b) Gothifche Kreuzgewölbe.

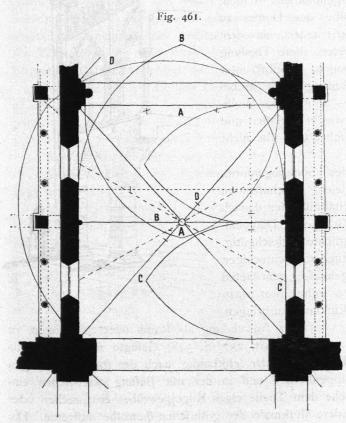
Das Wesen der gothischen Kreuzgewölbe, wodurch sich dieselben von allen anderen Gewölben unterscheiden, ist hinsichtlich ihrer Gestaltung in Art. 237 (S. 348) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwickelung des romanischen Kreuzgewölbes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

274. Wefen.

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

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

Als ein wesentliches Hilfsmittel zur Erzielung dieser Verbindung ist die Verwendung des Spitzbogens anzusehen. Wesentlicher aber noch ist bei den gothischen



Handbuch der Architektur. III. 2, c.

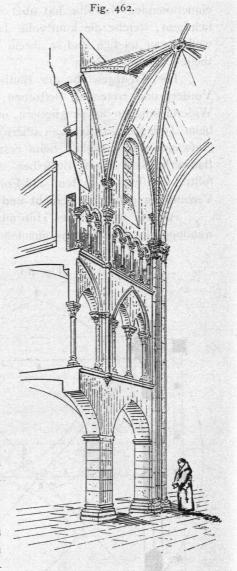
Gewölben die Theilung des Gewölbefeldes durch felbständige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Diese bilden in ihrer gefammten Anordnung ein eigentliches Tragfystem; sie nehmen zwischen fich die befonders gewölbten Kappenstücke auf und übertragen die Gesammtlast der Deckenbildung auf einzelne bestimmte Stützpunkte. Diese Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im Allgemeinen als Freistützen gestaltet werden können. Sie befonders standfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verschwenden, ist eine vorwiegende Bedingung. An den hauptfächlichsten Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebepfeilern verbundene, 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 einzusügenden Mauerwerke der Umfangsoder Scheidemauern des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon steht die freie Auflösung der Massen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbschube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke;

fie können in ausgiebigster Weise durchbrochen oder, mit Oeffnungen versehen, sich dem gesammten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Construction des Gewölb- und Stützenfystemes die Herrschaft. Bei dem gewissenhaften Abwägen der Massen, möglichst entsprechend den in ihnen wachgerusenen Kräften, ist in Abhängigkeit von der Construction die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunstgerecht zu bilden.

Ift auch bei den fechstheiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 236, S. 346) aus der Mitte des XII. Jahrhundertes eine Theilung des Gewölbefeldes durch Kreuzrippen mit durchlaufender Mittelrippe mehrfach, in Deutschland namentlich im rheinischen Uebergangsstil, vorgenommen; ist auch, wie z. B. beim Hauptgewölbe des Domes zu Limburg an der Lahn (Fig. 461 u. 462), aus dem Anfange des XIII. Jahrhundertes, diese Theilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja selbst unter Einführung der seitlichen Absteisung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt – so ist dieses Wölbsystem im Allgemeinen doch wieder verlassen und für die Construction der gothischen Gewölbe nicht durchschlagend geworden.

Die Schmiegfamkeit 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 ausgesührt werden sollte, war dazu angethan, die schwieriger in Einklang zu bringen-



den Halbkreisbogen, befonders 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 Busung dazwischen eingewölbten Kappenstücke, welche dem Theile eines Kugelgewölbes entsprechen oder demselben ähnlich sind, besondere Merkmale der gothischen Gewölbe austreten. Die

Rippenkörper gehören schmalen Streifen eines cylindrischen Gewölbes, bezw. eines Tonnengewölbes an, während die Kappenstücke im Allgemeinen sphärischen, bezw. sphäroidischen Gewölben zuzuweisen sind.

Im Folgenden follen 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 sinden. Die Grundrissigur bildet das Gewölbeseld oder das Gewölbejoch. Die Diagonalen des Gewölbeseldes sind die wagrechten Projectionen der Diagonal- oder Kreuzbogen. Ueber den Seitenlinien des Gewölbeseldes erheben sich die Rand- oder Stirnbogen. Treten mehrere Gewölbeselder 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.

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 austretenden Rippensysteme eingesügten Gewölbestücke heißen Gewölbekappen oder kurz Kappen. Sie sinden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältniß der Wölblinie einer Kappenschicht kennzeichnet das Maß der Busung oder des Busens der Kappe.

Von Wichtigkeit für die Darstellung des einfachen gothischen Kreuzgewölbes ist die Ausmittelung der bezeichneten Bogen hinsichtlich der Höhenlage ihrer Scheitelpunkte zu einander in Bezug auf eine gemeinschaftliche Kämpferebene.

Hierbei sind vorzugsweise drei Fälle zu unterscheiden:

- a) die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen liegen fämmtlich 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 Befonderen auch die Scheitel der Randbogen noch in verschiedener Höhe liegen.
 - a) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

Als Ausgang für die Bestimmung der Form der Randbogen dient der Kreuzoder 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 zweckmäsig als ein nur
mäsig vom Halbkreis abweichender stumpser Spitzbogen behandelt, dessen Pfeilhöhe
demnach wenig mehr beträgt, als seine halbe Spannweite. Bei hoch anstrebenden
Kreuzgewölben tritt statt dieses stumpsen Spitzbogens der mehr oder weniger steil
gesormte Spitzbogen als Kreuzbogen aus.

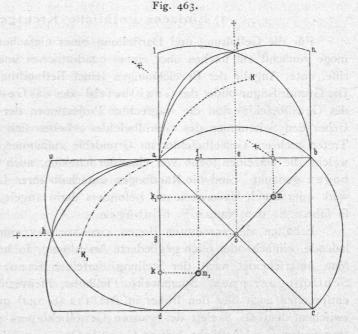
275. Bezeichnungen.

> 276. Darstellung.

277. Quadratifcher Grundrifs. Ist in Fig. 463 das Quadrat abcd der Grundriss des Gewölbeseldes 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 Kämpserebene gleichfalls in sa gegeben. Die ihr gleichen Höhen ef, bezw. gh

follen für die als Spitzbogen zu construirenden Randbogen afb, bezw. ahd beibehalten werden. Die Mittelpunkte der einzelnen Schenkel der Randbogen ergeben fich in bekannter Weise in i, i, bezw. k, k₁. Bemerkt sei, dass bei diefer Darstellung der Kreuzund Randbogen die Halbmeffer ai = bi, = ak = dk, nach einer einfachen geometrischen Beziehung gleich 3/4 der Seitenlänge ab des quadratischen Grundriffes find. Die entstehende Bogenform ift nicht ungünstig. (Vergl. Art. 128, S. 155.)

Die zwischen den Schenkeln der Randbogen und den halben Diagonalbogen



liegenden Kappen können ohne Weiteres reine Kugelflächen als Laibung erhalten.

Auf Grund der in Art. 237 (S. 349) gegebenen Entwickelungen ist m als Schnitt des Lothes im auf ab und des Lothes sm auf ac der Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles aes und der um m mit dem Halbmesser m a 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 liesern sofort die als Kreisbogen vorhandenen Scheitellinien lf, bezw. oh, deren Mittelpunkte in i_1 , bezw. k_1 bereits beim Festlegen der Randbogen erhalten wurden.

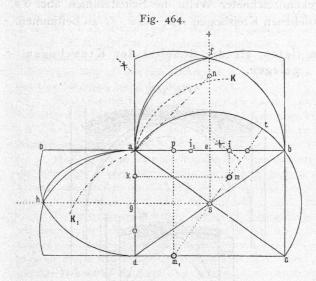
Bei dieser Ausmittelung der Bestandtheile des hier behandelten Kreuzgewölbes zeigt sich ein inniger geometrischer Zusammenhang derselben unter einander. In constructiver Beziehung tritt eine Vereinigung der nach Art schmaler Tonnengewölbe herzurichtenden Kreuz- und Stirnrippen mit Kugelgewölbstücken der Kappen aus, wodurch zugleich die Busung der Kappenschichten sest gelegt ist.

Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Bufung angenommen werden, fo daß die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewiffer Freiheit aufzustellenden Gesetze zu einer sphäroidischen Fläche auszubilden ist; oder soll unter Umständen bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Busung sich geltend machen — so entstehen hierdurch keine nennenswerthen Schwierigkeiten. Hiervon wird bei der Aussührung der Kappenmauerung gothischer Gewölbe noch näher die Rede sein. Immerhin erscheint aber die besprochene einsache Gestaltung der Kappenstücke nach Kugelslächen, welche in unmittelbarem und innigem Zusammenhange mit der Form des Gewölbgerippes stehen, als solgerichtig, auch in Rücksicht aus ihre Stabilitätsuntersuchung und Aussührung als zweckmäßig.

Würde für den Kreuzbogen statt des Halbkreises ein mehr oder weniger hoher Spitzbogen gewählt und alsdann seine Pfeilhöhe für die Scheitelhöhe der Randbogen zu Grunde gelegt, so erleiden die massgebenden Entwickelungen hinsichtlich der Feststellung der Form dieser Randbogen und der Kugelslächen der Kappen keine Aenderung.

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

278. Rechteckiger Grundrifs.

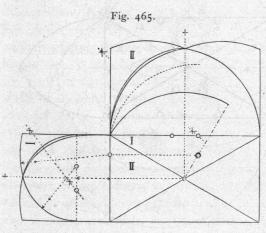


Hierdurch ift die Scheitelhöhe st = sa bestimmt und danach die Höhe der Randbogen ef = gh = st genommen.

Die Mittelpunkte des Randbogens afb der langen Seite des Rechteckes werden in i, bezw. i₁ gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen ahd liegen in den Endpunkten a, bezw. d der kleinen Seite des Rechteckes. Diefer Randbogen umfchliefst 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 rechtwinkeligen und gleichschenkligen Dreieckes genommen wird, dessen Katheten ea und en gleich der halben großen Rechteckseite ab sind. Bei diesen Abmessungen wird der Randbogen der großen Seite ein ziemlich stumpser, aber sonst nicht ungünstig gesormter Spitzbogen, während der Randbogen der kleinen Seite verhältnissmäsig schlank gebildet erscheint. Würde die Seite ad kleiner als an werden, so würden die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens unter der Annahme der gleichen Scheitelhöhen für sämmtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über a und d hinaussallen und somit einen sehr steil aussteigenden Spitz-



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

Rechteckseite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen II der schmalen Seiten bei der Beobachtung einer Busung sphäroidische Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 464 angenommenen Verhältnisse der Breite zur Länge des Gewölbeseldes sich sür diese Kappen eben so wohl, als auch sür die Kappen der langen Seite die Laibungen als Kugelslächen gestalten lassen. Ohne weitere Bedingungen zu stellen, ergeben sich die Mittelpunkte dieser Kugelslächen in m sür die Kappe ase mit dem größten Kreise K und in m_1 sür die Kappe asg mit dem größten Kreise K1; auch sind hiernach in hinlänglich gekennzeichneter Weise die Scheitellinien über se und sg als die um k, bezw. p beschriebenen Kreisbogen ko, bezw. fl zu bestimmen.

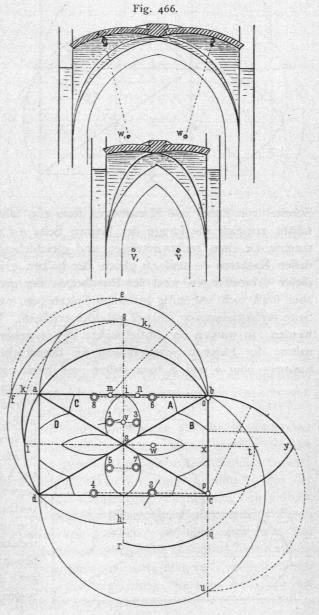
β) Die Scheitel der Randbogen tiefer, als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

279.
Rechteckiger
Grundrifs:
gleiche
Halbmesser.

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

Um zwischen den Diagonalund Randbogen einen einfachen Zusammenhang zu erhalten, sind bei vielen Kreuzgewölben des gothischen Baustils die fämmtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmesser geschlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen sollen für ein rechteckiges Gewölbeseld abcd nach Fig. 466 getrossen werden.

Die kleine Seite bc des Rechteckes sei noch etwas größer, als die Hälfte bs einer Diagonale bd. Der Diagonalbogen sei der Halbkreis dab, fo 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, fo find m und ndie Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens bea. Bestimmt man in gleicher Weise die Punkte p und o auf der kleinen Seite bc durch bp = co = sb, fo find diefe Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens byc. Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den



Höhen ie, bezw. xy über der Kämpferebene. Diese Höhen sind unter sich verschieden und stets kleiner als die Scheitelhöhe des Kreuzbogens.

Giebt man den Kappen reine Kugelflächen zur Laibung, welche unmittelbar von den fest gelegten Kreuz- und Randbogen in Abhängigkeit gesetzt werden, so ist der Punkt t als Schnitt der nicht weiter gezeichneten Lothe in s auf bs und in m auf ab der Mittelpunkt der Kugelfläche sür das Kappenstück über isb. Der größte Kreis derselben enthält in der Kämpserebene die Punkte b, g, f, d, h. Eben so ist der Punkt a als Schnitt von Lothen in a auf a und in a auf a als Mittelpunkt der Kugelfläche sür den Kappenstheil über a zu ermitteln. Der größte Kreis dieser Fläche besitzt in der Kämpserebene die Punkte a a ist Mittelpunkt der Kugelfläche sür das Stück a als Mittelpunkt der Kugelfläche sür das Stück a als Mittelpunkt der Kugelfläche sür das Stück a gefunden, so das hiernach auch leicht die Punkte a a als Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen anzugeben sind. Weiter ergiebt sich unter Benutzung der Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen in a der Mittelpunkt sür den Kreisbogen a der Scheitellinie über a mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens a der Scheitellinie über a mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens a der Scheitellinie über a mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a so mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a so mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a so mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a so mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a so mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt des Kreisbogens grader Scheitellinie über a so mit dem Halbmesser a so wie in a der Mittelpunkt der Kugelflächen a so wie i

Führt man durch das Gewölbe wagrechte Schnitte, so entstehen auf den Laibungsflächen der Kappen Kreisbogen als Schnittlinien, deren wagrechte Projectionen wie in A aus I, in B aus I, in C aus I, in D aus I, in D aus I, in D aus D in D

Wird die kleine Seite des rechteckigen Gewölbefeldes gleich der Länge bs, fo 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 tressen 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 Abschlusbogens einer Oeffnung, welche in einer etwa anzulegenden Stirnmauer bc angebracht werden sollte, kann aber ein derart steil aussteigender Randbogen nicht immer als günstig erscheinen. Bei der Anwendung gleicher Halbmesser für Kreuz- und Randbogen bei quadratischem Gewölbeselde tritt die Verschiedenheit der Randbogen nicht ein. Dieselben haben wohl eine tiesere Scheitellage, als der Kreuzbogen, aber sonst unter sich gleiche Scheitelhöhen. Letzteres ist bei einem rechteckigen Gewölbeselde 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 Halbmeffer für die Bogenform des Rippenfystemes bietet den Vortheil eines gleichartig gebildeten Auslaufes der Bogenanfätze von ihrem gemeinschaftlichen Stützpunkte an den Ecken des Gewölbefeldes. Die Ausführung der Gewölbanfänge wird hierbei erleichtert; auch wird bei profilirten Rippenkörpern ein regelmäßiges Loslöfen der einzelnen Gliederungen am Anfänger ermöglicht. Die unmittelbare Abhängigkeit der Scheitelhöhen der einzelnen Bogen von dem einmal fest gesetzten Halbmesser kann jedoch ab und an für eine besonders geplante Gewölbanordnung störend wirken. So kann die Forderung gestellt werden, den Randbogen des rechteckigen Gewölbefeldes gleiche Scheitelhöhen zu geben und dennoch die Anfätze der Kreuz- und Randbogen mit gleichem Halbmeffer zu schlagen. Um diefer Bedingung zu genügen, kann nach Fig. 468 beim Innehalten des bestimmten Halbmeffers ac der Randbogen A der großen Seite durch einen Randbogen B erfetzt werden, dessen Mittelpunkt b auf der gehörig verlängerten Geraden c a 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 anftossenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckseite nicht vollständig regelmäsig 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 ergiebt sich im Ansatzpunkte des Spitzbogens ein stumpfer Winkel oder ein Knick. Aus diesem Grunde sührt ein solcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Soll ein Knickbogen vermieden werden, fo kann, wenn bei der Forderung der Einschränkung der Scheitelhöhe des großen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich großer Halbmesser

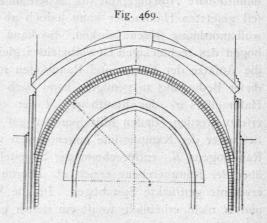
für die Anfätze der Kreuz- und Randbogen gestellt werden soll, ein aus zwei symmetrischen Korbbogen zusammengesetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 467 ist ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Ansatzbogen A ist mit gegebenem Halbmesser um den in der Kämpserebene 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 sesten 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 verhältnismässig schmalen rechteckigen Gewölbeseldern die Gestaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmonische Zusammenwirken der einzelnen Bestandtheile verwischt. Weit wichtiger, als das Anklammern an einzelne Constructionsregeln, sind hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die massvolle Bildung von Bogensormen, welche, unter sich in Vergleich gebracht, keine zu große Abweichung in dem Schwunge ihrer Linien ausweisen. Hierbei kann, als Gruppen angesehen, je für sich entweder die stumpsere oder die schlankere, steilere Bogensorm vorherrschend werden. In den meisten Fällen reicht

hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus. Bei der Schmiegfamkeit feiner Form kann derselbe fowohl in äfthetischer, als auch in statischer Beziehung mit Leichtigkeit den gewünschten oder vorgeschriebenen Verhältnissen angepasit werden. In besonderen Fällen ist der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmäsige Höhenlagen mit seinem 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



des oberen Abschlusses der in der Schildmauer angelegten größeren Licht- oder Thüröffnung concentrisch ist. Liegt der Kämpser der Oeffnung höher als der Kämpser des Schildbogens, fo erfährt dieser Bogen eine Stelzung.

7) 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 a und ß 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 Kappenfystem dargestellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieser Entwickelung auch von der Form des höchsten oder irgend eines anderen Randbogens ausgehen und danach die Kreuzbogen, so wie die übrigen Randbogen fest legen. Der Spitzbogen, an fich oder gestelzt, liefert dabei wiederum ein wesentliches Hilfsmittel.

Unregel-

mässiges

Verschieden-

Ist ein einfaches gothisches Kreuzgewölbe über einem unregelmäßigen Gewölbefelde herzurichten, so ist die wagrechte Projection des Gewölbescheitels zweckmäßig der Schwerpunkt der Grundrifsfigur. Lässt sich durch die Ecken einer vier- oder Gewölbeseld. mehrfeitigen, völlig unregelmäßigen Grundrißfigur ein Kreis legen, fo kann auch

Fig. 470.

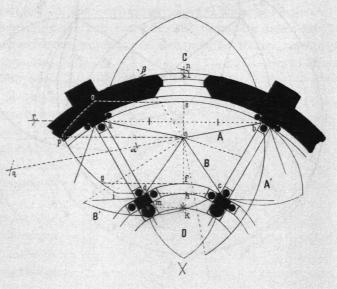
der Kreismittelpunkt, wenn derfelbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundrifsprojection des Gewölbe**fcheitels** angenommen werden. Die wagrechten Projectionen der Gratbogen, welche jetzt die Stelle der Kreuzbogen über regelmässigen Gewölbefeldern vertreten, find gerade Linien, welche von der Grundrifsprojection des Gewölbescheitels nach den Ecken des Gewölbefeldes gezogen werden. Das Austragen der Grat- und Randbogen erfolgt in ihren wesentlichen Grundlagen eben fo, wie bei den einfachen Gewölben über rechteckigen Gewölbefeldern. Das Nähere hierfür foll durch Fig. 470 angegeben werden.

Diefelbe kennzeichnet einen Theil eines unregelmäßigen Gewölbefeldes mit den Ecken a, b und der Grundrißprojection s des Gewölbefcheitels. Danach find sa und sb die wagrechten Projectionen von Gratlinien, welche die Gewölbkappe asb mit dem Randbogen über ab begrenzen. Die wagrechten Projectionen der Scheitellinien der Kappen gehen von s nach den Mitten der Seitenlinien. Die Geraden sm, bezw. sw 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 Gewölbescheitels über der Kämpserebene sest 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 s und s und s und s und s des Gewölbeschenkel s der Zueichnen. Der Gratbogen über s muss die Höhe s gleich s besitzen. Hiernach ist derselbe als Kreisbogen s mit dem Mittelpunkte in s welcher auf der Verlängerung von s liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenstücke s mit dem Mittelpunkte in s welcher auf der Verlängerung von s liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenstücke s mit dem Grat- und Randbogen soson schenden Weise der Punkt s als Mittelpunkt der Kugelssäche s mit dem grösten Kreise Kreise s mit dem grösten Kreise Kreise Kreise Kreise s mit dem grösten Kreise Kre

und der Punkt 3 als Mittelpunkt der Kugelfläche C mit dem größten Kreise K₃ gefunden. Unter Benutzung diefer 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 hγi, 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 1, bezw. auch von 2 auf die verlängerte Gerade ms gefällten Lothes fein muss. Beide Beziehungen sind in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen nl der Scheitellinie über ms austragen zu können, hätte man alfo entweder nur den größten Kreis K, oder nur den größten Kreis K2 nöthig gehabt. Zur Bestimmung der Scheitellinie ap über ws, welche der Kappe C angehört, genügt demnach auch der größte Kreis K3 der Kugelfläche C allein. Das vom Mittelpunkt 3 deffelben auf die Verlängerung von ws gefällte Loth giebt den Fusspunkt &. Der Schnitt z der erweiterten Geraden sw mit dem Kreise K3 liefert mit 8 in 82 den Halbmesser des um 8 beschriebenen Kreisbogens ap jener Scheitellinie.

Das angegebene Verfahren ist †q
für alle Kappen des unregelmäsigen
Gewölbefeldes weiter anzuwenden. Ein
wagrechter Schnitt durch das Gewölbe
würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundrifsprojection als A um 1, als B um 2,
als C um 3 u. s. w. zu beschreiben wären.

Fig. 471.



Ist der Grundriss des Gewölbefeldes ein Ringstück abcd (Fig. 471), so können die erörterten grundlegenden Handhabungen für die Ausmittelung der Grat- und Ringförmiges Gewölbefeld. Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darstellung ist s der Schwerpunkt der Grundrissfläche; die von s nach den Ecken derfelben gezogenen geraden Linien find die wagrechten Projectionen der Gratbogen.

Ift die Scheitelhöhe des Gewölbes fest gestellt, so werden derselben entsprechend die Gratbogen wie A1 für A aus α, B1 für B aus β u. f. f. als Kreisbogen geschlagen. Für die Kappenflächen aebs und ef ds ift 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 stumpse oder mehr schlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten ad und be find ohne Weiteres in schicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfsbogens über ab und des Gratbogens über A ift mals 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 Halbmeffer kn geschlagen. Für das Kappenstück über cfs wird β der Kugelmittelpunkt und der um 1 mit 1p 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, fo muss hi genau der Höhe des ideellen Randbogens über cd entsprechen. Die nach ab, bezw. cd vorhandenen cylindrischen Begrenzungsflächen durchfehneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lothrechte Projectionen, da die Kugelflächen vollständig bestimmt find, äuserst 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, fo ift die weitere Durchbildung derfelben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittelungen der Curve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

Zerlegt man die Gewölbekappen eines urfprünglich einfachen gothischen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter Grundgedanke. durch befonders geordnete und felbständig gebildete Zwischenbogen, bezw. Zwischenrippen, so entsteht das mehrtheilige gothische Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 236 (S. 346) erwähnte sog, sechstheilige Kreuzgewölbe erscheint als ein mehrtheiliges Gewölbe. Die weitere Theilung der bei folchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden größeren Kappen führt beim Einfügen einer folchen Rippe zu einem achttheiligen Gewölbe. Die bei diesen Gewölbearten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verschiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhundertes vor; fie 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 Rippenfystemes häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für sich zusammengeführten Zwischenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurtoder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firstrippen ein. Diese bezwecken eine weitere Verfpannung des Rippenwerkes unter fich. Je forgfältiger ein massvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern stattfindet, um so wohlthuender und gediegener wirkt die Anlage des mehrtheiligen Kreuzgewölbes.

Durch derartige Gestaltungen entstehen die Stern- und Netzgewölbe, deren Körper oft ein fehr reich entwickeltes Rippenwerk als Gliederung erhalten. Ihre Benennung ist in Rücksicht auf das geometrische Muster entstanden, welches durch das Zusammensügen des Rippensystemes entspringt. So lange der Grundsatz befolgt wird, eine edle und schöne Formgestaltung dieser Gewölbe mit den für dieselben geltenden statischen Gesetzen, welche vorschreiben, dass das gesammte Rippensystem fowohl in fich felbst schon mit feinen Stützpunkten, als auch mit den dazwischen liegenden Kappen in stabilem Gleichgewichtszustande befindlich sein foll, 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 künftlerisches Schaffen stets die Oberhand zu behalten. Als eine Unterstützung für eine in diesem Sinne zu bewirkende Gestaltung der mehrtheiligen Kreuzgewölbe sollen im Folgenden einige Entwickelungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufrissbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

284. Einfaches Sterngewölbe: quadratischer Grundrifs.

Ist die Grundrissigur 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 Hälste 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. s. f.
sind die wagrechten Projectionen der
Zwischenrippen. Die Punkte c oder t, u, über welchen die Scheitel der
einzeln unter sich zusammentretenden
Zwischenrippen liegen, sind hier als

Fig. 472.

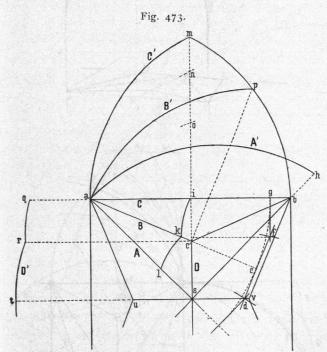
To the point of the

im Schnitt der Halbirungsstrahlen ac, bezw. bc u. s. f. der Winkel bas, bezw. abs u. s. f. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen asb u. s. f., welche zwischen den Kreuz- und Randbogen im Grundrisse entstehen, bestimmt werden. Die Geraden sc oder st, su u. s. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Befchreibt man um a mit dem Halbmeffer as des Principalsbogens A_1 einen Kreisbogen se, fo erhält man im Schnitte d deffelben mit der verlängerten Geraden ae den Mittelpunkt für den Kreisbogen B_1

der Zwischenrippe über B mit dem Halbmesser da = sa und in cn die Höhe des Scheitels der Rippen ac und bc über der wagrechten Kämpserebene, während in dem Schnitte c des Kreisbogens se mit der Seite ab des Quadrates der Mittelpunkt des Schenkels C_1 des Spitzbogens über ab gesunden wird. Für das Austragen der Scheitelrippe über cs hat man zu beachten, dass vermöge des gemeinschaftlichen in der Kämpserebene liegenden Ausgangspunktes a die für A und B vorhandenen Kreisbogen A_1 und B_1 , deren Mittelpunkte s und d gleichfalls der Kämpserebene angehören, die Kappensläche über acs als reine Kugelsläche gestaltet werden kann. Der Mittelpunkt g dieser Kugelsläche ist der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lothe. Der mit g a um g beschriebene größte Kreis schneidet die Verlängerung der Grundrissprojection cs der Scheitelrippe im Punkte cs. Der Fusspunkt cs des von g auf ss gefällten Lothes g cs wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen cs der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmesser ist gleich cs wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen cs der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmesser ist gleich cs

Die Scheitellinie op über kc ift ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmesser hw beschrieben, einer Kugelsläche zwischen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiesen wird. Der Mittelpunkt f dieser zweiten Kugelsläche ist der Schnitt der Lothe in d zu ad und in e zu ab; ihr Halbmesser ist fa, und ihr in der Kämpserebene 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 geschehen, der senkrecht in der Richtung tw genommene Schnitt des Gewölbes ohne Weiteres darzustellen.



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

Ift (Fig. 473) der Principalbogen über as der Schenkel A, eines Spitzbogens mit dem Halbmeffer ga, fo bleibt der einzuschlagende Weg für das der fämmtlichen Austragen Kreuz-, Zwischen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung dieses sesten Halbmessers, so wie für die Ausmittelung der Kugelflächen der Kappen derfelbe, 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 folche Darstellung giebt Fig. 474 mit dem Principalbogen C über einer halben Diagonale rs, dessen Halbmesser gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbeseldes genommen ist.

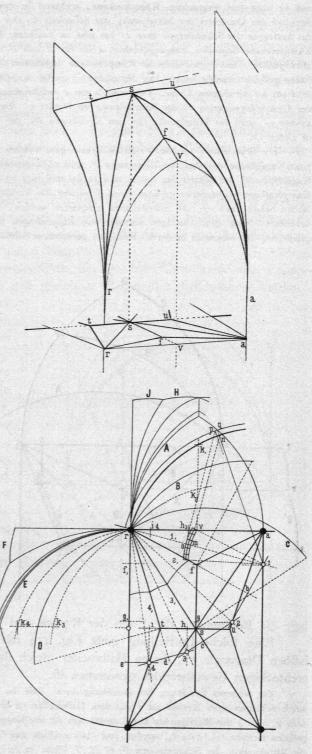
Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, dass die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreises um r mit dem Halbmesser ra in a, b, c, d, e gesunden sind, dass der Reihe nach I, 2, 3, 4 die Mittelpunkte der Kugelslächen sür die Kappenstücke I_1, I_2, I_3, I_4 mit den zugehörigen größten Kreisen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und dass endlich auf Grund der Bestimmtheit dieser Kugelslächen die Mittelpunkte der Scheitelbogen F, G, H, \mathcal{F} leicht in f_1, g_1, h_1, i_1 ermittelt werden können. Würde bei einer vorgeschriebenen Stärke der Kappe I_1 , welche durch den um I concentrisch k_1 geschlagenen Kreisbogen I0 angegeben ist, die Einwölbung nach concentrischen Ringschichten vorgenommen, so würde I0 mit Grundrissprojection einer solchen Wölbschicht bedingen. Der Ausriss, so wie das nach der Rich-

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

Der Umstand, dass bei der Anwendung eines und desselben Halbmessers für sämmtliche Kreuz-, Rand- und Zwischenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbefeldes in Rückficht 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 Veranlaffung, die Gestaltung folcher Gewölbe nach festem Halbmeffer aufzugeben, vorausgefetzt, 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. liche Verhältnisse könnten sich felbst bei Zwischenrippen in der an der kleinen Rechteckseite liegenden Hauptkappe geltend machen, so dass auch für diese Rippen eine Abänderung des festen Halbmessers räthlich sein wiirde.

Fig. 475 foll hierüber Auffchlus geben. Der Principalbogen A des hier verhältnismäßig schmalen rechteckigen Gewölbefeldes gehört der Hälfte eines spitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt ift a, also sein Halbmesser gleich a o. Würde man diesen Halbmesser in d o = a o für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, so entstände hier

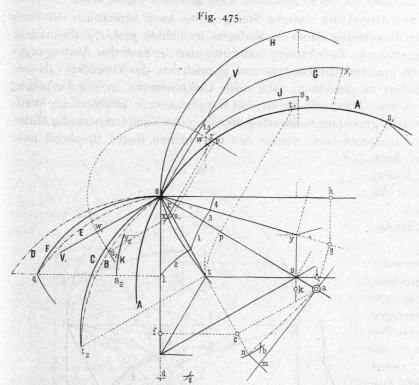
Fig. 474.



ein reichlich steiler Spitzbogen mit Bogenschenkeln D. Wollte man die Höhe dieses Bogens verringern und etwa gleich tq nehmen, so ist der mit dem Halbmesser

do = ao aus o und q bestimmte Kreuzriss e der Mittelpunkt des Knickbogens E. Zur Vermeidung dieses Knickbogens, aber zur Erzielung lothrechter Ansätze sämmtlicher Bogen in ihren Ansängen und endlich zur Einsührung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwischenbogen, welche unter sich in geregelte Beziehung gebracht sind, kann man sich des Principalbogens A, ohne gleiche Halbmesser für die Rippenbogen zu benutzen, in der folgenden Weise bedienen.

