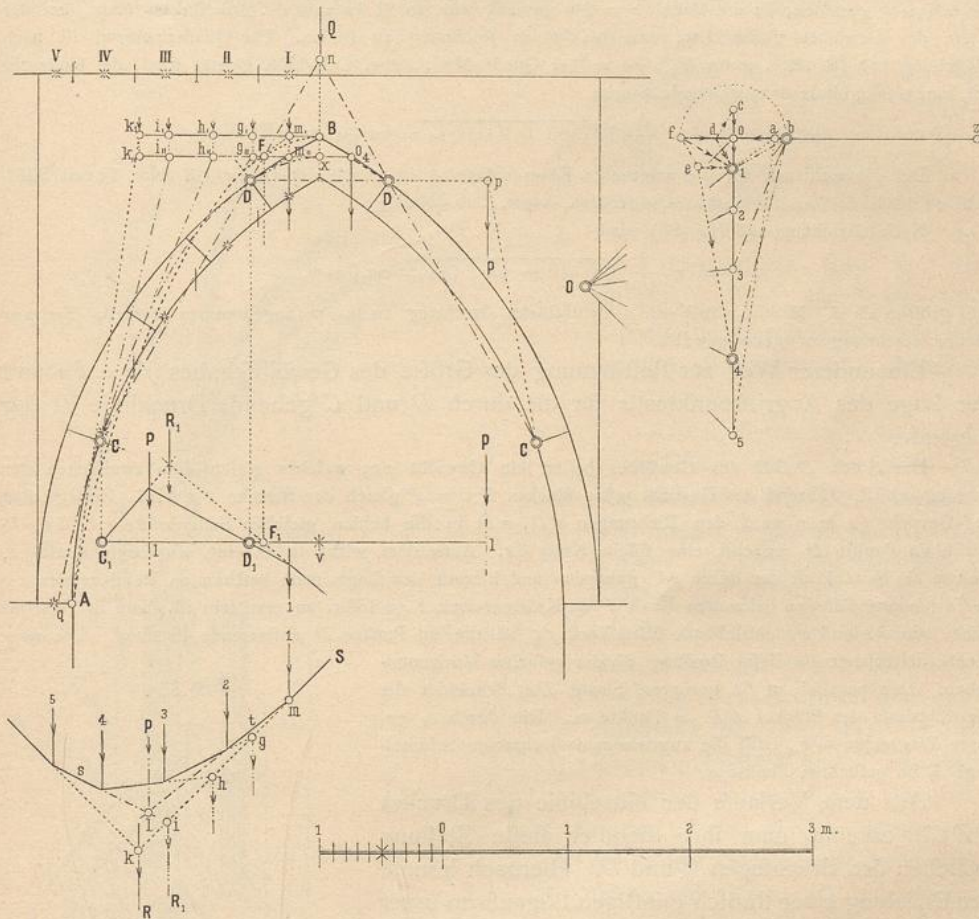
Ermittlung des Gleichgewichtes cylindrischer Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtschnur zu nehmen.

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.

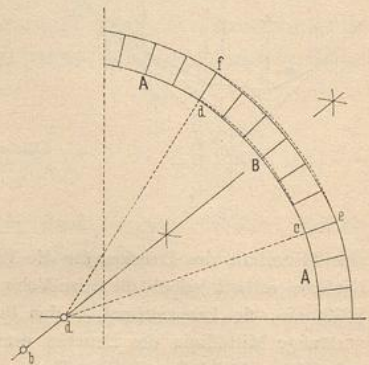
Ein anderer Weg zur Bestimmung der Größe des Gewölbschubes  $fo = bo$  und der Lage des Angriffspunktes  $x$  für die durch  $D$  und  $C$  gehende Drucklinie ist der folgende.

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, dafs nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*<sup>184)</sup> 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 planmäfsig fest gelegt, ist die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

Fig. 530.

