

um so mehr als die wissenschaftliche Forschung sich gerade dem Gebiet der hier in Frage kommenden komplizierteren Konstruktionen fast ganz ferngehalten, oder wo sie dasselbe gestreift, doch oft mit Grundannahmen gerechnet hat, die von der Wirklichkeit abweichen.

Nicht konnte es im Sinne der vorliegenden Arbeit liegen, weitgehende theoretische Entwicklungen durchzuführen, damit wäre dem Architekten wenig gedient. Wohl aber handelte es sich darum, zutreffende und vor allen Dingen brauchbare Grundanschauungen aufzustellen, die ohne langwierige Rechnung und ohne bedeutende mathematische Kenntnisse ein richtiges Urteil über die Wirkung der Kräfte zulassen, und den modernen Baumeister wieder dazu erziehen, die Spannungen in seinen Konstruktionen ebenso zu „fühlen“, wie es der alte Meister in seiner uns leider mehr abgehenden Unmittelbarkeit des Empfindens vermochte. Unter diesen Gesichtspunkten hofft der Bearbeiter die eingeschobenen statischen Erörterungen so behandelt zu haben, dass sie das Verständnis der unergründlich vielseitigen gotischen Konstruktionen nicht erschweren, sondern erleichtern.

Die Theoretiker aber unter den Fachgenossen, denen das Neue zu wenig wissenschaftlich dargestellt erscheint, mögen freundlichst in Rücksicht ziehen, dass es sich hier in erster Linie darum handelte, für den Praktiker zu schreiben. An Abhandlungen des Theoretikers für den Theoretiker leiden wir weniger Mangel, wohl aber fehlt es immer noch an der richtigen Überbrückung von der Theorie zur Praxis; wohl an mehr denn neun Zehntel der Bauleute sind die theoretischen Erfolge der letzten Jahrzehnte ohne Einfluss vorübergegangen.

In der Reihenfolge des Stoffes schienen einige Umstellungen geboten. Bisher waren zur Einführung die Profile und das Masswerk vorangestellt, UNGEWITTER schreibt aber selbst in seinem Vorwort, dass vielleicht „die Entwicklung der Teile aus dem Ganzen“ der Übersichtlichkeit förderlicher gewesen wäre, dass er aber der Unterweisung des Anfängers Rechnung getragen. Da bei dem inzwischen wesentlich geänderten Bildungsgange Anfänger in dem früheren Sinne wenig mehr in Frage kommen, dürfte es in des ersten Verfassers eigenstem Sinne gehandelt sein, wenn diese beiden Abschnitte an späterer Stelle eingeschoben und noch einige andere Umstellungen vorgenommen wurden. Es sind nunmehr die alles Weitere bedingenden Gewölbe mit den Widerlagern und Stützen vorangestellt, nach ihnen folgt die Gestaltung der Kirche in Grundriss und Aufriss unter Anschluss der verschiedenen Einzelkonstruktionen.

Die Übersichtlichkeit des Werkes zu heben ist nach jeder Richtung

angestrebt, der Stoff ist in mehr Unterabteilungen zerlegt, eine zweifache Letterngröße scheidet den fortlaufenden Text von den Einschaltungen und Erläuterungen, oben und seitlich am Rande ist eine nähere Inhaltsangabe zugefügt, und überdies werden die Figuren als sprechende Wegweiser dienen.

Die Abbildungen sind nur zum Teil in den Drucktext eingeschoben, in überwiegender Mehrzahl aber, um die frühere Klarheit des Druckes zu erhalten, auf besonderen ungekniffen Tafeln von Buchgröße an jeweiliger Stelle eingehftet. In der Zufügung neuer figürlicher Beispiele wäre gern noch mehr gethan, wenn nicht der ohnedies überschrittene Raum Einhalt geboten hätte.

Eine Erweiterung des Lehrbuches nach den weniger ausführlich behandelten Gebieten des Ziegelbaues, der Profankunst und des inneren Ausbaues vorzunehmen, war bei dem bisherigen Umfange nicht thunlich, jedoch ist es ins Auge gefasst, diese Abschnitte als besondere Arbeiten dem Werke anzuschliessen.

An dieser Stelle drängt es den Unterzeichneten, seinem Altmeister und Lehrer C. W. HASE zu Hannover, der ihn zu der Neubearbeitung vermocht, in hochschätzender Verehrung seinen Dank für Rat und Anregung auszusprechen.

RIGA, im Mai 1889.

K. Mohrmann.

Vorwort zur vierten neubearbeiteten Auflage.

Die neue Bearbeitung des Lehrbuches der gotischen Konstruktionen bewegt sich in der Richtung weiter, die bei der vorigen Auflage eingeschlagen ist und die sich bewährt zu haben scheint. Es sind wiederum zahlreiche Abbildungen eingefügt und Texteseinschaltungen gemacht, welche neueren Forschungen und Aufnahmen Rechnung tragen. Durch das gleichzeitig in erweiterter Auflage erscheinende gotische Musterbuch erhalten die Abbildungen des Lehrbuches noch eine wünschenswerte Ergänzung.

HANNOVER, im September 1901.

K. Mohrmann.

I. Die Gewölbe.

1. Die Entwicklung der Wölbkunst von den Römern bis zur Gotik.

Die Gewölbe der Römer.

Die römische Kunst kennt in ihren Wölbungen nur zwei Grundformen:

1. das Tonnengewölbe in Form eines halben Cylinders (Fig. 1),
2. die Kuppel in Gestalt einer Halbkugel (Fig. 2).

Beide entspringen aus ein und derselben Erzeugungslinie „dem Halbkreise“ — die eine durch seitliches Verschieben, die andere durch Drehen.

Das Tonnengewölbe überdeckt rechteckige Räume, die Kuppel solche mit kreisrundem Grundrisse. Mit dem Kreise und dem einfachen Rechtecke gab sich aber die reiche Grundrissentfaltung der Römer nicht zufrieden, sie verlangte daneben wechselvoller gegliederte Räume. Freiere Grundrissbildung bedingt aber auch freiere Gestaltung der Decke, die in der Erzeugung von Abarten der obigen beiden Wölbformen ihren Ausdruck findet.

Besonders wichtig sind die Bildungen aus dem Tonnengewölbe. Wenn im Grundrisse zwei verschieden breite rechteckige Räume quer aufeinander treffen, so schiebt sich die Tonne des kleineren in die des grösseren hinein, es ergibt sich dadurch die Form der Stichkappe (vergl. Fig. 3).

Durchkreuzen sich in dieser Weise zwei völlig gleichwertige rechteckige Räume, so bildet der Zusammenschchnitt ihrer Wölbungen die gesetzmässige Form der gekreuzten Tonne oder des Kreuzgewölbes (vergl. Fig. 4).

Nachdem man solcher Art auf letztere bedeutungsvolle Form geführt war, machte man sie sich zu nutze; so durchsetzte man die Tonne eines rechteckigen Raumes mit nebeneinander gereihten Quertonnen, um an den Längswänden hochliegende Lichtöffnungen zu gewinnen (Fig. 5). Man war dadurch zu einer fortlaufenden Reihe von Kreuzgewölben über einem langgestreckten Raume gelangt. (Basilika des Maxentius, Galerie des Palatinischen Palastes.)

Es erübrigte nunmehr nur noch des einen Schrittes, das Aneinanderreihen sowohl in der Längs- als in der Querrichtung vorzunehmen, und es war die Aufgabe gelöst, einen weiten Raum auf Einzelstützen gleichmässig zu überwölben

Die
Gewölbe-
bildungen
der
römischen
Baukunst.

(vergl. Fig. 6). Es findet sich diese Lösung in den Thermen und den Innenräumen des Kolosseums.

Eine ähnliche Erweiterung erfuhr die Verwendung der Kuppel. Wenn im Grundrisskreise des Kuppelraumes irgend eine Wand in Richtung einer Sehne aufgeführt wird, so schneidet sie sich oben in die Kuppel in Gestalt eines Halbkreises ein (da ja jeder Schnitt einer Ebene mit einer Kugel eine Kreislinie giebt). Schliesst man nun im Grundrisse solche Wände aneinander in Form irgend eines dem Kreise einbeschriebenen Vieleckes, so endet in gleicher Weise jede Wand oben als Halbkreis. Der zwischen den Wänden noch verbleibende Teil der Kuppel aber gewinnt den Charakter einer selbständigen Deckenform, welche die Überspannung eckiger Räume als Viereck, Achteck usf. ermöglicht, man bezeichnet sie als Kuppelausschnitt oder Stutzkuppel (Fig. 7 und Fig. 12). Die Stutzkuppel tritt erst in späterer Zeit und zwar vorwiegend in der östlichen Reichshälfte auf. (Beispiele: Zisternen des Konstantin zu Byzanz und Grab der Galla Placidia zu Ravenna.)

Als weitere Abarten der Kuppel sind noch die Halbkuppel zur Überdeckung von Nischen und schliesslich die Walmkuppel zu erwähnen. Letztere, auch Klostergewölbe genannt, kann ebensowohl vom Tonnengewölbe als von der Kuppel hergeleitet werden (Beispiel: Tempel der Minerva Medica zu Rom, vergl. Fig. 8).

Vorstehend genannte Formen schliessen etwa alles in sich, was die römische Wölbkunst geschaffen. Sie sind an dieser Stelle aufgeführt, um zu zeigen, in welcher unmittelbaren Weise sie sich aus den „Raumgestaltungen“ herleiten, ohne dass die „Bedingungen der Konstruktion“ viel dabei mitzusprechen scheinen. Letzterer Umstand erklärt sich aus der römischen Technik.

Schichtenweise Herstellung der Gewölbe in Werkstein oder Backstein wurde zwar von den Römern geübt, für die Überdeckung der architektonischen Innenräume bildete aber immer mehr das Gussmauerwerk die Regel. Vielfach war die Ausführung desselben weit von unseren jetzigen Gewohnheiten abweichend. Man stellte der Wölb- oder Bogenform gemäss ein Lehrgerüst her, legte darüber eine Schale aus dünnen, fest aneinander schliessenden Steinplatten und brachte sodann das Gusswerk in „horizontalen“ Schichten auf, genau so, wie dies bei dem übrigen Mauerkörper geschah (vergl. Fig. 9). Dass derartige Überdeckungen hielten, war natürlich zunächst dem innigen Zusammenkleben der grossen Mörtelmassen zu danken. Verliess man sich aber einmal auf letztere, so konnte man in gebotenen Grenzen (vergl. Seite 48) die Form der Gewölbe, unbekümmert um die Herstellung, vorzugsweise nach Rücksichten auf die architektonische Erscheinung festsetzen, was durch unabänderliche Verwendung der Halbkreisform geschah.

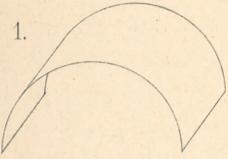
Für die weitgespannten Überdeckungen grosser Räume konnte natürlich ein einfaches Verfahren wie das vorstehende nicht ausreichen, hier bekundet sich der praktische Sinn der Römer in der Einführung sorgsam durchgebildeter Ausführungsmethoden. Dahin gehören die vereinzelt auftretenden Topfgewölbe, besonders aber die vergossenen Zellengewölbe. Man stellte für letztere auf der Schalung aus den üblichen grossen, dünnen Ziegelsteinen ein netzförmiges Skelett her, dessen Zellen man nachher mit Gusswerk ausfüllte (Fig. 10).

Herstellungswiese
der
römischen
Gewölbe.

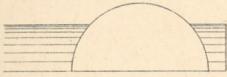
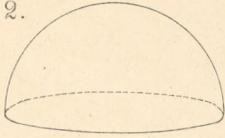
Tafel I.

Die Gewölbe der Römer.

1.

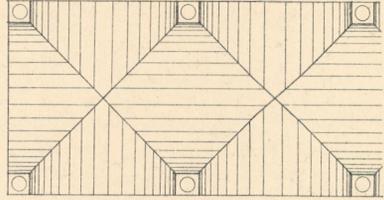
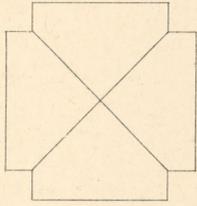
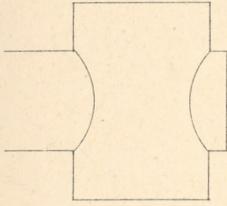


2.

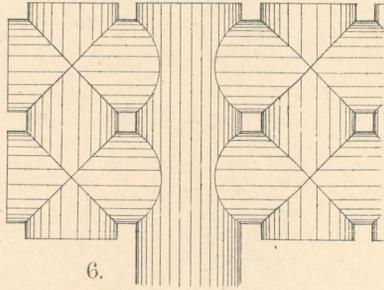


3.

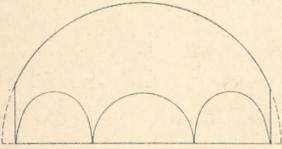
4.