Sind die wagrechten Projectionen y und t der Scheitelpunkte der Zwischenbogen fest gelegt, hier in y auf dem Halbirungsstrahle des Winkels $h \circ s$, in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwischen der kleinen Rechteckseite und den angrenzenden beiden Grundrisslinien der Kreuzbogen, so fälle man vom Mittel-



punkte a des Principalbogens A im Grundriffe Loth ag auf die Verlängerung von oy, ferner von g das Loth gh auf die große Rechteckfeite; eben fo das Loth ac auf die Verlängerung von ot und das Loth cf auf die kleine Rechteckfeite. Betrachtet man die Fusspunkte g, h, c, fdiefer Lothe als Mittelpunkte der zugehörigen Bogen G, H, C, F,wofür die Halbmeffer fich fofort

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.

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.

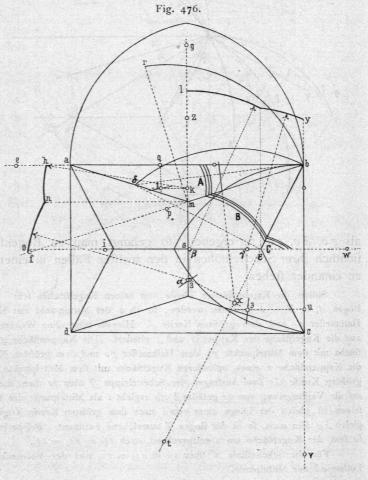
Hätte man unter der Annahme der Höhe $tt_2= extstyle t_1$ für den Zwischenbogen über extstyle t einen Knickbogen mit dem Halbmeffer a o des Principalbogens schlagen wollen, so liefert der aus o und t_2 mit a o = d ogezeichnete Kreuzrisspunkt b, welcher um eine Strecke gleich mn unter der Kämpferebene 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 I einen wagrechten Schnitt w., bezw. w1, fo ist der um a beschriebene Kreisbogen r1x die Grundrissprojection der Schnittlinie. Würde die Bedingung gestellt, dass eine von o nach t2 aussteigende Zwischenrippe einer cylindrischen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören follte, 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 oxt 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 befonderen 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 feiner Zwischen- und Randbogen durch ein Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfachste 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 künftlerifcher Weise ein und fucht hiernach, gleichfam 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 gesetzliche 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 ift, die Diagonalbogen, fo ändert fich der Gang des Austragens der Rand-, Zwischen- und Scheitelbogen nicht. Nach den gemachten Mittheilungen find, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwischenbogen, wofür z. B. $mr = \varepsilon \delta$ genommen ift, fest gestellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung fofort zu Ausmitteerkennenden lungen der Bestandtheile vorzunehmen. Bemerkt sei



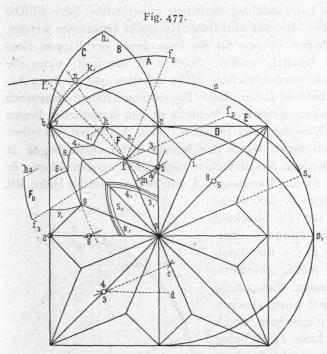
nur, dass I der Mittelpunkt der Kugelfläche A und g ein Punkt ihres größten Kreises ift, während 2 und w, 3 und i für die Kugelflächen B, bezw. C als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger größter Kreise in Betracht kommen.

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

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

Mehrgliedriges

Die Grundlage der Entwickelung dieses Gewölbes bietet das einfache gothische Gewölbe mit seinen 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 fpäter zu berückfichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derfelben Weife



vorgenommen werden, wie bei dem einfachen Sterngewölbe gezeigt ift.

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

Hierdurch ist die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmeffer s b bestimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen c und 2 geführten Theilrippen gehen durch den Gewölbscheitel, haben also eine Höhe $s s_1 = s b$. Ihre Bogenlinie ist ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie d für D, auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen find Spitz-

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

Wird hiernach die geometrische Grundrissigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollftändigt, fo entsteht die Form eines achtstrahligen Sternes. Setzt man die Höhe ff_1 der Zwischenbogen über bf, bezw. 2g u. f. f. größer, als die Höhe hh 1 der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des gesammten Gewölbes z. B. in der Weise fest, dass der Punkt 2 Mittelpunkt für den Bogen cf1 wird, so läfft fich hiernach auch der Bogen A über bf mit der Höhe $ff_0 = ff_1$ nebst seinem Mittelpunkte a darstellen.

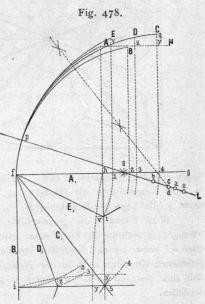
Nach diesen Bestimmungen sind alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, dass die Laibungsslächen aller Kappen gesetzmäsig entstehenden Kugelflächen zwischen ihren zugehörigen Rippen angehören sollen, so wird der Schnitt I des Lothes II auf be und des Lothes a 1 auf ba der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe 11 mit dem um 1 beschriebenen größten Kreife k1, dessen Halbmesser gleich 16 ist. Die Scheitellinie F0 über F wird der Kreisbogen h2 f8 mit dem Mittelpunkte m, also dem Fusspunkte des von I auf hf gefällten Lothes und dem Halbmesser mn, welcher in der Richtung fh von m bis n auf dem größten Kreise k1 geführt wird. Der Bogen E der Scheitelrippe tiber fs ergiebt fich aus der Bestimmung der Kugelsläche der Kappe 31. Errichtet man im Mittelpunkte 2 des Bogens cf_1 über cf das Loth auf cz und eben fo im Mittelpunkte d des Bogens D über cs das Loth auf ed, fo ist der Schnittpunkt 3 dieser Lothe der Mittelpunkt der Kugelsläche dieser Kappe. Ihr größter Kreis würde den Halbmesser 3c besitzen. Fällt man von 3 das Loth 3e auf die Verlängerung von fs, fo ist e der Mittelpunkt des Kreisbogens E der Scheitelrippe über fs. Da ff_2 gleich ff_1 , außerdem auch ss,, gleich sb fein mufs, fo ist der Bogen E überreichlich bestimmt. Sein Halbmesser ist efz, bezw. es,.. Nach gleichen Masnahmen find die Punkte 4, 5, 6, 7, 8 als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen 41, 51 bis 81 aufgefucht. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diesen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entsprechend bezeichnet, im Grundrisse näher angedeutet sind.

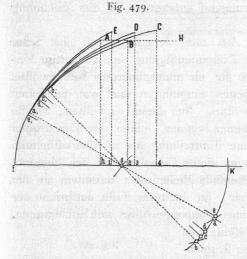
Nach diesen Angaben können die Austragungen der Bestandtheile eines Sterngewölbes, welches in anderer und in sonst beliebiger Weise angeordnet ist, besondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 277 (S. 404), darauf hingewiesen werden, dass, falls die einzelnen Kappen eine andere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

288. 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 vorgeschriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen stets gleichen Halbmesser besitzen sollen. Diese Bogensormen haben namentlich in der englischen Gothik Verwendung gefunden. Meistens ist den sämmtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpserebene 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 sest

gefetzt, während der Zwischenbogen E diese Höhe um das Mass 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 Grundriss eingetragenen, mässig gekrümmten Hilfslinien hy und iy gewonnen. Sämmtliche Bogen sind in ihren Ansängen fp mit einem gleichen Halbmesser p0 um den auf der wagrechten, durch den Kämpserpunkt p gehenden Linie fg beliebig genommenen Punkt o0 als Mittelpunkt beschrieben. Auf dem durch o0 und p0 gesührten Strahle p1 follen 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 Hilse von Kreuzrissen aus p und q der Strahl bestimmt, welcher in seinem Schnitte c mit pL den Mittelpunkt des Bogenstückes p C als Fortsetzung des Ansatzstückes fp ergiebt. Der Bogen fpq ist der gesuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weise





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

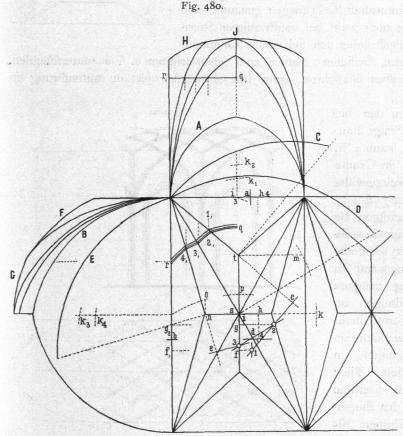
Bei dieser Bildung der Korbbogen sind im Allgemeinen die oberen Bogenstücke mit verschiedenen Halbmessern versehen, während alle Ansätze neben gleichen Halbmessern auch gleiche Bogenlängen ausweisen.

Läfft man für die Bogenansatze 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 solgende Versahren zum Austragen der Bogen benutzt werden.

Unter Annahme der Höhen der einzelnen Rippen ift 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 Halbmeffer f K beschriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie K werden die Mittelpunkte der zugehörigen



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

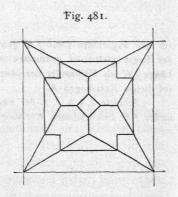
Mehrstrahlige Sterngewölbe über unregelmässigem Grundrifs werden nach denselben, für regelmässige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im Uebrigen ist dabei das in Art. 287 (S. 417) Gefagte zu beachten. Werden mehrere neben einander liegende gleiche Gewölbjoche (Fig. 480) mit Sterngewölben versehen, fo erfolgt die Gestaltung derselben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weise.

289. Mehrgliedriges Netzgewölbe.

Wird ein einfaches Netzgewölbe (fiehe Art. 286, S. 416) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zusammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, so entsteht das Tragfystem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die selbständig in die Felder des Rippensystemes eingesügten und von demselben gestützten Kappen sind das Füllwerk des Gewölbes. Bei diesen Gewölben, welche zur Ueberdeckung lang gestreckter Räume dienen können, sehlen die Kreuzrippen und meistens auch die Gurtrippen, so dass eine Eintheilung des zu überwölbenden Raumes in Joche häusig fortfällt. Die Widerlager dieser Gewölbe sind bei kleineren Gewölbeseldern einzelne Pfeiler, bei längeren ebensalls Pfeiler oder besonders an den langen Umfangswänden angebrachte Stützkörper. Im letzteren Falle entspricht der Querschnitt dieser Gewölbe häusig der Form eines Tonnengewölbes mit Stichkappen.

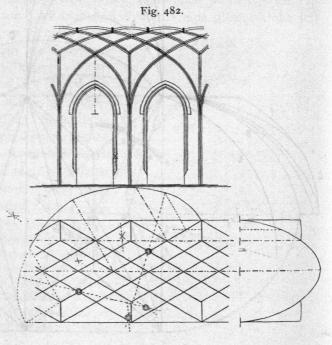
Sie unterscheiden sich aber in bemerkbarer Weise von solchen Tonnengewölben durch die selbständige Rippenbildung, durch die besondere Wölbung der Kappen, welche in ihrer Laibung mit Busung versehen, einer Tonnengewölbstäche nicht angehören und durch ihre eigenartige Gestaltung, welche nicht von der Querschnittsform des Gewölbes, sondern von der Form eines bestimmt angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Die Rippen folcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Gefammtheit Reihungen genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielstrahligen Sterngewölben eintritt. Doch lassen sieh bei diesen Reihungen



wiederum Hauptrippen, Zwischen-, Neben- und Scheitelrippen u. s. w. unterscheiden. Die Kappenselder 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 Grundrifs dargestellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 287 (S. 417) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem lang gestreckten Gewölbfelde, wie in Fig. 482, wird eine längste, von Umfangswand zu Umfangswand schräg ziehende Rippe als Principalbogen angenommen. Die Form dieses grundlegenden Bogens kann ein Halbkreis, ein Spitzbogen, ein Korbbogen u. f. f. fein. Diese Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit



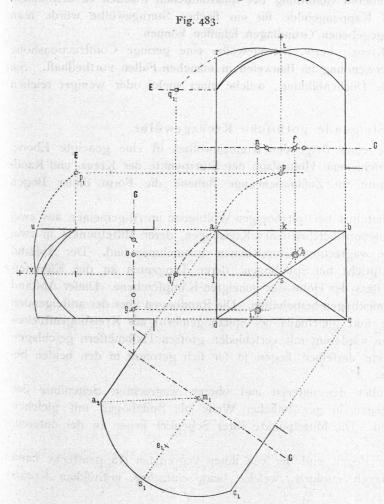
Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Principalbogen fortgeführt werden können, laffen fich in bekannter Weife und wie es aus der Zeichnung ohne Weiteres erfichtlich ift, die nöthigen Ausmittelungen schaffen.

Wie nun auch die Grundrifsbildung der Reihungen auftreten foll, immer ist dahin zu sehen, dass keine Anordnung getroffen wird, welche die Standfähigkeit des meistens in labilem Gleichgewichtszustande befindlichen Rippenkörpers an sich schon stark beeinträchtigen könnte. Eine Verspannung der Reihungen durch die eingesügten Kappen wird vermöge der ihnen zu ertheilenden Busung allerdings in gewissem Grade bewirkt.

3) Gothische Kreuzkappengewölbe.

Liegen die Scheitel der Kreuz- und Randbogen bei einem einfachen gothischen Kreuzgewölbe im Vergleich mit ihren Spannweiten in geringer Höhe über der wagrechten Kämpferebene, so entsteht das Kreuzkappengewölbe oder das flache Kreuzgewölbe. Kreuz- und Randbogen können als flache Kreisbogen oder als flache Spitzbogen (Knickbogen) ausgebildet werden. Die Kappen, welche auch bei diesen Gewölben Füllungen zwischen den tragenden Rippenkörpern sind, können in ihren Lai-

Gestaltung.



bungen Kugelflächen oder fphäroidischen Flächen, seltener cylindrischen Flächen angehören.

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

Für das rechteckige Gewölbfeld a b c d (Fig. 483) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe ac ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m,, dem Halbmesser m, a, und der Pfeilhöhe $e_1 s_1$ fein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene G heifse die Grundebene. Die Randbogen über ab und ad mögen flache Spitzbogen fein, welche, hier z. B. mit demfelben Halbmeffer $m_1 a_1$ des Kreuzbogens beschrieben, ihre Mittelpunkte wie f, g in der Grundebene G besitzen sollen.

Hierdurch find bereits die fämmtlichen Bogen des Rippenwerkes bestimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelstächen gewölbt werden, so sind die Mittelpunkte derselben in der Grundebene aufzusuchen. Für die Kappe ask wird offenbar nach den früher gemachten Mittheilungen der Punkt h, für die Kappe ask dagegen der Punkt i der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmesser ha um h beschriebener Kreisbogen ap gehört einem in der Kämpserebene E gelegenen Parallelkreise der Kugelsläche der Kappe ask an, während der mit dem Halbmesser ia um i beschriebene Kreisbogen aq einem Parallelkreise der Kugelsläche der Kappe ask zu erhalten, ist der Punkt i nach n auf G und der Punkt q nach q_1 auf E zu projiciren und sodann um n mit dem Halbmesser nq_1 der Kreisbogen q_1t 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 Ausmittelung der Hauptbestandtheile eines flachen Kreuzgewölbes, so lange die Mittelpunkte der Rand- und Kreuzbogen in einer und derselben Grundebene liegen, äußerst einfach, auch selbst dann noch, wenn diese Bogen mit ungleich großen Halbmessern beschrieben sind. Liegen die Mittelpunkte der Bogen nicht in einer und derselben Grundebene, so hat das Austragen der Bogen selbst an sich keine Schwierigkeit; nur sind dann die Laibungen der mit Busung zu versehenden Kappen nicht mehr reine Kugelstächen. 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 Conftructionshöhe erfordern, fo ist ihre Verwendung im Bauwesen in manchen Fällen vortheilhaft. Sie liesern eine ansprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausstattung fähig ist.

4) Steigende gothische Kreuzgewölbe.

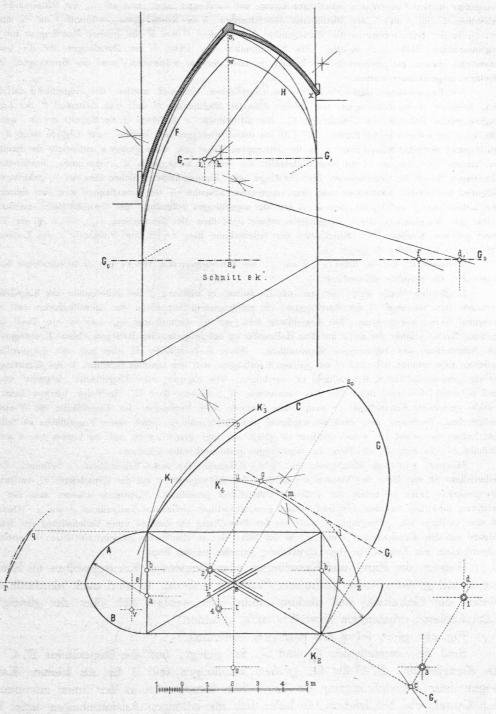
291. Gestaltung. Die Kämpferebene eines steigenden Kreuzgewölbes ist eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verschiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zusammenhange stehend die Form dieser Bogen beeinstusse.

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 Kämpserpunkten lothrecht sind, stets der Höhe der geneigten Kämpserebene. Dieser Abstand wird auch passen für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der ansteigenden Seitenlinie dieser Ebene sind gleichfalls bei Spitzbogensorm aus Kreisbogenstücken zusammengesetzt, welche wiederum mit verschieden großen Halbmessern geschlagen werden. Die Mittelpunkte derselben liegen je für sich getrennt in den beiden bezeichneten Grundebenen.

Die Randbogen über der unteren und oberen wagrechten Seitenlinie der Kämpferebene find dagegen in gewöhnlicher Weise als Spitzbogen mit gleichen Halbmessen 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.





In Fig. 484 find diefe Austragungen für ein steigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde vorgenommen.

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

Gewölbes fei vorgeschrieben und als $ss_0 = s_n s_n$ aufgetragen. Hiernach ergiebt sich bei lothrechten Tangenten in den Fußspunkten sämmtlicher Kreuz- und Randbogen sofort in c auf G_n der Mittelpunkt des Schenkels C, in g auf G_n der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf G_n in der Aufrisprojection die Mittelpunkte der Schenkel, F und H des großen Randbogens mit der angenommenen Höhe $s_n w$ 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 C_n . Der Mittelpunkt I derselben ist der Schnitt der in c aus G_n , und in a aus ab errichteten Lothe. $K_1 e$ ist ein Stück ihres größten Kreises, und solglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über es in der lothrechten Ebene es d. Dem Punkte d entspricht der Punkt d_1 im Schnitte es. Ein um d_1 mit dem Halbmesser de, welcher auch gleich $d_1 s_1$ sein muß, beschriebener Kreisbogen liesert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappensläche zwischen dem um b_1 geschlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt e des Lothes von e0 aus e1, mit dem in e1 aus der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbeseldes errichteten Lothe der Mittelpunkt. Diese Kugelsläche erhebt sich über der Grundebene e2, e3, e4 ist ein Theil ihres größten Kreises. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über e5 ist der Fußpunkt e6 des Lothes e7 aus e8; ihr Halbmesser ist gleich e8.

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

In gleicher Weise wird, wie aus der Zeichnung zu ersehen, 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche zwischen dem Schenkel F des Randbogens der aussteigenden Seitenlinie des Gewölbeseldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche steht auf der Grundebene G_n . K_3 ist ein Theil ihres grösten Kreises, daher der um o mit dem Halbmesser op beschriebene, hier stark gezeichnete Kreisbogen q r die Scheitellinie der zugehörigen Kappensläche. Diese Kappensläche ist aber mit der Kappensläche zwischen dem zweiten Schenkel H des großen Randbogens und dem zweiten Schenkel H des Grundebene H und H und H und H und H ich aber nicht über der Grundebene H in Folge hiervon kann die vorhin gesundene Scheitellinie H und H wiederum den Mittelpunkt H dieser neuen Kugelsläche als Schnitt des Lothes von H aus H und H dieser neuen Kugelssche als Schnitt des Lothes von H aus H aus H dieser neuen Kugelssche als Schnitt H und H dieser neuen Kugelssche als Schnitt H des Lothes von H aus H dieser neuen Kugelssche als Schnitt H und H dieser neuen Kugelssche als Schnitt H und H dieser neuen Kugelssche als Schnitt H dies

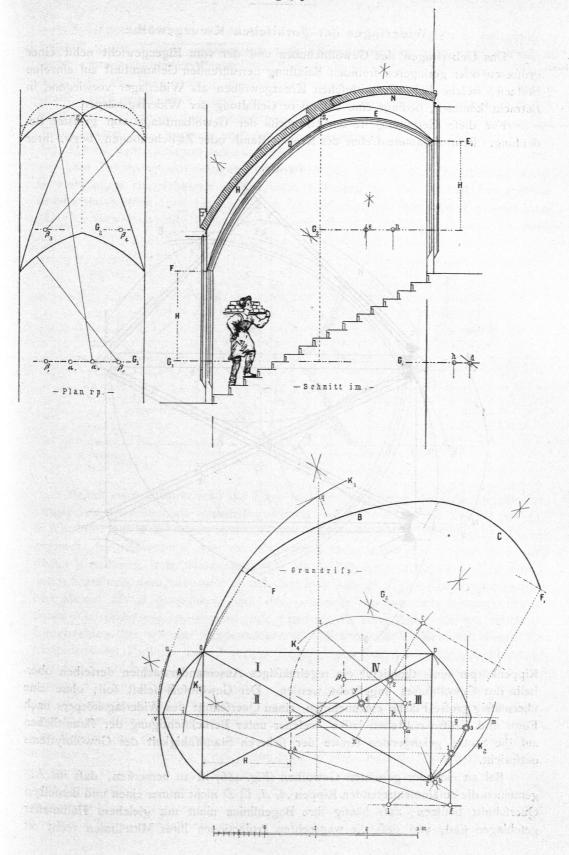
Hiernach wird t als Mittelpunkt und tu als Halbmesser der neuen Scheitellinie lz bestimmt. Diese Scheitellinie ist mit Hilse des Punktes v, welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene G, entspricht, als punktirte Linie qr neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derselben zwischen den sonst immer gemeinschaftlich bleibenden Endpunkten p und q. Dieselbe ist aber meistens sehr geringsügig, so dass bei der Einwölbung der Kappen unter Beibehaltung der Kugelstächen mit den Mittelpunkten g und g, 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 giebt sofort den nöthigen Aufschluß.

Sind die Grundebenen G_1 und G_2 feft gelegt, find die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die großen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berückfichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene beschrieben, so lassen sich alle nöthigen Ausmittelungen unter Benutzung der soeben und serner in Art. 290 (S. 421) beim slachen Kreuzgewölbe gegebenen Erörterungen für das ganze Gewölbe bewirken.

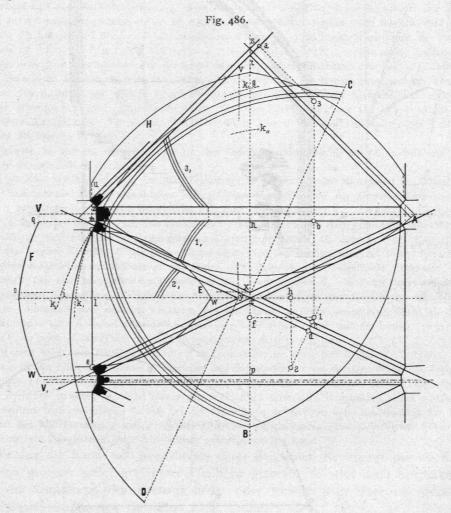
Ein genaues Verfolgen der in der Zeichnung noch näher zu ersehenden Handhabungen, welche die Gestaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen lassen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.



5) Widerlager der gothischen Kreuzgewölbe.

292. Allgemeines. Das Uebertragen des Gewölbschubes und der vom Eigengewicht nebst einer größeren oder geringeren fremden Belastung herrührenden Gesammtlast 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



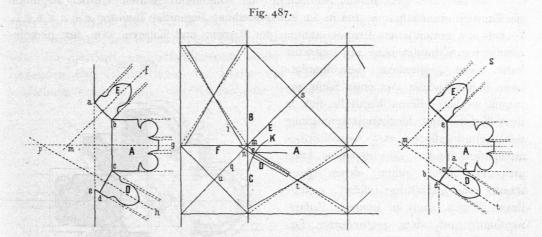
Rippenkörper muß thunlichst ein regelmäßiges Auseinanderwachsen derselben oberhalb des Gewölbfußes angestrebt werden. Der Gewölbfuß selbst soll, ohne eine übermäßig große Fläche einzunehmen, einen Querschnitt des Widerlagskörpers nach Form und Größe entstehen lassen, welcher unter Berücksichtigung der sämmtlichen 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 häusig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmesser geschlagen sind, und dass die wagrechten Projectionen ihrer Mittellinien recht oft

beim Zusammentreten von verschiedenartig im Grundriss angeordneten Gewölbeseldern ungleich große Winkel zwischen sich einschließen oder sich auch nicht einmal in einem gemeinschaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diese Umstände beeinfluffen die Entwickelung 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 Kugelsfächen mit den Mittelpunkten 1, 2, bezw. 3 und den größten Kreisen k, k,, u. s. f. nach dem in Art. 237 (S. 348) Gefagten bewirkt wird.

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

293. Querfchnittsbildung



Behält man entsprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbefelder die Diagonalen derfelben als Grundrifsprojection der Mittellinien der Kreuzbogen bei, fo 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 Gurtrippen A, B, F und C, durch Einführen der Querprofile A der Gurtrippe und D, E der Kreuzrippen, welche hier kleiner als A genommen find, den Grundrifs des für diese Rippen erforderlichen Gewölbfußes, so ergiebt 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 fich geltend machen, fo dafs auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe C von der Rippe A nicht entstände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie mt der Rippe C kann jedoch eine bessere Abzweigung derselben erzielt werden. Zur Bestimmung dieser neuen Lage der Mittellinie der Rippe C kann man in der folgenden Weise verfahren. Beschreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projection t des Scheitelpunktes des Gewölbes zwischen A und C mit dem Halbmesser tc einen Kreisbogen K, so kann man die Breite ad der Rippe D derart einfügen, dass a nach e 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 gegenseitiges Einschneiden entwickeln. Allerdings tressen sich die Mittellinien der einzelnen Bogen, zumal auch die neue Mittellinie i durch Verlegen entstehen muss, nicht mehr in einem gemeinschaftlichen Punkte m. Hierdurch entsteht in statischer Beziehung der Uebelstand, dass die Schübe der einzelnen Bogen unter Umständen als Kräfte im Raume neben einem resultirenden Gesammtdrucke noch ein den Pseiler auf Drehung beanspruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meistens nicht sehr große Drehmoment dieses Kräftepaares durch eine in geeigneter Weise ausgesührte Ausmauerung der Gewölbzwickel thunlichst ausgehoben werden kann, wird bei der Stabilitäts-Untersuchung der Pseiler näher angegeben werden.

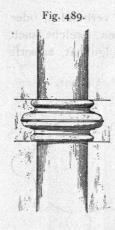
Bei der hier getroffenen Anordnung der zusammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten a, b, c, d u. f. f., fo das ein einheitliches Emporwachsen der Rippen und Kappen von der gemein-

fchaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanfatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle fich in ihrer Kelch- und Deckenplattenbildung der Grundrifsfläche des Gewölbfußes anzupaffen haben; oder derfelbe kann auf einer Stütze ruhen, deren Querfchnitt eine Geftaltung erfährt, welche ihrem Wesen nach in innigem Zusammenhange mit dem gegliederten Gewölbanfatze bleibt. Hierdurch entsteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

Den Ausmittelungen der Fußflächen der Rippen entsprechend, ist in Fig. 488 die Gestaltung des Querschnittes eines einsachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinFig. 488.

längliche Auffatzfläche zu schaffen, ist eine zweckdienliche Grundrissform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsseitig in der Zeichnung angegeben ist, zu entwerfen.

294. Eckige Pfeiler mit Diensten. Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbansatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeiler-Kapitell, dienen besonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querschnitt derselben geht meistens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen selbst führen den Namen Dienste. Ihre Anordnung zeigt die Seite F in Fig. 488. Dieselben können sowohl bei gegliederten Pfeilern mit rundem Kern, als auch bei solchen mit eckigem Kern austreten. 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 sür jeden einzelnen Dienst wiederum eine besondere Basis angeordnet ist. Meistens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienste mit

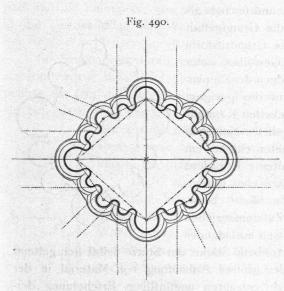


größerem Durchmeffer als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienste heißen alte, die schwächeren dagegen junge Dienste.

Die in charakteristischer Weise bei diesen gegliederten Pfeilern austretenden Dienste werden entweder bei jeder Pfeilerschicht mit angearbeitet, oder sie werden vielsach als selbständige cylindrische Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder selbst so angeordnet, dass sie den Pfeilerkern in geringer Entsernung frei als Säulchen umstehen.

Die felbständigen Dienste 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 Dienste richtet sich nach der Querschnittsentwickelung 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 Entwickelung erfahren, als die Kreuzrippen (Fig. 490), so verlangen erstere an sich



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

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

ftärker sein soll, als die daneben stehenden Dienste 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 Dienste 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 ausgegeben 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.

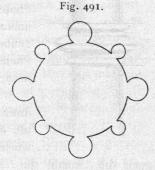
Um die Grundform des Pfeilers möglichst lebendig zu gestalten, sind die einzelnen

Dienste häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform ist durch Anwendung mehrfacher Profilirungen, welche auch felbst eine Umwandelung des Kreisquerschnittes der Dienste im Gesolge hat, äußerst reich und hausget anhildet. Die Welche der Dienste im Gesolge hat,

reich und bewegt gebildet. Die Werke der gothischen Baukunst bieten hierfür eine große Anzahl von Beispielen.

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.

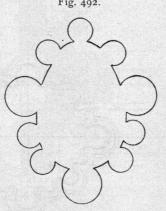
295.

Rundpfeiler

mit Diensten.