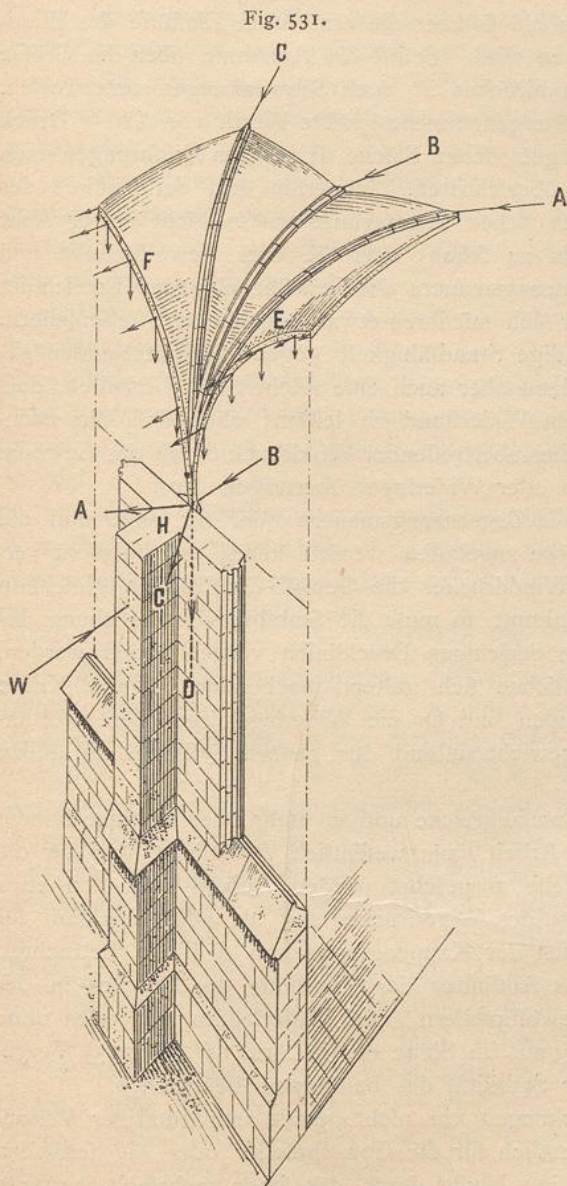


328.  
Statische  
Untersuchung.

<sup>184)</sup> 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  $\alpha$  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 Horizontal Schubes, 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 Gewölbbgebietes besonders beanspruchen. Während dieses Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berücksichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewissenhafte Bestimmung erst Aufschluß über die nothwendige Stärke dieser Gewölbtheile zu geben vermag. Mit diesen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen stehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbeanlage in innigem Zusammenhange. Eine durchweg scharfe und genaue 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 Strebebfeilern, 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 Gewölb-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 Strebebfeilern, 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. Kernes<sup>185)</sup> 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-Constructionen des eigentlichen Gewölbewiderlagers auftreten sollen.

Das innere Wesen dieser Stabilitäts-Untersuchung stimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinschaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verschiedener Spannweite und ungleich großer Belastung, welcher in Art. 147 (S. 213) bereits näher behandelt ist, überein. Der meistens in der Form eines 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.

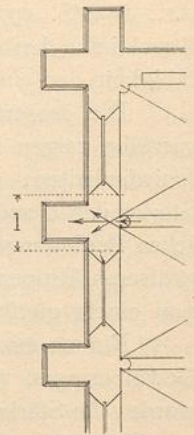
Der in der lothrechten, als Kräfteebene fest gesetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers  $G$  und des Strebebogens  $\gamma o$  wirkende resultirende Gewölbschub  $S$  der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Gesagten vorweg zu bestimmen ist, vereinigt sich mit dem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