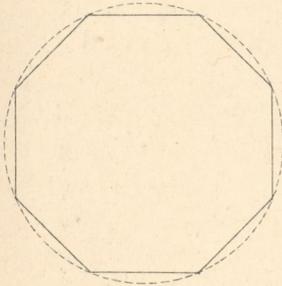
5.



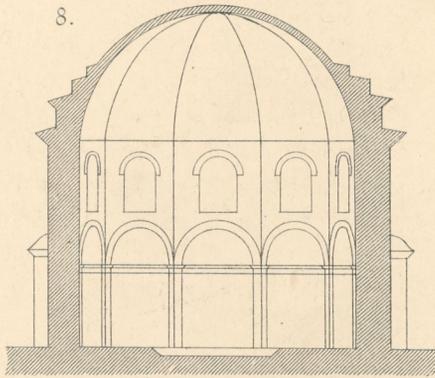
6.



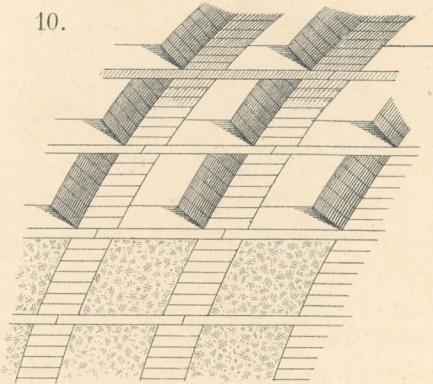
7.



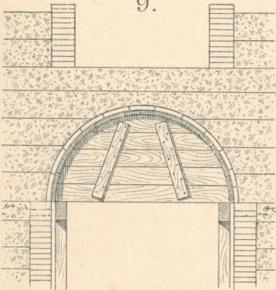
8.



10.



9.



Die Bedeutung des Ziegelgerippes beruht darauf, dass es eine bequeme und gesicherte Ausführung gewährleistet. Sobald es bei Beendigung des Gewölbes von Mörtel umhüllt ist, hat es seine Hauptaufgabe erfüllt; die Wölbung wirkt dann wie jedes andere Gussgewölbe als eine einheitliche durch das Binden des Mörtels gehaltene Masse. Die Scheitelstärke solcher grosser Gewölbe pflegt zwischen 1,2 und 3 Metern zu schwanken, da man mehrere Lagen übereinander legte.

Beim Tonnengewölbe bildet das umschlossene Ziegelgerüst meist viereckige Felder, von denen sich eine gewisse konstruktive Rechtfertigung der Kassettenbildung herleiten lässt. Bei den Kuppeln dagegen nimmt das Geripp häufig die Form von, in der Wöblfläche liegenden, aufeinander gestützten Entlastungsbogen an. Hervorragende Beispiele dieser Art liefern das Pantheon, der Tempel der Minerva Medica und zahlreiche weitere Baureste zu Rom, Tivoli usf. Ausführliches bietet das beachtenswerte Werk; CHOISY, l'art de bâtir chez les anciens Romains.

Die Technik der Römer war sehr entwickelt und sehr mannigfaltig. In einer Hinsicht aber verfolgt sie immer dasselbe Ziel: mochte eine Ausführung in Werkstein, Ziegel oder Mörtelguss vorliegen, stets wurde es erstrebt, sowohl Gewölbe als Mauern zu einem einzigen, starren, zusammenhängenden Körper zu machen, der sich bei Anhäufung gewaltiger Massen zu einem fast unverwüsthlichen Monumentalwerk gestaltete.

Die Gewölbe der altchristlichen Zeit.

Die altchristliche Kunst im Westen zehrte in den ersten Jahrhunderten fast ausschliesslich von dem Erbe der Römer, besonders in Hinsicht auf die Technik. Die Überlieferungen verwischten sich aber allmählich immer mehr, was einerseits einen Rückgang in der Güte der Ausführung, andererseits aber den Zwang zur Aufsuchung neuer Wege hervorrief. In zwei Richtungen lässt sich unter teilweisem Einfluss des Ostens eine gewisse Umgestaltung nicht verkennen: man strebt vielfach bewusst danach, die Mauer Massen einzuschränken, und man weicht häufiger von der alten Gusstechnik ab. So lässt sich an den Gewölben mehr als früher ein „reihenweises Anordnen“ von Steinen wahrnehmen, die von oben durch Mörtelwerk vergossen wurden. Die Richtung dieser Reihen ist sehr wechselnd, wie überhaupt die altchristliche Zeit viele lehrreiche tastende Versuche zeigt, die eine eingehendere Würdigung verdienen, als sie ihnen bisher zu teil wurde.

Die Kunst
im Westen.

Dem neuerdings immer mehr hervortretenden Streben, die altchristliche Kunst so ganz und gar als den Ausgang der Antike oder als die letzte Staffel des römischen Kunstverfalls darzustellen, können wir uns nicht anschliessen. Eine schroffe Trennung, die man früher sah, ist zwar nicht vorhanden, das langsame Hineinwachsen eines neuen Geistes ist aber unverkennbar. Selbst in der Verödung und Verarmung der römischen Formen lässt sich ein Überleiten in neue Wege fühlen. Einen glanzvollen Aufschwung darf man von jenen Jahrhunderten nicht verlangen, sie geboten dem greisenhaften Hinsiechen der übermüdeten, alten Kunst keinen Einhalt; sie sammelten aber alle Bestrebungen auf einen Punkt, und das ist die erste Grundbedingung für das Erwachen einer neuen Stilblüte. Was für die Griechen der Tempel war, sollte für das Mittelalter die Basilika

werden, und für deren Gestaltung die Grundlage, allerdings auch nur diese gelegt zu haben, ist Anteil der altchristlichen Zeit: der ganze lebensvolle Aufbau blieb der Thatkraft jugendfrischer Völker vorbehalten.

Die Kunst
im Osten.

Reger als im westlichen Europa vollzieht sich die Fortentwicklung im Osten. Während man im Westen mit grösserer Vorliebe die nur wenig umgestaltete, alte, flachgedeckte Basilika aufnahm, giebt im byzantinischen Reiche die stärkere Bevorzugung des Zentralbaues Anlass zu Neubildungen. Besonders treten in der Wölbkunst zwei wichtige Errungenschaften hervor, „die Kuppel auf Zwickeln und das überhöhte Kreuzgewölbe.“ Beide sind an der Sophienkirche in Konstantinopel ihrer ganzen Gestaltung nach klar ausgesprochen. Vorläufer hatten sie zwar schon früher, aber erst zur Zeit Justinians scheinen sie zu ihrer selbständigen Entfaltung gelangt zu sein.

Die Kuppel auf Zwickeln bringt den sehr kühnen Gedanken zur Ausführung, eine voll ausgebildete Kuppel auf vier einzelnen Eckpfeilern zu errichten (Fig. 11). Der Grundkreis der Kuppel liegt gänzlich innerhalb des Pfeilervierecks, es wird daher kein einziger Punkt direkt unterstützt, vielmehr muss die gesamte Last mittelbar durch Zwickel und Gurtbogen den Pfeilern zugeführt werden. Die Zwickel bilden Ausschnitte aus einer grösseren Kugelfläche, deren Durchmesser der Diagonale des Wölbfeldes entspricht. Nicht minder bedeutungsvoll war die Erfindung des überhöhten Kreuzgewölbes, dessen Herstellung unten weiter beschrieben werden soll.

Um einen viereckigen Raum zu überspannen, hatte man jetzt neben der Tonne und dem gewöhnlichen Kreuzgewölbe drei neue Lösungen:

1. die Zwickelkuppel (Fig. 11), 2. die Stutzkuppel oder böhmische Kappe (Fig. 12), 3. das überhöhte Kreuzgewölbe (Fig. 13).

Herstellungsweise
der
byzantinischen
Gewölbe.

Die byzantinische Technik weicht wesentlich von der römischen ab, sie kennt nicht das römische Gusswerk, sie verwendet Steine in dicken Mörtelfugen und übt bei den Gewölben in ausgedehnter Masse das freihändige Mauern ohne Lehrgerüst. Die Kunst des Ostens war schon unter der Römerherrschaft ihre eigenen Wege gegangen, es war vieles vom griechischen Geiste verblieben und die Technik war in den Provinzen in nähere Beziehung zu den Überkommnissen der alten Kunstblüten in Persien, Assyrien und Egypten getreten. Hier hatte man die uralte und zugleich ursprüngliche Kunstfertigkeit des freihändigen Wölbens hoher kuppelartiger sowie auch tonnenförmiger Räume kennen gelernt.

Wo sie es mit Werkstein oder schwerem Bruchstein zu thun hatten, da bevorzugten allerdings auch die Oströmer das Lehrgerüst, sobald aber nach Augustus der gebrannte Ziegelstein überall wieder zu Ehren gelangte, da waren dem freihändigen Wölbem die Thore geöffnet.

Die Kuppeln wölbte man fast immer in horizontalen Ringen, deren jeder sich nach Fertigstellung verspannte. Um das Gleiten der Steine in den oberen Schichten zu verhüten, pflegte man die Lagerfugen hier etwas flacher (fauler) zu halten (Fig. 11a), wenn man nicht den oberen Teil einfach spitzbogig oder kegelförmig hinaufzog (Persien, Arabien). Die Zwickel sind nicht übergekragt, sondern in Wölbsschichten hergestellt, was übrigens statisch ziemlich gleichwertig ist. Die Grundlinie der Kuppel weicht oft etwas vom Kreise ab, da man vorsichtshalber die Zwickel in den vier Ecken etwas mehr zurückhielt. Die Kuppeln der Markuskirche zu Venedig zeigen — vielleicht unabsichtlich — die umgekehrte Abweichung.

Die Tonnengewölbe werden gewöhnlich in Querschichten oder stehenden Ringschichten gewölbt (Fig. 12f und 12g), jede Schicht bildet einen in sich haltbaren Bogen; so lange er noch nicht geschlossen ist, müssen sich die Steine durch Ankleben an der vorigen Schicht halten. Um letzteres zu erleichtern und ein Herüberweichen der Schichten oben zu verhüten, wurden sie oft nach Art von Fig. 12h und 12i geneigt oder nach kegelartigen Ringen (Fig. 12k) geführt. Vielfach begannen erst die Querschichten in einer Höhe, wo die liegenden Schichten unbequem wurden, überhaupt ist ein Wechsel der Schichtenlage je nach den augenblicklichen Umständen zu beobachten. Sehr rationelle Tonnengewölbe solcher Art haben schon die Ägypter unter der 19. Dynastie ausgeführt (LEPSIUS, Denkmäler aus Ägypten I, Bl. 89).

Die Kreuzgewölbe der Byzantiner erhielten wie die Tonnen in jeder Kappe stehende Querschichten, die sich an den Graten in Verschränkung wechselseitig gegeneinander stützten und freihändig aufgemauert wurden (Fig. 13). CHOISY, der zuerst über die ganze byzantinische Bauweise Licht verbreitet (*l'art de bâtir chez les Byzantins*), glaubt, dass man der Lehrbogen selbst nicht einmal unter den Kreuzgraten bedurft hätte. Soweit vermögen wir ihm allerdings aus statischen Gründen — wenigstens bezüglich der grösseren und wenig überhöhten Kreuzgewölbe — nicht zu folgen.

Die Grate der überhöhten Kreuzgewölbe haben fast immer die Form eines Kreisstückes, das etwas niedriger als ein Halbkreis ist. Jede beliebige Schicht mn bildet einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt p auf der Grundachse xx liegt, ihre Biegung liess sich leicht nach einem um p drehbaren Faden ausführen. Bei dieser Grat- und Schichtenform muss der Scheitel die in Figur 13 hervortretende geschweifte Linie annehmen, welche die Gewölbe in der That aufweisen, die man allerdings auch bei manchem Beispiel zu umgehen suchte, z. B. durch flachere Schildbogen (elliptische Grate würden gleichfalls einen anderen Scheitel ergeben). Die Grate des byzantinischen Kreuzgewölbes treten unten an den Anfängen sehr stark hervor, während sie oben am Scheitel fast ganz verschwinden. Wächst die Pfeilhöhe so weit, dass der Grat zum Halbkreis wird, so geht bei derselben Ausführungsweise von selbst das Kreuzgewölbe in die Stutzkuppel über.

Die Stutzkuppel zeigt Ringschichten (Fig. 12a), Querschichten wie das Kreuzgewölbe (12b), Schrägschichten (Fig. 12c) und schliesslich auch einen Wechsel der beiden vorigen (Fig. 12d und 12e). Ein solcher Wechsel überträgt sich auch vielfach auf die Zwickelkuppel.