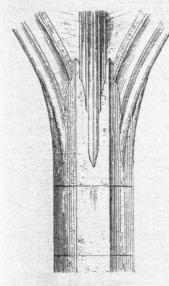
> Die einfache Rundfäule oder der einfache, im Querschnitt quadratisch, rechteckig oder regelmäsig vielseitig gesormte Pfeiler mit entsprechender Bildung des Kapitells und der Fussung (Basis) ist, an und für sich als

Kapitells und der Fußung (Baßs) ift, an und für sich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgestalt des ungegliederten Pfeilers. Gestattet die Grundrissorm des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter fachgemäßem Zusammenziehen und Anordnen der Rippenprofile ein ungezwungenes Aussetzen auf die geeignet umgrenzte Deckplatte des hiernach entwickelten Kapitells der Säule oder des Pfeilers, so wird in dieser einfachen Stütze unter Beobachtung ihrer geeigneten Stärke ein schätzenswerthes Constructionsglied erhalten. Erfordern größere Grundrissslächen der Bogenansätze eine wesentliche Vergrößerung des Durchmessers 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 häusig und namentlich bei den ungegliederten Pfeilern der Spätzeit der Gothik eine Umwandelung der Stützen der Bogenansänge vorgenommen, wobei sowohl auf das Einsügen eines Kapitells, als auch auf eine Verbindung mit Diensten Verzicht geleistet wurde. Hierbei treten die verschiedensten Anordnungen auf. Die Rippen setzen sich, aus den Mantelslächen der Stützen abzweigend, unmittelbar an den Körper derselben, oder sie werden mittelbar durch am Stützkörper vorhandene consoleartige Auskragungen, bezw. durch kurze auf Auskragungen stehende Dienste mit oder ohne Kapitell u. s. setzen. Dabei durchschneiden (Fig. 493) die Mantelslächen des ungegliederten Pfeilers nicht allein die Seitenslächen der Rippenkörper, sondern auch vielsach die Gewölbslächen der Kappen, so dass im Allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung entsteht, wenn nicht in geschickter und künstlerischer

Fig. 493.



Weise für eine lebendige Verwebung des Bogenansatzes mit dem Stützkörper gesorgt wird.

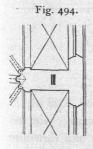
Die Wandpfeiler find im Wesentlichen Theile der frei stehenden Pfeiler, welche so weit in Benutzung treten, dass eine sichere Auflagerung der Bogenansätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten sich also vorzugsweife nach der Durchbildung der gegliederten oder ungegliederten Pfeiler, so weit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Theile des Bogenansatzes dabei maßgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verschiedener Weise getroffen werden. Diefelben reichen entweder vom Fußboden bis zum Bogenanfatz, find dabei mit Diensten versehen, bezw. treten ohne Dienste als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorfprunge auf, welchem unter dem Bogenansatze nur kurze Dienste auf Auskragungen angefügt find, oder dieselben endigen in geeigneter Höhe über dem Fußboden und

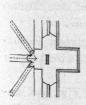
find hier als befondere Auskragungen gekennzeichnet. In jedem befonderen Falle ist die Durchbildung der Wandpfeiler in harmonischer Uebereinstimmung mit den frei stehenden Pfeilern anzustreben.

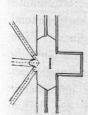
Im Stützenfystem des gothischen Kreuzgewölbes nehmen die Strebepfeiler als constructive Bauglieder einen hervorragenden Rang ein. Die auf einzelne Stützpunkte der Umfangsmauern der Gewölbanlage übertragenen Gewölbschübe erfordern ein besonderes kräftiges Widerlager, welches in seiner ganzen Stärke für die zwischen

den einzelnen Stützpunkten liegende Wand nicht nöthig wird, fondern vorzugsweise als ein mit der Wand in Verbindung stehender Mauerkörper als Pfeiler, Strebepfeiler genannt, anzuordnen ist.

Diese als stützende Mauerkörper herzurichtenden Strebepfeiler





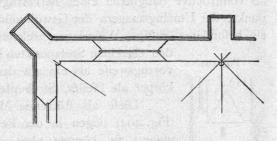


(Fig. 494) liegen in der Regel, wie in I, außen an der Umfangsmauer; sie können aber, wie bei II, auch theils innerhalb der Wand oder, wie bei III, ganz innerhalb des Raumes angebracht werden. In den gewöhnlichen Fällen stehen dieselben rechtwinkelig zur Umfangsmauer; bei Mauerecken (Fig. 495) entweder in der Richtung jeder Mauerflucht oder allein in der Richtung der Halbirungslinie des inneren Winkels der zusammentretenden Mauern. Für die Gestaltung des Aufrisses der Strebepfeiler ließen sich, unter ausschließlicher Berücksichtigung der günstigsten Stabilitätsverhältnisse und des damit verbundenen geringsten Materialaufwandes, mannigfache Gefichtspunkte fest stellen. Die gleichzeitige und nicht minder bedeutungsvolle Rückficht auf die architektonische Ausbildung solcher Stützkörper bringen jene Gesichtspunkte jedoch in engere Grenzen. Im Befonderen find die Querschnitts- und die Höhenentwickelungen der Strebepfeiler unter Beobachtung einer möglichst günstig im Inneren des Stützkörpers verlaufenden Mittellinie des Druckes vorzunehmen, welche fich als Fortsetzung des auf den Strebepseiler gelangenden refultirenden Gewölbschubes in Vereinigung mit den Gewichts-

297. Wandpfeiler.

298. Strebepfeiler. antheilen des Mauerwerkes diefer Wider- Fig. 495. lagskörper ermitteln läfft. Im Allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Absätze verbreiterte Aufrissform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektonische Behandlung im Einklange mit den statischen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abschrägungen, Abdeckungen der Abfätze durch Gesimsstücke, durch schräge Deckplatten, fo wie die Anordnung von Wafferschlägen, von satteldachartigen 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 ift für die folgerechte Entwickelung der Strebepfeiler die Höhenlage der Kämpferebene der Bogen der Lichtöffnungen in der zwischen den einzelnen Strebepfeilern befindlichen Umfangsmauer in Bezug auf die Kämpferebene der antretenden Gewölbe in Betracht zu ziehen. Liegt die Kämpferebene der Fensterbogen bedeutend höher als der Gewölbefuß, wie folches bei den



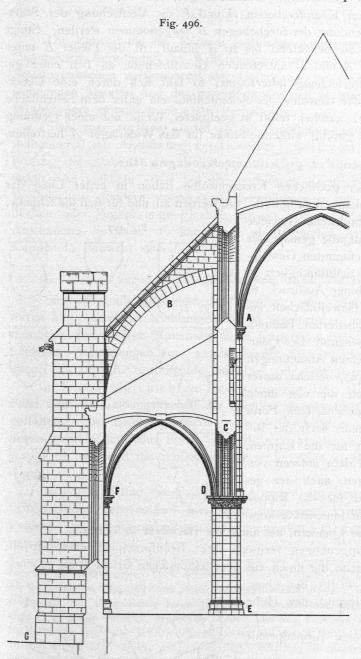
Bauwerken der Gothik in Deutschland und Frankreich in der Regel der Fall ist, so wird hierdurch eine größere Stärke der Strebepfeiler veranlasst, als wenn, wie bei der Gothik in Italien fich zeigt, die Kämpferebenen der Fensterbogen und Gewölbe gemeinfam find. Hierbei ist die Stärke der Strebepfeiler herabzufetzen; der Strebepfeiler erscheint alsdann mehr als eine äußere Mauervorlage oder Lifene.

Ein bedeutungsvolles Bauglied ift 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 fichere Abstützung des vom Schube des Gewölbes A des Mittelschiffes beanspruchten Pfeilers C, bezw. E, ohne dass, diesem Gewölbschube entsprechend, eine an fich erhebliche Verstärkung des Pfeilers vorgenommen werden durfte. Eben so beanspruchte das in seiner Kämpserebene DF bedeutend tiefer als das Gewölbe des Mittelschiffes gelegene Gewölbsystem der Seitenschiffe besondere Stützkörper. Das unter zweckmäßiger Vergrößerung der Stärke dieser Stützkörper entstehende Widerlager gestattete das Einfügen eines frei über das Gewölbsystem der Seiten-

Strebebogen.

fchiffe und ihrem Dachwerke hinweg ziehenden Bogens B, welcher als Strebe dem Gewölbschube bei A Widerstand zu leisten und hierzu am Strebepfeiler G sein weiteres Widerlager zu erhalten hatte. Hierdurch wird in vortheilhafter Weise der Schub des Gewölbes des Mittelschiffes auf die Strebepfeiler der Seitenschiffe über-



tragen und damit gleichzeitig eine in Rücksicht auf die Stabilität der Zwischenpfeiler E günstig auftretende Construction geschaffen. Wie die Wirkungsweise eines derartigen Strebe- oder Schwibbogens näher beurtheilt und wie eine möglichst günstige Form für seine Wölblinie ermittelt werden kann, wird später bei der Stabilitäts-Untersuchung desselben gezeigt werden.

Construction und Anordnung des Syftems der Strebepfeiler in Verbindung mit der Anlage der Strebebogen beeinflufften als mächtiges Stützengebilde der gothischen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einschlägigen Bauwerke der Gothik fich ergiebt, eine architektonische Entwickelung des Grundriffes, fo wie des Aufbaues im Inneren und Aeufseren, welche die Schranken, die fich bei der Anlage der fonst bekannten Gewölbe einstellten, zu beseitigen vermochte. Nicht zu verkennen ift, dass in Folge dieses Constructions mittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr

Strebebogen, welche sich gegen gemeinschaftliche Strebepseiler setzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachtheilige Veränderungen zu schützen, mit einem so erheblichen Auswande von Baukörpern erreicht ist, dass häufig die räumliche Wirkung des Inneren der

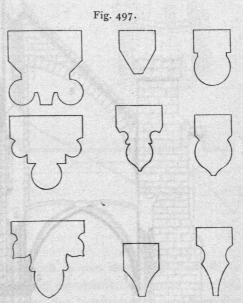
Bauanlage gegen das in weit gehender und reichster Weise gebildete äußere Constructionsgerüft zurücktritt.

Von rein statischem Gesichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei seitlich neben einander gereihten, symmetrisch geordneten Gewölbanlagen mit verschieden hoch gelegenen Kämpserebenen 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 Pseiler E unter Berücksichtigung der von A und D antretenden Gewölbschübe an sich einer gewissenhaften statischen Untersuchung 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.

Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe haben in erster Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liesern. Sie werden an und für sich als schmale,

felbständig 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 Gewölbflächen liegenden, entsprechend gegliederten Bestandtheile, Rippenprofile genannt. Der Querschnitt der Rippen ist in seinen 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 fog. Rückenansatz, in dem unteren vorspringenden Theile dagegen nach der gewählten Profilirung. Diese für die Rippen allgemein geltenden Constructionspunkte kom-



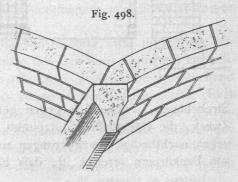
men fowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backstein in Betracht.

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 Querfchnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

In Fig. 497 find einige Rippenprofile gegeben.

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



300. Rippen. ansatz nach bestimmten Gesetzen zu bilden, welche mit Hilfe der folgenden Mittheilungen unmittelbar aus der Gestaltung der antretenden Kappen und vorzugsweise aus der Art ihrer Einwölbung abgeleitet werden können.

7) Einwölbung der Kappen.

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

Kappen.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backstein-, Quader- oder geeignetes Bruchsteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; lässt man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, dass bei den gothischen Kreuzgewölben weniger cylindrische Wölbflächen, fondern vorzugsweise Gewölbkappen mit Busung, also reine Kugelflächen oder kugelförmige Flächen mit oder ohne Stelzung als Laibungsflächen in Anwendung kommen: so kann man die folgenden Arten der Einwölbung dieser Kappen in Betracht ziehen.

a) Busige Kappen ohne Stelzung.

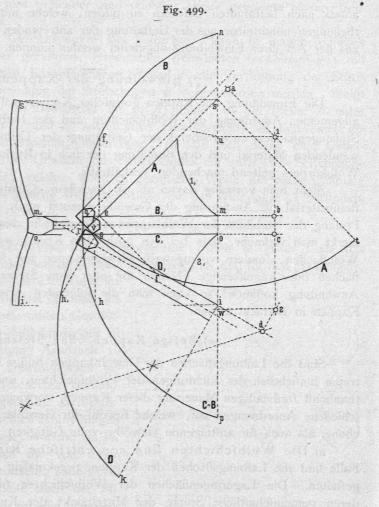
Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen bufige Flächen ohne Stelzung, fo treten hinsichtlich der Richtungen der Wölbschichten, unter Berücksichtigung einer thunlichst freihändigen Mauerung dieser Kappen, vorwiegend vier von einander verschiedene Anordnungen auf, welche sowohl für Gewölbe mit wagrechter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

a) Die Wölbschichten sind concentrische Ringschichten. Falle sind die Laibungsflächen der Kappen zweckmässig als reine Kugelslächen zu gestalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten sind alsdann Kegelflächen, wölbschichten. deren gemeinschaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe ift, während die Stofsfugenflächen derfelben in Meridianebenen dieser Kugel liegen.

302. Erfte Anordnung

In Fig. 499 find die Fussflächen q und r der Kreuzrippen und der Fuss v der Scheiderippe, deren Axen hier unter ungleichen Winkeln und in verschiedenen Punkten in der Kämpferebene zusammentreten, in gegenseitiger Durchschneidung

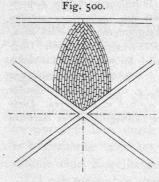
Die feitlichen lothrechten Begrenzungsflächen der Rippenkörper enthalten die Widerlagslinien der antretenden Gewölbkappen. Diese Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappen mit den Seitenflächen der Rippen treffen sich je in einem gemeinschaftlichen Punkte, wovon e, bezw. g als wagrechte Projectionen erscheinen. Bei unregelmäsig 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 Kugelslächen einzuführen, ist zunächst für die Widerlagslinie der Laibungssläche der Kappe ems an der Seitenebene A1 der Kreuzrippe g der Kreisbogen A mit der gewählten Höhe st um den auf der Geraden es liegenden Mittelpunkt a geschlagen. Dieser Kreisbogen wird natürlich für die Begrenzungslinien der Profile der Kreuzrippe ebenfalls berückfichtigt. Derfelbe 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 Schnittpunktes über der Kämpferebene erhalten. Errichtet man in e auf eb das Loth ef1 von der Länge ef, so ist f1 ein Punkt des als Widerlagslinie an der Seite B der Scheiderippe zu ermittelnden Kreisbogens. Ein zweiter Punkt n dieser Widerlagslinie ift durch die Kappenhöhe mn an der Rippe v an fich gegeben oder befonders zu wählen. Hier ist mn etwas kleiner als st angenommen. Endlich muss zur Erzielung einer reinen Kugelfläche, welcher die Wölblinie A und der durch f1 und n gehende Kreisbogen angehört, der Kugelmittelpunkt in der Grund- oder Kämpferebene, worin der Mittelpunkt a des Kreisbogens A liegt, enthalten fein. Bestimmt man also den Mittelpunkt b auf der verlängerten Geraden em für den durch fin gehenden Kreisbogen B, fo ist hierdurch die Widerlagslinie der Kappenlaibung über ems an der Seite B1 der Scheiderippe gefunden. Die Lothe von a auf ea und von b auf eb liefern in ihrem Schnitte I den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems. Ein um I, z. B. als I1, beschriebener Kreisbogen ist die wagrechte Projection der Lagerkante



einer Wölbschicht; dabei aber auch die Projection eines auf die wagrechte Kämpserebene zu beziehenden Parallelkreises der Kugelsläche, so dass alle Punkte solcher Lagerkanten gleiche Höhenlage über der Kämpserebene besitzen.

Die Widerlagslinie an der Seite C_1 der Scheiderippe v muß ein Bogen C fein, welcher fich 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. 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 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 Maßsnahmen wird in d0 der Mittelpunkt der Kugelsläche für die Kappe goi gesunden. Der um d0 beschriebene Kreisbogen d1 ist wiederum die wagrechte Projection der Lagersugenkante einer Wölbschicht. Die Begrenzungslinien der Profile der Rippen d1 und d2 solgen gesenlinien d3, bezw. d4. Die Scheitellinie der Kappe d5 ist der um d5 bescheitellinie der Kreisbogen d6 ist nun d6 scheitellinie der Kappe d7 der Kreisbogen d7 in it dem Mittelpunkte d8 und den Ordinaten d9 und d1 in d1 solgen den Zugehörigen d1 in it dem Mittelpunkte d2 und den Ordinaten d3 ist d4 und d5 scheitellinie der Kappe d6 der Kreisbogen d6 in int dem Mittelpunkte d6 und den Ordinaten d6 in d6 in d7 in it dem Mittelpunkte d6 und den Ordinaten d6 in d7 in d8 in d8 in d9 und d6 in d6 in d6 in d6 in d6 in d7 in d8 in d8 in d8 in d9 und d8 in d9 und d9 in d9 und d9 in d9 in d9 und d9 und d9 in d9 in d9 und d9 und d9 und d9 in

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

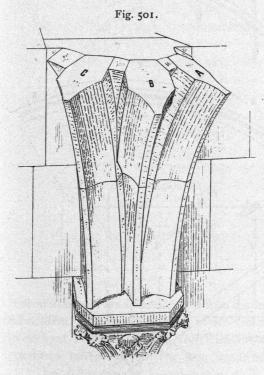


Bei der Anordnung der Wölbung nach concentrischen Ringschichten tritt über der Scheitellinie ein Zusammenschneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenschwanz-Verbandes ein. Die Größe der Halbmesser der zugehörigen Kugelslächen und die Lage der Mittelpunkte derselben beeinslusst das Zusammensügen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

So kann nach Fig. 500 leicht eine linsenförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenschwanz vereinigter Schichten zuweilen wenig günstig ist. In solchen Fällen ist der verbleibende Spalt durch besonders herge-

richtete Steine zu schließen.

Wie beim Zusammenschneiden der Fussflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenansatz unter Verwendung von Werkstücken gebildet



werden kann, möge durch Fig. 501 angedeutet werden.

Um die scharfen Schneiden der Wölbschichten am Fusse der Kappen zu vermeiden, sind die Ansätze der Kappen zweckmäßig am Ansänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen A, B, C des Rippenansatzes erheben sich ohne Weiteres die einzelnen Rippenstücke frei als selbständige Rippenkörper, wie die Bestandtheile schmaler Tonnengewölbe, so dass zwischen denselben das Einsügen der einzelnen Wölbschichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

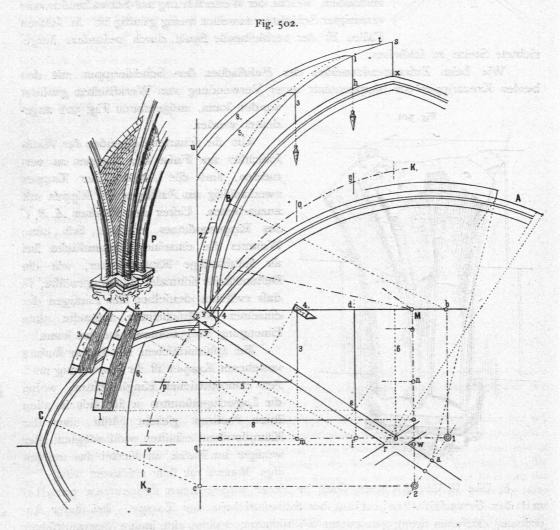
Bei sphäroidischen, mit starker Busung versehenen Kappen ist die Einwölbung nach Art concentrischer Ringschichten, wobei die Lagersugenkanten je für sich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpserebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft sehr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

b) Die Wölbschichten sind in ihrer wagrechten Projection parallel mit der Grundriss-Projection der Scheitellinie der Kappe. Bei dieser Anordnung entstehen streng genommen Wölbscharen, welche eine innige Verwandtschaft mit der Wölbung von cylindrischen Gewölben auf Kusverband ausweisen. Sind bei gothischen Kreuzgewölben die zwischen den Rippen liegenden Kappen cylindrisch gestaltet, so ist die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Voraussetzung einer vorherigen Unterschalung mit keinen besonderen Umständen verknüpst.

Bei der Bildung der busigen Kappen und bei der Rücksichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbschichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerthen Einflus auf die Gestaltung der Lager- und Stoßsugenflächen der Wölbsteine.

303.
Zweite
Anordnung
der
Wölbschichten.

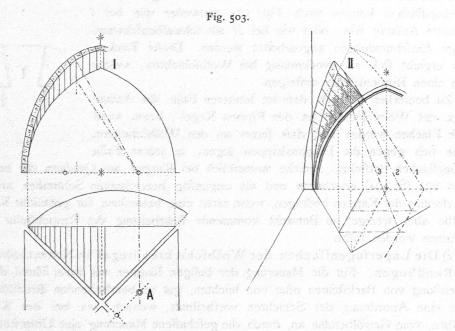
Ist nach Fig. 502 auf Grund der in Art. 237 (S. 348) gegebenen Mittheilungen für die Kappen die Bestimmung der Kugelsächen mit den Mittelpunkten I und 2 nebst den zugehörigen größten Kreisen K_1 , bezw. K_2 getrossen, so lassen sich, wie sofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbscharen austragen. Diese Lagerkanten gehören lothrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projection der zugehörigen Scheitellinien sind. Die Schnittlinien dieser Ebenen mit den betressenden Kugelslächen sind also Kreisbogen, welche als kl dem Parallelkreise mit dem Halbmesser fg, als g1 dem Parallelkreise mit dem Radius g2, weiter als g3 dem Parallelkreise mit dem Halbmesser g3, u. s. angehören. Diese Kreisbogen bestimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsstäche der einzelnen neben einander liegenden Wölbschichten.



Vermöge der verhältnifsmäßig geringen Breite der Wölbscharen können dieselben in Rücksicht auf die Richtung ihrer Stoßsfugenflächen als schmale cylindrische Gewölbstreisen angesehen werden, so dass die Stoßsfugenflächen nicht als Kegelslächen, welche für alle Wölbscharen die gemeinschaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte sinden müssten, sondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in kl und 31, so wie beim Anfänger P angegeben ist, senkrecht zu der Wölbslinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbschichten stehen.

Anders gestaltet sich die Anordnung der Lagersugenflächen der einzelnen Wölbscharen. In Fig. 503 ist in I die Theilung der Schichten am Randbogen sür eine Kappenhälste, deren Laibung die Kugelsläche mit dem Mittelpunkte A sei, ausgesührt und danach die Lage der Wölbschichten bestimmt. Die Kreisbogen der Lagerkanten sind die Leitlinien der Lagersugenflächen. Die Erzeugenden dieser Fläche können als gerade Linien sest gesetzt werden, deren Lage gewissen vorgeschriebenen Bedingungen unterworsen wird. Geht der Endpunkt dieser erzeugenden Geraden stets durch den Mittelpunkt der Kugelsläche, welcher der Kreisbogen der Lagerkante angehört, so entsteht bei ihrem Fortbewegen an der entsprechenden Leitlinie eine Kegelsläche als Lagersugensläche.

Legt man aber nach II (Fig. 503) durch die Kugelfläche der Kappe lothrechte Ebenen parallel zur Ebene des Randbogens, fo entsteht eine zweite Schar von leicht



bestimmbaren Parallelkreisen, welche die unteren Lagerfugenkanten der Wölbschichten schneiden. Zieht man durch diese Schnitte und durch die Mittelpunkte der zugehörigen zweiten Gruppe von Parallelkreisen die erzeugenden Geraden, wie 1, 2, 3 erkennen lassen, so entsteht eine windschiese Fläche als Lagerfugensläche.

Im Allgemeinen kommen nur diese beiden Gestaltungen der Lagersugenflächen in Betracht. Bei Backstein- und dünnem Bruchsteinmaterial tritt in den meisten Fällen keine besonders vorzunehmende Zurichtung der Lagerslächen in der einen oder anderen Weise ein, weil sich hierbei ein Ausgleich in der Flächenbildung durch eine entsprechende Stärke der Mörtelbänder in den Lagersugen schaffen lässt. Bei Quadermaterial ist aber die Bearbeitung der Lagerslächen nach den gegebenen Er- örterungen in strenger Weise zu veranlassen. Ob dabei Kegelslächen oder windschiese Flächen maßgebend werden sollen, ist hinsichtlich der praktischen Zurichtung von ziemlich gleicher Bedeutung. Theoretisch genommen, verdienen die Kegelslächen bei einer Busung der Kappen nach reinen Kugelslächen den Vorzug.

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

Eine freihändige Ausführung der Kappen ist bei der beschriebenen Anordnung der Wölbschichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbstreifen auch zur Unterstützung derselben während ihrer Ansertigung, wie in Fig. 502 bei kl und \mathfrak{Z}_1 angedeutet ist, einsache und leichte, senkrecht unter

die Wölbschichten ab und zu aufzustellende Wölbscheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten selbst, Theile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreise über fg, mo, np u. s. sihrer zugewiesenen Kugelslächen sind, mithin je für sich mit dem besonderen Halbmesser jener Parallelkreise beschrieben werden müssen.

Fig. 504.

Nach der Bildung der Wölbschichten lassen sich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe sest legen. Diese Widerlagsflächen können nach Fig. 504 entweder wie bei I lothrechte Ansätze sein, oder wie bei II als schwalbenschwanzförmige Einschneidungen angearbeitet werden. Dieser Rückenansatz ergiebt sich als zweckmäsig bei Wölbschichten, welche gegen einen Rippenkörper ansteigen.

Zu bemerken ift noch, dass im letzteren Falle die Ansatzflächen der Wölbschichten an den Rippen Kegel-, bezw. windschiefe Flächen werden und dass ferner an den Wölbschichten, welche sich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle

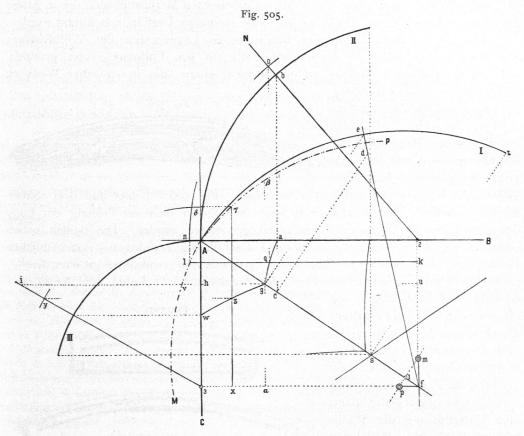
Schmiegflächen entstehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 271 (S. 394) erwähnten und als ungünstig bezeichneten Schneiden an den Ansatzsteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine besondere, für gothische Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippensteine vorgenommen werden sollte.

304. Dritte Anordnung der Wölbschichten c) Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten liegen in Normalebenen zum Randbogen. Für die Mauerung der busigen 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 Gewölbefuse an, durch die geschaffene Mauerung eine Unterstützung 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 Seitenslächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stossugenslächen an sämmtlichen Wölbschichten im ganzen Kappenkörper sür eine einsache und leichte Aussührung der Maurerarbeit sehr erwünscht. Diese Gründe geben Veranlassung, die Wölbschichten in ihren Lagerslächen nach Normalebenen zu ordnen, welche sür irgend einen hauptsächlich als Träger eines Kappenstückes austretenden Rippenkörper sest zu legen sind.

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

Liegen die Lagerflächen der Wölbschichten in Normalebenen zum Rand-, Gurtoder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, dessen Kappen nach einer reinen Kugelfläche gestaltet sind, so lassen sich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann 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 I als Kreisbogen beschriebene Diagonalbogen, II der halbe Randbogen für AB mit dem Mittelpunkte 2 und III der halbe Randbogen für AC mit dem Mittelpunkte 3. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt b des Randbogens II, welcher hier eben so wie die Kreisbogen I und III als Schnittlinie der Laibungsstächen der Kappen mit den Rippenkörpern angesehen werden soll, eine Normalebene N mit der Spur 2N in der Ebene des Randbogens II und der Spur 2f, senkrecht zu AB, in der wagrechten Kämpserebene, so ergeben sich die Schnittlinien dieser Normalebene zunächst mit der Ebene des Kreisbogens I als fe, wosür e. B. die Länge des Lothes e auf e0 auf e1 genommen wurde, und sodann mit der Ebene des Kreisbogens e1 als e2, wosür e2. B. das dem Punkte e3 entsprechende Loth e4 auf e5 gleich der



Strecke des Lothes ge auf Af abgetragen wurde. Die wagrechten Projectionen a, g, w der Schnitte der Spuren aN, fe, gi mit den zugehörigen Kreisbogen II, III find 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 sAB und P mit dem Mittelpunkt p such P mit dem Mittelpunkte P such P such P mit dem Mittelpunkte P such P mit

Die parallel zu AB senkrecht in kl ausgestellte Ebene schneidet die Kugelsläche 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 aus kl dieses Durchganges o ist ein Zwischenpunkt aus ag.

Eben fo wird die Kugelfläche sAC von der nach $x\gamma$ geführten lothrechten Ebene nach einem Parallelkreise mit dem Halbmesser $3\delta = x\gamma$ geschnitten, welcher auf der Spur 3i den Punkt y liesert, dessen wagrechte Projection z auf $x\gamma$ einen Zwischenpunkt der Wölblinie gw ergiebt.

Die Wölblinien, also die Lagerkanten der Wölbscharen der Kappen, sind stets Bestandtheile der größten Kreise ihrer Kugelstächen, weil dieselben in Ebenen liegen, welche durch den Mittelpunkt dieser zugehörigen Kugelstächen gehen. Außerdem haben sämmtliche Normalebenen die ihnen zukommenden, rechtwinkelig zu den Ebenen der Randbogen stehenden Kugelaxen als gemeinschaftliche Schnittlinie. Danach ist also die wirkliche Gestalt für die Lagerkante in der Normalebene N der Kappe SAB in dem Theile Av des zwischen den Parallelen AV und AV und AV und AV und AV bezw. AV begrenzten Stücke AV des zugehörigen größten Kreises AV und AV und AV und AV bezw. AV begrenzten Stücke AV des zugehörigen größten Kreises AV dargestellt.

Mit Hilfe dieser einfachen Beziehungen können die Ansatzslächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Eintheilung der Wölbscharen an den Randbogen vorgenommen ist, unter Berücksichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsslächen der einzelnen Wölbscharen, welche für alle Stoßugenflächen, also auch für die Ansatzslächen unmittelbar durch die entsprechenden Meridianebenen der in Frage kommenden Kugelflächen erhalten wird, ohne besondere Umstände bestimmt werden.

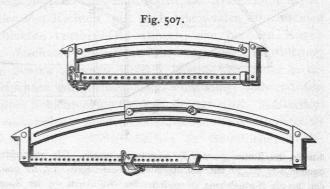
Die mit gleichem Halbmeffer beschriebenen Lagerkanten der Wölbscharen, das ohne große Mühe zu bewirkende Festlegen der Endpunkte von gruppenweise zu nehmenden Wölblinien an den Rippenkörpern, die in einsacher Weise zu

schaffende normale Richtung der Lager- und Stossfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen große Vortheile. Als geeignetes Werkzeug kann beim



Wölben der Kappen ein verstellbarer Stichbogen (Fig. 506 181), hier und dort »Säbelscheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wölblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbscharen in Gebrauch genommen werden. Die beiden neben einander liegenden, mit Nuth und Zapsen als Führung versehenen, verschieblichen Bretter sind oben nach einem Theile des für eine Kappe ermittelten größten Kreises gerundet. Durch Zusammenschieben oder Ausziehen dieser Lehre wird für kürzere

oder längere Wölbscharen die erforderliche Wölblinie erhalten. Durch die an den Stirnen dieses verstellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eisernen Winkel kann die Auflagerung seiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterstützung der Wölbscharen durch diese Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit



werden diese verstellbaren Stichbogen nach Fig. 507 182) auch aus Schmiedeeisen angesertigt.