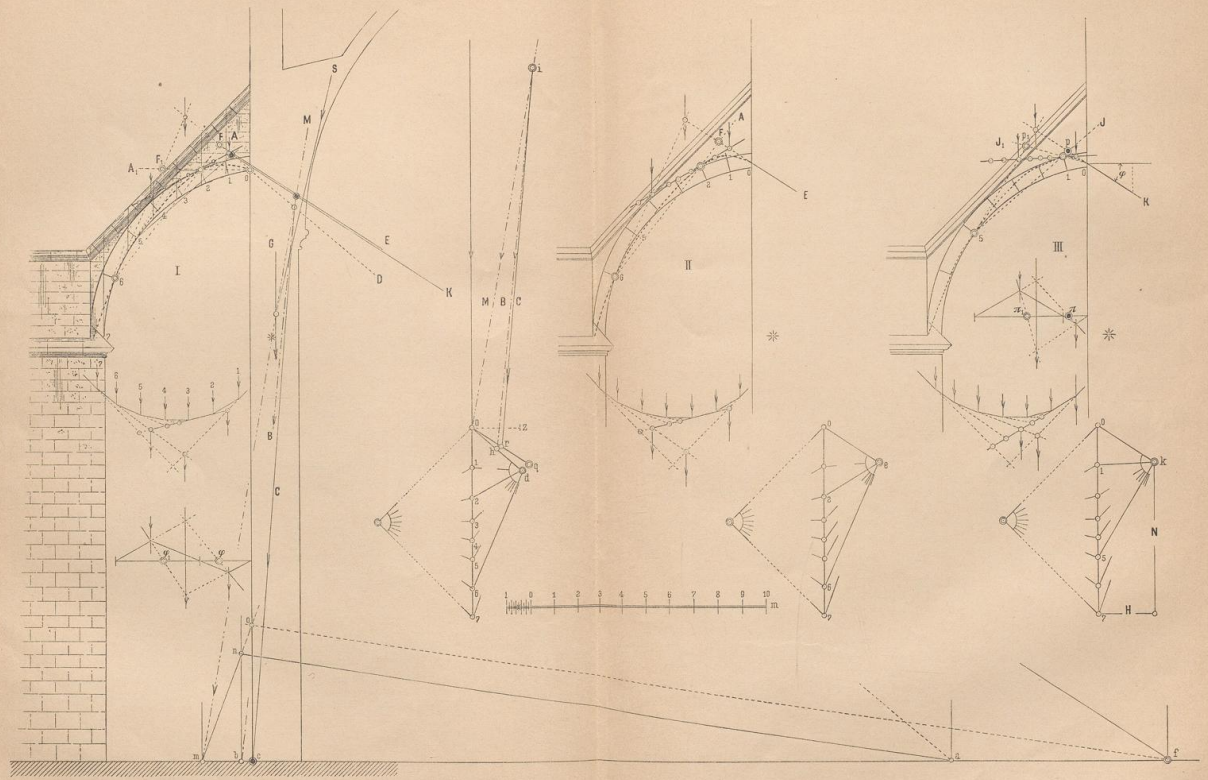


<sup>185)</sup> Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88) dieses »Handbuches«.









Statische Unterfuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.







Befitzt der Strebebogen eine grössere oder geringere Tiefe, als 1 m, so ist der Gewichtsplan 07 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  $h$  halbirt, 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  $\gamma o$  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  $\pi$ ; 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  $\pi_1$  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  $\varphi$  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.

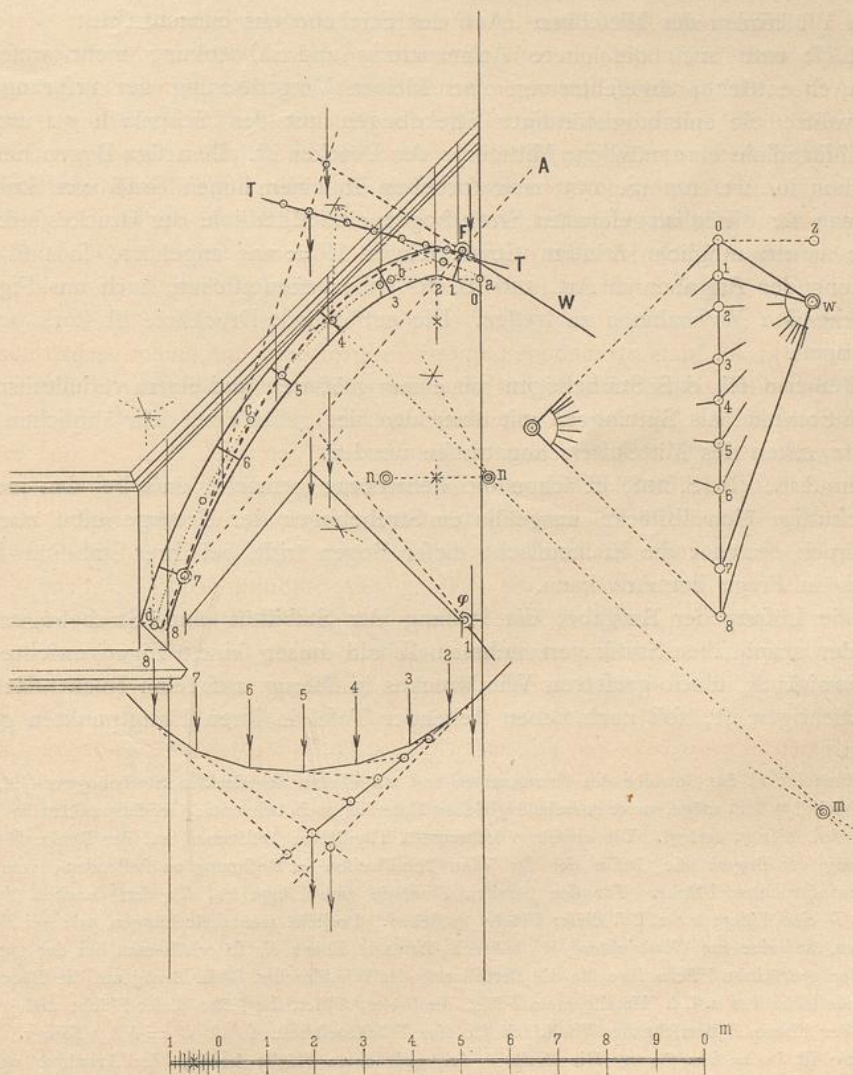
Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinschaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanspruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anfatzhöhe des Strebebogens geltend gelassen. Man erkennt aber aus der Darstellung  $I$  auf der Tafel bei S. 482, daß bei 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 Zusammenetzung 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 Anzapfepunktes  $o$  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 verhältnißmäßig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen sehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