Die Wölbtechnik war den Byzantinern von älteren Völkern übererbt, trat aber unter der Herrschaft der Architektur weniger bestimmend hervor. Erst als Byzanz seine Bedeutung als unabhängiger Mittelpunkt eines grossen christlichen Reiches erworben, besonders seit dem VI. Jahrhundert, da gelangte seine Bauweise zu einem bestimmteren Ausdrucke. Die Bedingungen der Konstruktion machten ihre Ansprüche auf eine gewisse Führerschaft etwas sicherer geltend als bisher. Das half aber den in dieser Richtung liegenden Bestrebungen des folgenden Mittelalters die Wege ebnen.

Während der Westen den Grundtypus der Kirche festlegte, lockerte der Osten den Zwang der Architekturform zu Gunsten einer grösseren Vorherrschaft der Konstruktion.

An Berührungspunkten zwischen dem Osten und dem Westen fehlte es nicht, die Jahrhunderte lange oströmische Herrschaft in Ravenna und Venedig, lebhafte Handelsbeziehungen, das Berufen griechischer Meister und Werkleute an die Höfe des Abendlandes und später schliesslich die Eindrücke, welche die Kreuzfahrer und Pilger heimbrachten, unterhielten einen genügenden geistigen Austausch.

Die Überlieferungen Roms zogen sich einer fortlaufenden Kette gleich in die neuerblühende Kunst hinein, den Einschlag lieferte Byzanz und wo immer einer der alten Fäden zu Ende ging, da knüpften die Meister ihr eigenes, kräf-

tiges Gespinnst hinein, bis schliesslich ein ganz neues Gewebe unter neuer, kunstgeübter Hand erstand. Unter diesem Bilde kann man sich das Werden der romanischen Kunst vorstellen, deren letzte Aufgabe darin gipfelte, die einst balkengedeckte römische Basilika nach byzantinischem Vorgang in neuer Auffassung monumental zu überwölben. Sobald dieses Ziel erreicht war, trat die in diesem Kampfe geborene Gotik ein.

Einführung des Gewölbes in die romanische Basilika.

Einführung
des
Gewölbes in
die roma-
nische
Basilika.

Die Holzdecke wurde mehr und mehr durch die massive Überdeckung verdrängt. Neben der vornehmen, monumentalen Erscheinung der oströmischen Werke waren die immer wiederkehrenden Feuersbrünste Triebfeder genug, nach einer Wölbung zu verlangen. Kleinere einschiffige Kirchen gingen mit der Wölbung voran. Aber auch in den Basiliken war die Überwölbung in allen Teilen, wo sie leicht ausgeführt werden konnte, rasch zur Regel geworden; so kehrt sie immer wieder bei der Apsis, die mit einer Halbkuppel geschlossen wurde, ebenso findet sie sich stets in der Krypta, welche meist Kreuzgewölbe in altrömischer Ausbildung erhielt.

Leicht war es auch noch, die Seitenschiffe zu überdecken, sie erscheinen daher vielfach überwölbt, wo sich der Hauptraum des Bauwerkes, das Mittelschiff, noch mit einer Balkendecke begnügen musste. Als Formen für die Seitenschiffgewölbe treten die Längstonne mit und ohne Stichkappen, die quergelegte Tonne und das Kreuzgewölbe auf.

Bis soweit hatte sich die Überwölbung leicht vollzogen, es blieben aber noch zwei Stellen im Kirchengrundrisse zurück, deren Bewältigung sich zu den bedeutungsvollsten Aufgaben der mittelalterlichen Kunst gestalten sollte. Das waren:

1. die Überwölbung des Mittelschiffes,
2. die Überwölbung des Chorumganges.

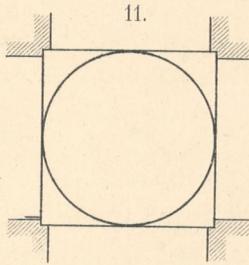
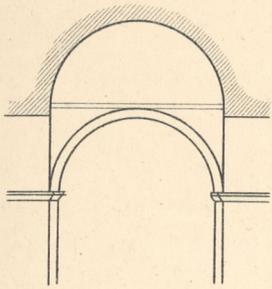
Letztere Bereicherung des Chores war seit dem elften Jahrhundert hervorgetreten und gelangte bald für die meisten grossen Anlagen, besonders für die Dome, in Aufnahme.

Das Erringen jener beiden Ziele bildet die Spitze aller architektonischen Bestrebungen vom Ende des XI. bis zum Beginne des XIII. Jahrhunderts. Um diese Zeit waren die alten Stätten der Kunst, Rom und Byzanz, fast ganz zurückgetreten, der Schwerpunkt hatte sich nach dem Nordwesten auf die jugendfrischen Völkerschaften im heutigen Deutschland, Frankreich und England übertragen. Hier entspann sich ein Wettkampf um das Erringen des Vollkommenen, aus dem schliesslich als glänzendes Resultat in raschem, siegesbewussten Emporblühen die gotische Bauweise hervorging.

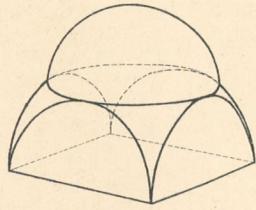
Überwöl-
bung
des Mittel-
schiffes —
verschiedene
Versuche.

Als Erstlingsgestalt trat für die Überwölbung des Mittelschiffes fast allgemein das Tonnengewölbe auf, es findet sich von Spanien und Italien hinauf bis Skandinavien (Kirche zu Ringsaker), zur allgemeinsten Herrschaft gelangt es — abgesehen von den kleinen Steinkapellen Irlands — im südöstlichen Frankreich. Aber auch in Deutschland kommt es vor, so ist es im Chor der später um-

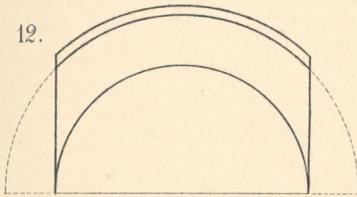
Die Gewölbe der Byzantiner.



Kuppel auf Zwickeln.

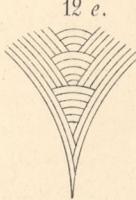


12.

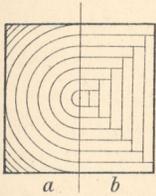
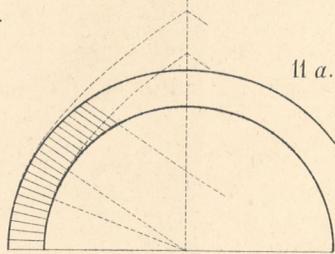


Stutzkuppel.

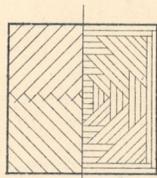
12 e.



11 a.

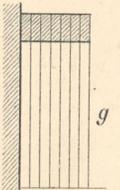
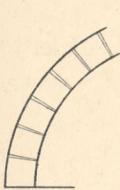


a b

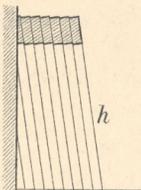


c d

12. a-e. Schichtenlage bei der Stutzkuppel

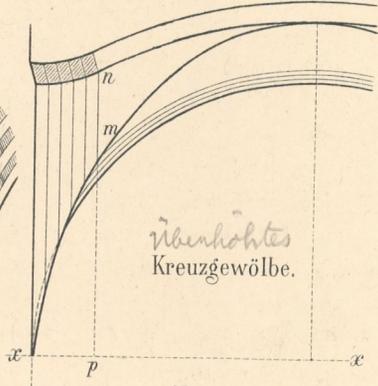


g



h

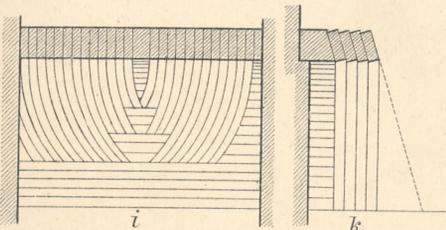
13 a



überhöhtes Kreuzgewölbe.

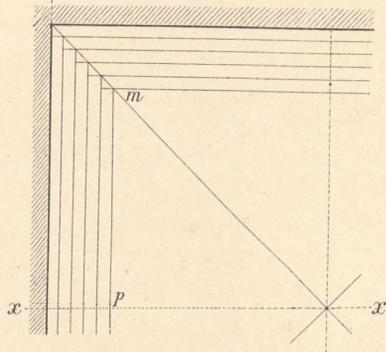
13.

12. f-k. Schichtenlage beim Tonnengewölbe.



i

k



x

p

x

gebauten Johanniskirche zu Verden noch erhalten und im Mittelschiff nachweisbar. Seine Einführung war naheliegend, da es durch die Römerwerke bekannt war und sich am natürlichsten dem rechteckigen Raume einfügte; es trug aber seine unbesiegbaren Mängel von vornherein in sich. Die Unmöglichkeit, es bei dreischiffiger Anlage befriedigend zu beleuchten, seine höhlenartige Erscheinung und die Schwierigkeit der Absteifung liessen es trotz aller Versuche nicht zu einer zweckerfüllenden Ausbildung gelangen.

a. Das langlaufende Tonnengewölbe.

Den Schub pflegte man zwar sehr geschickt durch hoch hinaufgeführte Halbtonnengewölbe über den Seitenschiffen aufzunehmen, dadurch war aber die Schwierigkeit der Beleuchtung nur noch gesteigert.

Bevorzugte man andererseits eine gute, seitliche Lichteinführung durch hohes Hinausführen des Mittelschiffes — wie in Burgund, so machte sich der Schub wieder lästig bemerkbar. Selbst wenn man diesen durch Einführung der spitzbogigen Tonnenform und durch Strebepfeiler erfolgreich bekämpfte, blieb immer die beklemmende, tunnelartige Wirkung des Innern zurück. Schliesslich suchte man sogar diese letztere zu mildern durch Einschaltung von teilenden und gleichzeitig verstärkenden Quergurten, — eine vollkommene Lösung bildete das Tonnengewölbe aber nie.

Der Versuch, die Tonne durch hoch hinaufgeschobene Stichkappen zu erhellen, welcher später von der Renaissance noch einmal aufgenommen, aber trotz allen ornamentalen Reichtumes nie befriedigend ausgefallen ist, wurde im Mittelalter aufgegeben.

Man verfolgte verschiedentlich andere Lösungen. Unter diesen tritt besonders hervor die im südwestlichen Frankreich geübte Aneinanderreihung von voll ausgebildeten Kuppeln auf Zwickeln. Die Übertragung der Kuppel nach dort erklärt man aus den lebhaften Handelsbeziehungen jener Gegenden, besonders der Städte Limoges und Perigueux mit dem derzeit „byzantinischen“ Venedig. Neuerdings wird der Einfluss Venedigs von mancher Seite angezweifelt.* Die Kirche St. Front zu Perigueux mit ihren fünf mächtigen, in Kreuzform angeordneten, von schweren spitzbogigen Gurten getragenen Kuppeln nimmt den Ehrenplatz unter diesen Bauten ein. (Die Kuppeln zu St. Front zeichnen sich durch saubere Ausführung in „Werkstein“ und durch horizontale Schichtenlage in den Zwickeln aus.) Das Prinzip des wirklichen Aneinanderreihens tritt noch viel deutlicher hervor bei der Abteikirche zu Fontévrault, sowie bei vielen anderen meist einschiffigen Anlagen zu Angoulême, Cognac, Limoges usf.

b. Kuppel auf Zwickeln.

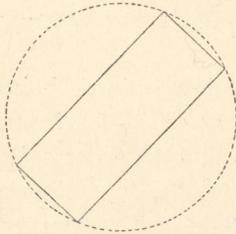
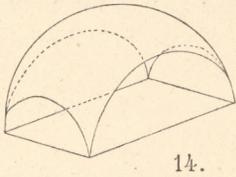
Die Übertragung der stets einen Mittelpunkt bedeutenden Kuppel auf Langkirchen unter fortschreitender Wiederholung war trotz der sonstigen Schönheiten erzwungen, sagte daher auf die Dauer ebensowenig zu wie das Tonnengewölbe.

Weit lebensfähiger zeigte sich der Kuppelausschnitt oder die Stutzkuppel (Fig. 14). Sie ist an vielen Stellen zur Ausführung gekommen, in Deutschland unter anderen zu Paderborn, in Frankreich vorzugsweise in Anjou, Maine, Tourraine. Oft findet sie sich über der Vierung, vielfach aber auch über Reihen von Wölbefeldern. Es fügt sich die Stutzkuppel den vier umschliessenden Seiten

c. Stutzkuppel oder Kuppelausschnitt.

* Vgl. DEHIO und v. BEZOLD, die kirchl. Bauk. d. Abendlandes S. 339.

so einfach und organisch ein, dass sie als durchaus vorteilhafte Lösung gelten muss, besonders wenn man ins Auge fasst, dass sie sich einem rechteckigen Felde ebenso

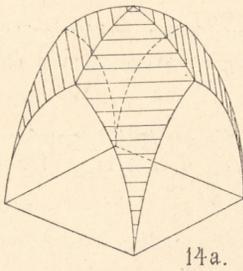


bequem einpasst wie einem quadratischen. Da überdies wegen der Kugelform die Herstellung ohne Lehrgerüst möglich ist, darf es nicht Wunder nehmen, dass sich dieselbe an einigen Stellen noch lange erhielt, als bereits das Kreuzgewölbe zur allgemeinen Herrschaft gelangte. Es werden mehrfach sogar die Rippen vom Kreuzgewölbe aufgenommen, ohne dass die Kugelfläche verlassen wurde, es bilden dann die Rippen mehr eine Zierde oder höchstens eine Versteifung, nicht aber die eigentlich tragenden Teile.