Bei der beschriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen ein Zusammenschnitt der Wölbscharen nach Schwalbenschwanz-Verband ein. Hierbei zeigt sich aber meistens ein sehr flach gegen einander tretendes Schnäbeln der zusammentreffenden Steine. Um das dann in erhöhtem Masse er-

¹⁸¹⁾ Siehe: Viollet-le-Duc. Dictionnaire raisonné de l'architecture française etc. Band 4. Paris 1861. S. 106.
182) Von Oscar Schach, Altenburg S.-A. Gebrauchsmuster Nr. 2885.

forderliche Verhauen dieser Schnabelsteine über der Scheitellinie zu vermeiden, kann, wie aus Fig. 505 bei s zu ersehen ist, die Grenze sür die eigentliche Einwölbung der Kappen durch einen linsensörmigen Spalt gebildet werden, welcher durch kleine Gewölbstreisen, die sich rechtwinkelig nach Art des Moller'schen Verbandes gegen die Seitenslächen der Linse setzen, leicht zu schließen ist. Der geschilderte Fugenschnitt der Kappen kann auch selbst in seinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchaus Quader als Wölbmaterial Verwendung sinden sollen.

b) Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten liegen in Normalebenen zum Gratbogen. Um die Vortheile der unter c erklärten Anordnung der Wölbschichten für die praktische Ausführung der Kappen vollständig auszunutzen und um ausserdem noch einen zweckmäsigeren Zusammenstos der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenden Wölbscharen in möglichst rechtwinkelig auf Schwalbenschwanz-Verband geordneten Wölbsteinen zu erzielen, ist die Anlage der Wölbschichten nach Normalebenen zum Grat- oder Diagonalbogen vorzugsweise geeignet. Diese Anordnung sindet denn auch bei den gothischen Kreuzgewölben, deren Kappen aus Backsteinen oder geeigneten Bruchsteinen ausgesührt werden sollen, gleichgiltig, ob die Busung dieser Kappe einer Kugelsläche oder einer anderen gesetzmäsig gebildeten Fläche entspricht, in der Regel die weit gehendste Anwendung.

305. Vierte Anordnung der Wölbschichten

Wird zunächst die Gewölbebildung mit Kappen, deren Laibungsflächen in bekannter Weise als Kugelslächen 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 Kugelsläche sür die Kappe I wird in der wagrechten Kämpserebene in I erhalten; der größte Kreis dieser Kugel mit dem Halbmesser I eist 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 aus c stehenden Spur zcg in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Axe der Kugelflächen der Kappen I und II ist, durch welche die sämmtlichen Normalebenen des Bogens C gehen, schneidet als Meridianebene diese beiden Kugelflächen je für sich nach den schon bestimmten größten Kreisen k_1 , bezw. k_2 . Hierdurch ist bereits die wirkliche Gestalt der unteren Lagerkanten der Wölbschichten erhalten, und in Folge hiervon kann, wie in E und D gezeigt ist, nach Angabe der Kappenstärke und der Breite der Diagonalrippe sofort unter Benutzung der zugehörigen Kugelmittelpunkte I und z der sog. Normalschnitt in wahrer Größe unter Einstührung des Rückenansatzes, so wie der Prosilirung am Grat äußerst leicht ausgetragen werden. Sämmtliche Stoßsugenstächen der Wölbschichten gehören wiederum Meridianebenen der betreffenden Kugelflächen an. Hiermit ist eigentlich das Nothwendige für die praktische Aussührung der Wölbung der Kappen und sür die Bestimmung der Ansatzslächen an den einzelnen Rippen vollständig gegeben.

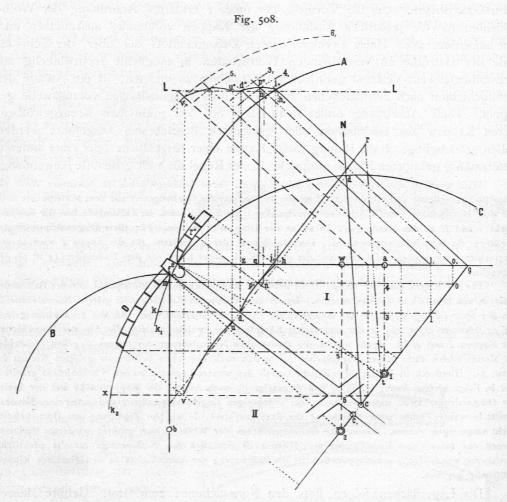
Die Lagerflächen folgen stets den Normalebenen zum Grat. Geübte Maurer sind im Stande, die richtige Stellung dieser Ebenen bei dem freihändigen Aufbau der Kappen inne zu halten. Wird zur Aufrechterhaltung der wirklichen kreisförmigen Lagerkanten als Hilfsmittel die in den Fig. 506 u. 507 gegebene verstellbare Lehre benutzt, so können bei einiger Sorgsalt unregelmässige Gestaltungen in den Wölblinien und damit in den einzelnen Kugelslächen durchaus vermieden werden.

Erscheint es erwünscht, für später unverputzte Kappenslächen einen streng richtigen Verband und einen regelrechten Verlauf der Lagerkanten der Wölbschichten zu wahren, so sind die Projectionen der Lagerkanten für mehrere Normalebenen zum Diagonalbogen durch Zeichnung zu ermitteln, um hierdurch die Lage ihrer Anschlußpunkte, wie i am Randbogen A, oder auch wie v an der Scheitellinie der

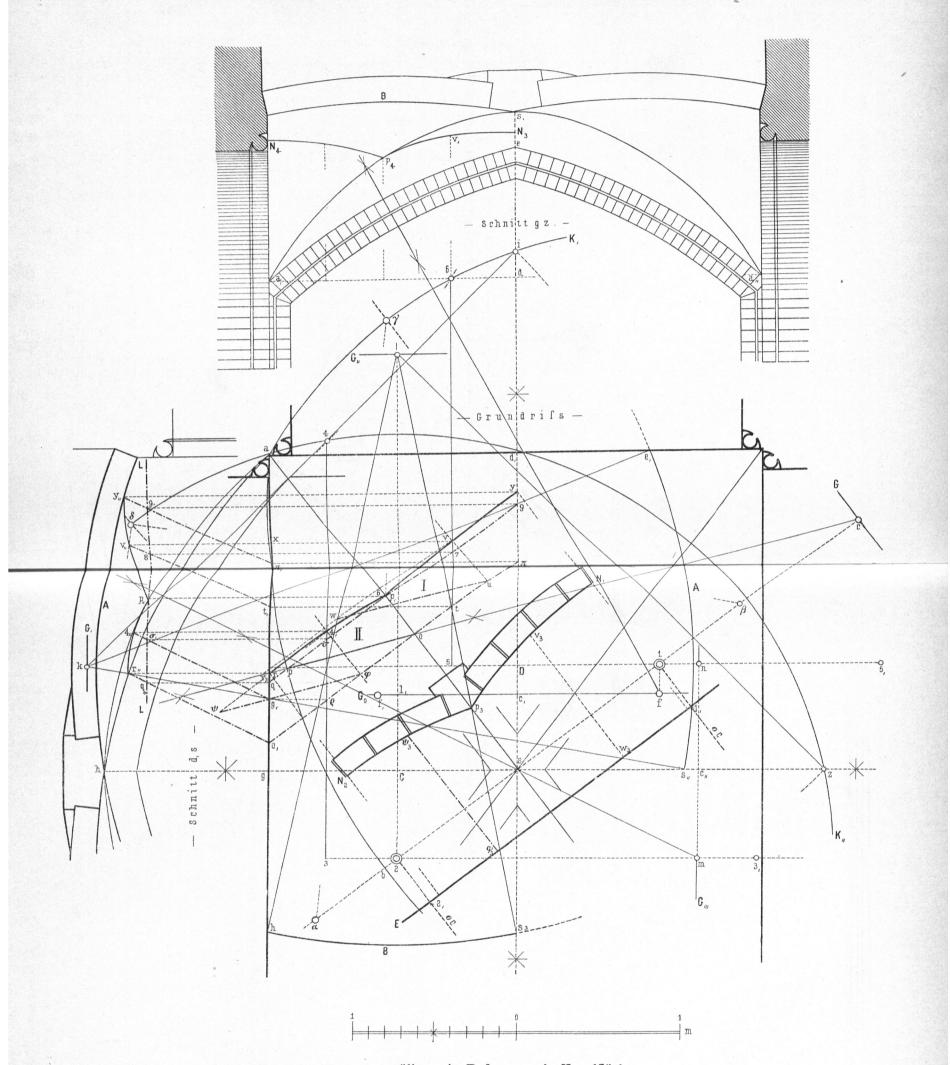
Kappe II angeben zu können. Namentlich ist das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anschlusspunkten auf die Randbogen für eine regelmässige Gestaltung der Kappenwölbung von Vortheil.

In Fig. 508 ist die wagrechte Projection $d_1 i_1$, uv, fo wie die lothrechte Projection $d_n i_n$, $u_n v_n$, der Wölblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

Die Punkte d_1 und u ergeben sich ohne Weiteres auf 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



dieser Geraden in der lothrechten Ebene des Bogens A ist parallel zu ea im Abstande $eL=d_1d$ zu sühren, während die Grundris-Projection hd_1u derselben parallel zur wagrechten Spur ga der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lothrechte Projection h, auf der Geraden LL liesert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur gh, der Normalebene N in der Ebene des Bogens A. Die Verlängerung dieser Spur gh, bis zum Bogen A liesert den Schnitt i, als lothrechte Projection des Anschlusspunktes der gesuchten Wölblinie. Die wagrechte Projection ist i_1 aus ea. Um einen Zwischenpunkt dieser Wölblinie zu ermitteln, ist eine lothrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A, a. B. nach a0, gesührt. Dieselbe wird im Grundrisse in a1 von der wagrechten Projection a2, a3 der vorhin gekennzeichneten Geraden a4 durchstosen. Die lothrechte Projection a6, dieses Durchstospunktes auf a6 giebt in Verbindung mit a6, welcher dem Schnitte a6 der Geraden a7 mit der Spur a8 der Normalebene a8 entspricht, offenbar die lothrechte Projection a6, der Schnittlinie dieser Normalebene mit jener nach a8 ausgestellten lothrechten Ebene. Letztere schneidet die Kugelstäche der Kappe a7 nach einem Parallelkreise mit dem



Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.

Halbmesser 4m. Wird mit diesem Halbmesser um a ein Kreisbogen 41 betchrieben, so schneidet derselbe die gehörige verlängerte Gerade n_{11} 01 im Punkte p_{11} 1, wodurch die lothrechte Projection eines Zwischenpunktes für die in Frage kommende Wölblinie gefunden ist. Die wagrechte Projection desselben ist p_1 aus m0. Auf dem beschriebenen, in der Zeichnung weiter zu versolgenden Wege sind beliebig viele Punkte der Wölblinie zu ermitteln. Zu beachten ist nur, dass für die Kappe II1 in Bezug auf uv der größte Kreis k_2 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 a2 auf a3 gefällten Lothe a3 liegen. So ist z. B. der Parallelkreis a5 um a6 mit dem Halbmesser a7 zu beschreiben.

Bei der praktischen Ausführung der Kappenwölbung ist es zuweilen erwünscht, die lothrechte Höhenlage gewisser Punkte dieser oder jener Wölblinie über der wagrechten Kämpserebene inne zu halten, ohne die vollständige wagrechte und lothrechte Projection einer solchen Wölblinie zu zeichnen. Man benutzt für diese Ausmittelung unmittelbar den Normalschnitt DE.

Soll z. B. die lothrechte Höhenlage des beliebigen Punktes r_n einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalschnitte N angehört, dessen Spuren in cd und ag sest gelegt sind, über der Kämpserebene gesunden werden, so sälle man von r_n das Loth $r_n t$ auf ag, ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und schneide $tr = tr_n$ ab. Das von r auf $r_n t$ gesällte Loth rp_1 ist die gesuchte Höhe. Gleichzeitig ist in p_1 auf $r_n t$ auch die wagrechte Projection eines Zwischenpunktes der einer Ebene N angehörenden Wölblinie erhalten.

Für die Richtigkeit dieses Versahrens gelten die folgenden Gründe. Eine lothrechte Ebene, welche parallel zu der Ebene ec des Bogens C nach einer wagrechten Spur $r_n t$ geführt ist, schneidet die Kugelsläche der Kappe I nach einem Parallelkreise, dessen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugelaxe cI, bezw. 2g liegt, dessen Halbmesser unter Berücksichtigung des größen Kreises dieser Kugelsläche gleich tr_n , wird. Dieser Halbmesser ist in der Normalebene N eine Parallele zum Halbmesser cI der gleichfalls als Parallelkreis austretenden Schnittlinie C der lothrechten Seitenebene der Diagonalrippe, so dass nach dieser Benutzung der Kugelsläche der Kappe I die Höhenlage des Punktes r in einsachster Weise zu sinden ist.

Wie fofort zu erkennen, kann das foeben angegebene Verfahren auch zur Bestimmung der wagrechten und lothrechten Projectionen der Wölblinie angewendet werden, welche irgend einer Normalebene N zukommt.

Für das Einwölben der Kappen der gothischen Kreuzkappengewölbe oder der flachen Kreuzgewölbe, deren Gestaltung im Art. 290 (S. 421) besprochen wurde, ist ebenfalls die Bildung der Wölbschichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen vorwiegend in Gebrauch zu nehmen.

Die Ausmittelung des fog. Normalschnittes und die Bestimmung der Projectionen der zugehörigen Wölblinien ist nach den im Vorhergehenden angeführten Grundlagen zu bewirken. Ihre Anwendung foll in der Zeichnung auf neben stehender Tasel noch näher gezeigt werden.

Ein rechteckiges Gewölbefeld von 4^m Länge und 3^m Breite ist mit einem Kreuzkappengewölbe mit Busung nach Kugelstächen von 1^m Pfeilhöhe unter Anwendung von Backsteinmaterial zu überdecken. Die Bogenlinie der nicht profilirten Diagonalrippen ist ein flacher Kreisbogen, welcher zur Hälste als ab seitlich von as mit der Pfeilhöhe $sb=1^m$ gezeichnet ist. Der Mittelpunkt c dieses Kreisbogens, welcher also nicht als Spitzbogen austreten foll, liegt auf der verlängerten Geraden bs. Eine durch c parallel zu as gesührte Gerade as bestimmt die wagrechte Grundebene, worin außer as auch sämmtliche Mittelpunkte der Kugelstächen der Laibungen der Kappen, mithin auch die Mittelpunkte ihrer Schnittlinien mit den lothrechten Seitenebenen der Rand- oder Gurtbogen des Gewölbeseldes liegen. Der Abstand dieser Grundebene oder Mittelpunktsebene von der wagrechten Kämpserebene ergiebt sich als sc.

Im Schnitte nach gz ist die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade a_1a_n , bestimmt, während dieselbe in dem Schnitte d_1s gleich durch die schon vorhandene Gerade ag sest gelegt ist. Die in d_1 , bezw. g zu den entsprechenden Geraden errichteten Lothe ds_1 , bezw. gh sind gleich der Pseilhöhe 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_2 , 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_n , auf der verlängerten Geraden hg in der durch c_n parallel zu ag geführten Linie G_n , die für den Schnitt d_1s maßgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe I an der schmalen Rechtecksseite foll ein flacher Spitzbogen a, ea,, fein, 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, zusammentretenden Spitzbogens, so ergiebt sich nach bekannter Construction in f auf Go der Mittelpunkt für den Kreisbogen $a_1 \epsilon$. Nimmt man auf G_0 die Strecke $c_i f = c_i f_i$, so ist f_i der Mittelpunkt der anderen Hälfte ea,, jenes Spitzbogens. Aus diesen Mittelpunkten find, wie der Schnitt gz zeigt, auch die concentrischen Begrenzungslinien der Profile des vorspringenden Rand- oder Gurtbogens zu befchreiben. Errichtet man nunmehr in f das Loth f_1 auf G_0 , fo fchneidet 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 fenkrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt z geführt gedachte lothrechte Kugelaxe ergiebt im Durchstofspunkte 1 mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines dieser Kugelsläche angehörenden Parallelkreises K,, dessen Halbmesser nun als 1 a bestimmt ist. Um die Grösse des Halbmessers der Kugel zu finden, ist nur durch I eine Parallele I 7 zu as bis zum Schnitte mit K, in 7 zu ziehen, auf dem Lothe ca zu as, bezw. zu 1γ die Strecke 1α = sc abzutragen, wonach in αγ dieser Halbmesser erhalten wird.

Nach dieser Ausmittelung ist die Kugelsläche des Kappenstückes I vollständig sest gelegt. Für das Austragen der Scheitellinie A über d1 s ist von I das Loth Ik 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, 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 gz und die Länge ss,, gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens herausstellen. Der Bogen A ist danach im Schnitte d, s eingetragen. Die Schnittlinie der Wölbsläche der Kappe II möge ein flacher Spitzbogen sein, dessen Pfeilhöhe gh gleich der Pfeilhöhe sh des Diagonalbogens ift. Für die Hälfte ah dieses Spitzbogens ist unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene G,,, in m der zugehörige Mittelpunkt bestimmt. Der Schnitt 2 des in m auf G,,, errichteten Lothes mit dem Strahle esa ist die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelsläche für die Laibung der Kappe II. Entsprechend den bei der Kugelsläche I angestellten Betrachtungen wird der um 2 mit dem Halbmesser 2a beschriebene Kreis K,, ein in der Kämpserebene gelegener Parallelkreis dieser zweiten Kugel. Der Kugelhalbmeffer ergiebt sich als βδ. Hierzu ist durch 2 eine Parallele zu as zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreise K_n , zu erhalten, und weiter $2\beta = sc$ auf 2c abzuschneiden, wodurch β 8 gefunden wird. Für die Scheitellinie B über sg ist auf dem von 2 auf sg gefällten Lothe die Strecke Cl = sc abzusetzen, so dass G_{ij} Grundebene und l Mittelpunkt für den Kreisbogen B wird. Der Schnitt z der verlängerten Geraden gs mit dem Parallelkreise K,, bestimmt die Länge des Halbmessers lz der Scheitellinie B. Als Probe der Richtigkeit dieses Bogens muss jetzt ss3 = sb und eben so, da die Pfeilhöhe des Randbogens ah = sb genommen war, gh = sb gefunden werden. Im Schnitte gz ist dieser Bogen B wiederum berücksichtigt.

Da die Halbmesser $\alpha\gamma$ für die Kugelstäche I und $\beta\delta$ für die Kugelstäche II bekannt geworden sind, so ist hierdurch sür alle Normalschnitte zum Gratbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Größe Erforderliche erreicht. Die Wölblinien von sämmtlichen Normalschnitten sind Theile der mit den Halbmessern $\alpha\gamma$, bezw. $\beta\delta$ zu beschreibenden größen Kreise ihrer Kugelstächen. So ist auch sür den Normalschnitt ρc die Wölblinie $\rho_3 N_1$ mit dem Halbmesser $\alpha\gamma$, die Wölblinie $\rho_3 N_2$ mit dem Halbmesser $\beta\delta$ zu beschreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in ρ_3 sich schneidenden Kreisbogen in den durch I, bezw. durch I senkrecht zu αc gesührten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen o c liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung geschehen, sämmtliche Projectionen der durch eine Normalebene, z. B. pc, des Diagonalbogens ab auf den Wölbslächen 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 Grundris-Projection einer durch p gesührten wagrechten Linie, deren lothrechte Projection im Schnitte d, s durch Lp, L gegeben ist. Die wagrechte Spur πo , der Normalebene pc geht in der Kämpserebene rechtwinkelig zu as durch den Punkt o. Führt man zur Bestimmung irgend eines Punktes der durch die Normalebene pc auf der Kugelsläche I hervorgerusenen Schnittlinie beliebig eine lothrechte Ebene parallel zur Seitenebene ag, z. B. nach g, so wird die durch g und g, gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projectionen g und g, getrossen, während die

Kugelfläche I von jener lothrechten Ebene nach einem Kreise geschnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel I mit dem bekannt gewordenen Punkte 6 auf K, erscheint. Eine lothrechte Axe derselben geht durch I in der Kämpferebene. Trägt man also auf dem Strahle 5 I die Strecke 55, = sc ab, so ist 5, der Grundebene des für 56 entstehenden Parallelkreises zuzuweisen, wonach sich in 5,6 der Halbmeffer dieses Parallelkreises ergiebt. Für den Schnitt d, s ist aber G,, die Grundebene. In derfelben ist durch n der Durchstosspunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt 1 enthaltenden lothrechten Kugelaxe bestimmt. Beschreibt man daher um n mit dem Halbmesser 5, 6 einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade t, 8 des Schnittes d, s im Punkte v,, trifft, so ist hierdurch die lothrechte Projection eines Punktes der gefuchten Wölblinie auf der Kappenfläche I gefunden. Die wagrechte Projection dieses Punktes ist v auf der Geraden 56. Für die Lage des entsprechenden Punktes v3 im Normalschnitte N1 p3 N2 ist w3 v3 gleich dem wirklichen Abstande innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene E, alfo gleich der Hypotenuse uw des rechtwinkeligen Dreieckes uvw, dessen Kathete vw gleich der Höhe x v,, ift und wobei außerdem die Kathete u v parallel zu a s gerichtet sein muß. Für einen Punkt der auf der Fläche II durch die Normalebene erzeugten Wölblinie kommt der Parallelkreis K,, in Betracht. So ist z. B. für das Festlegen des Punktes 4,, im Schnitte d, s zunächst 3 4 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, o, im gesuchten Punkte 4,, trifft. Hiernach ergiebt fich 4, auf 3 4 als ein Punkt der wagrechten Projection der zugehörigen Wölblinie. Im Normalschnitte ist $\varphi_3 \psi_3$ gleich der Hypotenuse $\varphi \psi$ des rechtwinkeligen Dreieckes $\varphi w \psi$, worin w ugleich der Höhenlage des Punktes 4,, über ag ift. Nach diesen Angaben können beliebig viele Punkte der Wölblinien eines Normalschnittes pc bestimmt werden.

Für die Ausführung der Gewölbekappen aus Quadern wird zur Herstellung eines ordnungsmäßigen, in gutem Verbande stehenden Fugenschnittes der Wölbsteine das Zeichnen der Wölblinien im Aufriß, vorzugsweise aber im Grundriß erforderlich.

306. Wölbung aus Quadern.

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

Für ein rechteckiges Gewölbefeld ift der um a beschriebene Kreisbogen A die Ansatzlinie des Kappenstückes $q\,d\,s$, der um b geschlagene Kreisbogen B die Randlinie des Kappenstückes $r\,d\,s$ und der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinie beider Kappenstheile an dem hier unprofilirt genommenen Diagonalbogen.

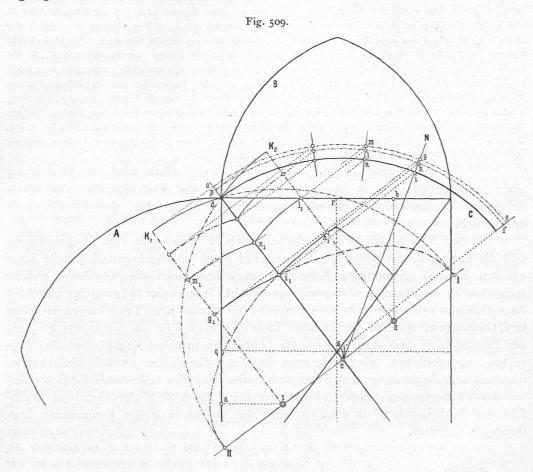
Man findet in I den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe $q\,d\,s$ mit dem größten Kreise K_1 und dem Halbmesser I, in I den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe I I mit dem größten Kreise I und dem Halbmesser I Die beiden Kugeln gemeinschaftliche, senkrecht auf der Ebene des Diagonalbogens I stehende Axe ist die durch I und I gehende Gerade I II.

Die auf III in I fenkrecht stehende Gerade IK_1 und das in 2 auf III gezeichnete Loth $2K_2$ sind Kugelaxen der Kappen q d s und r d s, welche in I, bezw. 2 parallel zur Gratebene C gesührten Ebenen angehören. Ueber IK_1 erhebt sich ein größter Kreis K_1 I; über $2K_2$ steht ein größter Kreis K_2 II. Dieselben sind nur theilweise gezeichnet, aber gleichzeitig als o e für K_1 I und als p f sür 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 o e in g, den größten Kreis p f in h trifft, fo wird die Kugelfläche q d c nach einem größten Kreife vom Halbmeffer c g, die Kugelfläche r d c nach

einem größten Kreise vom Halbmesser ch geschnitten. Die auf IK_1 entsallende wagrechte Projection des Halbmessers cg liesert die halbe kleine Axe des in der Grundriss-Projection als Ellipse austretenden größten Kreises der Ebene cN, während die halbe große Axe dieser Ellipse unverändert gleich II = Id = cg bleibt. Eben so wird die wagrechte Projection $2h_1$ von ch auf $2K_2$ die halbe kleine Axe und 2II 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 liesern, in i_1g und i_1h_1 , so weit die Kappenslächen qds und rds dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundriss-Projection der Lagerkante für eine in der Normalebene cN enthaltene Lagersugensläche einer Wölbschicht.



Für eine andere Normalebene cm entstehen die Lagerkanten $m_1 n_1 l_1$ als Theile von Ellipsen mit den Halbaxen I I, I m für $m_1 n_1$ und 2 II, $2 l_1$ für $n_1 l_1$.

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

Die Breite jeder einzelnen Wölbschicht nimmt von den senkrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelaxen rK_1 und zK_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 Normalebenen und bedingen damit die Breite der an die Randbogen A und B stoßenden Wölbschichten.

Beim Einwölben der Kappen mit Backsteinen oder mit dünnen lagerhaften Bruchsteinen können bei nicht fehr weit gespannten Gewölben die Veränderungen in der Breite der an fich 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 mehrsache Verhauen und das weniger einfache Zurichten der Wölbsteine im Gefolge haben. In folchen Fällen bringt man, zur Vermeidung des läftigen, auch zeitraubenden Verhauens der Steine und zur Verhinderung einer unregelmäßigen Gestaltung der Kugelflächen der Kappen, entweder besonders gesormte Wölbsteine in Anwendung, oder man giebt die Lage der Wölbschichten in Normalebenen zum Diagonalbogen ganz auf und wählt eine andere, den früher besprochenen Anordnungen entsprechende Bildung der Wölbschichten.

307. Wölbung 2115 Back- und Bruchsteinen.

Für die Stoßfugenflächen ist die Veränderung der Breite der Wölbscharen nicht von großem Belang. Diese Flächen werden in der Regel den senkrecht gestellten Meridianebenen der Kugelflächen der Kappen zugewiesen.

Die Anfatzflächen der Rippenkörper gehören Kegelflächen an. Sie werden durch die Fortbewegung der entsprechend verlängert gedachten Halbmesser der Kugellaibungen an den für die Rippen bestimmten Ansatzlinien der Kappen erzeugt.

Meistens ergiebt die gesetzmässige Gestaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günstig erscheinende Busung und eine gute Form der Scheitellinie.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbekappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, follen diefelben vielmehr durch Einführung einer befonders gestalteten Busung eine Umwandelung in kugelähnliche (sphäroidische) Flächen er- kugelsörmiger fahren; fo findet auch bei diesen Kappen im Allgemeinen die Anordnung der Lagerflächen der Wölbschichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen Anwendung.

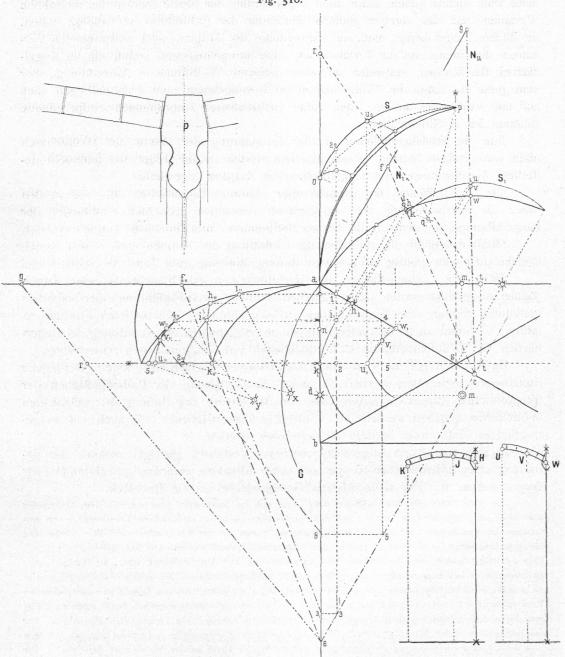
308. Kappen mit Laibung.

Da in der Regel die Rand- und Diagonalbogen als nach Kreisbogen geschlagene Spitzbogen beibehalten werden, fo hängt die Gestaltung der Laibungsslächen der sphäroidischen Kappen in erster Linie von der Größe der Busung ab, welche den Wölbflächen gegeben werden foll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Mass dieser Busung soll vermieden werden.

In Fig. 510 ift ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Gestaltung einer sphäroidischen Kappe abs unter Annahme einer frei gewählten Busung vorgenommen ift. Der Grundrifs 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 Anfatzlinie am Randbogen über am, ift ein Spitzbogen, wovon ap einen Schenkel darstellt. Sämmtliche 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 Anfatzlinien am Randbogen der schmalen Rechtecksseite a b liegt wesentlich tiefer, als der Scheitel der Ansatzlinien über a s, bezw. über b s. Die von diesen Ansatzlinien begrenzte Kappe über a bs foll eine sphäroidische Laibungssläche erhalten. Für die Bestimmung dieser Fläche ist nur die über ak,s gelegene Kappenhälfte in Betracht gezogen. Würde man die Laibung dieser Kappe als Kugelsläche behandeln, so würde m der Mittelpunkt derselben, G ihr größter Kreis und die über k, s liegende Scheitellinie der um m, mit dem Halbmeffer m, o = m, p beschriebene, punktirt gezeichnete Kreisbogen op sein. Soll nun, entsprechend einer einzuführenden stärkeren oder geringeren Kappenbufung, eine Umwandelung 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 gesetzmässig gestaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müffen. Meistens wird für diese Scheitellinie ein Kreisbogen genommen. In der Zeichnung ist dieselbe als Kreisbogen S mit beliebig gewähltem Halbmesser oq = pq um q beschrieben. Durch diese Scheitellinie S und durch die Ansatzlinien über ak, und as sind die Begrenzungslinien der sphäroidischen Kappensläche über ak, s sest gelegt. Für die Erzeugung dieser Fläche selbst ist ein bestimmtes Gesetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorschrift, dass jede Schnittlinie,

Fig. 510.



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

Wege die Erzeugung und Darstellung einer sphäroidischen Gewölbstäche vorgenommen, so lässt sich ohne Schwierigkeit die Ausmittelung der Lager- und Stoßkanten der Wölbschichten bewirken, je nachdem diese oder jene der besprochenen Anordnungen sür den Fugenschnitt der Wölbung getrossen werden soll. In der Zeichnung entsprechen die Projectionen h, i, k, h, i, k, h, i, k, h, so wie w, v, u, w, v, u, h den Lagerkanten von Wölbschichten, welche den Normalebenen N_i , bezw. N_i , zum Diagonalbogen angehören. Die Bestimmung dieser Projectionen ersolgt nach bekannten einfachen Sätzen der darstellenden Geometrie. Das Nähere hierstri ist in der Zeichnung angegeben. Für das Austragen der wirklichen Gestalt der Wölblinien als $H \mathcal{F} K$ und W V U der Normalebenen N_i , und N_i , so wie des wirklichen Querschnittes P der Diagonalrippe mit den entstehenden Ansatzstächen, welche in gleichem Sinne stattsinden kann, wie bei Fig. 453 (S. 390) angesührt ist, giebt die Zeichnung ebenfalls unmittelbar die nöthigen Anhaltspunkte.

β) Busige Kappen mit Stelzung.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenfystem der gothischen Kreuzgewölbe vorgeschriebenen, meistens nach Spitzbogen gesormten Ansatzlinien der Laibungsslächen der Gewölbkappen nicht in einer gemeinschaftlichen Kämpserebene, 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 Entwickelung und Construction der Rippenansänge von Bedeutung.

Durch die Ansatzlinien sind die Leitlinien für die Erzeugung der Kappenflächen gegeben. Die Gestaltung der busigen 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 unterworsen werden muss.

Im Folgenden follen an einigen Beifpielen die für die Gestaltungen busiger Kappenslächen mit Stelzung erforderlichen wichtigsten Grundzüge mitgetheilt werden.