337.  
Winddruck  
bei  
Strebebogen.

In Art. 146 (S. 208) ist schon die Bemerkung gemacht, daß bei den meistens als einhüftige Gewölbstücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche dieser Bogen trifft, bei ihrer Stabilitäts-Untersuchung in Frage kommen kann.

Die Lösung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphischen Statik vorzunehmen, sobald außer seinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines größeren Winddruckes in Bezug auf seine Rückenfläche zu berücksichtigen ist, soll nach neben stehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

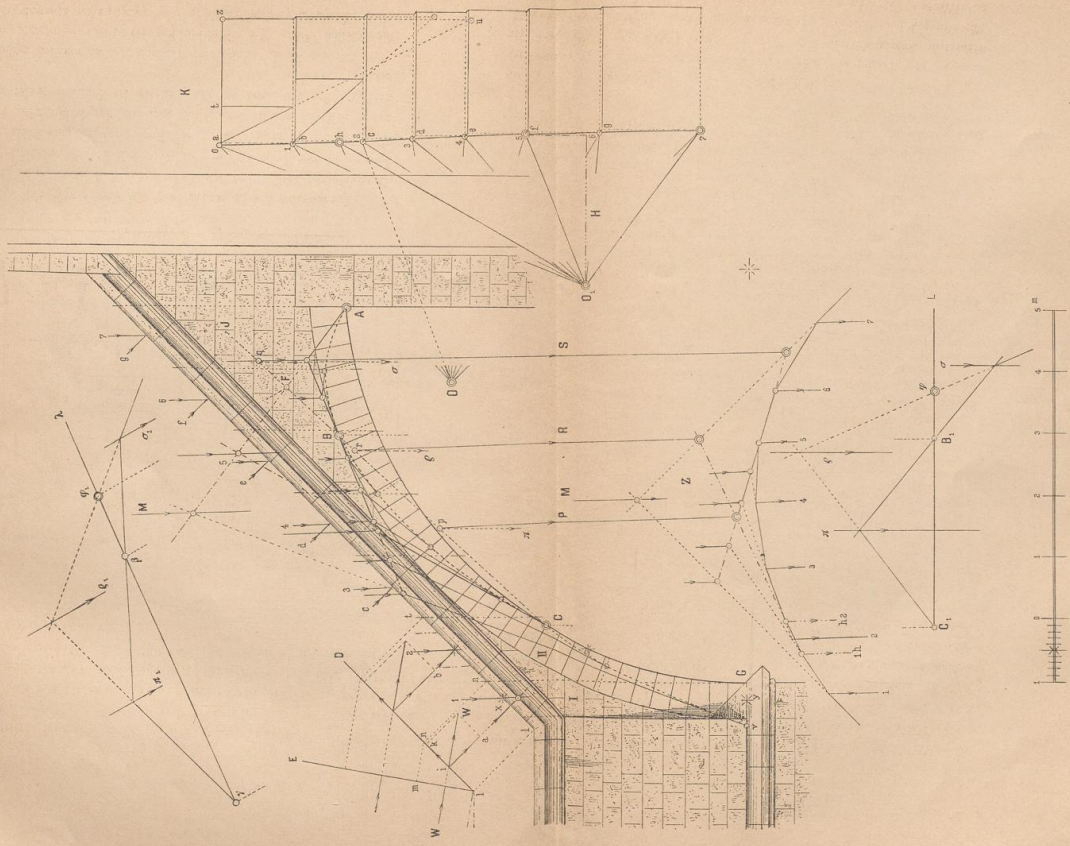
Zunächst ist das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, dessen Tiefe gleich 1 m sein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Gesichtspunkten in schmale Theilstreifen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lothrechten Theillinien bestimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Größe der für jeden Theilstreifen in Rechnung zu stellenden, vom Winddruck beanspruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *ln*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. s. f. dieser Fläche entstehen. Projicirt man diese Längen, wie bei *D* und *E* geschehen, auf eine zur Windrichtung *W* senkrecht stehende Ebene *E*, so erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *lm* u. s. f. Ist allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe dieser Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrschende Winddruck für eine Flächeneinheit, so ist  $W = b h p$  Kilogr. In der Zeichnung ist  $lm = h = 0,9$  m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rücksicht auf die Gewalt, welche bei starken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu







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  $1 \text{ m}^2$  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 Frage<sup>186)</sup>. Dieselbe ergibt sich zu  $216 \text{ kg}$ .

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  $1 \text{ m}$ , sonst aber eine Länge gleich der gewählten Maßzahl  $2 \text{ m}$  der Basis  $az$  des Gewichtsplans  $K$  erhält.

Wiegt  $1 \text{ cbm}$  des Wölbmaterials  $2400 \text{ kg}$ , so ist hiernach die Strecke  $oa$  des Planes  $K$ , welche die Größe des senkrecht auf der Rückenfläche des Theilstreifens vorhandenen Winddruckes gleich  $216 \text{ kg}$  angeben muß, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als  $oa = x = 0,045 \text{ m}$ . Die Linie  $oa$ , parallel zu  $ia$  gezogen, hat diese Länge erhalten. Mit derselben wurde das Gewicht  $ax$  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  $\pi, \rho$  und  $\sigma$ , 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  $\pi, \rho$  und  $\sigma$  schneidende Axe  $L$ , so läßt sich ganz auf dem in Art. 146 (S. 208) angegebenen Wege die Projection  $\varphi$  des gefuchten Fixpunktes  $F$  auf der Axe  $L$  ermitteln.

Projicirt man  $\varphi$  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  $\pi_1, \rho_1$  und  $\sigma_1$  fest zu legen und  $B$  parallel  $C\gamma$  auf  $\lambda$  nach  $\beta$  zu projiciren, um alsdann in üblicher Weise auch den Punkt  $\varphi_1$  auf  $\lambda$  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.

<sup>186)</sup> 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 gereichte 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 Durchbildung<sup>187)</sup> 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 Grundrifs 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  $\beta a$ . Die Randbogen  $ab$ ,  $bc$  u. s. f. sind Spitzbogen mit Schenkeln  $A$ , deren Halbmesser  $ab$  gleichfalls beliebig angenommen ist.

Die Mittelpunkte  $\alpha$ ,  $\beta$  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  $\delta b$  gleich  $\beta a$  des Bogens  $B$  zusammen. Die Spitze des Kegels für  $bq$  ist  $S$  im Lothe  $\alpha S$  auf  $bc$ , wobei  $\alpha S = ab$ , während die Spitze des Kegels für  $bs$  der Punkt  $S_1$  des Lothes  $\delta S_1$  auf  $b\delta$  ist. Auch hierbei muß  $\delta S_1 = \delta b$  genommen werden.

<sup>187)</sup> Siehe auch: BISANZ. Studie über ein Zellengewölbe. Allg. Bauz. 1888, S. 30.







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 Wölbflächen 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 Wölbflächen eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, stets Normalebene zu dieser Rippenlinie angehören sollen, für einen Punkt  $y_0$  einer Wölbfläche am Rippenbogen  $B$  eine Normalebene mit der Aufrissspur  $\beta N$  und der wagrechten Spur  $II\beta III$  bestimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebene des Bogens  $B$  unverändert.