Der Stutzkuppel verwandt ist eine ab und zu, beispielsweise in den Klosterräumen des Rigaer Domes, anzutreffende Wölbform (Fig. 14a), welche als übereckgestellte Walmkuppel oder Klostergewölbe bezeichnet werden könnte.

Dass vereinzelt noch manche andere Wölbformen auftreten, besonders über der Vierung, sei nur nebenher erwähnt.

d. Aneinanderreihung
quergelegter
Tonnen-
gewölbe.



Bevor wir zu der letzten, endgiltigen Lösung übergehen, ist noch ein wenig verbreiteter Versuch anzuführen, der in der Kirche St. Saturnin zu Toulouse zum Ausdruck kommt. Es ist das eine Folge quergelegter Tonnen-
gewölbe, wie sie beim Seitenschiff häufiger anzutreffen ist. Ihre Übertragung auf das Mittelschiff trägt zwar dem Wunsche, mehr Licht zu schaffen, durchaus Rechnung, die perspektivische Wirkung des Innern war aber so abstoßend, dass kein Gelüst zu häufiger Wiederholung sich zeigte.

Das Kreuz-
gewölbe
über dem
Mittelschiff.

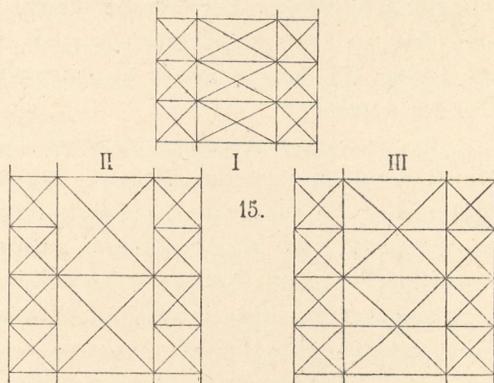
Die einzige nun noch verbleibende Lösung war das Kreuzgewölbe. Fast erscheint es befremdlich, dass diese sonst so oft verwendete Form für das Mittelschiff so lange gemieden wurde; doch das hatte seine gewichtigen Gründe.

Das überhöhte byzantinische Kreuzgewölbe war im Westen anfangs wenig bekannt, ein nach römischer Art hergestelltes Kreuzgewölbe erforderte in dieser Höhe und Spannung aber eine Widerlagsmasse, welche die Mittelmauern der Basilika nicht hergeben konnten, zumal sie bei ihrer gleichmässig fortlaufenden Form nicht geeignet waren, einen Druck auf Einzelpunkte vorteilhaft aufzunehmen. Wollte man das Widerlager durchaus in bedeutender Erbreiterung der Mauer oder der Pfeiler schaffen, so ging der mühsam erstrebte räumliche Zusammenhang der drei Schiffe wieder verloren. Es mochte wohl mancher unheilvolle Versuch gemacht sein, bis man Schritt für Schritt dazu gelangte, den Wölbschub geringer und die Widerlager ohne Massenanhäufung widerstandsfähiger zu machen. Völlig erreicht war das Ziel erst, als das gotische Gewölbe und das gotische Strebssystem fertig vorlagen.

Neben diesen Hindernissen in der Herstellung stellten sich der Einführung des Kreuzgewölbes Schwierigkeiten in der Grundrissteilung entgegen. Das Mittelschiff ist breiter als die Seitenschiffe, daher ergeben sich, wie Fig. 15 I zeigt, bei

durchlaufender Jochteilung stets langgestreckte Felder, sei es in der Mitte oder an der Seite. Das römische Kreuzgewölbe war aber nicht geeignet, ein derartiges Feld zu überdecken, auch die Umgestaltungen des Kreuzgewölbes in

romanischer Zeit verursachten Schwierigkeiten, wenn die Seitenlängen zu sehr verschieden waren. Man suchte daher möglichst quadratische Felder für alle drei Schiffe zu erlangen und kam zu der Anordnung II, bei welcher je zwei Jochen im Seitenschiffe ein grösseres im Mittelschiffe entspricht. Diese Grundrissbildung wurde typisch für eine Reihe von gewölbten Basiliken in Deutschland. Es wechselten stark belastete Hauptpfeiler mit schwächer belasteten Zwischen-



pfeilern. Letztere suchte man vorzugsweise in Nordfrankreich um die Mitte des XII. Jahrhunderts mit ins Hauptgewölbe hineinzuziehen durch Verwendung des sechsteiligen Gewölbes. Es entstand dadurch die Anordnung III, welche aber im Laufe des XIII. Jahrhunderts wieder aufgegeben wurde. In Deutschland ist das sechsteilige Gewölbe besonders am Rhein, dann zu Bremen, Maulbronn, Walkenried, Limburg a. d. Lahn ausgeführt, im allgemeinen aber weniger aufgenommen; hier ging man, sobald die Fortentwicklung des Kreuzgewölbes eine Überdeckung rechteckiger Felder gestattete, wieder allgemein zu der natürlichen Lösung I über, die alsbald zur allgemeinen Regel für den gotischen Kirchengrundriss wurde.

Umgestaltung des Kreuzgewölbes bei rechteckigem Grundrisse.

Versuche mit der nun einmal günstigen rechteckigen Jochteilung des Mittelschiffes haben überhaupt nie geruht. Da man überdies bei der Überdeckung der Seitenschiffe und nicht minder bei der Anlage klösterlicher und profaner Bauten immer wieder auf rechteckige Raumgrundrisse stiess, konnte man eine Umbildung des römischen nur auf quadratische Felder berechneten Kreuzgewölbes auf die Dauer nicht von der Hand weisen. Man klammerte sich zwar möglichst lange an die römischen Überlieferungen an, musste dieselben aber notgedrungen immer mehr verlassen.

Nachfolgend mögen alle wesentlichen Lösungen nebeneinander gestellt werden, welche überhaupt die alte Bauweise für die Überwölbung eines Mittelschiffes mit nicht quadratischer Querteilung hergab. Sie sind fast ausnahmslos zur Anwendung gelangt. Da zu romanischer Zeit die Kreuzgewölbe auf vollem Lehrgerüst hergestellt wurden, ist es für das leichtere Verständnis zweckdienlich, nicht das Gewölbe selbst, sondern die Form seiner Unterschaltung ins Auge zu fassen.

Wenn nicht streng erweislich, so ist es doch wahrscheinlich, dass die Römer bei einer Reihung von Kreuzgewölben zuerst eine durchlaufende Bretterschalung unter der Längsstone herstellten (Fig. 16) und dann erst oben auf diese die Scha-

lung für die einzelnen Quertonnen legten, genau so wie noch heutzutage beim Einwölben kleiner Stichkappen in Kellergewölben verfahren wird.

Dass diese Technik in der ersten romanischen Zeit noch geübt wurde, beweist SCHÄFER (Centralblatt der Bauverwaltung, 1885) sehr treffend mit der Beobachtung, dass an solchen Gewölbereihen oft an einer Seite eine Quertonne fehlt, und dass häufig die Scheitel zweier gegenüberliegender Stichtonnen nicht genau gegeneinander treffen.

Längstonne
mit
seitlichen
Stichkappen.

Es sei nun angenommen, dass das Mittelschiff einer Basilika mit rechteckiger Grundrisseinteilung einzuwölben ist. Die mittleren Längswände seien bereits hochgeführt und an ihnen die halbkreisförmigen Schildbogen angelegt. Es ist nun das Lehrgerüst für die Haupttonne aufzustellen, welches die Form eines halben Kreiscylinders erhält. Auf die durchlaufenden Schalbretter dieser Halbtonne werden diejenigen der Quertonnen aufgesattelt, indem sie vom Schildbogen aus wagerecht hinübergelegt werden. (Siehe Grundriss und Querschnitt I in Fig. 17.) Es können sich dabei nur niedrige Stichkappen bilden, aber keine Kreuzgewölbe.

Es war zu natürlich, dass man versuchte, die Stichkappen höher hinaufzutreiben durch eine ansteigende Lage der Bretter. Der höchste Punkt des Schnittes schob sich dadurch weiter in die Höhe, er konnte aber nie bis zur Wölbmitte gelangen, sondern höchstens bis zum Berührungspunkte n der Tangente gh (vgl. Grundriss und Schnitt II in Fig. 17). Ein Kreuzgewölbe entstand also auch auf diese Art nicht. Demnach konnte bei rundbogiger Tonne und halbkreisförmigen Schildbogen nach römischer Weise wohl ein Gewölbe mit Stichkappen, niemals aber ein Kreuzgewölbe erzielt werden. Es mussten Änderungen vorgenommen werden, die sich auf die Haupttonne oder die Querkappen erstrecken konnten.

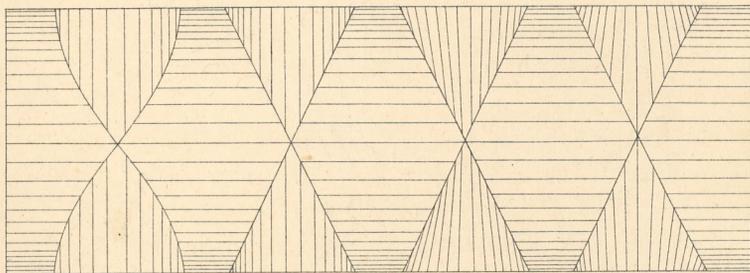
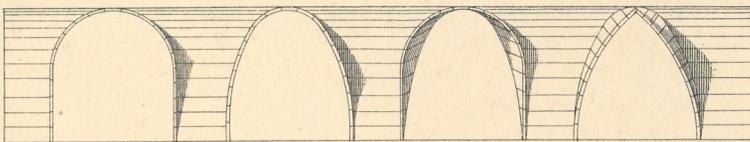
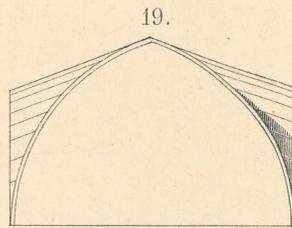
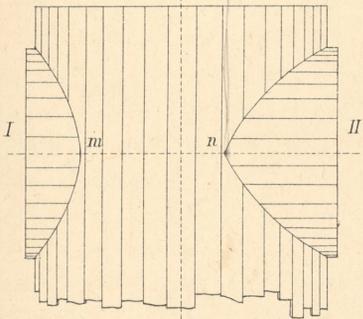
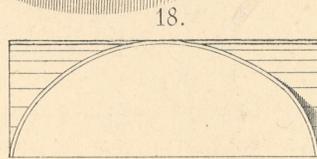
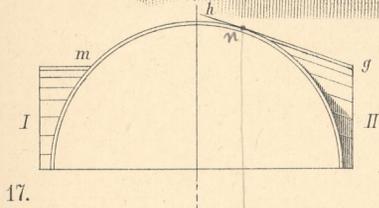
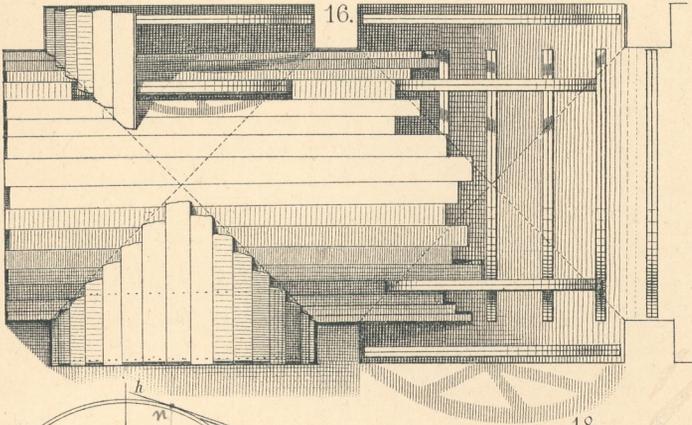
Das halbcylindrische Längsgewölbe in eine niedere, elliptische Wölbung zu verwandeln, wie es beim Seitenschiffe zum Ausgleich der Scheitelhöhen wohl geschah (Fig. 18), konnte für das Mittelschiff nicht ernstlich in Frage kommen; man würde dadurch den Schub vergrößert haben, dessen Bekämpfung hier gerade eine Hauptfrage war. Weit beachtenswerter ist die Form des spitzbogigen Tonnengewölbes, das sich am Ende des XI. und im XII. Jahrhundert wegen seiner konstruktiv günstigen Eigenschaften in manchen Gebieten Eingang verschaffte. Dieses, mit steigenden Stichkappen vereinigt, lässt über einem Rechteck einen kreuzförmigen Gewölbeschnitt zu. (Fig. 19.) Es ist möglich, dass die spitze Tonne ein beachtenswertes Glied im Entwicklungsgange des gotischen Gewölbes wurde; bevor es aber den Anlass zu wichtigen Neubildungen geben konnte, waren an anderer Stelle, besonders in Deutschland, die Versuche mit Halbkreisformen fortgesetzt, zu denen daher zurückzukehren ist.