Das Kreuzgewölbe über dem rechteckigen Gewölbefelde abcd (Fig. 511) foll in den Scheitelpunkten der spitzbogigen Ansatzlinien der Randbogen eine gleiche Höhenlage mit dem Scheitel der gleichfalls spitzbogigen Ansatzlinien am Diagonalbogen erhalten. Die als gegeben angesehene Form dieser Ansatzlinien möge eine Stelzung der Ansatzlinie 505 des Randbogens der schmalen Rechteckseite bc um eine lothrechte Strecke bs = bb, = bb, erforderlich machen, während die Ansatzlinie bca am Randbogen der langen Seite ab ohne Stelzung bleibt.

Die Gewölbkappen an den langen Seiten können also ohne Weiteres nach den im Art. 301 (S. 435) unter α gemachten Mittheilungen gestaltet werden. Die Scheitellinie dieser Kappen sei der Kreisbogen o w. Die Gewölbkappen C und D der schmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe D berücksichtigt wird, sollen busige Laibungsstächen mit Stelzung erhalten. Die frei gewählte Scheitellinie dieser Kappen sei der Kreisbogen ef.

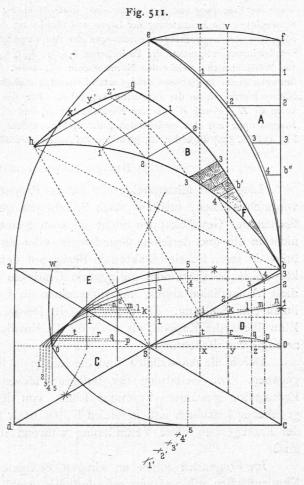
Wie fofort aus der Darstellung eines Schnittes nach der Richtung der Diagonale b d hervorgeht, bildet sich im Theile F der Kappe D eine am Fusse in einem Punkte begrenzte lothrechte Ebene, deren Höhe b b, der Strecke der Stelzung b f, deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie b, d entspricht. Oberhalb dieser Wagrechten b, d möge die busge Laibungssläche d der Kappe d beginnen. Die Erzeugende dieser Fläche sei ein Kreisbogen, dessen Halbmesser unveränderlich und gleich dem Halbmesser d der Ansatzlinie d d des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Ansatzlinie d d des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Kappe d verbleiben. Führt man zur Besolgung dieses Gesetzes durch den beliebigen Punkt d der Geraden d d eine Ebene

309. Gestaltung.

> 310. Beifpiel

parallel zur Seitenebene bc, fo wird die Leitlinie bh, bezw. ihre andere Projection b4e in I, die Scheitellinie ef in u geschnitten. Trägt man weiter auf oo die Höhenlage II des Punktes I der Leitlinie bh von o aus ab, zieht man entsprechend die wagrechte Gerade E, fo wird in derselben der Punkt I als Lage eines Punktes der gesetzlich vorgeschriebenen Erzeugenden, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, bekannt. Ein zweiter Punkt ist in z auf der verlängerten Geraden oo enthalten. Die Höhe oI, von bc aus gemessen, muss der lothrechten Entfernung des Punktes u auf der Scheitellinie ef von der Spur ab der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes gleich fein.

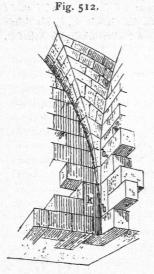
Beschreibt man aus diesen beiden Grenzpunkten I und I mit dem massgebenden Halbmesser 55 = cb des Spitzbogens 505 den Kreuzriss I,, so ist der um I, geschlagene Kreisbogen II diejenige Erzeugende, welche der durch x geführten Ebene zukommt. In gleicher Weise sind die Erzeugenden 22 mit dem Mittelpunkte 2, 33 mit dem Kreuzriffe 3, u. f. f. für die durch y, bezw. z u. f. f. parallel zu bc gelegten Ebenen bestimmt. Zur weiteren Darstellung der Kappenfläche D find oberhalb von 55 durch den Punkt o und durch die unteren Endpunkte 1, 2, 3 u. f. f. der ermittelten Erzeugenden 11, 22, 33 u. f. f. wagrechte Ebenen gelegt. Die Durchstofspunkte o, t, r, q u. f. f. mit der wagrechten



Ebene o liefern die lothrechten Projectionen einer Wölblinie der busigen Kappe in dieser Ebene. Die wagrechte Projection dieser Wölblinie ist also, wie die Zeichnung erklärt, durch den Linienzug strqpo sest zu legen. Genau so ergiebt sich in Bezug auf die übrigen wagrechten Ebenen das Ersorderliche zur Darstellung der wagrechten Projectionen der zugehörigen Wölblinien, wie iklmn für die Ebene E oder I, 22 für die Ebene 2 u. s. s. In den lothrechten Projectionsebenen A und B erscheinen diese Wölblinien als gerade, parallel zu ab, bezw. bd geführte Linien ef, bezw. hg, II u. s. s. Nimmt man an der Ansatzlinie bh des Diagonalbogens oberhalb der wagrechten Abschlusskante 4b, der lothrechten Wandsläche F eine Eintheilung in Wölbschichten vor, deren Lagerkanten in wagrechten Ebenen liegen follen, so kann man unter Beachtung des Gesagten die Grundriss-Projectionen dieser Lagerkanten zeichnen. Die zugehörigen Lagerstächen werden windschief; denn die erzeugenden geraden Linien dieser Lagerslächen gehen z. B. für die Lagerkante iklmn im Elemente i durch I, der Ebene x, im Elemente k durch 2, der Ebene y u. s. f.

Für das Einwölben aus Quadermaterial würde hiernach die Bearbeitung der Lagerflächen der Wölbsteine einzurichten sein. Eine besonders kräftige Mauer-Construction erfordert der Gewölbesus an der lothrechten Wand F, welcher als gemeinsamer Anfänger sür die Bogen- und Kappenstücke an den Ecken des Gewölbeseldes am besten stets aus Quadern hergestellt wird, selbst wenn die busige Kappe oberhalb 4b, aus Backsteinen gewölbt werden soll. Größere Binder wie $b_{\mu\nu}$, k (Fig. 512), an welchen die Bogenlinien und Kappenslächen gleich mit angearbeitet werden, greisen möglichst tief in den Mauerkörper der Ecke b ein. Dasselbe gilt auch sür Gewölbansänger mit profilirten Rippen.

Soll oberhalb der Grenzlinie 4b, der Wand F die Wölbung aus Backstein



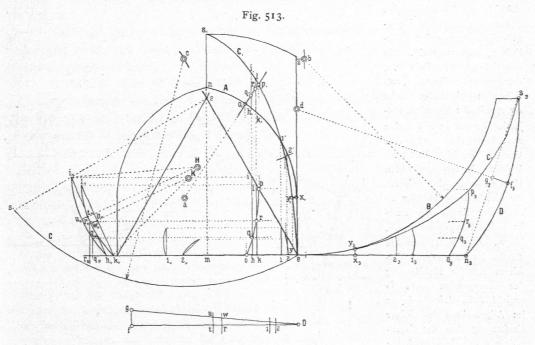
ausgeführt werden, so kann entweder der Fugenschnitt nach Normalebenen zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Gestalt der Gewölbesläche durch die Projectionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollständig bestimmt ist, so lassen sich auch die einzelnen, jenen Fugenschnitten angepassten Wölbschichten und eben so ihre Ansatzslächen an den Rippenkörpern auf zeichnerischem Wege, wie im Vorhergegangenen gezeigt ist, leicht darstellen. Diese Ausmittelungen sind alsdann sür die praktische Aussührung der Gewölbekappen weiter zu verwerthen.

Das Bestreben, die sphäroidischen Laibungsslächen der gestelzten Gewölbekappen einer reinen Kugelsläche möglichst nahe zu bringen, führt dazu, die Erzeugenden als Kreisbogen anzunehmen, deren Pfeilverhältnis proportional wird

311. Beispiel

dem Pfeilverhältnis des als Scheitellinie der gestelzten Kappe vorgeschriebenen Kreisbogens. Die Ebenen der einzelnen Erzeugenden sind dabei parallel der senkrechten Ebene der Scheitellinie.

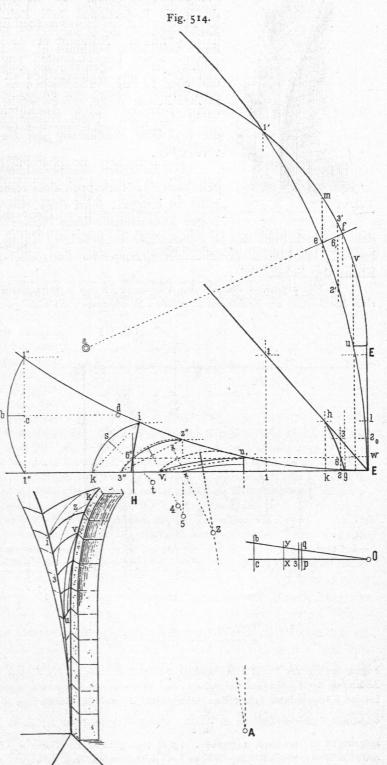
In Fig. 513 fei A die mit dem Halbmeffer ax um a beschriebene, in ex, gestelzte Ansatzlinie eines Randbogens, der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die nicht gestelzte Ansatzlinie am Diagonal-



bogen, der um den Punkt b beschriebene Schenkel B eines um die Strecke zb gestelzten Spitzbogens die Ansatzlinie des Randbogens der Seite ez und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpserebene besindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems. Das Pseilverhältniss dieser Scheitellinie ist $\frac{f_3 g_3}{n_3 s_3}$. Dasselbe ist im Plane O, worin $fg = f_3 g_3$ und $Of = n_3 s_3$ ausgetragen ist, nochmals angegeben. Führt man parallel zur Ebene ms der Scheitellinie an beliebiges Stelle, z. B. hi, eine die busige Kappe ems schneidende Ebene, so ergiebt dieselbe auf der Ansatzlinie A

den Punkt h_i , auf der Projection C, der Ansatzlinie C den Punkt i_i . Trägt man auf den in k und i zu h i errichteten Lothen die Strecken $hh_{ii} = hh_i$, und $ii_{ii} = hi_i$, ab, so lässt sich die Gerade h_{ii} , als Sehne eines Kreisbogens ansehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältnisse behaftet,

eine Erzeugende der fphäroidischen Kappe bildet. Das Pfeilverhältniss foll proportional dem Pfeilverhältniss der Scheitellinie fein. Nimmt man $Ot = h_n i_n$, fo ergiebt die in t parallel zu fg gezogene Linie tu die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte t,, auf h,, i,; errichtete Loth erhält die Länge $t_{ij}u_{ij}=tu$. Der durch die drei Punkte h,, u,, i,, gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünschte Erzeugende. In gleicher Weise sind die Erzeugenden k_{i}, l_{i} , l_{i} , und 2,, für die Ebenen kl, 1 und 2 aufgetragen. Für die Ebene I ist I, die gemeinschaftliche lothrechte Projection ihrer Schnitte mit den Ansatzlinien A und C,. Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie I,, liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie x, y, der durch die Stelzung ex, entstehenden lothrechten Fläche h ex, y, mit der Grundrifs-Projection ey auf es bleibt eine wagrechte unveränderliche Gerade. Dieselbe bildet als Fusslinie der busig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappentheils x, y, bis I,. Setzt man in diesem Theile das angegebene Verfahren für die Bestimmung der Erzeugenden fort, fo ergiebt sich, dass dieselben im Allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie x, y, mit einem größeren oder geringeren Bogenstücke über die Anfatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, alfo nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne Weiteres nicht beibehalten werden können.



Um dennoch eine gesetzmässige Erzeugung und bildliche Darstellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine sachgemässe 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, fo kann diese Veränderung z. B. für die lothrechte Ebene 23 in der folgenden Weise bewirkt werden. Die Ebene 23 liefert auf der Ansatzlinie EI, des Diagonalbogens den Schnitt z_n , wofür $z_0 z_n = z z$, aus der Zeichnung zu entnehmen ist, und auf der Ansatzlinie $E k I_n$ des Randbogens den Schnitt 3,,, wofür $E_{3,1}=23$, wird. Die Gerade 3,, 2,, ist die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane Obc die Bestimmung der Pfeilhöhe dieses Bogens nach proportionaler Theilung wie früher vor, fo wird, wenn Oc gleich der Sehne I, I, und cb die Pfeilhöhe des Kreisbogens I,, b I,, ift, bei der Länge O3 gleich der Sehne 3,, 2,, die in 3 parallel zu cb gezeichnete, von Oc und Ob begrenzte Gerade, die gesuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit dieser Pfeilhöhe behaftete, punktirt eingetragene Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in 4 zu bestimmen war, schneidet die Ansatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über 2,, was für die Bildung der Kappenfläche unzulässig ist. Für eine weitere Ausmittelung 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 find die Ordinaten 202,, wu, der Endpunkte 2, der Sehne 3,, 2,, und u, der Sehne v, u, als lothrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird 5 als Schnitt des im Halbirungspunkte der Sehne 3, 2, errichteten Lothes mit der durch 2, gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens 3, 2, und A auf der durch u, ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden v, u.

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens z, u, find die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden u, A zu bestimmen, sobald nur wieder die Schnitte lothrechter, parallel zu z_3 gestührter 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 busigen Kappen bietet die Ausmittelung des Fugenschnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

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

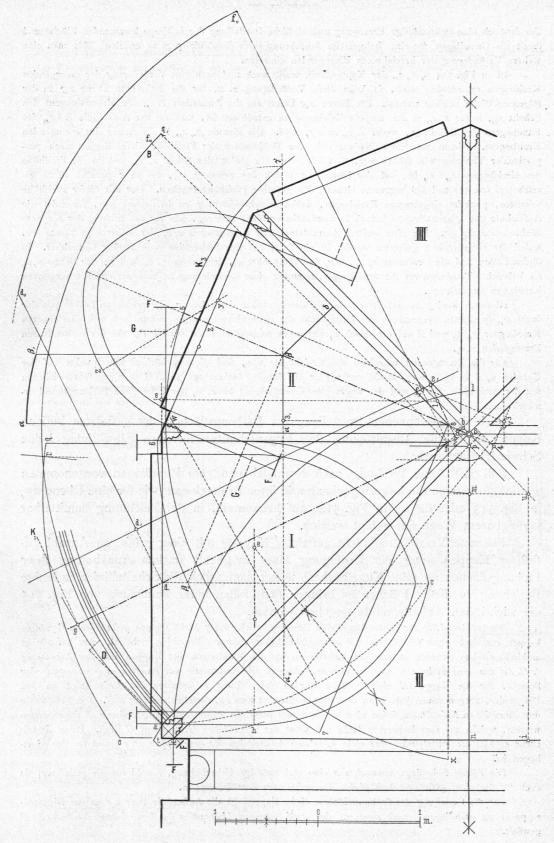
Für eine Vereinigung nicht gestelzter Kappen mit einer größeren Anzahl gestelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichst starken Annäherung ihrer Laibungsstächen an reine Kugelstächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diesen Flächen zu bringen sind, sollen unter Benutzung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

Das im Grundrisse zur Hälste dargestellte Gewölbe besteht aus 7 durch Rippen geschiedenen Gewölbekappen von dreieckiger Grundsorm 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 wG gestelzt werden, während die Ansatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der
Seite ki für die Kappe III nicht gestelzt werden dars. Eben so erhalten die Ansatzlinien an den
Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über st und su, dieselbe Stelzung wG. Die Fusspunkte
der sämmtlichen Ansatzlinien sollen aber in einer und derselben wagrechten Kämpserebene F angenommen
werden, welche um eine lothrechte Höhe aF unter der eigentlichen Grundebene G liegt. Diese Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht gestelzten Ansatzlinien für die Rippen st, su und für den Gurtbogen ki.

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

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

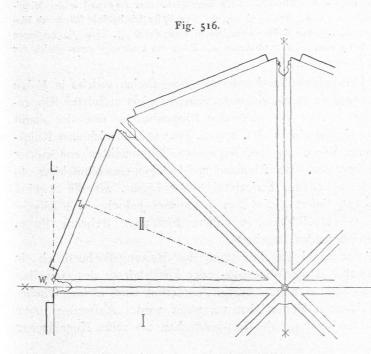
312. Beifpiel



Sollte die Kappe I bei der von vornherein gegebenen Höhe cd einer an der Seite ag zu bildenden Ansatzlinie ohne Rücksicht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, so würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel ac mit dem Mittelpunkte e punktirt eingetragen ist, die ersorderliche Ansatzlinie werden können. Alsdann ist der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte afd der Schnitt I der in b aus ab und in e aus ae errichteten Lothe. Die Punkte a,b,e und I liegen in der Grundebene G. Der um I mit dem Halbmesser I a beschriebene Kreisbogen ag ist ein Stück des größten Kreises dieser Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung fd gesührten lothrechten Ebene liesert nach Bestimmung des Punktes e den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe e. Dieser Kreisbogen ist besonders als e0, e1, ausgetragen und mit dem Halbmesser e2, e2, e3 um e3, beschrieben. Als Probe der Richtigkeit muss bekanntlich e1, e2, e3 und e4, e4, e4 erhalten werden.

Die Rücksicht auf das Einführen eines stumpferen Spitzbogens als Ansatzlinie am Randbogen der Seite ag und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch eine Umformung des vorläusig als Hilfslinie benutzten, nicht gestelzten Spitzbogens ac. Dieses neue Gestalten der Ansatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie $d_n f_n$, vorgenommen werden. Nimmt man die Lothrechte ah gleich der Stelzung wG, ermittelt man auf der durch h gelegten wagrechten Linie he, den Mittelpunkt e, des durch h und e gehenden Kreisbogens he, so erhält man den gestelzten stumpseren Spitzbogen aheg als Ansatzlinie am Randbogen der Seite ag. Die Ansatzlinie am Diagonalbogen fg ersährt eine Stelzung wG; ihre Form wird aber von der Gestalt der Ansatzlinie der Kappe II an demselben Diagonalbogen fg abhängig, und zwar sollte sie in erster Linie in Rücksicht auf eine lothrechte Ebene g mit den in diese Ebene projicirten, als Kreisbogen zu beschreibenden Begrenzungslinien der Rippenprosile des Diagonalbogens concentrisch sein. Die Punkte f und g, auch die Punkte f0 und g1, haben paarweise gleiche Höhenlage über der Grundebene G2.

Liegt nun in Folge eines Einschneidens der Seite wz in die Fussfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt w mit dem Punkte g nicht in einer und derselben lothrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewissen Nachtheil hinweisen zu können, angenommen ist, so kann offenbar die von f nach g zu führende, etwa als Kreisbogen zu bestimmende Ansatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen nicht mehr concentrisch mit der Ansatzlinie 8 w verlausen. Es entstände vielmehr an der lothrechten



Profilebene der Seite gf des Diagonalbogens eine sichelförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abstande der beiden lothrechten Ebenen w F und ae zuletzt bei f in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Anfatzbildungen vor, fo lassen fich dieselben doch meistens vermeiden, wenn vorweg eine regelmässige Gestaltung der Fussfläche des Rippenkörpers 8 fwg, worauf fchon in Art. 293 (S. 427) hingewiesen ist, wie hier z. B. durch ein Zusammentreten der lothrechten Ebene ae mit der Ebene w F herbeigeführt wird. Verlegt man den Schnitt w von wz mit ae nach Fig. 516 derart, dass durch ein geringfügiges Verrücken der Linie wz nach w,z, der Punkt w nach w, in die Linie L fällt, welche mit der

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

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

Beibehalten der Scheitellinie d,, f,, 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 Kugelsläche jedoch in bemerkenswerther Weise.

Die Gewölbeflächen der Kappen II, IV können aus reinen Kugelflächen zusammengesetzt werden. Die Fusspunkte sämmtlicher Ansatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäsigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene G um die lothrechte Höhe Gw entsernt ist. Die Höhe &x der Ansatzlinie wx am Diagonalbogen ist gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe ff_n , bezw. f_nf_m weniger Gw. Bestimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx, so ergiebt derselbe die Ansatzlinie über w, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Ansatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen unmittelbar beeinstusst. Ist die Ansatzlinie der Kappe II am Randbogen oberhalb w als stumpser Spitzbogen gewählt, dessen Schenkel mit dem Halbmesser yw beschrieben sind, so wird y der Mittelpunkt der Kugelsläche für das Kappenstück xw, x, ihr größer Kreis und solglich der mit dem Halbmesser x, um x beschriebene Kreisbogen x, die Scheitellinie über x. Die Fläche der zweiten Kappenhälste ist nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach x rechtwinkelig zu xw stehenden lothrechten Ebene mit der Kappenstäche x x ist der um x mit dem Halbmesser x beschriebene Kreisbogen x, x.

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte α , und β , ift zu bemerken, dass $\alpha \alpha_i = \alpha \alpha_i$, und $\beta \beta_i = \beta \beta_i$, sein muß. Dieselbe Schnittlinie α, β , würde sich auch für eine lothrechte Ebene mit der Grundrissfpur $\beta \delta$ 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 Gewölbesläche *IV* entspricht der bei der Kappe *II* gegebenen Entwickelung.

Endlich ist auch die Laibungsfläche der Kappe III nach reinen Kugelslächen zu bilden. Die Anfatzlinie über kn der Seite ki am Gurtbogen sei der um i mit dem Halbmesser ik beschriebene Schenkel kl eines gleichfalls stumps 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 knp und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq, für welche no=nl und pq=bq, ift. Von dieser Scheitellinie fällt durch Einfügen eines größeren Schlußsteines bei s, dessen Randlinie in einer durch f_m , bezw. f_m geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, so dass wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe ff_m , bezw. f_nf_n über der Grundebene wird.

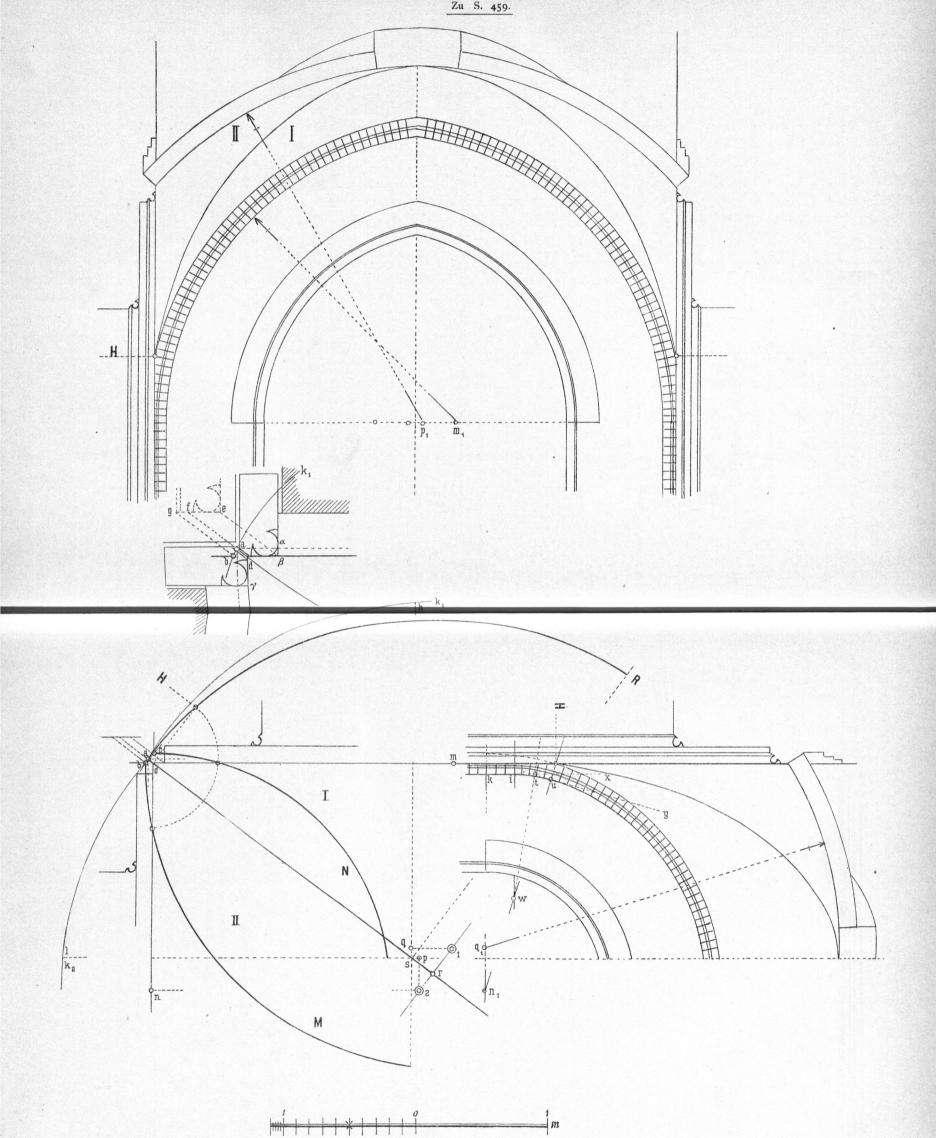
Zur Vermeidung der lothrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche in Folge der Stelzung einer Gewölberippe an dem dicht benachbarten, nicht gestelzten Rippenkörper entsteht, könnte füglich statt des gestelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Ansatzlinie der Kappe ein in Art. 279 (S. 408) gekennzeichneter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

Weit beffer kann in der Regel das Beseitigen der Stelzungssläche durch ein Zurücksetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, selbst wenn damit eine geringsügige Aenderung eines kleinen Theiles am Fusse der sonst zu stelzenden Bogenlinien veranlasst wird. Außerdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenslächen als reine Kugelslächen außrecht erhalten werden.

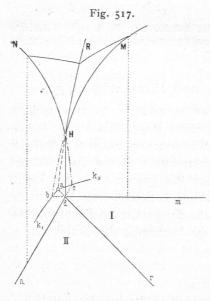
Die Grundlagen für diese Gestaltung sind in Fig. 517 enthalten. Würde bei gestelzten Randbogen M, bezw. N der Seiten dm und dn eines Gewölbeseldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpserebene gleich dH werden, so würde beim Einsühren dieser Wand der Diagonalbogen R seinen Fusspunkt in d bekommen,

313. Befeitigen der Stelzungsflächen.





Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.



und ein in der Höhe dH liegender Punkt dieses Bogens würde in der Richtung dr um eine wagrechte Strecke ad vorgeschoben sein.

Legt man aber den Fusspunkt des Bogens R um dieselbe Strecke von d nach a zurück und setzt man gleichzeitig den Punkt a als Fusspunkt für zwei andere Kreisbogen sest, so wird die Stelzungswand in den Widerlagskörper gerückt und damit beseitigt.

Beschreibt man alsdann R und M als Kreise einer Kugel mit dem durch a gehenden größten Kreise k, für die Kappe I und ferner N als Kreise einer Kugel mit dem ebenfalls durch a zu führenden größten Kreise k_2 für die Kappe II, so wachsen die Bogen R, M und N aus dem gemeinschaftlichen Punkte H hervor. Sie bilden die Ansatzlinien der nach Kugelstächen zu gestaltenden Kap-

pen. Diesen Grundlagen entsprechend ist auf neben stehender Tasel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbeselde gegeben.

Die profilirten Randbogen der Seiten dm und dn find in ihren Begrenzungslinien wesentlich concentrisch mit den Bogenlinien der oberen Abschlüsse der Lichtöffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R ift 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 ergiebt sich im Schnitte I des in m auf dm errichteten Lothes mit dem in r auf ar gezogenen Lothe der Mittelpunkt der Kugelsläche sür das Kappenstück I. Der um I mit dem Halbmesser I a beschriebene Kreisbogen k, bezeichnet ihren größen 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 ergiebt sich in r2 der Mittelpunkt der Kugelsläche sür das Kappenstück r2 mit dem Halbmesser r3 und dem größen Kreise r4, so wie in dem um r5 mit dem Halbmesser r5 beschriebenen Kreise r6 die gesuchte, ebenfalls in der Höhe r6 auslausende Ansatzlinie der Kappe r7 für die Seite r7.

Die Scheitellinien der Kappen I und II find die um q, mit dem Halbmeffer qh und um p, mit dem Halbmeffer pl beschriebenen Kreisbogen der zugehörigen Kugelflächen.

Zur Erzielung eines gleichartigen Emporsteigens der profilirten Randbogen ist der Grundris der Ansätze dieser Bogen zweckmäsig unter Benutzung des größten Kugelkreises k, und des Punktes b sür 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 Fusssächen $d\beta = d\gamma$ wird. Diese Annahme einer gleich großen Breite kann allerdings zur Folge haben, dass ein mit dem Halbmesser n,k um n, geschlagener Kreisbogen, wobei der Punkt k dem Punkte γ in der Kämpserebene entspricht, der Ansatzlinie N im Aufriss an der schmalen Rechtecksseite nicht mehr concentrisch bleibt. Solches ist hier der Fall. Eine um n, mit der Ansatzlinie N concentrische innere Begrenzungslinie des Randbogens fällt über k hinaus. Da aber hierdurch eine nicht beabsichtigte, auch nicht günstige Verminderung der Breite $d\gamma$ der Fusssäche des Randbogens eintreten würde, so mus eine Umgestaltung der inneren Begrenzungslinie für die Strecke ku stattsinden. Für die Fusslinie ktiu geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe H durch u nach n. Vom Scheitel dieses Bogens bis u verläust 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-

punkt eines kurzen Kreisbogens ui, und die Lothrechte ik ergiebt eine mäßige, 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 Gewölbebildung verurfacht.

8) Stärke der gothischen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

Ueberficht.

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 wach gerufene System von Kräften an die Gewölbestützen ab. Die zur Ermittelung 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 Gewölbestützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte find noch befonders die bei den gothischen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebeoder Schwibbogen zu berücksichtigen.

a) Stabilität der Gewölbekappen.

Stabilität

Die busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe sind, wie auch die Art ihrer Einwölbung beschaffen sein mag, im Wesentlichen als Bestandtheile eines Gewölbekappen. Kugel-, bezw. eines Kuppelgewölbes anzusehen. Ihre statische Untersuchung und die damit verknüpfte Bestimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszustande dieser besonderen Gewölbe zur Richtschnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ist in Theil I, Band I, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff. 188) dieses »Handbuches« gegeben.

> Die hierin enthaltenen Grundlagen follen im Folgenden bei den statischen Unterfuchungen der in Frage kommenden Gewölbekappen mit berückfichtigt werden.

> Ein Kuppelgewölbe besteht im Allgemeinen aus concentrischen Wölbschichten oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringschichten, welche nach und nach für sich geschlossen und über einander gelagert werden. Ihre Lagerslächen sind Kegelslächen mit einer gemeinschaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stofsfugenflächen liegen in lothrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinschaftliche Schnittlinie dieser Schar von Meridianebenen ist die lothrechte Kuppelaxe. Ein von zwei benachbarten Meridianschnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergiebt 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. Diefe Kräftegruppen umfassen erstens das auf die ebenen Stofsflächen der Wölbkränze einwirkende Kräftefystem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerslächen dieser Kränze gelangenden Kräfte.

^{183) 2.} Aufl.: Art. 281 u. ff., S. 269 u. ff.

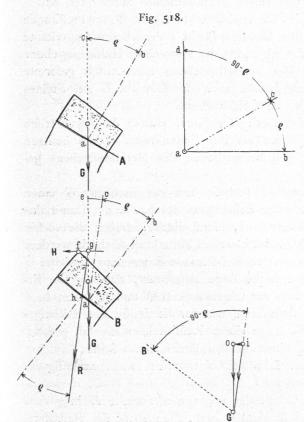
Da Kuppelgewölbe auch am Scheitel offen bleiben können, also ein Meridianftreifen oben nicht bis zu der als lothrechte Gerade vorhandenen Scheitellinie zu reichen braucht, so ist in erster Linie die Untersuchung des Gleichgewichtszustandes eines Wölbkranzes von maßgebender Bedeutung.