Den zusammengefügt Kappenstücken  $ake$  und  $ase$  entspricht dieselbe Leitlinie  $B$ , beschrieben mit dem Halbmesser  $\beta a$ . Für das Stück  $ake$  ist die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt  $II$ , welcher auf der wagrechten Spur  $II\beta III$  der Normalebene  $\beta N$  im Abstände  $\beta II$  gleich dem Halbmesser  $\beta a$  des Bogens  $B$  liegt. Die Gerade  $\beta II$  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  $y\mathcal{J}$  im Kappenstücke  $ase$ , so sind in den Linien  $z$  und  $\mathcal{J}$  die wagrechten Projectionen der Lagerkanten einer Wölbfläche der Normalebene  $y_0 N$  gefunden. Ist nun der Bogen  $B$  mit den Theilpunkten der einzelnen Wölbflächen nach den Backsteindicken versehen, so kann, unter Verfolgung des für den Punkt  $y_0$  angegebenen Weges, die gesammte Schar der Lagerkanten der Wölbflächen des Kappengebietes  $akesa$  gezeichnet werden.

Die wirkliche Gestalt des Normalschnittes  $\beta N$  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  $\mathcal{J}$  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  $z, \mathcal{J}$  erhalten. Für die Lagerkante  $q$  ist  $IV$ , für  $\mathcal{J}$  ist  $V$  und für  $\delta$  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  $\delta$ , 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.

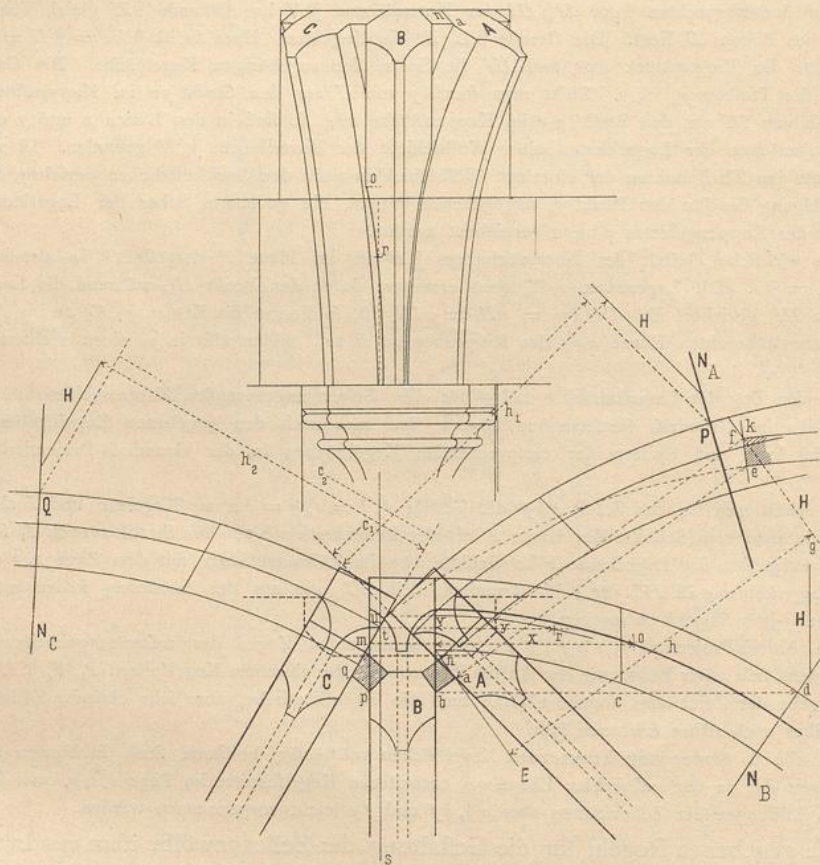
Für die Ausführung dieser Gewölbe sind vorzugsweise Backsteinmaterial und gut bindender Mörtel zu benutzen. Lehrbogen sind nur für die Rippen-, bezw. Randbogen nöthig. Die Kappen werden freihändig gemauert und hierbei ergeben sich die Zellenbauten ohne Weiteres. Ueber den Zellenkanten läßt man die einzelnen 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 Kappenansätze angearbeitet werden. In Fig. 535 ist ein solcher Anfänger für eine Querrippe *B* und zwei Kreuzrippen *A* und *C*, welche von der Umfangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei über einander liegenden Schichten gegeben.