Blieb die Haupttonne halbrund, so mussten die Querkappen geändert werden, entweder durch Einführung einer neuen Schildbogenform oder durch gänzliche Umbildung der Krümmung der bisher cylindrischen Kappenflächen.

Erhöhung
der
Schildbogen-
scheitel bis
zur Höhe der
Gewölbe-
mitte.

Der halbkreisförmige Schildbogen liess sich am einfachsten dadurch ändern, dass man ihn aufhöhte, bis sein Scheitel gleiche Höhe mit der Tonne bekam (Fig. 20 I). Legte man von diesen Schildbogen die Schalbretter senkrecht hinüber

Umbildung der Kreuzgewölbe in romanischer Zeit.



gegen die Tonnenfläche, so bildeten diese einen Halbcylinder, der sich kreuzförmig in den grossen Halbcylinder hineinschnitt. Muss die so gewonnene Form auch als Kreuzgewölbe bezeichnet werden, so entsprach sie doch nicht der Vorstellung, die man sich von ihr gemacht hatte, denn die Gratlinien lagen nicht über den Diagonalen, sie bildeten vielmehr im Grundriss geschwungene Linien (vgl. den Grundriss), die für das Auge wenig ansprechend waren und besonders bei einer Bemalung unerwünscht hervortreten mussten.

Bei diesem Gewölbe konnte man sich nicht beruhigen, man musste gesetzmässige Kreuzlinien anstreben. Um diese zu erzielen, durfte man sie aber nicht mehr als zufälliges Ergebnis aus dem Zusammenschchnitt der Flächen entgegennehmen, sondern man musste von ihnen ausgehen, sie zuerst festlegen und danach erst die Form der Kappen bestimmen. Das bedeutet aber einen wichtigen Umschwung in der Wölbtechnik, an Stelle der „Fläche“ übernahm den Vorrang die „Linie“. Wollte man die Gratlinien von vornherein festlegen, dann war es nur eine Frage der Zeit, wann man dazu überging, unter ihnen diagonal gerichtete Lehrbogen aufzustellen und die alte Art der Einschalung zu verlassen. Man begnügte sich anfangs vielleicht damit, die Diagonalgrate oben auf der Bretterschalung der Haupttonne aufzureissen (vielleicht durch Herablöten von einer kreuzweis ausgespannten Leine). Nehmen wir einstweilen dieses an.

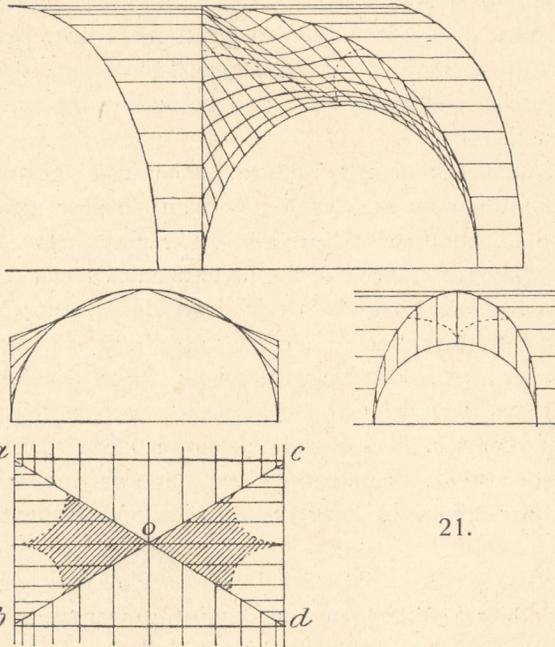
Wenn man von der so aufgerissenen Kreuzlinie Schalbretter senkrecht gegen die Stirnfläche legt, so ergeben sich hier Schildbogen von der Form einer aufrecht stehenden halben Ellipse (Fig. 20 II). Die Anwendung solcher elliptischer Bogenlinien ist insofern zu beachten, als sie bereits ein Loslösen von der Halbkreisform anbahnt und damit der Einführung anderer Bogenformen, besonders des Spitzbogens, die Wege ebnet.

Elliptische Bogenformen, die übrigens selten mathematisch genau ausgetragen sind, trifft man bei einiger Aufmerksamkeit an romanischen Werken sehr oft, meist sind liegende Ellipsen verwendet, daneben aber vielfach auch stehende; im Seitenschiff von St. Marien zu Dortmund treten beide gleichzeitig auf, und in einem Seitenschiff der Gaukirche zu Paderborn zeigt die Längstonne eine hochgestellte Ellipse als Querschnitt. (Die Gratkanten an letzterem sind im Grundriss ziemlich unregelmässig gebogen.)

Wollte man statt des unbequemen elliptischen Schildbogens den überhöhten Halbkreis beibehalten (der vielleicht schon in den vorher aufgemauerten Wänden angelegt war), so konnte man auch von diesen die Schalbretter nach den aufgerissenen Diagonalgraten legen. (Fig. 20 III.) Es standen dann aber die Schalbretter nicht mehr senkrecht gegen die Stirnbogen, und die Fläche der Kappe blieb kein regelmässiger Cylinder mehr. Man hatte sich also von der Cylinderfläche freigemacht, war dies aber einmal geschehen, dann stand nichts mehr im Wege, dem Schildbogen jede beliebige andere Form, z. B. diejenige des aus anderen Gründen weit vorteilhafteren Spitzbogens zu geben (Fig. 20 IV).

Man sieht, dass man mittelst hochgezogener Schildbogen ein rechteckiges Kreuzgewölbe mit regelmässigem Diagonalschnitt erzielen konnte. Dabei wurde man zum Aufgeben des Halbkreisbogens geführt oder auf ein Verlassen der cylindrischen Kappenfläche hingeleitet.

Rechteckiges
Kreuz-
gewölbe mit
niedrigen,
runden
Schildbogen.
Steigende
Quer-
kappen-
busung.



21.

Vollkommen musste man die alte Form der Kappen aufgeben, wenn man keine hohen Schildbogen verwenden wollte, sondern beim ursprünglichen, in romanischer Zeit hauptsächlich in Deutschland immer noch bevorzugten Falle verblieb, für die Schildbogen einfache, wenig oder garnicht überhöhte Halbkreise zu verwenden. Angenommen, es wären die Schildbogen eines herzustellenden Gewölbes bereits aufgemauert und die grosse Tonne als Halbcylinder eingeschalt, überdies seien die Gratlinien auf der Bretterschalung aufgerissen, da man unbedingt regelmässige Zusammenschnitte der Kappen zu haben wünschte (Fig. 21), so würden alsdann die Schalbretter für die Stichkappen aufzubringen sein. Dass man auf die gewöhnliche Art nicht zum Ziele gelangt, ist

bereits bei den Fig. 17 I und II gezeigt. Die Bretter stossen gegen die Längs-
tonne, ohne zum Scheitel zu gelangen. Will man trotzdem eine Verbindung von
Schildbogen und Kreuzgraten durch die Schalbretter erzwingen, so wird sich ein
Teil derselben durch die Fläche der Tonne hindurchschieben müssen, wie es die
schraffierte Fläche des Grundrisses Fig. 21 andeutet. Die Schalbretter der Haupt-
tonne können somit nicht mehr überall durchlaufen, und was wichtiger ist, die
Schalung der Querkappen bildet eine Fläche, welche unter dem schraffierten
Teil muldenartig herabzuhängen scheint; diese Form ist aber hässlich und kon-
struktiv bedenklich (vgl. die verschiedenen Ansichten in Abb. 21). Die Mulde muss
ausgefüllt werden, sei es durch einen Erdauftrag oder eine aufgesattelte Schalung
oder beides vereint. (Schon eine andere Richtung der Schalbretter hilft die Mulde
ausgleichen.) Wenn dieser Auftrag hügelartig hinaufgeführt wird, so bildet sich eine
kuppelartig gebauchte oder busige Kappenfläche. Ihre Herstellung macht über einer
Schalung Schwierigkeit, ist durch freihändiges Wölben aber leicht zu erwirken.
Hatte man die Busung einmal für die beiden steigenden Querkappen $ab o$ und
 cdo angewandt, so war es natürlich, dass man sie der Gleichartigkeit wegen auch
auf die beiden anderen aco und bdo übertrug.

Unabhängig-
keit der
Kreuzgrate.
Übergang
von der
Ellipse zum
Halbkreise.

Es war bei dem letzten Gewölbe zunächst vorausgesetzt, dass in der Längs-
richtung des Mittelschiffes noch gerade cylindrische Kappen eingeschalt waren; es
ist das jetzt aber zwecklos geworden. Denn für diese Gewölbe wurden bereits
stets unter den Graten stützende Lehrbogen aufgestellt. Die Schalbretter legten sich
von den letzteren nach den nun immer vorhandenen Gurtbogen hinüber, sie liefen

also nicht mehr durch. Damit hörte aber auch der Zwang auf, ihnen die Form eines fortlaufenden Cylinders zu geben, sie konnten ebensogut eine freiere Form annehmen, wie die ansteigenden Quertonnen sie hatten. Mit anderen Worten Gurt- und Grabogen konnten in der Längsrichtung ebenso unabhängig von einander sein, wie es Schildbogen und Grat in der Querrichtung bereits waren, d. h. man konnte den Grabogen jetzt gestalten wie man wollte. Das war aber wieder ein wichtiger Fortschritt. Die flache, elliptische Form des Grates bildete beim römischen Kreuzgewölbe einen Mangel, den schon die Byzantiner empfunden hatten, der sich aber beim Mittelschiff der romanischen Basilika geradezu als Hemmnis erweisen musste. Man wird daher keine Abweichung vom alten Gewölbe so bereitwillig vorgenommen haben, wie gerade das Lossagen von der stark schiebenden und auch an sich statisch unvorteilhaft gestalteten Ellipse, die man gewöhnlich durch einen Halbkreis ersetzte.

Bei einem langgezogenen rechteckigen Felde war der Übergang zum Halbkreis für den Diagonalbogen kein gar zu grosser Schritt, da hier die Ellipse dem Halbkreis schon sehr nahe steht. Sehr fördernd dürfte es auch eingewirkt haben, dass man sich dem Augenscheine nach sehr schlecht auf das Austragen elliptischer Lehrbogen verstand und schon aus diesem Grunde abweichende Formen zu Tage förderte. Oft mochte man an Stelle der Ellipse selbst zu einem unten abgestutzten Halbkreis gegriffen haben, den die Byzantiner zu ihren überhöhten Kreuzgewölben durchweg verwandten.

Damit ist das busige, in beiden Richtungen überhöhte Kreuzgewölbe (Fig. 22) geschaffen, das als das Endergebnis der romanischen Wölbbildung anzusehen ist. Dasselbe zeigt sowohl für die Schildbogen, wie für die Kreuzbogen einen Halbkreis; es hat für das quadratische Feld die gleichen konstruktiven Vorzüge wie für das rechteckige und wird daher für beide verwandt. Bei seiner Ausbildung wirken zwei Faktoren beständig zusammen, als erster die Schwierigkeit, ein Rechteck zu überdecken, als zweiter die Notwendigkeit, den Schub zu mildern, letzteres war ein wichtiges Ziel, zu dem ersteres die Wege finden half. Inwieweit das Vorbild der weit älteren aber wesentlich abweichenden überhöhten Gewölbe der Byzantiner fördernd mitgewirkt haben mag, möge eine offene Frage bleiben.

Das
romanische
Kreuzge-
wölbe mit
Überhöhung
und Busung.

Die Entstehung des überhöhten busigen Gewölbes wird vielfach ohne Rücksicht auf das Rechteck direkt aus dem quadratischen Felde abgeleitet, dabei wird die Verringerung des Schubes als alleinige Triebfeder angesehen zu einem Übergange von dem elliptischen Grate zum rundbogigen. Der Weg ist richtig, aber zu unvermittelt, er enthält eine Kluft, die erst überbückt wird, sobald man das notgedrungene Vorgehen bei Überwölbung eines Rechteckes mit in Betracht zieht, wie solches im vorstehenden versucht ist. Damit soll aber nicht gesagt sein, dass der gezeichnete Gang sich überall in gleicher Weise vollzogen habe, man muss neben dem zeitlichen „Nacheinander“ ein örtliches „Nebeneinander“ voraussetzen und eine beständige Wechselwirkung der Fortschritte aufeinander in Rücksicht ziehen. Bis die für die Konstruktions- und Kunstgeschichte gleich wichtige Frage der mittelalterlichen Gewölbeentwicklung völlig geklärt sein wird, dürfte es noch sehr eingehender Studien bedürfen. Leider sind die bisherigen Aufnahmen von Bauwerken, wie Vergleiche mit der Wirklichkeit zeigen, gerade bezüglich der Gewölbe selten ganz verlässlich. Um letztere richtig zu erforschen, sind genaue Sonderaufnahmen nötig, zu denen die Mitwirkung vieler Fachleute erwünscht wäre. Nie sollte man die dazu besonders günstigen Restaurationsbauten vorübergehen lassen, ohne bei wichtigen Werken die Form der Gewölboogen, ihre Halbmesser und Mittelpunkte, ebenso die Gestalt der Kappen und alle Einzelkonstruktionen vom Wider-

lager bis zum Gewölbeschluss genau aufzumessen und, soweit sie von Wert sind, der Öffentlichkeit zu übergeben.