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 Belastung, wirkt, besonders in Betracht; denn sein Gleichgewichtszustand wird beeinslusst durch jenen Neigungswinkel in Rücksicht auf das Gleiten auf der Lagersläche, 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 Stoßgugen Pressungen geweckt, welche, unter der Voraussetzung eines geeigneten Wölbmaterials und einer genügenden Gewölbstärke, fähig sein müssen, das Bestreben des Abgleitens oder des Drehens der Kranzsteine zu verhindern. Sind diese Pressungen für jeden Wölbkranz bekannt geworden und somit für jede Wölbschicht eines Meridianstreisens gefunden, so lässt sich dieses System von Kräften, in entsprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsuntersuchung des ganzen Meridianstreisens benutzen.

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

316. Pressungen der Stossflächen Erster Fall.



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

a) In Fig. 518 ift Aa die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten sei gleich dem Reibungswinkel $cab = \langle cab \rangle$ des Wölbmaterials. Die Richtungslinie G des im Schwerpunkte des Kranzsteines angreifenden Gewichtes treffe die Erzeugende A im Punkte a der Lagerfläche des Steines. Das in a auf Aa errichtete Loth ab schließe mit der Kraftrichtung G den Winkel $cab = \langle p ein.$ 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 Kraftrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzsteines, durch die Kraft G keine Drehung dieses Steines um eine seiner Kanten eintreten kann, so werden im Systeme eines derartig gelagerten und durch Gewichte beanspruchten Kranzes keinerlei Pressungen in den Stossugenflächen erzeugt. Dasselbe gilt, selbst wenn die Kraftrichtung G durch eine Kante geht.

Schliefst die Erzeugende Aa mit der Wagrechten einen kleineren Winkel als den Reibungswinkel ρ ein, bleibt a innerhalb des Gebietes der Lagerfläche, fo können ebenfalls in den Stofsflächen des Kranzes keine Preffungen entstehen.

317. Zweiter Fall. $\mathfrak b$) Bleibt der Angriffspunkt a der Kraftrichtung G in der Lagerfläche, wird aber der Neigungswinkel der Erzeugenden Ba zur Wagrechten größer als der Reibungswinkel ρ , fo 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 Kräste thätig werden, welche als Pressungen in den seitlichen Stoßsflächen mit solcher Größe sich einzustellen haben, dass die aus diesen Seitenkräften entstehende Mittelkrast den Gleichgewichtszustand wieder herzustellen vermag.

Hinfichtlich der Größe dieser Mittelkraft und danach auch der Größe der Pressungen in den Stoßsflächen ist zu bemerken, daß dieselbe ein solches Maß anzunehmen hat, als zur Herstellung des Gleichgewichtes eben nothwendig ist, daß also ein Mehraufwand in diesem Kraftmaße nicht berechtigt ist. Dieses eben nothwendige Kraftmaß drückt mithin einen Grenzwerth für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; dieser Grenzwerth hat demnach in jedem besonderen Falle einen in Anwendung zu bringenden möglichst kleinsten Werth, welcher eben so wohl frei von einem Kraftmangel, als auch frei von einem Kraftüberschuß aufzutreten hat.

Unter Bezugnahme auf Fig. 518 wird die erwähnte Mittelkraft H der Preffungen möglichst klein, wenn dieselbe durch den höchsten Punkt f der oberen Lagerkante des Kranzsteines geht, wagrecht gerichtet ist und in der lothrechten Halbirungsebene des Meridianstreisens 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 fymmetrisch zu H gelegenen Pressungen der Stoßsflächen als ihre Seitenkräfte. Diese besitzen gleiche Größe und sind senkrecht zu den Seitenebenen des Meridianstreisens gerichtet.

Das in a auf Ba errichtete Loth ab schließet mit der Richtung G einen Winkel bae ein, welcher größer ift, als der Reibungswinkel $bae = \rho$. Damit das Abgleiten des Kranzes, dem der Stein angehört, nicht eintritt, müßen die vorhin bezeichneten Seitenpressungen mit der möglichst kleinsten Mittelkrast H thätig werden.

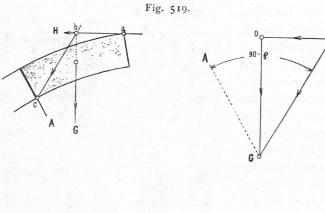
Um diese Kraft H zu bestimmen, muss die Resultirende R aus dem Gewichte G und der noch unbekannten Kraft H eine solche Lage annehmen, dass sie die Erzeugende Ba in einem Punkte h innerhalb der Lagersläche trifft und mit dem in h auf Ba errichteten Lothe einen Winkel einschließt, welcher die Größe des Reibungswinkels nicht überschreitet. Würde die Lage dieser Resultirenden so sest gesetzt, dass dieselbe mit dem Lothe auf Ba einen Winkel einschließen sollte, welcher kleiner als der Reibungswinkel aussiele, so würde H wachsen, was unzulässig erscheinen muss.

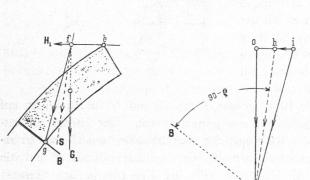
Bringt man daher die Richtung G mit der wagrechten Strecke H in g zum Schnitte, zieht man durch g den Strahl R parallel zum Schenkel ac des Reibungs-

winkels ρ , deffen zweiter Schenkel auf Ba lothrecht genommen wurde, fo ist die Lage der Mittelkraft aus G und H bestimmt. Die Größe von R und von H ist mit Hilse des Kräfteplanes o Gi leicht zu finden. In demselben stellt o G die Größe des Gewichtes vom Kranzsteine dar; Gi ist parallel zu R und oi parallel zu H gezogen, so dass nunmehr i G gleich der Größe von R, i o gleich der Kraft H ist.

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

zu ac fein.





c) Schneidet die Kraftrichtung G die Lagerfläche des Kranzsteines nicht, ist der Neigungswinkel der Erzeugenden Ac in Fig. 519 zur Wagrechten größer als der Reibungswinkel ρ ; so hat der Stein das Bestreben, sich um die Lagerkante c zu drehen und außerdem auf der Lagerfläche zu gleiten.

Die Mittelkraft H der in den Stofsfugen des Kranzes zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes wach gerufenen Pressungen muß also denjenigen möglichst kleinen Werth annehmen, welcher ausreicht, jene Drehung und jenes Gleiten zu verhindern.

Die Refultirende 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 sodann mit der Senkrechten auf Ac einen Winkel einschließen, welcher kleiner oder mindestens gleich dem Reibungswinkel ρ , aber niemals größer als ρ wird.

Für die Erzeugende Ac ergiebt fich nach dem Kräfteplane, dass die Mittelkraft dG in der Richtung bc auch mit der Senkrechten auf ac gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einschließt, so dass die Strecke do die Größe der Mittelkraft H ergiebt, welche ausreicht, um das Gleichgewicht des Kranzsteines aufrecht zu erhalten.

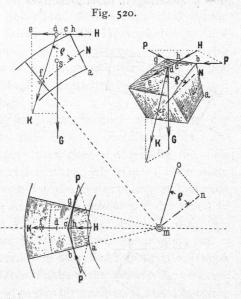
Für eine Erzeugende Bg dagegen würde, in Rücksicht auf Gleiten allein, eine Mittelkraft S aus G, und der im Kräfteplan hierfür gefundenen, in der Wagrechten ef wirkenden Kraft ho nicht durch den Drehpunkt g der unteren Lagerkante gehen; also der Stein nach wie vor eine Drehung um diese Kante vollziehen. Hiernach genügt die Kraft ho noch nicht zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes. Die

318. Dritter Fall. Preffungen im Kranze müssen wachsen, und zwar in der Weise, dass ihre Mittelkraft H, für einen Stein des zugehörigen Meridianstreisens eine Größe erhält, welche die Resultirende aus G, und dieser Kraft H, so weit zurück treibt, bis diese neue Resultirende durch den Drehpunkt g läust. 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 gesunden. Zeichnet man im Krästeplane G, i parallel zu fg, so ergiebt sich in i G1 ihre Größe und zugleich in i0 die Größe der sür das Gleichgewicht nothwendigen Mittelkraft H. Da die Resultirende i0, in ihrer Rich-

tung fg mit der Normalen einen Winkel einfchließt, welcher um $\langle iG, h \rangle$ kleiner wird, als der Reibungswinkel ρ , so ist bei dem Herrschen der Kraft $H_i = i \rho$ auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Nach diesen Erörterungen ist für einen beliebig genommenen Kranzstein eines Meridianstreisens 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 Pressungen P,P. Setzt man das Gewicht G in d mit der unbekannten, aber in he liegenden Kraft H zusammen, errichtet man auf der Erzeugenden mf der Lagersläche des Steines das Loth mn und trägt man den Winkel nmo als



Reibungswinkel ρ an; fo muß die Refultirende K aus G und H in Rücksicht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit om gerichtet sein. Der Strahl df entspricht dieser Lage. Da G und die Richtung der Resultirenden aus G und H bekannt sind, so ergeben sich die Größe de sür die somit gefundene Kraft H und die Größe dK sür die Resultirende K. Letztere trifft die Lagersläche des Steines; solglich genügt die Kraft de = H auch sür das Gleichgewicht gegen Drehen.

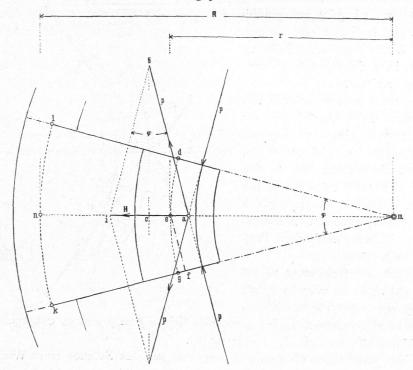
Die Preffungen P, P find Seitenkräfte von H; fie liegen mit H in einer wagrechten Ebene und find fenkrecht zu den Seitenflächen mg, mb des Meridianstreifens mgb gerichtet.

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 liesert das Kräfte-Parallelogramm HPcP in Pc und Pc die gesuchten Pressungen P, P.

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

In Fig. 521 ist mkl der Grundriss eines solchen Meridianstreisens mit der lothrechten Symmetrie-Ebene mn und dem sehr kleinen Winkel φ . Der Gewölbesuss dieses Streisens besitzt die mittlere Dicke kl; der Halbmesser des Bogens kl ist R. Für einen Kranzstein dieses Streisens sei die in der Kugelsläche, welcher der Bogen kl angehört, gelegene mittlere Dicke gleich gd, und der Halbmesser des Bogens gd

Fig. 521.



fei r. Die Mittelkraft H der Preffungen p, p an den Seiten des Kranzsteines sei bekannt und in ai gegeben.

Aus der Aehnlichkeit der rechtwinkeligen Dreiecke ach und efm folgt

$$\frac{ab}{ac} = \frac{em}{ef},$$

d. h. auch, da ab der Preffung p entspricht,

$$\frac{p}{H} = \frac{r}{ef}.$$

Bei der Kleinheit des Winkels φ kann die Gerade ef = r. sin $\frac{\varphi}{2}$ mit dem Bogen $ge = r - \frac{\varphi}{2}$ vertauscht werden, so dass

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

wird.

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

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

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

erhalten wird.

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

319. Wölbkranz.

Betrachtet man eine Schar von Kranzsteinen eines Wölbringes für mehrere neben einander liegende Meridianstreifen von gleicher Größe (Fig. 522), fo bleiben die in den äußersten Seitenflächen mg und mb vorhandenen Pressungen P, P gleich den für einen einzelnen Meridianstreifen, z. B. mbc ermittelten Preffungen p = q.

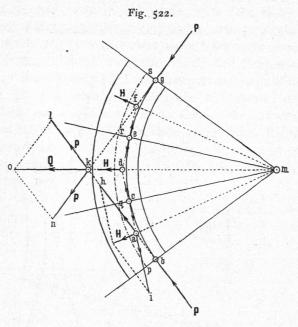
Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c, auch in e, die Preffungen der zugehörigen Elemen-

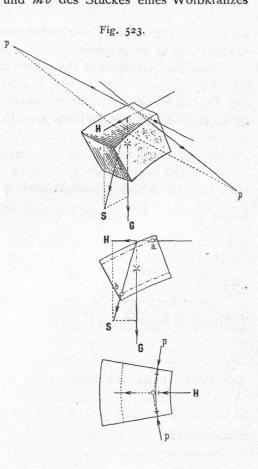
tarstreisen in einer geraden Linie, in gleicher Größe p = q und in entgegengesetzter Richtung, find also für sich im Gleichgewicht.

An den lothrechten Grenzebenen mg und mb des Stückes eines Wölbkranzes bleiben also die Pressungen P, P übrig, welche offenbar dieselbe Größe wie die Seitenkräfte p = q von H des Streifens mbc besitzen müssen. Diese Pressungen P liegen in einer wagrechten Ebene, welche durch die obere Lagerkante gb am Wölbkranze geführt werden kann; sie stehen je für sich senkrecht zu den Ebenen mg, bezw. mb und lassen sich in k zu einer Mittelkraft Q vereinigen, welche zugleich die Resultirende der Kräfte H der einzelnen Kranzsteine sein muß. Legte sich das Kranzstück mgb in den Seitenebenen mg und mb gegen besondere Widerlagskörper, fo 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, bezw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, außer Acht gelaffen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 141 (S. 194) angeführt find,

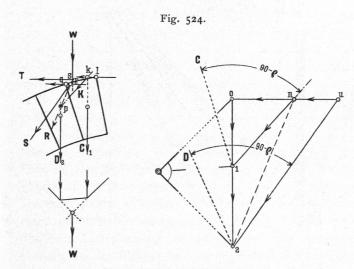




kann man bei Berücksichtigung der Pressbarkeit des Materials die Angriffspunkte a von H und b von S, wie Fig. 523 ohne Weiteres erklärt, um eine gewisse Strecke in das Innere des Wölbsteines rücken, sonst aber beim Bestimmen der Größen der Kräfte H, S und p, wie im Vorhergegangenen mitgetheilt ist, vorgehen. Erfahrungsgemäs ist auch bei Kuppelgewölben das Zurückziehen der Angriffspunkte a und b von den Kanten bei guten, hinlänglich sesten Wölbsteinen nur äußerst gering. Die Angabe eines genauen Maßes für die Größe 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 Lagerslächen

321. Preffungen der Lagerflächen.



der Wölbsteine dieses zuge- Lagerstächen. hörigen Streisens Hand in Hand. Ueber einander gelagerte Kranzsteine bilden den Meridianstreisen.

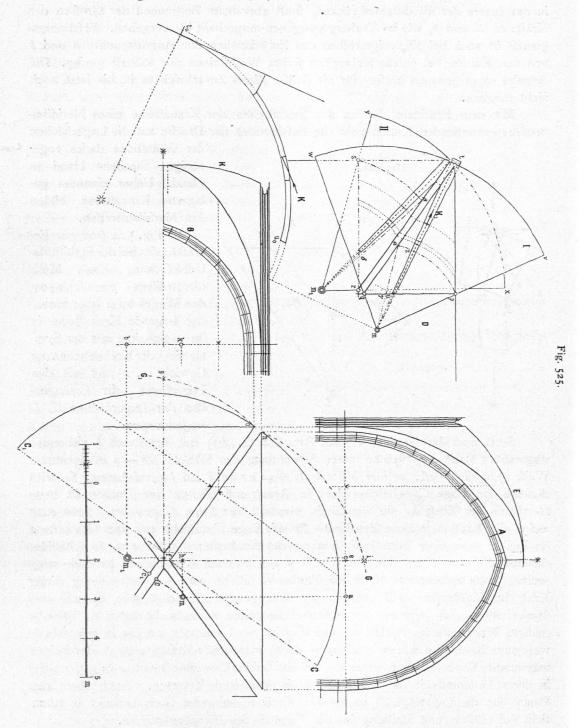
In Fig. 524 find zur Erklärung des bei der Stabilitäts-Unterfuchung eines Meridianstreisens einzuschlagenden Weges zwei über einander liegende Kranzsteine in ihrem Schnitte mit der Symmetrie- oder Kräfteebene vom Gewicht 1, 2 und mit den Lagerfugen oder Erzeugenden der Lagerflächen C, D angenommen.

Setzt man das Gewicht 1 nach Art. 318 (S. 463) mit der durch 1 ziehenden wagrechten Kraft no, welche unter Anwendung des Winkels 90 - ρ in bekannter Weise gefunden wird, zu der Mittelkraft K = nI 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 2D parallel zur Erzeugenden D, trägt man an 2D den Winkel $90 - \rho$, fo begrenzt der Schenkel 2u dieses Winkels die durch o, bezw. ngelegte 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 I und z = oz, welche in ihrer Gesammtheit für die Fuge D in Wirksamkeit treten. Auch diese den Druck für die Lagerfuge D angebende Kraft S bekundet Gleichgewicht in Rückficht 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 Seitenslächen des Meridianstreisens entstehen.

Setzt man dieses einfache Versahren, welches im Folgenden - bei der be-

fonderen Betrachtung über Kuppelgewölbe — noch weiter verfolgt werden foll, unter Beobachtung der in Art. 315 (S. 460) behandelten und eintretenden Fälle



fort, so gelangt die statische Untersuchung des Meridianstreisens sowohl in Bezug auf die Pressungen in den Stossflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerslächen zum Abschluss.

Hätte man die Kräfte no und un zu einer Mittelkraft T und eben so die Gewichte t und t zu einem resultirenden Gewichte t zusammengesetzt, diese in ihrem Schnitte t angreisen lassen, so würde die durch t parallel zu t gelegte Resultirende t ebenfalls durch den Punkt t gehen.

Die besprochenen, für die Stabilitäts-Untersuchung der Kuppelgewölbe wichtigsten Punkte lassen sich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe übertragen. Da die sphäroidischen, nicht nach reinen Kugelslächen gewölbten Kappen doch im Allgemeinen in Rücksicht auf ihre praktische Ausführung nur wenig von der Kugelsläche abweichen, sondern fast immer in ihren Laibungsslächen kugelähnlich gestaltet werden, so entsteht kein großer Fehler, wenn auch diese sphäroidischen Kappen bei der statischen Untersuchung wie die mit Kugelslächen behafteten Kappen behandelt werden.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde in Fig. 525 find A und C, bezw. B und C die nach Kreisbogen genommenen Anfatzlinien der Gewölbflächen. Die Mittelpunkte dieser Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpserebene; m und m, 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, auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der größten Kreise werden die Kugelstücke der Kappen in schmale, lothrechte Meridianstreisen zerlegt. Für jede Kappe sind den einzelnen Streisen gleiche Winkel zu geben; auch ist, wie im Plane D gezeigt, thunlichst eine gleichmäßige Anordnung in Bezug auf die Symmetrie-Ebenen mt und m,t der längsten Streisen zu tressen. Ist die wagrechte und lothrechte Projection, wie ut, $u_0 t_0$ eines größten Meridianstreisens bestimmt, so ist dieses Gewölbstück sür sich einer statischen Untersuchung zu unterwersen, um danach ohne Weiteres die Stabilitätsverhältnisse der übrigen in den zugehörigen Kappenstücken noch vorhandenen, aber kürzeren Streisen, gleiche Stärke und Belastung vorausgesetzt, ableiten zu können.

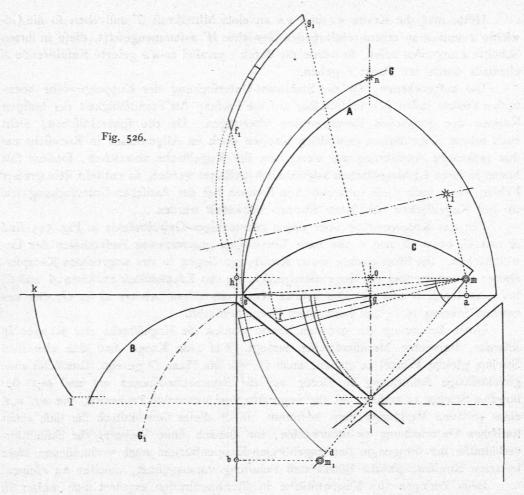
Beim Zerlegen der Kappenstücke in Meridianstreisen ergeben sich weiter in Rücksicht auf die Scheitellinien qp der Kugelsläche I, mit dem größten Kreise vw, und rs der Kugelsläche II, mit dem größten Kreise xy, durch die Ringlinien $p\alpha$, bezw. $s\beta$ und durch die Scheitellinien qp, bezw. rs bestimmt begrenzte Gebiete $q\alpha p$ und $r\beta s$, welche die in den lothrechten Scheitelebenen pq und sr entstehenden Pressungen besonders beeinslussen.

Steht die lothrechte Axe der Kugelfläche, welche die Laibung eines Kappenflückes liefert, wie in Fig. 526 bei m, außerhalb des eigentlichen Gewölbefeldes, fo ift nach dem Festlegen ihres größten Kreises G wiederum nur ein zweckmäßiges Zerlegen des Kappenstückes in schmale Meridianstreisen vorzunehmen. Der größte dieser Streisen, wie z. B. gf mit der lothrechten Projection g,f, ist für die statische Untersuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung ist die Ermittelung der Seitenpressungen, welche die busigen Kappen auf die stützenden Rippenkörper ausüben, von Bedeutung.

Ist nach Fig. 527 das Zerlegen der Kappen in Meridianstreisen vorgenommen, so kann man, z. B. für den größten Streisen hfeg, die in der besonders stark gezeichneten Kranzschicht entstehende wagrechte Krast H ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 319 (S. 466) und danach die Pressungen P an den Stoßsflächen des zugehörigen Kranzsteines bestimmen. Diese Pressungen P sind für sämmtliche Kranzsteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Dieselben machen sich sowohl

322. Gewölbekappen.

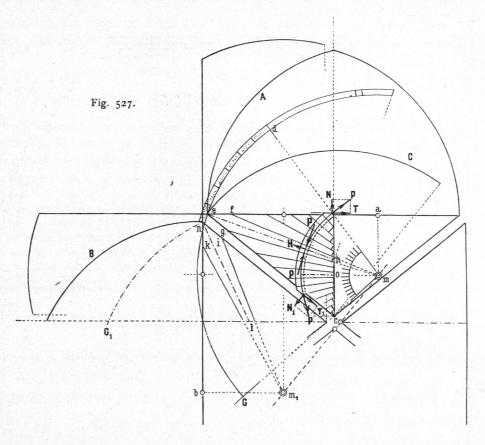


in den Ansatzflächen der Kränze, so fern die Kräfte in den Stossflächen bei einzelnen Ringschichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite ea, als auch am Diagonalbogen ec geltend. Sie sind auch hier bei einer normalen Stellung zu den äußersten Meridianebenen der Kranzschicht wagrecht gerichtet und kennzeichnen unmittelbar die Beanspruchung der stützenden Rippenkörper durch diese Kräftegruppe der Kappenwölbung.

Nach dem Zerlegen der Pressungen P in die Seitenkräfte N und T, bezw. N, und T, rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bezw. in diese Ebene fallend, lässt sich hiermit unter Berücksichtigung des in Art. 253 (S. 375) Vorgetragenen die weitere statische Untersuchung dieser Bogenkörper in Verbindung bringen.

Ergeben die Preffungen P der Stofsflächen der einzelnen Kranzschichten auch sofort die Größe der hierdurch eintretenden Seitenschübe für die Rippenkörper, so sind damit doch zunächst die Preffungen noch nicht klar gelegt, welche durch die innerhalb der bei Fig. 525 erwähnten Gebiete der Scheitellinien der Kappen befindliche Wölbung in den senkrechten Ebenen dieser gekrümmten Scheitellinien bei dem Zusammenschnitt der Wölbschichten entstehen.

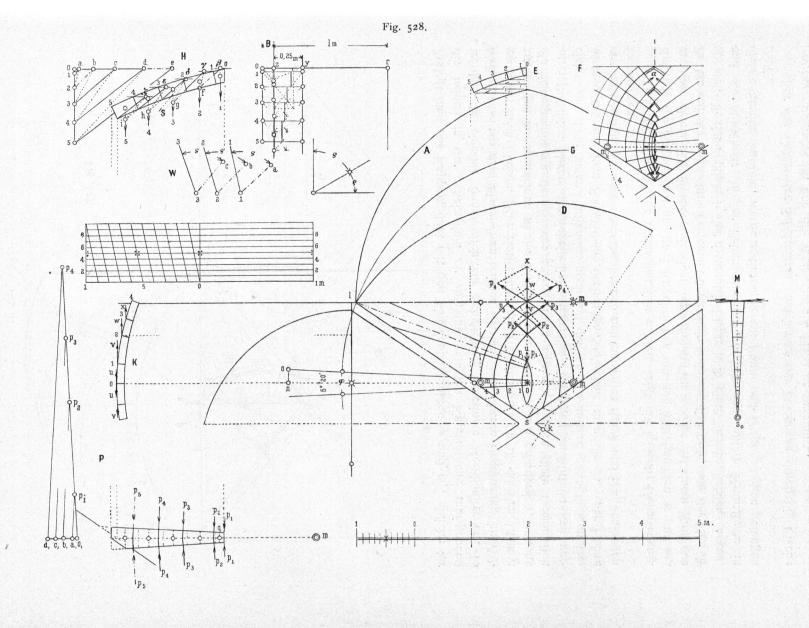
Die Bestimmung der Größe dieser nach den Scheiteln der Rand- und Diagonalbogen gelangenden Pressungen soll besonders nach Fig. 528 vorgenommen werden.



Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten m und m, welche für die beiden in der Scheitellinie sv zusammengefügten Kappentheile maßgebend werden, in einzelne symmetrisch zur Scheitellinie geordnete Meridianstreisen, 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 Einstügen von Schlußsteinen ersorderlich, welche die Seitenpressungen der Kränze auszunehmen haben. Werden diese symmetrisch zur lothrechten Ebene der Scheitellinie liegenden Pressungen zu Mittelkräften vereinigt und diese unter Umständen noch mit den an sich äußerst geringsügigen Gewichten der einzelnen Schlußsteine verbunden, so erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche sich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpslanzen.

Dass derartige Schübe vorhanden sein müssen, zeigt die folgende Ueberlegung. Bestände die Kappe, statt aus zwei Kugelstücken mit den Mittelpunkten m und m, nur aus einem Kugelstücke mit dem Mittelpunkte in s oder in einem sonstigen Punkte auf der wagrechten Projection der Scheitellinie sv, so würde, wie der Plan M angiebt, die Scheitellinie in der Symmetrie-Ebene s_0 M eines Meridianstreisens liegen, und die Mittelkrast M der Seitenpressungen, welche am untern Kranzsteine in diesem Streisen entsteht, würde nothwendig auf Rand- und Diagonalbogen gelangen müssen.

Für das Gebiet der Scheitellinie, welches in der Zeichnung durch die Fläche vm,smv begrenzt ift, find die Wölbkränze o bis 4 angenommen.



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

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

d. h. $\frac{\phi}{2}=3\,^{\rm o}\,10^{\prime}$ und $\phi=6\,^{\rm o}\,20^{\prime}$ gefunden.

Die statische Untersuchung dieses Meridianstreisens ist in den Plänen H und P für 5 Wölbsteine nach der Grundriss-Projection o_5 und der lothrechten Projection E im vergrößerten Massstabe 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 anzusertigen, 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 einsacher 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 aus die Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$, 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 $B=0,1=\frac{1}{10}^{\mathrm{m}}$ angenommen wurde, so ist im Ganzen durch $\frac{1}{n}$ $B=\frac{1}{4}\cdot\frac{1}{10}=\frac{1}{40}$ eine 40-sache Vergrößerung der Strecke stir 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 $2\mathcal{J}$ im Inhalts- oder Gewichtsplane zu messen. Ihre Länge beträgt 0,15 m. Hiernach ist unter Berücksichtigung der 40-sachen Vergrößerung der Inhalt

$$v = 0.15 \cdot \frac{1}{40} \text{cbm} = 0.00375 \text{cbm}.$$

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

In Uebereinstimmung mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Gefagten ist unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitäts-Untersuchung des Meridianstreisens o_5 im Plane H auf graphischem Wege ausgeführt.

Ein Strahl $f\gamma$, parallel zur Mittelkraft az der Kräfte ao und oz geführt, liefert auf der durch I gezogenen Wagrechten den Punkt γ . Eine Linie γg parallel zum Schenkel zb des für die Fuge z gezeichneten Reibungswinkels zb genommen, trifft wiederum die Fuge z. Man kann also ohne Weiteres auch im Plane H den Strahl zb parallel zu γg oder, was dasselbe ist, parallel zum Schenkel zb des

Reibungswinkels 22b ziehen, um in ba die Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzsteines und in b2 den Druck für die Lagerfuge 2 zu erhalten. Beim dritten Kranzsteine schneidet die durch g parallel zu b3 geführte Kraftstrecke die durch 2 gezogene Wagrechte im Punkte 6. Der durch 8 parallel zum Schenkel 3c des Reibungswinkels 33c der Fuge 3 gelegte Strahl S trifft die Fuge 3 nicht mehr. Defshalb muss zur Bestimmung der Mittelkraft ch der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines nach dem in Art. 318 (S. 463) behandelten dritten Falle die von à ausgehende Kraftrichtung & h durch den tiefsten Punkt der Fuge 3 gelegt werden. Nimmt man hiernach 3 c parallel zu 8 h, fo ist cb die gesuchte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzsteines und e3 der Druck in der Lagerfuge 3. Da für die Fuge 3 der Reibungswinkel 33c die Bestimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinslusst, so kann die weitere Zeichnung der Reibungswinkel für die Fuge 4 u. f. f. unterbleiben. Der Strahl & h schneidet die Gewichtslinie 4 im Punkte h. Die durch h parallel zur Refultirenden c.4 der Kräfte c.3 und 34 gezogene Gerade he trifft die durch 3 gelegte Wagrechte in e. Von e aus braucht man nur einen Strahl si durch den tiefsten Punkt 4 zu legen, um, nachdem im Plane H durch 4 eine Parallele zu ei gezogen ift, in der Strecke de die Mittelkraft der Seitenpressungen des vierten Kranzsteines und in d4 die Pressung in der Lagersuge 4 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 c4, d5 u. s. f. f. sich ergeben, geschnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzsteine keine Bestimmungen von Seitenpressungen mehr ein. Durch einsache Zusammensetzung der für die noch folgenden Fugen in Frage kommenden Kräfte, welche im Allgemeinen nicht mehr unmittelbar von dem Reibungswinkel und den Lagerkanten abhängig gemacht werden, ist alsdann, wie sich später bei der Untersuchung eines größeren Kuppelgewölbes noch zeigen wird, die Weiterführung der Stabilitäts-Ermittelungen in Bezug auf die Drücke in den Lagerflächen zu beforgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte av, ba, cb, dc der Seitenpressungen der Kranzsteine für die im Wölbgebiete vm, smv der Scheitellinie liegenden Ringschichten bekannt geworden sind, so lassen sich diese Pressungen selbst wiederum durch Zeichnung, wie der Plan P kenntlich macht, leicht bestimmen. Die Pressungen p_1 , p_2 u. s. s. liegen in wagrechten Ebenen und stehen senkrecht zu den Seitenebenen des Meridianstreisens.

Nimmt man im Plane P die Strecke o, a, gleich der wagrechten Mittelkraft a o für die Seitenpreffungen am ersten Kranzsteine des Planes H, zieht man o, p, und a, p, parallel zu den senkrechten Strahlen p, des Meridianstreisens m, so erhält man in den Strecken o, p, bezw. p, a, die gesuchten Seitenprefsungen.