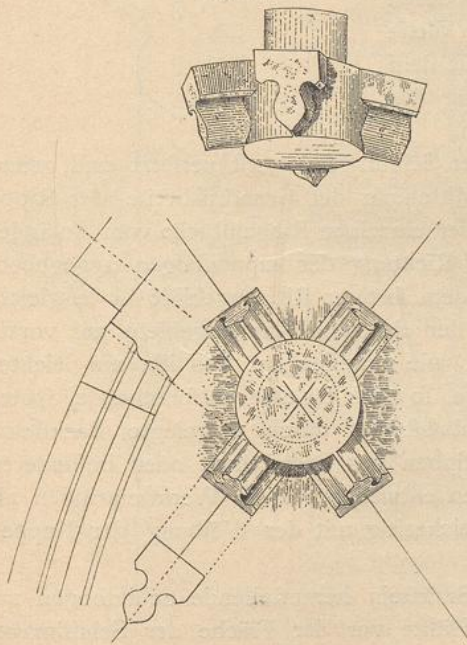
Die untere Schicht ist durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche *H* im Abstände  $h = h_1 = h_2$  über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebene  $N_A, N_B, N_C$  bestimmten Ansatzflächen der Rippen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

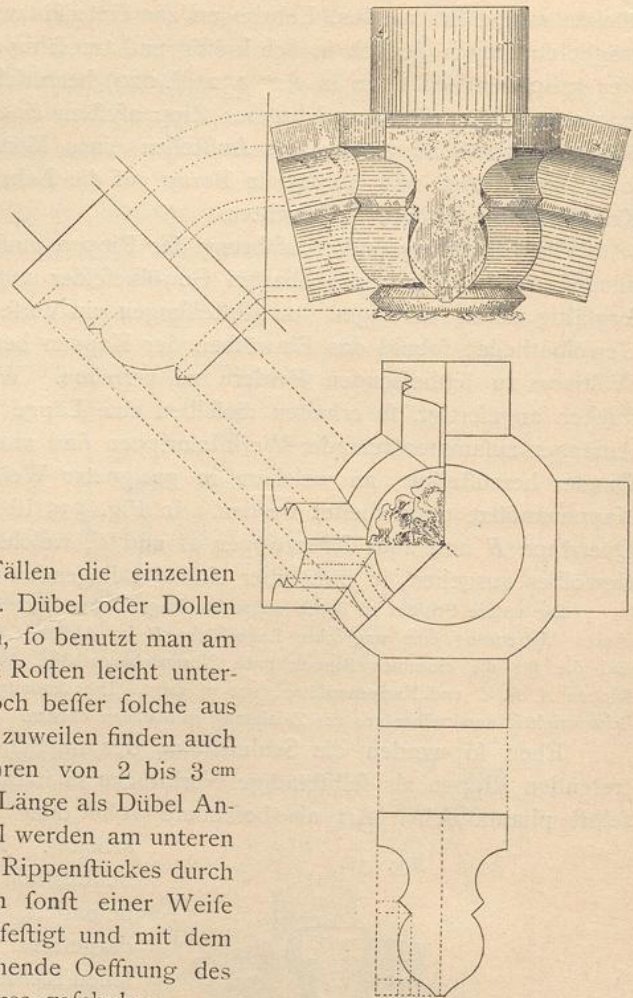
Sollen in besonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch fog. Dübel oder Dollen mit einander verbunden werden, so benutzt man am besten, statt der eisernen, dem Rosten leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, noch besser solche aus Kupfer, Bronze oder Messing; zuweilen finden auch Messingröhren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

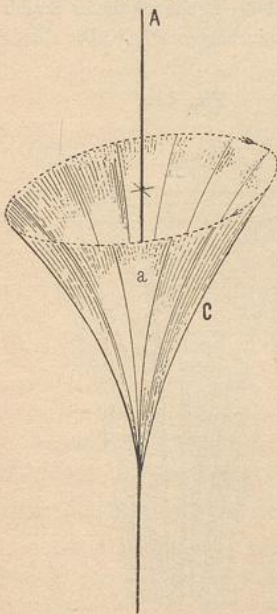
Die allgemeine Grundgestaltung der Laibungsflächen *a* dieser Gewölbe ist in Fig. 538 mit der erzeugenden Curve *C* und der festen lothrechten Axe *A* gekennzeichnet.

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.