Kappenge-
stalt der
überhöhten
Gewölbe.
Grat oder
Kehle an den
Kreuzlinien.

Dem in Fig. 22 dargestellten überhöhten busigen Gewölbe, das ganz besonders für die späteren romanischen Werke Deutschlands typisch wurde, sind stets Gurtbogen zugefügt zu denken. Sowohl seine beiden Gratbogen, als die vier umschliessenden Stirnbogen sind Halbkreise, sie lassen sich demnach von einer gemeinsamen Kugelfläche umschliessen. Zwischen diesen sechs Bogen spannen sich die vier Kappen aus, für deren Gestalt drei verschiedene Möglichkeiten vorliegen:

1. die Kappen sind so stark gebust, dass sie ausserhalb der Kugelfläche liegen, es entsteht ein richtiges Kreuzgewölbe mit nach unten vorspringenden Gratkanten. Im Schnitte xx der in Fig. 23a dargestellten Diagonalansicht ergibt sich die in Fig. 23c grösser gezeichnete Kappenbiegung I ; im Punkte n zeigt sich die Schärfe der Gratkante,

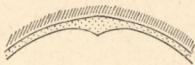
2. die Kappen liegen genau in der Kugelfläche, es entsteht dann überhaupt kein Kreuzgewölbe, sondern eine Stutzkuppel. Die Diagonalbogen treten gar nicht aus der Fläche hervor, siehe Schnitt II in Fig. 23c,

3. die Kappen liegen innerhalb der Kugelfläche. Es bildet sich in diesem Falle streng genommen kein Kreuzgewölbe, sondern eine Art von Klostergewölbe; die Diagonalkanten erscheinen von unten gesehen nicht als vortretende Gratkanten, sondern als einspringende Kehlen. Siehe Schnitt III .

Gewölbe der letzteren Art sind zur Zeit des romanischen und des Übergangsstiles gar nicht selten, besonders oft findet man solche, bei denen die Kreuzbogen im unteren Teile als Grate und im oberen Teile als Kehlen erscheinen, z. B. in der grossen Marienkirche zu Lippstadt und an den interessanten stark überhöhten Gewölben der Gaukirche zu Paderborn. (Fig. 26.) Bei beiden Beispielen sind noch keine vortretenden Rippen vorhanden. Letztere sind sehr geeignet, kehlenförmige Zusammenschnitte der Kappenflächen dem Auge unbemerkbar zu machen, weshalb das selbst an gotischen Gewölben auftretende Vorkommen von Kehlen meist unbeachtet bleibt.

Zur Verdeckung der Kehlen ist nicht selten im Putz eine kleine Gratkante hergestellt (vgl. nebenst. Skizze).

Wollte man bei halbkreisförmigen Grat- und Stirnbogen überhaupt ein Kreuzgewölbe mit vortretenden Gratkanten erzielen, so musste man notgedrungen zu einer starken Busung greifen. Letztere hatte also bei derartigen Wölbungen den zweifachen Zweck, die Gratlinien hervortreten zu lassen und die muldenartige Einsenkung am Kappenscheitel zu vermeiden. Die Busung war aber immer eine lästige Zugabe, sobald man die Kappen auf vollem Lehrgerüste herstellen wollte.



Wenn die Form der Busung, wie man für Bruchsteinkappen meist annimmt, durch einen Erdaufrag auf den Schalbrettern vorgerichtet wäre, so hätte eine beträchtliche Erdmenge hinaufgeschafft werden müssen. Sie wäre besonders gross, wenn man die Bretter so legte, wie es in dem Dreiecke *dog* der Fig. 23b gezeichnet ist. Der Auftrag liesse sich etwas verringern durch die im Dreiecke *göe* angegebene Lage der Bretter, die gleichzeitig die Mulde am Scheitel besser ausglich. Immerhin blieb die Aufschüttung aber noch so bedeutend, dass sich für manches ausgeführte Gewölbe 100 Karren Erde und mehr berechnen lassen. Eine solche Menge lässt es fraglich erscheinen, dass die Erde das alleinige Hilfsmittel bildete; musste man aber eine Auffütterung aus Holz vornehmen, so war die Arbeit des Einrüstens um so gekünstelter. Wo ein geeignetes Ma-

terial vorlag, war auch in romanischer Zeit das freihändige Wölben bereits weiter im Gebrauche als man gewöhnlich glaubt. Ich möchte so weit gehen zu behaupten, dass busige Gewölbe der Regel nach freihändig aufgeführt sind.

Immer blieb die Unterschalung eines Gewölbes eine grosse Schwierigkeit; man musste es daher als grosse Errungenschaft ansehen, als man allgemeiner lernte, die Kappen freihändig einzuwölben (siehe hinten Kappengemäuer). Die selbständige Herstellung der vortretenden Rippen auf Lehrbogen und die sodann erfolgende schichtenweise Einspannung leichter busiger Kappen ohne jedes Lehrgerüst ist als die vollendetste Konstruktionsweise der Gotik zu betrachten; sie stand höher als alles, was die Wölbkunst bis dahin geleistet hatte. —

Gotische Kreuzgewölbe mit freihändig ausgeführten busigen Kappen.

Die freihändig ausgeführten Kappen kamen aber trotz ihrer Vorzüge nur da zur Aufnahme, wo Ziegelstein, ein leicht zu bearbeitender Kalkstein (Isle de France) und allenfalls noch Tuffstein das Wölbmaterial bildeten. Gewölbe aus ungefügten, schweren Bruchsteinen sind bis ins XV. Jahrhundert auf Schalung hergestellt. Für diese mied man die Busung wegen ihrer schwierigen Herstellung; das war aber nur durch Änderung der Wölbformen möglich. Die Busung war aus der starken Überhöhung erwachsen, letztere musste man beseitigen. Zu diesem Zwecke die Grate wieder abzufachen, wäre ein Rückschritt gewesen, es wurden daher die Stirnbogen gehoben durch Überhöhung des Halbkreises, besser aber durch den günstigeren Spitzbogen. (Fig. 24.) Bleiben die Kreuzgrate Halbkreise, so muss der Bogenscheitel c bis zur Höhe der Mitte o reichen, damit keine Mulde bei geradem Scheitel oc entsteht.

Gotische Bruchsteingewölbe auf Schalung. Vermeiden der Busung. Spitze Stirn- und Kreuzbogen.

Bei diesem Gewölbe ist zugleich die zweite Bedingung erfüllt, dass die Kreuzlinien trotz der fehlenden Busung zu Graten, nicht zu Kehlen werden. Um ein einfaches, annähernd richtiges Merkmal dafür zu haben, ob Grat oder Kehle zu erwarten ist, zeichnet man am besten die Diagonalansicht des Gewölbes. Bleiben in dieser wie bei Fig. 24 die Projektionen der Bogenhälften bc und ad ausserhalb des Kreuzbogens ao , so entstehen vorspringende Grate; liegen sie umgekehrt innerhalb des Diagonalbogens wie bei Fig. 23a, so kann man auf Kehlen rechnen.

In der Fig. 24 waren die Kreuzgrate als Halbkreise gezeichnet. Gerade für diese kann aber der Spitzbogen grosse Vorzüge haben. Nur bei spitzbogigen Gratlinien ist es überhaupt möglich, ein „überhöhtes“ Kreuzgewölbe ohne busigen Scheitel herzustellen (Fig. 25 rechts).

In der Figur 25 zeigt die linke Hälfte einen rundbogigen Grat, es ist eine Busung für den steigenden Scheitel hier nicht zu vermeiden. Rechts ist ein spitzer Diagonalbogen verwandt, der einen geraden steigenden Scheitel og zulässt. Das mögliche Mass der Steigung bekommt man, wenn man an die Projektion des Spitzbogens od in o eine Tangente legt.

Die Bedeutung des Spitzbogens für die Kreuzlinien wird oft unterschätzt. Selbst an hervorragender Stelle (Viollet-le-duc und auch in den früheren Auflagen dieses Werkes) wird als die gängige Form der Grate der Halbkreis angesehen. Die Beobachtung zeigt aber, dass zahllose, vielleicht gar die meisten Gewölbe der frühen wie der späteren Gotik spitze Grate haben. Hier ist ein wichtiger Hebel für die Einführung des Spitzbogens zu suchen! Schon die romanischen Gewölbe zu Lippoldsberg a. d. W. haben spitze Grate bei geradesteigenden Sandsteinkappen. Die Gewölbe der Gaukirche zu Paderborn (Ende XII. J.) zeigen bei rundbogigen Stirnen hohe, dem Spitzbogen sehr nahe stehende Kreuzbogen. Die Scheitel der Kappen haben eine steile, bis auf eine Verdrückung in der Mitte, geradlinige Steigung. Skizze 26 stellt das Gewölbe dar.

Gleich in Paderborn findet man noch weitere Gewölbe mit spitzen Graten und geradesteigenden Scheiteln, so im Kreuzgang und im Turm des Domes. Letzteres auch wegen seiner

Widerlagsanordnung interessante Gewölbe befindet sich weit oben im Turm, und ist — jedenfalls zur Verkleinerung des Schubes — so stark überhöht, dass der Winkel am Scheitel nur etwa 110° betragen mag. (Fig. 27.)

Es zeigt sich beim Verfolg der Gewölbeentwicklung des XII. und XIII. Jahrhunderts, wie immer wieder und wieder Erwägungen auftraten, welche auf die Einführung des Spitzbogens gebietend hinwiesen. Im vorstehenden sind nur die wichtigsten der Gründe aufgeführt, die sich aus der Formgestaltung herleiten; zu diesen gesellen sich die noch wichtigeren der Festigkeit. Es sind besonders der geringere Schub des Spitzbogens auf die Widerlager und seine an sich günstige Form, die sich für die meisten in Frage kommenden Belastungsfälle (selbst ohne Scheitellast) erstaunlich nahe der theoretischen Stützlinie anschliesst, ganz erhebliche Vorzüge.

Die Aufnahme des Spitzbogens bildet einen der wichtigsten Schritte in der Konstruktionsgeschichte des Mittelalters. So irrig die Ansicht der Laien, welche Gotik und Spitzbogen für unzertrennlich hält, genannt werden muss, so kann nicht geleugnet werden, dass die Einführung dieser Bogenform diejenige Entwicklungsstufe der mittelalterlichen Kunst bezeichnet, welche ein völliges Loslösen von den alten Fesseln bekundet und das mittelalterliche Prinzip, jede Konstruktion von Fall zu Fall aus dem innern Wesen der Sache heraus zu entwickeln, zu voller Geltung bringt. Den alten Streit über die Herkunft des Spitzbogens aufzunehmen, dürfte hier kaum lohnen, da diese Frage ganz verschwindet gegen den Umstand, dass er „richtig verwandt“ ist.

Im vorstehenden ist die stufenweise Umgestaltung des Kreuzgewölbes von den Römern bis zur beginnenden Gotik in Kürze verfolgt, seine weitere Ausbildung in der gotischen Periode selbst wird in den späteren Abschnitten eine eingehendere Erörterung erfahren. Im dargethanen Entwicklungsgange hatte das Mittelschiff eine ausschlaggebende Rolle gespielt. Es handelte sich hier darum, Gewölbe in grosser Höhe mit seitlichem Lichteinlasse und geringem Schube aufzuführen, die sich überdies einer rechteckigen Felderteilung einpassen mussten. Es traten aber noch andere Stellen im Kirchengrundriss auf, bei denen es sich darum handelte, noch weit unregelmässigeren Formen als das Rechteck, nämlich trapezförmige und vieleckige Grundrissgestalten zu bewältigen. Es empfiehlt sich, wenigstens noch an einem derartigen Beispiele die Unzulänglichkeit der römischen Überkommnisse klarzulegen.