Für den zweiten Kranzstein ist o, b, = ba des Planes H. Die Strecken $o_1 p_2$, bezw. $p_2 b$ geben die Seitenpressungen dieses Steines u. s. f. Sollten die Seitenpressungen, z. B. für den dritten Stein, durch Rechnung unter Benutzung der hierfür auf graphischem Wege gesundenen Mittelkrast cb des Planes H bestimmt werden, so ist Gleichung 247 (S. 465) anzuwenden. Man erhält hiernach

$$p_3=\frac{cb}{\varphi}.$$

Da der Winkel φ zu 6°20' ermittelt war, fo ist die Bogenlänge φ bei einem Halbmesser 1 gleich 0,1105. Die Strecke cb misst 0,19 Met., bezw. Cub.-Met. Hiernach wird

$$p_3 = \frac{0,19}{0,1105} = 1,72 \text{ cbm}.$$

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

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

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes v m, s m v wirkenden Seitenpreffungen, wie in Art. 319 (S. 466) und in der Zeichnung angegeben ist, der Reihe nach zu Mittelkräften u, v, w, x zufammen, so ergiebt sich aus dem Plane K die Beanspruchung des Randbogens und der Diagonalbogen durch dieses in der Scheitelebene sv wirkende Krästessystem.

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

Bei Kappen mit sphäroidischer Busung kann der im Vorhergegangenen erklärte Gang der statischen Untersuchung beibehalten werden. Die gemeinschaftliche lothrechte Axe der Meridianebenen, welche das Zerlegen der zu unterfuchenden Kappenflücke in schmale Meridianstreisen angeben, ist die durch den Gipselpunkt der kugelähnlichen Kappe geführte Gerade. Der Fußpunkt dieser lothrechten Axe kann
auf der Kämpserebene des Gewölbes innerhalb oder außerhalb der zugehörigen
Kappe liegen; für das Zerlegen dieser sphäroidischen Kappen bleiben die in Art. 322
(S. 469) für Kugelkappen angegebenen Massnahmen bestehen.

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

Die Stärke der Gewölbekappen kann für die Praxis nach der Größe der Preffungen, welche auf die Stoß-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden.

323. Stärke der Kappen.

Wie aus der statischen Untersuchung des oberen Theiles eines Meridianstreisens im Plane H in Fig. 528 hervorgeht, sind für die Bestimmung der Gewölbstärke eines Kranzes, bei möglichst strengem Versahren, die Abmessungen eines Kranzsteines zu berechnen, einmal in Rücksicht auf die normalen Pressungen der Seitenslächen und sodann in Bezug auf den Druck seiner Lagersläche. Da es an einer genauen Bekanntschaft von der wirklich stattsindenden Druckvertheilung am gepressten Steine und der entstehenden Formänderung desselben mangelt, ist die bereits in Art. 136 (S. 181) angegebene, auf Ersahrung gestützte Grundlage für die weitere Durchsührung der Rechnung in praktischer Beziehung zu verwerthen.

Dem Wesen der statischen Untersuchung der busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe entsprechend, kann aber bei der Berechnung der Gewölbstärke nicht, wie bei den cylindrischen Gewölben, von einem möglichst kleinsten Werthe eines Horizontalschubes in einer oberen Scheitelfuge, welcher bei Kuppelgewölben sogar gleich Null ift, fondern nur von der Größe der normalen Pressungen, welche die Stofs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzsteines beeinflussen, füglich die Rede sein. Defshalb kann man für die Praxis die Gewölbstärke nach den für Normaldruck ermittelten Gleichungen 148, bezw. 149 (S. 186) bei der Wölbung aus Quadern, fo wie nach den Gleichungen 150, bezw. 151 (S. 187) bei Backsteinmaterial von guter Beschaffenheit bestimmen. Hierbei hat man, da die Gewölbstärke in den meisten Fällen für alle Kranzschichten gleich groß genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fussfläche des größten Meridianstreisens einer Kappe kommt. Aber wenn auch dieselbe Gewölbstärke nicht durchweg für alle Wölbschichten, vermöge etwa fehr stark nach dem Fusse des Streifens anwachsender Drücke, beibehalten werden kann, so ist man mit Hilfe der statischen Untersuchung und der erwähnten Gleichungen doch stets in der Lage, für irgend eine Kranzschicht die Gewölbstärke ausfindig zu machen.

Beifpiel. So ist in Fig. 528 (S. 472) für den Stein 3 im Plane H eine normale Pressung $p_3 = 0,044$ cbm gesunden. Die Breite der Kranzschicht ist bei der Theilung des Meridianstreisens 0.5 zu 0,25 m angenommen; mithin muss, um die für den Normaldruck bei einer Tiese gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stossflächen des Steines 3 berechnet werden, als

324. Beifpiel.

$$N_3 = \frac{p_3 \cdot 1}{0,25} = \frac{0,044 \cdot 1}{0,25} = 0,176 \text{ cbm.}$$

Setzt man diesen Werth in Gleichung 150 (S. 187) für N, so ergiebt sich bei Backsteinmaterial eine Stärke

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

d. h. gleich einer Backsteindicke. In der Zeichnung ist in Rücksicht auf eine größere Normalpressung am Fusse des größten Meridianstreisens die Kranzstärke gleich 0,12 m, gleich einer Backsteinbreite, genommen.

Der Druck eg für die untere Lagerfläche des Steines g ergiebt fich, unter Berücksichtigung der 40-fachen Vergrößerung der Kraftstrecke $\epsilon_{\mathcal{J}}$, im Plane H zu $\frac{0,_{475}}{40}=\infty~0,_{012}$ cbm.

Nach dem Grundrifs m des Meridianstreisens ist die Tiese der unteren Lagersläche gleich 0,15 m. Die aus c3 für diese Fläche entstehende normale Seitenkraft ist etwas kleiner als c3, möge aber hier gleich der Strecke c3 gesetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu stellende Normaldruck für eine Tiefe gleich 1 m

$$N=rac{0,_{012}\cdot 1}{0,_{15}}=0,_{08} ext{cbm}\,,$$

also kleiner, als der vorhin für die Stossflächen berechnete Werth N3. In diesem Falle ist der Werth für N bei der Berechnung der Gewölbstärke außer Acht zu laffen.

Umgekehrt aber ist bei Kranzschichten, deren Normalpressungen in den Stossflächen, die selbst den Werth Null annehmen können, kleinere Gewölbstärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berückfichtigen.

Hat das Gewölbe außer feinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine fonstige ruhende Belastung aufzunehmen, fo ist diese Ueberlast, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weise zurückgeführt und bei der Lamellentheilung des Meridianstreifens entsprechend berücksichtigt, bei der statischen Untersuchung eben so zu behandeln, wie früher bei den belasteteten cylindrischen Gewölben gezeigt wurde.

325. Empirische Regeln.

Im Allgemeinen bedürfen die unbelasteten busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der großen Mannigfaltigkeit in der Gestaltung dieser Gewölbe sind empirische Regeln, welche alle Fälle der verschiedenen Gewölbeanlagen umfassen sollten, für die Feststellung der Kappenstärke von keinem Werthe.

Hat das Rippen- und Kappenfystem 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, forgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgesetzt, unbelastete busige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm, d. h. 1/2 Backstein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, so beträgt die Kappenstärke in der Regel nicht unter 20 cm, welche ausnahmsweise bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu 10 cm herabsinkt. Bei belasteten Kappen sind die angegebenen Stärken zu vergrößern. Den besten Aufschluß über die anzunehmende Gewölbstärke wird man immer durch die ohne große Mühe auszuführende statische Unterfuchung der Kappen erhalten.

β) Stabilität der Gewölberippen.

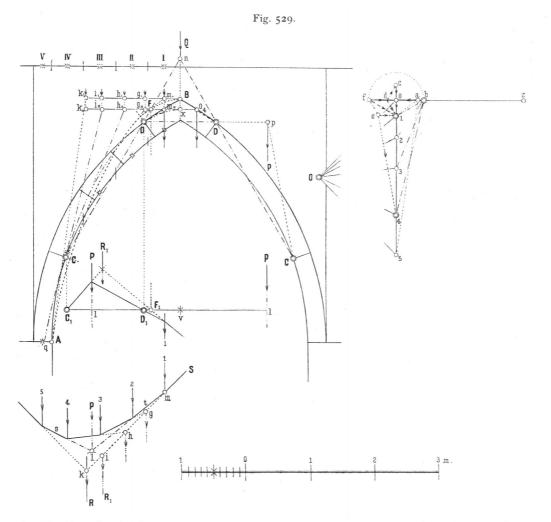
326.

Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe sind in den meisten Fällen Gewölberippen. Bestandtheile cylindrischer Gewölbe, deren Bogenlinie, abgesehen von einem Halbkreife oder einem Korbbogen, am häufigsten als Spitzbogen mit Kreisbogenschenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derfelben lothrechten Ebene und ist die Belastung beider Bogenschenkel dieselbe, fo bildet der Rippenkörper ein cylindrifches, fymmetrifch geformtes und fymmetrifch belaftetes Gewölbstück. Eben so können auch Rippenkörper in besonderen Fällen als einschenkelige Theile eines Spitzbogens und somit als einhüftige oder ansteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an fich Form, Anordnung und Belastung der Rippenkörper sein mögen; stets sind für ihre statische Untersuchung die für die Ermittelung des Gleichgewichtes cylindrischer Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtschnur zu nehmen.

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

327. Spitzbogengewölbe.

Die Tiefe des Gewölbes fei gleich $1\,\mathrm{m}$. Nach bekannter Zerlegung in Theilstreisen $I,\ II$ u. s. s. und Bestimmung der Gewichte $o\,I,\ I\,2$ u. s. f. f. dieser prismatischen Theilkörper unter Benutzung der Reductions-Basis $o\,z\,=\,2\,\mathrm{m}$, ist unter Annahme eines möglichst kleinsten, durch den höchsten Punkt B der gedachten Scheitelsuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbschubes für die Gewölbhälste $B\,A$



eine Mittellinie des Druckes für die Punkte $\mathcal B$ und den vorderen Punkt $\mathcal A$ der Widerlagsfuge gezeichnet. Diefelbe verläfft jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wölblinie; fie kennzeichnet in den Punkten $\mathcal D$ und $\mathcal C$ zwei Bruchfugen, und folglich ift der für diefe vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontalfchub $a\,o$ noch nicht fähig, den Gleichgewichtszuftand im Wölbfystem 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, I 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_4i_n , C mit der Refultirenden $R_r=o_4$ im Gewichtsplane gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belastung der Gewölbschenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x dieser durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des gesuchten neuen Gewölbschubes bo, welcher in seiner Größe auf bekanntem Wege als Strecke bo mittels des parallel zu Ci,, durch 4 gezogenen Strahles 46 erhalten wird. Die mit dem Gewölbschube 60 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, fo ist die Stabilitäts-Untersuchung abgeschlossen.

Für die Stärke des Gewölbes ist zunächst die Größe des Schubes bo zu berücksichtigen. Es ist $b \, o = 0$,47 m gemessen; da die Basis $o \, z = 2 \, \mathrm{m}$ gewählt war, so ist $b \, o = 0$,47 . 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 $H=b\ o=0.94$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met. gefetzt wird, die fenkrecht zur innern Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 0.94) \cdot 0.94} = \infty \cdot 0.22 \text{ m}.$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A ist gleich der Gewichtsstrecke 05 mal Basiszahl oz, d. h. = $2,425 \cdot 2 = 4,85$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met.

Nach Gleichung 148 (S. 186) wird

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 4.85) \cdot 4.85} = \infty \cdot 0.28 \, \text{m},$$

alfo größer als d. Mithin würde die Gewölbstärke durchweg zu 0,28 m angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu 0,30 m gewählt.

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

Das Stück DBD des Gewölbes besitzt ein Gewicht c1, welches gleich dem zweisachen der Strecke o I ift, während das Gewicht jedes Stückes D C = P gleich der Strecke I 4 wird. Zerlegt man das Gewicht c I in n nach den Richtungen n D, n D in die beiden gleichen Seitenkräfte c d, d I, fo wirkt im Punkte D zunächst eine solche Kraft dr. Außerdem wirkt in D eine wagrechte Kraft er, welche als Seitenkraft der durch pC gehenden und hiermit der Lage nach bestimmten Resultirenden e 4 in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräftedreieck 14e fofort zu ermitteln ist. Die in D wirkfame, aus dI und eI entstehende Mittelkraft fI ist die im Punkte D austretende Pressung. Die wag-

rechte Seitenkraft fo dieser Pressung ist der gesuchte Horizontalfchub. Der parallel zu f 1 gezogene Strahl Do4 schneidet die Gewichtslinie des Stückes BD im Punkte o4. Die durch o4 gelegte Wagrechte o4 k,, trifft die angenommene lothrechte Scheitelfuge B im gesuchten Punkte x.

Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes xDCq erkennt man ihre ziemlich steile Stellung zwischen den Bruchfugen C und D. Hiernach könnte zur Erzielung einer statisch günstigen Bogenform unter Umständen eine Umgestaltung des ursprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, dass nach den Angaben von Viollet-le- Duc^{184}) der mittlere, überwiegende Theil B (Fig. 530) mit einem größeren Halbmeffer bB beschrieben würde,

Fig. 530.

als die oberen und unteren kürzeren Bogenftücke A, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt in α liegt.

Ist das gesammte Rippensystem eines gothischen Kreuzgewölbes planmässig 328. fest gelegt, ist die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

Statische Unterfuchung.

zufällige Belastung des Gewölbes bestimmt, so sind zunächst, den in Art. 315 (S. 460) unter α gegebenen Entwickelungen entsprechend, die von den Gewölbekappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Pressungen zu ermitteln. Sodann sind die hieraus resultirenden Kräfte als äußere angreisende Kräfte für den Rippenkörper sest zu stellen, und endlich ist unter Berücksichtigung des Eigengewichtes, einschließlich einer vielleicht vorhandenen besonderen Belastung der Rippen, die eigentliche statische Untersuchung des Rippensystems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogensorm doch ihrem Wesen nach ganz in der Weise durchzusühren, 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 fo ist nach der Bestimmung des für den Rippenbogen entstehenden Horizontalschubes, bezw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 148 (S. 185 u. 186), bezw. der Gleichungen 145 u. 150 (S. 186 u. 187) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backsteinen zu berechnen.

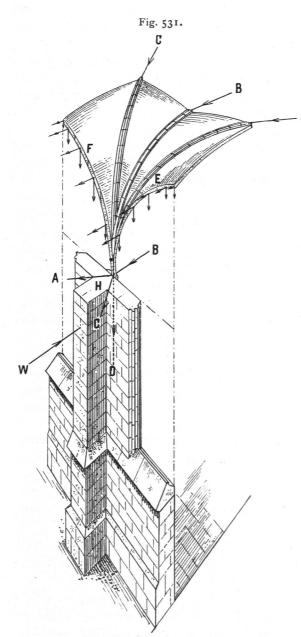
Unter besonderen baulichen

Verhältnissen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölberippen oder auch des gesammten Gewölbfvstems ein starker Winddruck, welcher auf die Flächen der feitlichen Begrenzungen der Gewölbeanlage gelangt, von nachtheiliger Wirkung fein. 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 feitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbschübe, so lässt sich für diese den Widerlagskörper H des Gewölbes angreifenden Kräfte an fich ein standfähiges Widerlager schaffen. Wirkt nun aber auf diefen Widerlagskörper von aufsen der Winddruck ein, dessen resultirende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete

Preffung W die aus den Gewölb-

329 Stärke der Rippen.

330. Winddruck.



schüben entstehende Mittelkraft an Größe übertrifft, so wird dieser Ueberschus des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenschaft ziehen und, durch dasselbe fließend, sowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulenfystem, wie auch schliesslich die andere feitliche Außenmauer des Gewölbgebietes befonders beanfpruchen. Während dieses Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berücksichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewiffenhafte Bestimmung erst Aufschluss über die nothwendige Stärke dieser Gewölbtheile zu geben vermag. Mit diesen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen stehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbeanlage in innigem Zusammenhange. Eine durchweg scharfe und genaue Ermittelung dieser fämmtlichen Veränderungen ift aber mit fo großen Schwierigkeiten verknüpft, daß man nur durch Näherung einigen Aufschluss über die erwähnten Einflüsse des Winddruckes auf das Wölbfystem gewinnen wird. Selbst die Annahme über die Größe des in Rechnung zu stellenden Winddruckes ist noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutschland noch mannigfach angenommene größte Werth von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde fenkrecht getroffenen Fläche ift neueren Erfahrungen nach bei herrschenden Stürmen erheblich überschritten. Immerhin darf der Einflus des Windes bei Gewölbeanlagen zwischen hohen Begrenzungsmauern nicht außer Acht gelaffen werden. Defshalb ift dahin zu fehen, dass die dem Gewölbschube und dem Winddrucke ausgesetzten Begrenzungsmauern der Gewölbeanlage zur Erreichung entsprechender Sicherheit an und für sich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächst vollständige Standfähigkeit gegen den antretenden gefammten Gewölbschub besitzen, sodann aber auch eine solche Stärke erhalten, dass fie fähig find, dem Winddruck allein Widerstand zu leisten, ohne dass ein nachtheiliger, die Größe des Gewölbschubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe felbst auf die übrigen Gewölbstützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für diese und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelassen werden kann, welche nicht verhindert, dass der Ueberschuss des Winddruckes die Gewölb-Construction gleichsam für sich als Laufbahn in Anspruch nimmt, so muß die Stabilitäts-Untersuchung der ganzen Anlage durch das Aufsuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittelung der sämmtlichen sich geltend machenden äußeren Kräfte für die Gewölberippen, Gewölbekappen und sür die Widerlagskörper den erforderlichen Ausschluß über den Gleichgewichtszustand des ganzen Systemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, fehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann wesentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weise ausgeführt werden, sobald man den etwa vorhandenen Ueberschuss der Größe des Winddruckes nur als allein wirksam für den Gurtbogen B (Fig. 531) zwischen der Kappengruppe von E bis F betrachtet. Nach dieser Annahme lässt sich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe B, den vorhandenen Gewölbpseilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepseilern, 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 Gewölbpseiler oder die seitlichen Widerlager, heraus, so kann man sehr häufig durch das schon mehrsach 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 befondere 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 Ausstellen empirischer Regeln für die Bestimmung der Stärke der Gewölberippen zwecklos erscheinen muß. Schon die aus architektonischen Bedingungen hervorgehende Profilirung der Rippen veranlasst häusig einen weit größeren Rippenquerschnitt, als die Pressungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günstigen Verlause der Drucklinien im Rippenkörper entstehen.

331. Empirifche Regeln.

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 Profilirung desselben vornehmen.

Oft ergiebt eine folche Unterfuchung allerdings auch fo 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 $10\,\mathrm{m}$ Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis $25\,\mathrm{cm}$ und, einschließlich des Rückenansatzes, eine Höhe von 25, 30 bis $36\,\mathrm{cm}$. Rippen aus Backsteinen oder besonderen, kleineren oder größeren Formsteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis $1^{1}/_{2}$ Stein breit und mit dem Rückenansatze $1^{1}/_{2}$ bis 2 Stein hoch genommen werden.

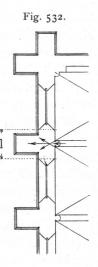
Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerschnitte mit $9\ \mathrm{cm}$ Breite und $15\ \mathrm{cm}$ Höhe ohne Rückenansatz. Diese Abmessungen dürsten selten noch eine weitere Verminderung erfahren.

γ) Stabilität der Widerlager.

Werden die Umfangsmauern, die hauptfächlichsten Widerlagskörper der Anlage eines gothischen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 298 (S. 431) Gesagten in einzelnen Stützpunkten, mögen dieselben durch Strebepseiler an sich schon verstärkt fein oder nicht, durch die Kräfte beansprucht, welche mit Hilfe der im Vorhergegangenen besprochenen statischen Untersuchung der Gewölbekappen und ihres Rippensystemes 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 Zufammenhange 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 I (Fig. 532) unter richtiger Würdigung der geschaffenen Planlage möglichst gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunsten des Sicherheitsgrades des Stützkörpers angebahnte Verringerung feines Gewichtes in Rechnung zu stellen.

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 185) des Querschnittes birgt und dass außerdem eine Gefahr in Rücksicht auf Gleiten ausgeschlossen bleibt.

333. Empirifche Regel. Eine hier und dort angegebene empirische Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwischen ½ bis ½ der Spannweite der Gewölbe wechselt, erscheint, ohne eine Rücksichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerthe angegebenen, weit von einander abstehenden Grenzen, nicht besonders beachtenswerth. Eine leicht zu bewirkende Stabilitäts-Untersuchung der Widerlager besreit von den Massnahmen der an sich oft unsicheren empirischen Regeln.



334. Widerlager mit Strebebogen. Auf etwas anderem, nunmehr zu berückfichtigendem Wege ist die Stabilitäts-Prüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 299 (S. 432) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinschaft mit Strebepfeilern als besondere Stütz-Constructionen des eigentlichen Gewölbewiderlagers auftreten sollen.

Das innere Wesen dieser Stabilitäts-Untersuchung stimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinschaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verschiedener Spannweite und ungleich großer Belastung, welcher in Art. 147 (S. 213) bereits näher behandelt ist, überein. Der meistens in der Form eines einhüftigen Gewölbes erscheinende Strebebogen ändert die Richtschnur des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitäts-Untersuchung von einhüftigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berücksichtigung finden muß, ist in Art. 146 (S. 208) erklärt.

Der Gang, welcher bei der statischen Untersuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, soll unter Benutzung der Darstellungen auf neben stehender Tafel besprochen werden.

Der in der lothrechten, als Kräfteebene fest gesetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers G und des Strebebogens 7o wirkende resultirende Gewölbschub S der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Gesagten vorweg zu bestimmen ist, vereinigt sich mit dem Gewichte G des in seiner Grundrissläche und Höhenentwickelung im Gewölbeplane bestimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft M. Größe, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, so senn der Gewölbschub S und das Gewicht G keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach ist also der Strahl Mm, worin die Mittelkraft M wirkt, eine seste Gerade. Schneidet, wie hier der Fall ist, dieser Strahl die als sest und vollständig tragsähig vorausgesetzte Fussebene mf der Widerlagsmauer ausserhalb ihrer Grundstäche im Punkte m, so wird die Kraft M den Widerlagskörper um die Kante G drehen.

Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen 7o mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, fo können die Einflüffe, 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 Tiese desselben sei gleich 1 m.

Unter Einführung einer beliebig gewählten Basis oz = 2m ist, entsprechend den Angaben in Art. 146 (S. 208), ein Gewichtsplan o7 gezeichnet und unter Anwendung der Polaraxen 6A und oA_1 mit Hilse 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 Gewölbsläche des Strebebogens.

¹⁸⁵⁾ Siehe: Theil I, Band I, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. II2, S. 88) dieses "Handbuches".

Statische Untersuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.

Besitzt der Strebebogen eine größere oder geringere Tiese, als 1 m, so ist der Gewichtsplan o 7 offenbar nach der Vorschrift in Art. 249 (S. 363) zu zeichnen. Die übrigen Bestimmungen erleiden dadurch im Wesen keine Aenderungen.

Der Gewölbschub D wirkt in der Richtung oD auf das Widerlager ein. Er vereinigt sich mit M zu einer neuen Mittelkraft B. Um diese Kraft im vollsten Einklange mit der gewählten Basiszahl $oz=2\,\mathrm{m}$ und mit dem Einheitsgewichte des Wölbmaterials des Strebebogens im Kräfteplane als Linie von richtiger Länge darstellen zu können, ist vor allen Dingen die Kraft M, welche aus der statischen Untersuchung des Hauptgewölbes und seines zugehörigen Widerlagsstückes hervorgegangen ist, im Kräfteplane in genauer Streckenlänge einzutragen. Ist z. B. die Bestimmung von M unter Benutzung einer anderen Basiszahl und unter Berücksichtigung eines vom Einheitsgewichte des Materials des Strebebogens abweichenden Einheitsgewichtes des Materials des Hauptgewölbes oder auch des Widerlagskörpers, wie häusig der Fall ist, erfolgt, so muß die Länge der Strecke M eben so, wie in Art. 256 (S. 378) z. B. sür das Festlegen des Druckes in einem Gratbogen geschehen ist, berechnet werden.

Eine Voruntersuchung und die zugehörige Berechnung haben für M eine Strecke von 30,4 m ergeben. Zieht man im Gewichts-, bezw. Kräfteplane durch o den Strahl io parallel zu Mm und nimmt man die Länge diese 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 zurückgesührten Kräftelinien erreicht. In der Zeichnung ist zur Vermeidung der weit hinauf gehenden Linienstrecke von 30,4 m ein bestimmter Theil, hier nur die Hälste 15,2 m sür io ausgetragen, 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 beeinslusst wird. Die Größe von B ist hierbei gleich dem Zweisachen von ih.

Führt man im Plane I durch den Schnitt des Strahles D mit der fest liegenden Geraden M die Parallele Bb zu ik des Krästeplanes, so trisst dieselbe die seste Fussebene mf ebenfalls noch in einem ausserhalb der Grundsläche des Widerlagers gelegenen Punkte b. Hierdurch zeigt sich, dass der einer Minimal-Drucklinie des Strebebogens f0 zukommende Gewölbschub f0 vom Gewölbschube f0 des Hauptgewölbes, bezw. von der Krast f1 noch weit überwunden wird. Der Schub f2 ist noch nicht im Stande, den Gleichgewichtszustand des gemeinschaftlichen Widerlagers gegen Drehung hervorzubringen.

Sieht man vorläufig von einem Höherlegen des fonst unverändert zu lassenden Strebebogens an der Widerlagsmauer ab, so folgt weiter, dass durch die Einwirkung von S, bezw. M im Strebebogen ein größerer Gewölbschub herrschen muß, wenn derselbe fähig sein foll, das Drehbestreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Auffuchen dieses größeren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächst in Rücksicht auf eine Grenzlage, wonach die aus M und diesem Schube entstehende Mittelkraft genau durch die äusserste Kante c der Grundfläche des Widerlagers geht, ist in Uebereinstimmung mit den Erörterungen in Art. 147 (S. 213) durch die Seilpolygone mna und mof der auch in dem dort Vorgetragenen erwähnte, bedeutungsvolle seste Punkt f auf der Fußebene des Widerlagers ermittelt. Zieht man nun durch f und durch den Fixpunkt F der unverändert gelassenen Polaraxe A des Strebebogens einen Strahl E, so muß in demselben ein Gewölbschub herrschen, welcher, wenn mit ihm eine Drucklinie im Strebebogen entsteht, die ganz innerhalb der Gewölbsfläche desselben bleibt, in Gemeinschaft mit M eine durch die Kante c gehende Resultirende liesert.

Im Plane II ift Aufschluß über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche einem in der Richtung f F wirkenden Schube E von der Größe e o angehört, gegeben. Die Polaraxe A mit dem Fixpunkte F ift ohne Weiteres aus dem Plane I übertragen. Die auf bekanntem Wege gezeichnete Mittellinie des Druckes verlässt jedoch die Stirnsläche des Strebebogens oberhalb der Rückenlinie zwischen den Fugen I und I und unterhalb der Wölblinie in der Nähe der Fuge I in merkbarem Abstande. Hieraus folgt, dass der Gewölbschub I E E E E E in der angewiesenen Lage und mit der gesundenen Größe nicht sähig ist, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wölbsläche des Strebebogens verläusst. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchsugen oberhalb des Stückes I I und in der unteren Kante der Fuge I Berücksichtigt man serner, das unter Beachtung dieser Bruchsugen dennoch im Allgemeinen ein noch möglich kleinster Gewölbschub des Strebebogens eintreten kann, welcher, mit der Krast I zusammengesetzt, eine Resultirende giebt, welche durch die Kante I der Grundsläche des Widerlagers geht, so hat man nach dem Plane I eine neue Mittellinie des Druckes aufzusuchen, welche durch den höchsten Punkt der als Bruchsuge angenommenen Fuge I, durch den tiessten Bruchsuge I zieht, und welche außerdem einem Gewölbschube zukommt, dessen Grunds den sesten Bruchsuge I der Fußebene I geht.

Bestimmt man auf der durch 5 und durch den höchsten Punkt der Fuge 1 gelegten Polaraxe 7 nach Art. 146 (S. 208) den Fixpunkt p mittels der Projection π; zieht man im Plane I, nachdem auch hier die Lage des Punktes p nach Plan III eingetragen und stark ausgeprägt wurde, durch diesen Punkt und durch f der Fussebene mf den Strahl K: fo ist alles Nothwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane III zeichnen zu können. Für dieselbe ergiebt sich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher bestimmten zweiten Polaraxe 31, welche durch den Angriffspunkt der Kraft K auf der Fuge o und durch den höchsten Punkt der Bruchfuge z gezogen werden muss, nebst ihrem Fixpunkte ρ1, dessen Projection in π1 ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darstellung dieser Drucklinie benutzt werden können. Dieselbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens. Die Größe ihres Gewölbschubes K wird im Gewichtsplane der Darstellung III als Strecke ko erhalten. Ueberträgt man ko in Lage und Größe nach dem Gewichtsplane der Hauptdarstellung I als q o, halbirt man, weil i o die Hälfte der Kraft M angiebt, auch qo in r und zieht man den Strahl ir, fo 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, dafs der Strebebogen, fobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbschub die Lage K annimmt und dessen Größe gleich k o = q o 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 Grundsläche, z. B. bis in den nach c zu gelegenen Kernpunkt des Querschnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahin gehend angestellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch größerem Gewölbschub für den Strebebogen möglich ist, wobei die aus M und dem neuen Gewölbschube entstehende Mittelkraft sich durch diesen Kernpunkt legt; so ist die Durchsührung dieser Untersuchung, unter Ermittelung eines neuen sesten 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 prüsen, ob dieselbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entspricht.

Namentlich kommt hierbei der Neigungswinkel φ der Kraft K mit der Normalen zur Anfatzfuge o des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da dieser Winkel die Größe des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überschreiten darf, so muß, wenn die an sich unveränderliche Lage des Gewölbschubes K eine Ueberschreitung der Größe dieses Reibungswinkels bekunden sollte, die Ansatzfuge o in ihrer Neigung in dem Maße abgeändert werden, daß eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden ist. Für die übrigen Fugen tritt unter Umständen gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwischen den Wölbsteinen ein.

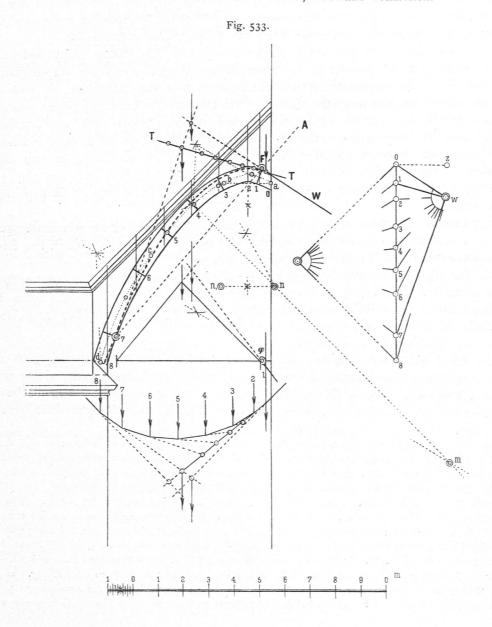
Die Stärke des Strebebogens ist nach der Bestimmung des Schubes K mittels des leicht nach Plan III zu findenden wagrechten Gewölbschubes H, bezw. des Normaldruckes N für die am stärksten gepresste Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Eben fo 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 Standfähigheit des gemeinschaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanspruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Ansatzhöhe des Strebebogens geltend gelassen. Man erkennt aber aus der Darstellung I auf der Tasel bei S. 482, dass bei einem lothrechten Verschieben des Strebebogens o7 an der äußeren lothrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgestaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umständen auch der Gewölbschub D, welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbschüben des Strebebogens am kleinsten ist, fähig sein kann, bei seiner Zusammensetzung mit der Krast M eine Resultirende zu liesern, welche durch den Punkt c oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundssäche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt c einen Strahl parallel zu c0, bezw. c1, ziehen, so müsste, im Allgemeinen genommen, dieser Strahl die seste Linie c1, c2, c3, c4, ziehen, so müsste, im Allgemeinen genommen, dieser Strahl die seste Linie c5, c6, c7, c8, c8, c9, c

Schubes D, fo würde diefelbe die neue Lage des Anfatzpunktes o des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in feiner Gefammtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei diefer 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 sindet man sehr hoch an der Widerlagsmauer angesetzte Strebebogen.