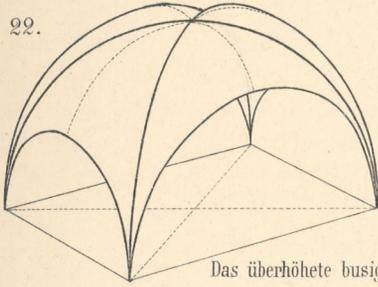
Wie oben bereits erwähnt, bot das Mittelschiff die erste, der Chorumgang aber die zweite grössere Aufgabe bei Überwölbung der Basilika. Der Chorumgang ist aufzufassen als das verlängerte und umgeschwungene Seitenschiff, er verlangte daher dieselbe Überwölbung, die das Seitenschiff erhielt. Aus seiner gebogenen Form aber erwachsen allerlei Schwierigkeiten.

War das Seitenschiff mit der Längszone überdeckt, so war es leicht, dieselbe in Ringform um die Apsis herumzuführen, sobald aber Stichkappen hinzutraten, entstand schon der Übelstand, dass diejenigen am äusseren Umkreise grösser wurden als die inneren. Vergl. Fig. 28.

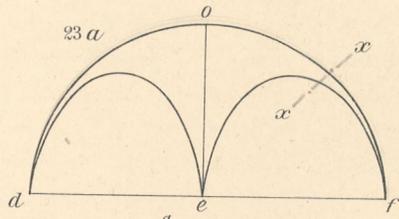
Überwölbung der trapezförmigen Felder des Chorumganges.

Entwicklung des Kreuzgewölbes.

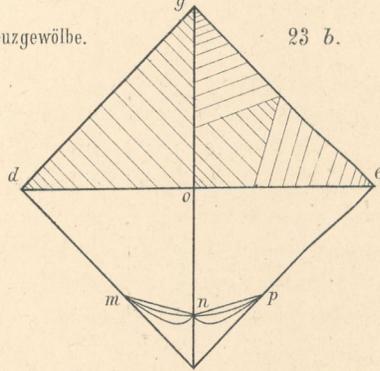
22.



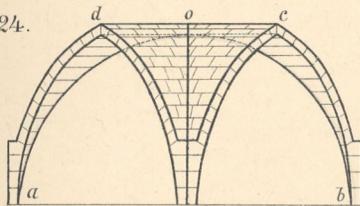
Das überhöhte busige Kreuzgewölbe.



23 b.

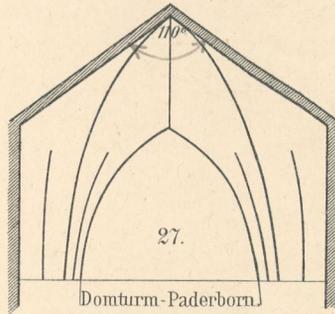
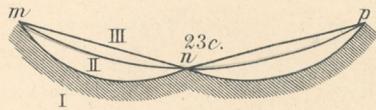
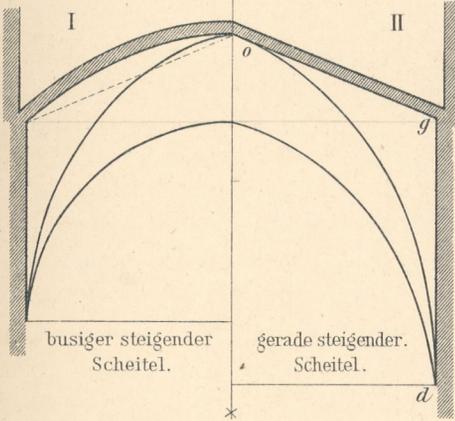


24.



Gewölbe ohne Ueberhöhung u. Busung.

25. *

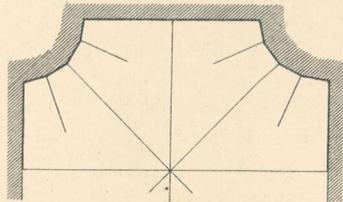


Domturm-Paderborn.

26.



Gaukirche-Paderborn.



Sollte aber gar das Kreuzgewölbe (oder auch die quergelegte Tonne) verwandt werden, so wurde die Verlegenheit noch weit grösser, denn es ergab sich ein trapezartiges Feld (Fig. 29), dessen äussere Seite ab länger ist als die innere cd . Wurden nun über diesen beiden Seiten Halbkreise errichtet und wurde durch letztere eine verbindende Fläche gelegt, so war dieselbe nicht mehr wie sonst ein Halbcylinder, sondern sie hatte die Form eines mit der Spitze nach der Chormitte weisenden halben Kegels. Der Zusammenschnitt dieser Kegelfläche mit der den Chor umziehenden ringförmigen Tonne bildet ein Kreuzgewölbe von abweichender Gestalt.

Für dieses Kreuzgewölbe giebt es, wenn die Versuche mit elliptischen und anderen vom Halbkreise abweichenden Bogenformen ausgeschlossen bleiben, drei Möglichkeiten:

1. die Mittelpunkte r und p des Schildbogens und des Arkadenbogens in Fig. 30 liegen gleich hoch — es steigt dann der Scheitel von n nach m . Der Kreuzpunkt o liegt nicht in der Mitte der Ringtonne,

2. der Scheitel mn ist horizontal — dann liegt der Mittelpunkt p des Arkadenbogens höher als derjenige des Schildbogens r , somit rücken auch die Kapitäle der Arkaden höher hinauf als diejenigen an der äusseren Wand (Fig. 31),

3. die Gewölbe sind so wie beim vorigen Falle, jedoch die Arkadenbogen sind überhöht, so dass die Arkadenkapitäle ebenso tief zu liegen kommen, wie die Wandkapitäle. (Fig. 32.)

Die letzte Anordnung befriedigt am meisten, aber sie hat den Mangel, dass die obere Kegelfläche sich gegen die senkrechte Seitenleibung in der schrägen Linie op einschneidet. Dadurch erhält die Leibungsfläche ein hässliches Aussehen. Will man diesen Zusammenschnitt op wagerecht haben, so muss der unterhalb op liegende Mauerkörper statt des quadratischen Grundrisses x_1 (vergl. Fig. 33) einen trapezförmigen x_2 erhalten. Dieses Auskunftsmittel ist in der That bei Kirchen des XII. Jahrhunderts ausgeführt, es führt aber zu einem ungünstigen trapezförmigen Kapitalgrundrisse abgesehen von weiteren Mängeln. Es erhellt aus dem Vorstehenden, dass die auf den alten römischen Überlieferungen beruhenden Wölbformen hier ebensowenig wie beim Mittelschiffe zu einem wohlthuenden, allgemein brauchbaren Ergebnisse führen. Auch wenn den Wölbungen sich vortretende Gurte sowie Schild- und Arkadenbogen zugesellen, können die Schwächen höchstens mehr versteckt, nicht aber gehoben werden. Als man zu dem in Fig. 22 und 23 dargestellten romanischen Gewölbe gelangt war, konnte man dieses auch über einem symmetrischen Trapeze verwenden (wie überhaupt über jedem dem Kreise eingeschriebenen Grundrisse). Siehe Fig. 34. Es sind sowohl die beiden Kreuzgrate wie die vier Stirnbogen Halbkreise. Die Form hat aber neben konstruktiven Mängeln — siehe hinten unter Aufrissgestaltung der Bogen des Kreuzgewölbes — den ästhetischen, dass der Kreuzpunkt der Grate seitwärts von der höchsten Stelle des Gewölbes liegt.

Eine allen Anforderungen gewachsene Lösung lag für Chorungang und Mittelschiff erst dann vor, als die Gewölbeentwicklung in dem gotischen Kreuzgewölbe ihr höchstes Ziel gefunden hatte. Mit dem gotischen Gewölbe trat ein

Freiheit der
Gestaltung
des gotischen
Gewölbes in
Grund- und
Aufriss.

Prinzip vollendet zu Tage, das, von Stufe zu Stufe unermüdlich errungen, nichts Geringeres in sich schloss als: „Die völlige Freiheit der Gestaltung“. Für diese Wölbart giebt es keine Einengung im Grundrisse und in der Aufrissentwicklung mehr. (Vergl. Fig. 35.)

Das Wölbfeld kann jede beliebige Grundrissform haben. Die umschliessenden Bogen können unabhängig voneinander festgestellt werden als Rundbogen, Spitzbogen, aufgestellter Bogen, ja sie können Flachbogen, Ellipse und Parabel sein, schliesslich auch die Gestalt einer mathematisch ermittelten Stützlinie annehmen.

Genau dasselbe gilt für die Kreuzbogen. Die gleiche Freiheit besteht ferner für die gegenseitige Höhenlage von Schlussstein und Bogenscheitel. Endlich können die Rippen in zwangloser Weise vervielfältigt und zu den wunderbarsten Stern- und Netzfiguren zusammengestellt werden. Grenzen werden der gotischen Gewölbbildung überhaupt nur gesetzt — durch die Gesetze des Gleichgewichts der Kräfte und durch die Forderungen der Schönheit.

Diese Erfolge in der „Formgestaltung“ sind erstaunlich, durchaus ebenbürtig stellen sich ihnen zur Seite diejenigen, welche sich auf die „Herstellungsweise“ beziehen und die im letzten Endziele darauf hinauslaufen, die Masse des toten Stoffes sowie den Umfang der rohen Arbeit einzuschränken.

Um die Ziele der mittelalterlichen Bauweise richtig zu verstehen, ist es gut, sie vergleichsweise der römischen gegenüberzustellen.

Den Römern gestattete ihre Konstruktionsweise bei Aufwendung bedeutender Massen eine ziemlich grosse Freiheit für die Form. Sie nutzten diese Freiheit aber nicht aus, sondern legten die Form aus architektonischen Gründen in Fesseln. Für Bogen und Gewölbe erhoben sie den Halbkreis zu einer unabänderlichen typischen Bauform, die sich in gleiche Linie stellt mit den von den Griechen ihnen überkommenen Säulenordnungen.

Das Mittelalter schlägt den entgegengesetzten Weg ein, es löst die bauliche Gestaltung vom äusseren Zwange der Form und giebt sie dem künstlerischen Schaffen frei, dafür überantwortet es dieselbe aber umgekehrt gerade der strengen Herrschaft der Konstruktion, welche mit den geringsten Massen arbeitet.

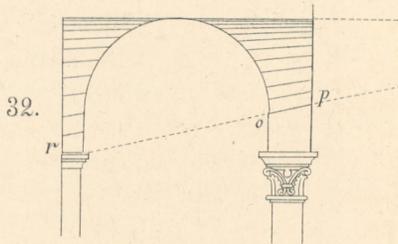
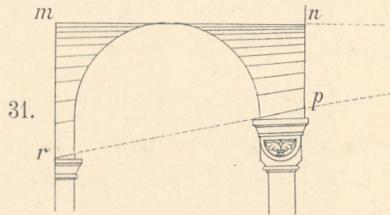
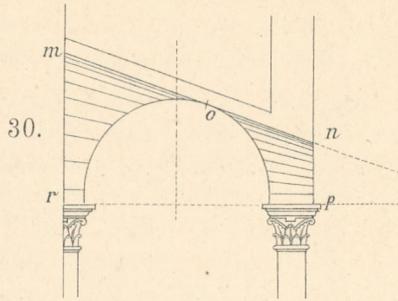
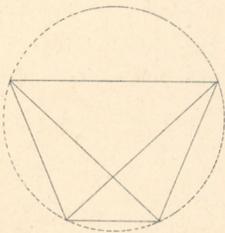
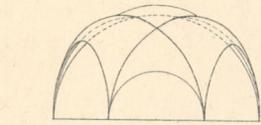
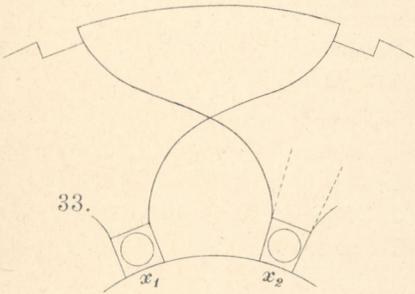
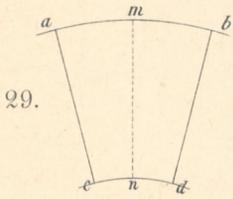
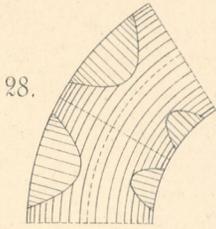
Der Barockstil verschmäht beide Fesseln er löst sich von strenger Form und Konstruktion, an deren Stelle setzt er in den Vordergrund die künstlerische Laune.

Für den römischen Baumeister lag die Bauform von vornherein fest, derselben musste sich seine Konstruktion anpassen. Der gotische Meister musste die Form mit und aus der Konstruktion bilden und ihr sodann das künstlerische Gepräge geben; er hatte vielleicht einen mühsameren Weg, aber nur auf diesem konnte er seine Aufgaben in einer Richtung lösen, die dem Römer nicht zugänglich war.