Werden zwei über einander liegende Strebebogen zur Absteifung eines gemeinschaftlichen Widerlagers angeordnet, so lässt sich die zugehörige Stabilitäts-Unterfuchung eines solchen Bausystems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen schrittweise, ohne besondere Hindernisse anzutressen, ebenfalls vollziehen.



336. Umgestaltung der Strebebogen. Die im Plane III auf der Tafel bei S. 482 für den Gewölbschub K construirte Mittellinie des Druckes nähert sich einer Parabel, bezw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchsten Punkte der Bruchfuge I aus die beiden seitlichen Aeste etwas spitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 533 diese Mittellinie des Druckes als Mittellinie abcd der Wölbstäche 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 d und d0, bezw. d0, für die durch d0 und d0 gehenden Bogen, so lässt sich mit großer Genauigkeit der Linienzug dbcd0 durch einen am Scheitel spitzbogensörmig zusammentretenden Korbbogen ersetzen. Behält man die im Plane d11 auf der Tasel bei S. 482 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 533 in der Weise bei, dass dieselbe je zur Hälste stets normal zum Korbbogen dbcd0 nach oben und unten abgetragen wird, so sind die aus den bezeichneten Mittelpunkten beschriebenen, die Wölbstärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie dbcd0 des Strebebogens concentrisch.

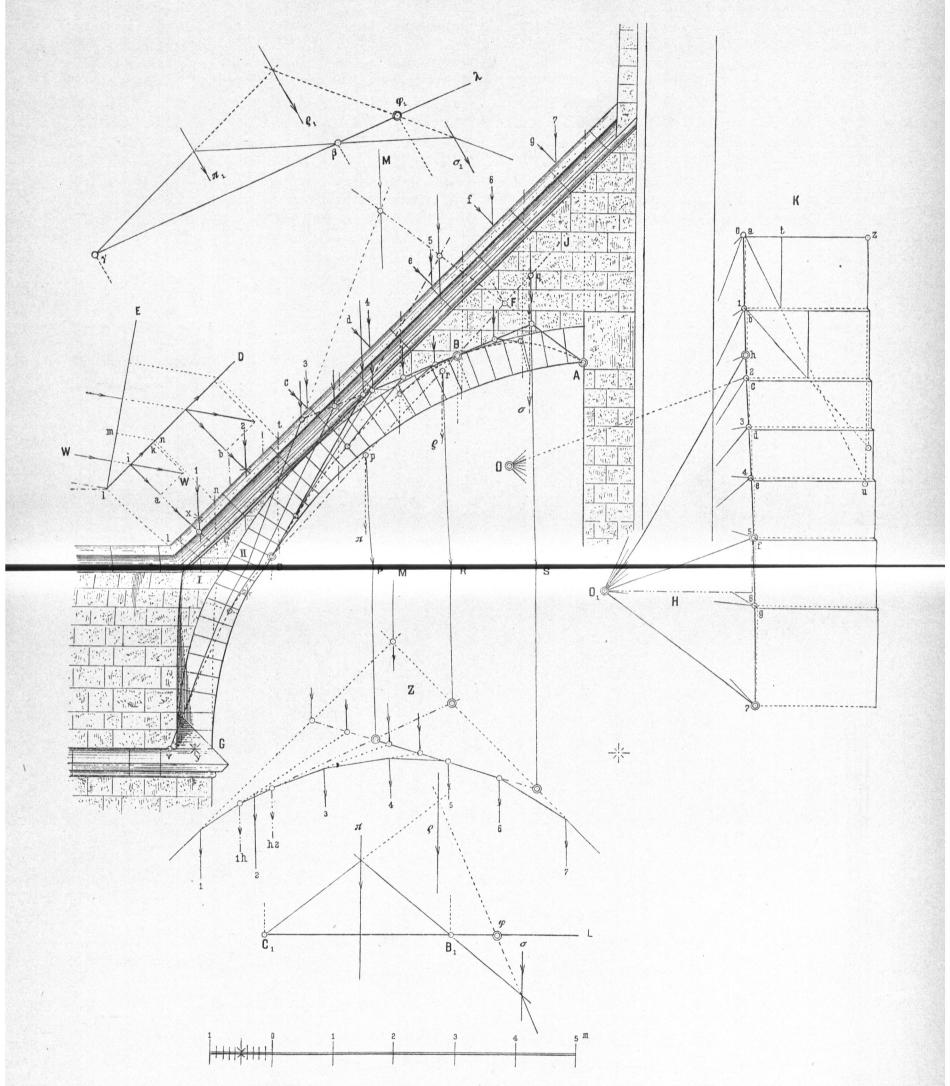
Lässt man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht wesentlich ändern, so entsteht, abgesehen von einer kleinen Vergrößerung der ursprünglichen Spannweite, ein spitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln o2 und 28, dessen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ist. Derartige Bogen besitzen, wie schon in Art. 127 (S. 153) ausgesprochen ist, einen hohen Grad von Stabilität. Will man sür diesen umgesormten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinsten Gewölbschube W=wo angehört, so sind unter Besolgung der Angaben in Art. 146 (S. 208) die erforderlichen, auch aus Fig. 533 zu ersehenden Massnahmen zu treffen. Die entstehende Drucklinie ist stark punktirt eingetragen.

Bemerkt fei, dass Strebebogen mit einem größeren und einem verhältnismäsig 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-Unterfuchung in Frage kommen kann.

Die Löfung 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 Rückensläche 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 Tiese gleich $1\,\mathrm{m}$ sein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Gesichtspunkten in schmale Theilstreisen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lothrechten Theillinien bestimmen aus der Rückensläche der Abdeckung des Bogens die Größe der für jeden Theilstreisen in Rechnung zu stellenden, vom Winddruck beanspruchten Fläche. Für den Streisen I würde eine Länge ln, für den daneben liegenden Streisen II eine Länge nt u. s. f. dieser Fläche entstehen. Projicirt man diese Längen, wie bei D und E geschehen, aus 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 aus die Ebene E zu benutzende Höhe lm u. s. f. s. Ist allgemein b Met. die Breite, b Met. die Höhe dieser Fläche und b Kilogr. der in der Ebene E herrschende Winddruck für eine Flächeneinheit, so ist W=b b b Kilogr. In der Zeichnung ist lm=h=0,9 m. Die Breite b der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach $1\,\mathrm{m}$. In Rücksicht aus die Gewalt, welche bei starken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu



Statische Untersuchung eines Strebebogens unter Berücksichtigung des Winddruckes.

die Strebebogen meistens zu zählen sind, ausgeübt wird, möge $p=300\,\mathrm{kg}$ für $1\,\mathrm{qm}$ gerechnet werden. Hiernach wird $W=1.0,9.300=270\,\mathrm{kg}$. Für den Strebebogen kommt die senkrecht zu seiner Rückenebene D wirkende Seitenkraft $i\,a$ in Frage ¹⁸⁶). Dieselbe ergiebt sich zu $216\,\mathrm{kg}$.

In gleicher Weise sind die lothrechten Drücke b, c, d u. s. s. des Windes für die übrigen Theilstreisen bestimmt. Diese Drücke setzen sich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Theilstreisen zu einzelnen Mittelkräften zusammen. Im Kräfteplane K sind dieselben unter Anwendung einer Basis az=2 m als oI, $I \ge u$. s. s. t. bis 7 zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei ist jedoch die Länge der Kräftestrecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt ist, durch die Abmessung x Met. Höhe eines Steinprismas darzustellen, welches dasselbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens besitzt, dessen rechteckiger Querschnitt eine Breite von stets gleich 1^m , sonst aber eine Länge gleich der gewählten Masszahl 2^m der Basis az des Gewichtsplans K erhält.

Wiegt $1\,\mathrm{cbm}$ des Wölbmaterials $2400\,\mathrm{kg}$, fo ift hiernach die Strecke $o\,a$ des Planes K, welche die Größe des fenkrecht auf der Rückenfläche des Theilstreifens vorhandenen Winddruckes gleich $216\,\mathrm{kg}$ angeben muß, mittels des Ausdruckes

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

als oa = x = 0,045 m. Die Linie oa, parallel zu ia gezogen, hat diese Länge erhalten. Mit derselben wurde das Gewicht as des ersten Theilstreisens s, dessen Breite als as, dessen mittlere Höhe als s, gegeben ist, nach bekannter Reduction auf die Basis s, zu der Resultirenden s zusammengesetzt. In ganz gleicher Weise sind alle übrigen Theilstreisen behandelt.

Im Plane des Strebebogens find die für die einzelnen Theilstreisen aus Winddruck und Gewicht entstehenden Mittelkräfte als I parallel 0I, 2 parallel 12 u. s. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet; und es ist für dieselben unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon Z sest gelegt. Nach einer vorläusigen 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 fog. Fixpunkt-Methode find entweder durch B und C oder durch B und A Polaraxen zu führen. Hier ift durch die Punkte B und C eine Polaraxe $\mathcal F$ gelegt. Für das Stück AB des Strebebogens ergiebt fich mit Hilfe des Seilpolygons Z eine refultirende Kraft S gleich und parallel der Verbindungsgeraden S bis S im Kräfteplane S. Für das Stück S ift S die Refultirende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden S bis S im Plane S. Die Mittelkraft S aus S und S ift parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten S und S des Gewichtsplans S. Um für die nicht einander parallelen Kräfte S und S mit ihrer Mittelkraft S ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte S0 und S2 ulegen, kann man zur Bestimmung des Fixpunktes S3 auf der Polaraxe S3 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 C C_1 genommen, so mögen die Geraden π , ρ und σ , nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projicirt man die Punkte B gleichfalls parallel zu C C_1 auf eine beliebig von C_1 ausgehende, jedoch die Strahlen π , ρ und σ schneidende Axe L, so lässt sich ganz auf dem in Art. 146 (S. 208) angegebenen Wege die Projection φ des gesuchten Fixpunktes F auf der Axe L ermitteln.

Projicirt man φ parallel zu CC_1 nach F auf \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 γ λ bewirken wollen, fo find die Seitenkräfte von P, R und S, welche nicht in die Polaraxe $C\mathcal{F}$ fallen, von p, r und q aus parallel $C\gamma$ als π_1 , ρ_1 und σ_1 feft zu legen und B parallel $C\gamma$ auf λ nach β zu projiciren, um alsdann in üblicher Weise auch den Punkt φ_1 auf λ als Projection von F zu erhalten.

Wird statt der durch B und C gelegten Polaraxe $\mathcal F$ eine durch A und B gesührte Gerade als Polaraxe angenommen, so ist das Aussinden 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 $O_1 5$, bezw. $5 O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens ist die wagrechte Seitenkraft H von $O_1 5$, bezw.

¹⁸⁶⁾ Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21) dieses 3Handbuchess.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am stärksten gepresste Wölbfuge 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.

338. Gewölbepfeiler.

Die Gewölbepfeiler, Mittel- oder Zwischenpfeiler, bilden die Stützen für an einander gereihte Gewölbeanlagen. Sie haben den Gewölbschub von den in größerer Zahl am Pfeiler zusammentretenden oder sich anschmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben sich die wagrechten Seitenkräfte der fämmtlichen Gewölbschübe auf, vereinigen sich alle lothrechten Seitenkräfte derselben zu einer Mittelkraft, welche mit der lothrechten Axe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zusammenfällt, fo hat der Querschnitt des Pfeilers nur eine solche Größe nöthig, dass unter Berückfichtigung feines 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 mannigsaltigem Wechsel stattfindenden Gewölbedurchbildung im Ganzen felten 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 Kräftefystem, welches im Wesentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem refultirenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In folchen Fällen hat, in statischer Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäsigsten und einfachsten unter Einführung befonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn felbst treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben großen Querschnitt zu erhalten, eine Gestaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaares herbeiführt und welche zuläfft, 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 Gewölbepseiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölberippen nach höher oder geringer aufsteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günstige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rückficht auf die architektonische Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszuschließen ist.

Eine forgfältig durchgeführte statische Untersuchung der Gewölbekappen und des Rippensystems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbepseiler tressen. 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 Pseiler 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 Pseilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Ansätze am Pseiler, lässt sich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität dieser Gewölbepseiler vornehmen.

9) Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe.

Für die praktische Ausführung der gothischen Kreuzgewölbe, sowohl der einfachen, als auch der Stern- oder Netzgewölbe ift unter 7 (S. 435) schon eine größere Zahl von wichtigen Anhaltspunkten gegeben, welche namentlich für die zwischen felbständigen Rippen zu wölbenden Kappen zu beachten find.

339. Gewölbekappen.

Eine besondere Ausführung der Kappen macht sich dagegen bei einer Gruppe von Kreuz-, befonders Netzgewölben ohne felbständig hergerichtete Rippenkörper

340. Zellengewölbe.

geltend, welche den Namen »Zellengewölbe« führen. Die Laibungsflächen dieser Gewölbe gehören geraden Kegelflächen an, deren Basis-, bezw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchschneiden sich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer besonderen Firstoder Zellenkante, welche in Gemeinschaft mit den beiden von den Rippenlinien fattelförmig aufsteigenden Wölbflächen die Gestaltung von falten- oder zellenartigen Gewölbekappen bedingt. Hierbei find für jede Rippenlinie zwei gerade Kegelflächen vorhanden, welche in dieser Linie eine gemeinsame Leitlinie besitzen. Die Spitzen dieser Kegel liegen auf den in einer einzigen Geraden zusammenfallenden Kegelaxen fymmetrisch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmeffer der Basislinie gleichen Abstande.

Dass ein Verhauen der als Wölbsteine benutzten Backsteine bei den sog. rippenlosen Gewölben thunlichst zu vermeiden ist, lässt sich bei den vorzugsweise in den Oftseeländern während des Mittelalters ausgeführten Zellengewölben, deren Kappen felbst bei einer reichen Durchbildung 187) im Allgemeinen nach geraden Kegelslächen angeordnet find, erkennen. Da die Stellung der schmalen Wölbschichten in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebenen zur gemeinschaftlichen Basislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äufserst einfach erfolgen kann, da ausserdem die Lagerkanten alsdann Seitenlinien dieser Kegel bleiben; fo schließen die für sich zusammentretenden Lagerkanten vermöge der vorhin bezeichneten fymmetrischen Anordnung der Kegelspitzen an jeder Stelle eines Normalschnittes am Rippenbogen einen rechten Winkel ein. Ein befonderes Zuschärfen oder ein umständliches Verhauen der Backsteine ift also im Gegensatz zu der Einwölbung auf Schwalbenschwanz-Verband nicht erforderlich.

Da die Anwendung der Zellengewölbe bei Deckenbildungen der Neuzeit nicht auszuschließen ift, 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 verfehen.

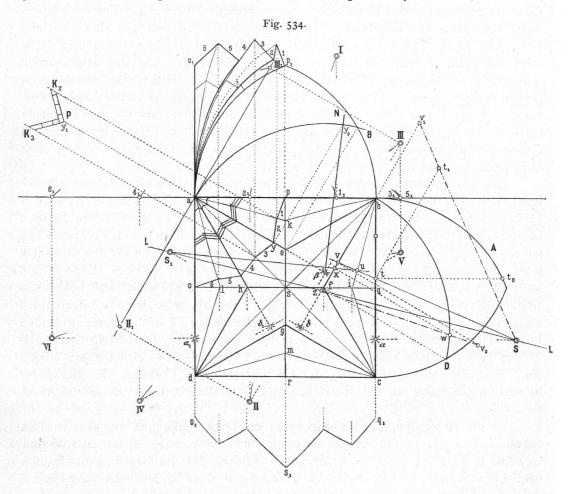
Die fämmtlichen Rippenlinien ae, ah u. f. f. find beliebige Kreisbogen B mit gleichem Halbmeffer βa. Die Randbogen ab, bc u. f. f. find Spitzbogen mit Schenkeln A, deren Halbmeffer ab gleichfalls beliebig angenommen ift.

Die Mittelpunkte α, β dieser Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet bfq treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie A für bq und der Leitlinie D für bz mit dem Halbmesser db gleich \(\beta \alpha \) des Bogens B zusammen. Die Spitze des Kegels für bq ift S im Lothe αS auf bc, wobei $\alpha S = \alpha b$, während die Spitze des Kegels für bf der Punkt S_1 des Lothes δS_1 auf $\delta \delta$ ift. Auch hierbei muss $\delta S_1 = \delta \delta$ genommen werden.

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

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

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, schneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelslächen nach Seitenlinien. Diese ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelslächen. So rust eine um LL gedrehte Ebene auf der Kegelsläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projection Sv ist, hervor. Der



Durchstofspunkt v_n dieser Seitenlinie mit der lothrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens b_f liegt um $vv_0 = vv_n$, wie ohne Weiteres mit Hilse des verlängerten Strahles St_1 , für welchen $tt = tt_0$ ist, gefunden wird, über der wagrechten Kämpserebene des Gewölbes. Die durch LL und Sv gehende Ebene schneidet die Ebene des Bogens D in der Geraden zv_0 , welche wiederum den Bogen D im Punkte w trifft. Die wagrechte Projection des Punktes w ist der Punkt x auf bf. Durch x und s_1 muss die Seitenlinie s_1 gehen, welche durch die bezeichnete Ebene s_1 auf der Kegelsfläche sür die Leitlinie s_1 entsteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie $S_1 x$ mit der Seitenlinie Sv ift die wagrechte Projection eines Punktes der Zellenkante bi. In gleicher Weise können beliebig viele Punkte der Grundrifs-Projection dieser Zellenkante bestimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäsig gestalteten Netzes aebfegdh gehören gerade Kegelslächen mit vollständig gleichen Leitlinien (Rippenlinien) an. Die wagrechten Projectionen der aus

dem Durchschneiden der einzelnen Kegelflächen entstehenden Zellenkanten werden gerade Linien as, bs, cs und ds, welche im vorliegenden Falle als Halbirungslinien der Winkel eah, ebf u. f. f. mit den Diagonalen des Grundrisses zusammenfallen.

Sind die fämmtlichen Grundrifs-Projectionen der Zellenkanten eingetragen, fo laffen fich die Lagerkanten der Wölbschichten der einzelnen Kappen mit Hilfe der wagrechten Projectionen der Spitzen der Kegelflächen, welche für die Gewölbekappen maßgebend geworden find, im Grundrifs fest legen.

So ift zur Erfüllung der Vorschrift, wonach die Lagerflächen der Wölbschichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, stets Normalebenen zu dieser Rippenlinie angehören sollen, für einen Punkt y_0 einer Wölbschicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufrissfpur βN und der wagrechten Spur $II\beta$ III bestimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebenen des Bogens B unverändert.

Den zusammengefügten Kappenstücken ake und ase entspricht dieselbe Leitlinie B, beschrieben mit dem Halbmesser βa . Für das Stück ake ist die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt II, welcher auf der wagrechten Spur $II\beta$ III der Normalebene βN im Abstande βII gleich dem Halbmesser βa des Bogens B liegt. Die Gerade βII ist die Kegelaxe. Eben so ist $\beta III = \beta II = \beta a$ die Kegelaxe sür das Kappenstück ase und III die Spitze der zugehörigen Kegelstäche. 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 yz im Kappenstücke ase, so sind in den Linien z und z die wagrechten Projectionen der Lagerkanten einer Wölbschicht der Normalebene y_0 N gefunden. Ist nun der Bogen z0 mit den Theilpunkten der einzelnen Wölbschichten nach den Backsteindicken versehen, so kann, unter Versolgung des sür den Punkt y_0 angegebenen Weges, die gesammte Schar der Lagerkanten der Wölbschien des Kappengebietes z1 akes z2 gezeichnet werden.

Die wirkliche Gestalt des Normalschnittes βN ist im Plane P dargestellt. In demselben ist $ay_1 = \beta y_0 = \beta a$. Die Lagerkante $y_1 K_2$ geht erweitert durch den Punkt H_1 , während die Lagerkante $y_1 K_3$ nach H_1 gerichtet ist. Da $ay_1 = aH_1 = aH_1$ 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 $\mathfrak a$ und $\mathfrak Z$ für die übrigen angrenzenden Kappengebiete a k $\mathfrak p$, a s h, a hl und a lo im Grundrifs fortfetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwickelungen nur nöthig, die Axen und Spitzen der entsprechenden Kegelslächen in der Grundrifs-Projection zu bestimmen.

So erhält man für das Stück $a \, k \, p$ die Gerade I, I = I, $a = b \, \alpha$ als Kegelaxe und I als Kegelfpitze. Zieht man vom Schnitte der Kante z mit der Zellenkante $a \, k$ aus den Strahl I nach I, fo ift die wagrechte Projection der Lagerkante I im Gebiete $a \, k \, p$ im Zusammenhange mit dem Zuge z, \mathcal{J} erhalten. Für die Lagerkante I ist I und für I ist I und für I ist I wie aus der Zeichnung sofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufriss-Projection p, 1234560, des bezeichneten Zuges der zusammengehörigen Lagerkanten ergiebt sich unter Benutzung der Aufriss-Projectionen der einzelnen Kegelspitzen 1, 2, u. s. s. bis 6, nach Massgabe der Zeichnung, welche alsdann auch die eigenthümliche, aber sehr einsache Zellenbildung des Gewölbes noch näher erkennen lässt.

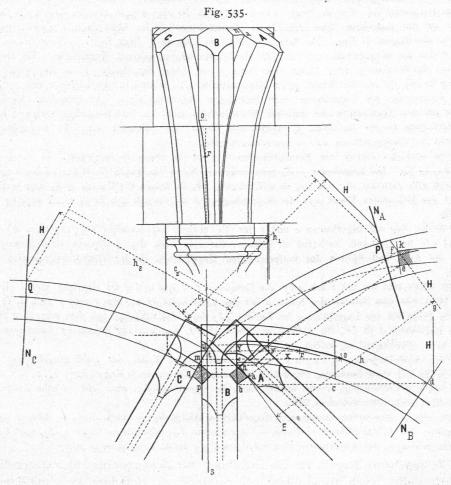
Da alle in Anwendung kommenden Kegelflächen vollständig bestimmt sind, so können auch die Austragungen der in der lothrechten Ebene oq enthaltenen Kegelschnitte im Zuge o, s, q, und somit die wirklichen Bildungen der Zellenkanten über oh, hf und fq leicht vorgenommen werden.

Die gegebenen Regeln für die Gestaltung der Zellengewölbe über quadratischem Grundris finden auch Anwendung bei rechteckigen, sonstigen regelmäsigen und bei unregelmäsigen Grundrissen.

Für die Ausführung dieser Gewölbe find 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 Ineinandergreisen 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 Kämpserebene aufhörend, angesertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meistens nur ½ Backstein. Zur Vermeidung sehr weit gespannter Zellenkappen, welche, abgesehen von der Einführung einer größeren Stärke, ein zu bedeutendes Divergiren der Lagerkanten veranlassen, ist das System der Rippenlinien so anzuordnen, dass sich verhältnißmäßig kleine Zellengebiete geltend machen.

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



von nicht zu geringer Festigkeit und außerdem die sehr geschätzten, meistens $25\,^{\rm cm}$ langen, $12\,^{\rm cm}$ breiten und $10\,^{\rm cm}$ dicken, bei Andernach am Rhein angesertigten sog. 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.

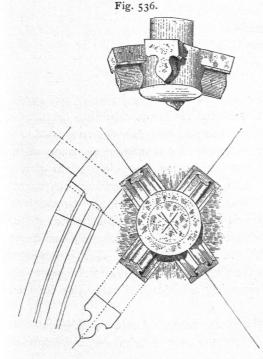
Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein forgfältig zubereiteter, verlängerter Cementmörtel.

Für die Rippen find stets, mögen dieselben aus Backsteinen oder aus Werkstücken ausgeführt werden, Lehrbogen zur Unterstützung aufzustellen. Letztere sind möglichst einfach, jedoch in sich kräftig und tragfähig nach den im Allgemeinen auch hier geltenden Leitsätzen in Art. 152 (S. 220) herzurichten und sachgemäß zu unterlagern. Ist für ein ausgedehnteres Rippensystem eine Vereinigung mehrerer Lehrbogen erforderlich, welche das Ausstellen eines Mönches oder Mäklers bedingen, so ist das in Art. 265 (S. 385) in Bezug auf die Lehrbogen der Grate cylindrischer Kreuzgewölbe Gesagte zu beachten.

Die Einrüftung und Ausführung der Rippen muß flets für eine größere Zahl, mindestens drei, der benachbarten Gewölbefelder vorgenommen werden; auch ist forgfältig durch Anbringen von Absteisungen 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 angesertigt, so erhalten dieselben eine Länge von $0.5\,\mathrm{m}$ bis etwa $1.0\,\mathrm{m}$. Die Anfänger zusammentretender Werksteinrippen sind zweckmäßig aus einem größeren Quader herzustellen, an welchem in geeigneter Weiße die Rippen- und auch die Kappenansätze angearbeitet werden. In Fig. 535 ist ein solcher Ansänger für eine Querrippe B und zwei Kreuzrippen A und C, welche von der Umsangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei über einander liegenden Schichten gegeben.

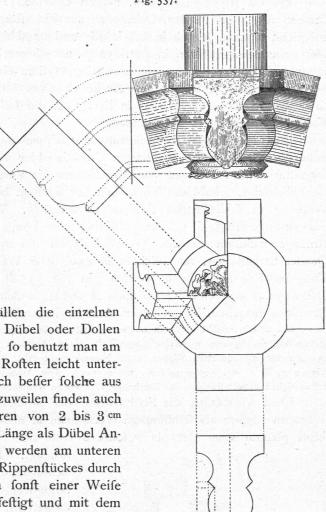
Die untere Schicht ist durch wagrechte Lagerslächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagersläche H im Abstande $h=h_1=h_2$ über der Kämpserebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebenen N_A , N_B , N_C bestimmten Ansatzslächen der Rippen A, B, C und Kappenansätze, wie n, zeigt. Die Ausmittelung dieser Ansatzslächen kann ohne Schwierigkeit unmittelbar aus der Zeichnung entnommen werden.

Eben fo werden die Schlusssteine der im Scheitel des Gewölbes zusammentretenden Rippen als selbständige Werkstücke in mannigsachster, oft äusserst reicher, selbst phantastischer Art als besondere volle oder durchbrochene Werkstücke ge-



In Fig. 536 ift ein einfacher arbeitet. Schlussftein mit cylindrischem Kern und befonders angearbeiteten Rippenansätzen dargestellt. Der Durchmesser des cylindrischen Kernes ist stets so groß zu nehmen, dass ein hässliches Ineinanderschneiden der Begrenzungslinien oder der Seitenflächen der Rippen vermieden wird. Häufig werden, wie Fig. 537 angiebt, auch die Rippenprofile an den Seitenflächen des cylindrischen Kernes mit angearbeitet. Die Anordnung, Form, Ausschmückung der Schlusssteine ist der größten Freiheit unterzogen worden. Gleiche Massnahmen können bei den gemeinschaftlichen Zwischenstücken sich kreuzender Rippen der Stern- und Netzgewölbe getroffen werden. Die Bauwerke der Gothik bieten hierfür eine ganz erhebliche Anzahl von Beispielen.

Für das Verfetzen der Werkstücke der Rippen ist das Einlegen dünner Bleiplatten bei den Fugenflächen fehr zweckmäßig. Dabei treten die Ränder der Bleiplatten überall um 1 cm ringsum von den Kanten der zusammentretenden Lagerder Rippenstücke flächen zurück. Hierdurch entsteht eine ringsum laufende, 1 cm tiefe, offene Fuge, die ein durch Kantenpressungen sonst leicht erfolgendes Absplittern von Kantentheilen möglichst verhindert. Beim Verfetzen der Rippenstücke in Mörtel findet das in Art. 170 (S. 246) Vorgetragene Berücksichtigung.



Sollen in befonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch fog. Dübel oder Dollen mit einander verbunden werden, fo benutzt man am besten, statt der eisernen, dem Rosten leicht unterworsenen Dübel oder Stifte, noch besser solche aus Kupfer, Bronze oder Messing; zuweilen sinden 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 Lagerslächentheile eines oberen Rippenstückes durch Einbleien, Eingypsen oder in sonst einer Weise der Hälste der Länge nach besestigt und mit dem freien Theile in eine entsprechende Oessnung 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 forgfamster 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 ausgelegte Backsteine rechtzeitig gesorgt werden. Werden die Rippen aus Backsteinen oder besonderen Formsteinen ausgeführt, so können dieselben entweder wie die Werksteinrippen als selbständige Bogen behandelt oder auch gleichzeitig mit der Wölbung der Kappen hergerichtet werden.

Sollen besondere, aus Quadern oder Backstein herzustellende Schildbogen angeordnet werden, welche demnächst zur Hälste vor der Fläche der Schildmauer

liegen follen, fo find 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 Ansatzslächen der an die Schildmauern tretenden busigen Kappen zu schaffen. Nach Schluss der Gewölbe findet ein Uebergiesen mit dünnslüssigem Kalk- oder Cementmörtel zur Erzielung eines vollständigen Schlusses der hier und dort mit Lücken behafteten Fugen des Wölbmauerwerkes statt. Etwa anzubringende Ausmauerungen der Gewölbzwickel oder Uebermauerungen der Rippen, Pfeiler u. s. f. sind in regelrechtem Verbande herzustellen. Ueber die Zeit der Ausführung, über die Massnahmen der Trockenhaltung, so wie über die Ausrüstung der gothischen Kreuzgewölbe sind alle in Kap. 9, unter c bei der Besprechung der Ausführung der Tonnengewölbe angegebenen Gesichtspunkte wiederum zu beachten.

15. Kapitel.

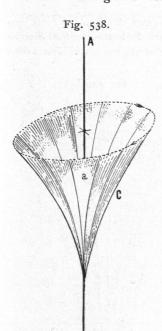
Fächer- oder Trichtergewölbe.

a) Gestaltung der Fächergewölbe.

Das Fächergewölbe, auch Trichter-, Palmen- oder Strahlengewölbe genannt, besitzt als Laibungsfläche eine Umdrehungsfläche. Dieselbe wird durch Drehung einer gesetzmäsig gebildeten ebenen Curve um eine in ihrer Ebene angenommene, seste, lothrechte Axe erzeugt, welcher sie in jeder neuen Stellung ihre convexe Seite zukehrt. Hierdurch entsteht eine kegel-, bezw. trichterartige Gewölbesorm.

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

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bezw. ein Viertelkreis, eine elliptische



Linie, bezw. eine Viertelellipfe, 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 mäsig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines sog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende aus.

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 solgender Weise vorgenommen werden.

Auf der Verbindungsgeraden K der Kämpferpunkte c, d wähle man außerhalb der Spannweite c d den Punkt g beliebig, jedoch, falls eine längere flache Bogenlinie A nach dem Scheitel zu vorherrschen foll, in einem nicht zu großen Abstande dg vom Kämpferpunkte d. Durch diesen Punkt g und den Scheitelpunkt f lege man einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt a auf der in bekannter Weise zu bestimmenden Geraden f so gewählt wird, dass die Bogenlinie fg die gewünschte mässig

342. Form.