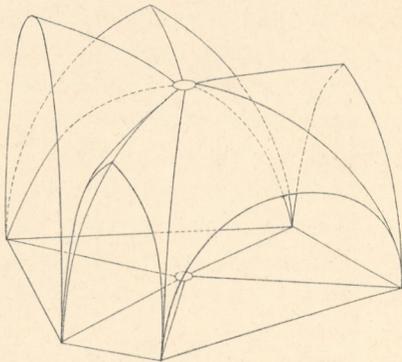
Der Unterschied tritt besonders hervor in der Einschränkung der Masse. Während die römischen Gewölbe selten unter 1,2 m, oft aber selbst 2—3 m Scheitelstärke aufweisen, und auch noch die romanischen Wölbungen bei mittleren Spannweiten eine Stärke von 40—50 cm und mehr haben, lassen sich gotische

Tafel V.

Gewölbe über unregelmässigen Grundrissen.



35.



Sterngewölbe konstruieren, die bei angemessener Ausführung der Rippen selbst über weiten Räumen nur einer Kappenstärke von 10 cm und weniger bedürfen. Die Ersparnis an Widerlagsmasse hält damit gleichen Schritt, — diese tritt überhaupt nur noch auf, wo Kräfte wirken; demgemäss zeigt der vollendete gotische Kirchenbau eine klare Trennung in ein tragendes Gerüst und in füllende Flächen.

Das lässt sich am Bau von oben bis unten verfolgen. Im Gewölbe bilden die Kappen leichte füllende Flächen, während die Rippen zu tragen haben, letztere übergeben ihre senkrechte Kraft Pfeilern, deren Dicke nur gering zu sein braucht; den wagerechten Schub dagegen überliefern sie kräftigen, widerstehenden Strebebogen und Strebepfeilern. Die Umfassungswand hat auch hier nur abzuschliessen, sie besteht je nach ihrer Bestimmung aus Stein oder selbst aus einer frei sich ausdehnenden Glasfläche.

Die Wirkung der Kräfte muss bei beiden Baurichtungen als eine grundverschiedene angesehen werden. Ein echt römischer Bau bildet einen einzigen leblos ruhenden, gewaltigen Körper, der zu vergleichen ist mit einem ausgehöhlten Steine oder wenn man will mit einem gebrannten Thongefässe. Gehalten wird das Ganze durch die inneren Kräfte, die von der Festigkeit des Stoffes abhängen.

Das gotische Bauwerk gleicht mehr einem lebendigen, elastischen Systeme zahlreicher Einzelkörper, die durch aufeinander wirkende Kräfte in einer bestimmten Gleichgewichtslage gehalten werden. Tritt eine äussere Formveränderung ein, senkt sich zum Beispiel die Grundmauer einerseits ein wenig, so wird das römische Werk gleich einem Gefässe in einige Stücke zerbersten; der gotische Bau hingegen wird mehr eine Verschiebung und Verdrückung der einzelnen Teile zeigen, die in etwas veränderter Stellung wieder eine Ruhelage anzunehmen suchen.

Der Gegensatz der beiden grossen Konstruktionsabschnitte des Römertums und des Mittelalters ist nach alledem ein einschneidender, er findet aber in der Geschichte leicht seine Begründung. Die Römer waren ein weltbeherrschendes Volk, ihnen standen unerschöpfliche Reichtümer und zahllose sklavische Arbeitskräfte zur Verfügung. Für sie ergab es sich aus der Natur der Sache, ohne Ansehung der Mittel so zu bauen, dass ein denkender Meister genügte, gewaltige Werke selbst in abgelegenen Gebieten durch Tausende wenig geübter Hände errichten zu lassen.

Unter anderen Bedingungen schuf das Mittelalter, seine Mittel waren massvoll, die Arbeitskräfte gezählt. Galt es dennoch Grosses zu leisten, so musste der Umfang der rohen Masse und Arbeit beschränkt werden, kein Bauglied durfte Überflüssiges enthalten. Das war aber nur erreichbar durch ein vollendet durchgebildetes Konstruktionssystem, vom Meister sorgsam durchdacht, von kundigen mitdenkenden Werkleuten vollführt. Was die Römer vermochten durch Fülle und Macht, wird hier erworben durch die gesteigerte Leistung des Geistes.

Wenn die Auffassung des Römertums und des Mittelalters in ihren grössten Gegensätzen vorgeführt sind, so darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch alle Zwischenstufen erkennbar und je nach Lage der Dinge berechtigt sind.

Es sei bei dieser Gelegenheit auf einen Aufsatz Schlöbckes über „Stilformen und Arbeitsgesetz“ in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins 1895 verwiesen.

2. Die Konstruktion der Gewölbe. Allgemeines.*

Römische
Wölb-
flächen, —
gotische
Wölbflächen.

Der wichtigste Unterschied des römischen von dem gotischen Gewölbe liegt in dem Verhältnisse der dasselbe bildenden Flächen zu den begrenzenden Linien. In ersteren sind diese Flächen, also die Mantelflächen der das Volle des Gewölbes bildenden Körper, des Halbcylinders oder der Halbkugel, die bestimmenden Teile in der Weise, dass bei dem Kreuzgewölbe wie bei der über dem Vierecke gespannten Kuppel (dem sogen. böhmischen Gewölbe) die begrenzenden Linien durch Ausschnitte aus diesen Körpern sich bilden. Nach dem gotischen Prinzip wird von vornherein die zu überwölbende Grundfläche durch die aus dem angenommenen Systeme hervorgehenden Linien geteilt, über diesen Linien werden dann die einzelnen Bogen geschlagen, welche als Gerippe des Ganzen das die eigentliche Überdeckung bewirkende Kappengewölbe zwischen sich aufnehmen und tragen.

Es sei Fig. 36 die Grundrissform eines römischen Kreuzgewölbes, welches dann im Aufrisse aus vier gleichen Ausschnitten aus dem Halbcylinder *abc*, *bce* etc. besteht. Über den Seiten des Raumes *ab*, *bc* wölben sich also Halbkreise und ein jeder diesen Seiten parallel gelegte Schnitt durch die Gewölbefläche *fg* oder *hi* bildet ein Segment desselben Halbkreises, durch dessen tiefsten Punkt die Höhe des Diagonalbogens gegeben wird, so dass derselbe sich durch diese Segmente bestimmt. Die Ausführung geschieht über einem Lehrgerüste, welches gewissermassen das Volle des Gewölbes darstellt, dessen Aussenfläche daher der innern Gewölbefläche entspricht. Auf diese Aussenfläche werden die das Gewölbe bildenden Steine oder Ziegel entweder in einer zu den verschiedenen Segmenten radialen Stellung hingemauert (Fig. 30 *a*), oder aber es wird darauf nach altrömischer Weise ein aus Mörtel und Ziegelbrocken bestehender Guss gebracht.

Gemauerte
Gewölbe —
Guss-
gewölbe.

Im ersteren Falle haben die einzelnen Steine entweder eine keilartige Form, d. i. ihre Seitenflächen divergieren nach der Richtung der Radien, und die dazwischen befindliche Mörtelfuge nimmt dieselbe Gestalt an (Fig. 37), wenn nämlich das Ganze aus behauenen Steinen oder Formziegeln gemauert wird; wenn dagegen nur gewöhnliche Ziegel zur Disposition stehen, so behalten dieselben in der Regel ihre parallelepipedische Form, und nur die Mörtelfuge erhält eine um so stärkere Divergenz nach oben (Fig. 37 *a*). Es bindet also dann die Mörtelfuge die Ziegel an ihre Stelle, und zwischen denselben kann die keilige Fuge nach unten nicht weichen.

Beim Gussgewölbe ist die Form der gebundenen Steine eine ebenso unregelmässige, wie die der bindenden Mörtelmasse, und gerade in dieser Unregelmässigkeit liegt die Haltbarkeit des Ganzen, indem der Mörtel, in die Vertiefungen in und zwischen den Steinen und Ziegelbrocken eindringend, das Ganze zu einer Masse verbindet.

Nach der ersten Ausführungsweise ist daher die Lage eines jeden Steines gesichert, und kann das Lehrgerüst herausgenommen werden, sobald das Ganze

* Das vorliegende Kapitel ist ungeachtet einiger Wiederholungen wegen der darin enthaltenen grundlegenden Anschauungen Ungewitters unverändert aus den früheren Auflagen übernommen.

geschlossen ist, nach der zweiten erst dann, wenn die ganze Masse erhärtet ist. Es entsteht demnach durch dieselbe eigentlich nur eine aus anorganischen Körpern gebildete Decke, welche die bogenförmige Gestalt nur deshalb hat, damit der Last nicht allein die relative, sondern auch die rückwirkende Festigkeit der Masse entgegensteht, während man über einer kleineren Fläche auch eine ebene Decke daraus hätte bilden können und wirklich im 12. Jahrhundert sogar Fensterstürze daraus bildete.

Die Ausführung einer Kuppel kann gleichfalls auf beiderlei Weise geschehen, durch einen auf das halbkugelförmige Lehrgewölbe zu bringenden Guss oder durch wirkliches Heraufmauern. Ausführung
der Kuppel.

In der Art und Weise der letzteren Ausführung bringen die besonderen Eigenschaften der Halbkugel eine wesentliche Veränderung hervor und ermöglichen eine wichtige Vereinfachung. Das Tonnengewölbe und das daraus gebildete römische Kreuzgewölbe bestehen aus einzelnen wagerechten, geradlinigen Schichten, die sich in dem den Halbcylinder erzeugenden Halbkreise oder Segmente verspannen, mithin erst nachdem derselbe geschlossen ist, eine gesicherte Lage erhalten. Einen Stein aus solcher Schicht zeigt Fig. 38. Im Kuppelgewölbe dagegen bildet eine jede der gleichfalls wagerecht liegenden Schichten einen Kreis. Ein jeder Stein einer solchen Schicht erhält etwa die in Fig. 38a gezeigte Gestaltung, verspannt sich also erstlich als Bestandteil des den Durchschnitt der Kuppel bildenden Halbkreises und sodann des Kreises, den eine jede horizontale Schicht ausmacht. Er erhält also schon eine gesicherte Lage, sobald diese Schicht geschlossen ist. Kann daher letzteres ohne Lehrgerüst geschehen, so ist ein solches überhaupt überflüssig. Man denke sich eine von Ziegeln auszuführende Kuppel, in dem unteren Drittel nähert sich die Lage der Schichten so sehr der Wagerechten, dass die einzelnen Ziegel ohne Bindemittel aufeinander liegen bleiben. Weiter hinauf tritt der Mörtel in Kraft und zwar um so leichter, als er dicker genommen wird, und die Arbeit langsamer vor sich geht, so dass er anziehen kann. Zugleich aber werden mit jeder oberen Schicht die Radien der in der wagerechten Ebene liegenden Kreise kleiner, so dass die einzelnen Ziegel dann, wenn die Bindekraft des noch nassen Mörtels nicht mehr ausreicht, einstweilen gehalten werden können. Immerhin aber bleibt das Schliessen der Kuppel eine schwierige Arbeit durch die Bemühung sowohl die Ziegel an ihrer Stelle zu halten, wie durch die Notwendigkeit dieselben den mit kleineren Radien geschlagenen obersten Kreisen anzupassen. Zu der ganzen Ausführung bedarf man eines Mittels, welches jedem einzelnen Steine seine Stelle anweist. In der Romberg'schen Zeitschrift für praktische Baukunst hat der verstorbene v. LASSAULX ein solches angegeben, welches darin besteht, dass in dem Centrum der Kuppel eine Stange von der Länge des Radius angebracht ist, welche sich in der horizontalen und vertikalen Ebene um diesen Mittelpunkt dreht, daher durch ihre Berührung einem jeden Steine seinen Platz bestimmt.

Die obengenannten Stabilitätsverhältnisse erleiden eine Abänderung, wenn die Kuppel über einem Vierecke gewölbt ist, für die unteren Schichten derselben. Eine derartige Kuppel zeigt Fig. 39 im Grundrisse, Fig. 39a im Durchschnitte nach *eg* und Fig. 40 in Perspektive. Es ist darin das Quadrat *abcd* der zu Ausführung
der
Stutzkuppel.

überkuppelnde Raum, mithin der Radius der Kuppel $= aC$ und der nach der Linie ab durch dieselbe gelegte Schnitt ein Halbkreis. Während nun in der über dem Kreise geschlagenen Kuppel eine jede wagerechte Schicht einen vollen in sich verspannten Kreis bildet, dessen Radius mit jeder folgenden abnimmt, so ist das hier erst dann der Fall, wenn die Schichten dem in das Quadrat beschriebenen Kreise entsprechen, d. h. oberhalb der sich über den Seiten des Quadrates wölbenden Halbkreise, also von der in Fig. 39a mit fg bezeichneten Schicht an. Alle unterhalb fg gelegenen Schichten bilden nur noch Kreissegmente, die, sich zwischen den Seiten der Grundform verspannend, ihren Druck unmittelbar auf diese ausüben.* Sie würden dies ganz in derselben Weise thun, wenn ihre Bogen statt aus dem Mittelpunkte C mit ganz willkürlichen Radien geschlagen wären, d. h. wenn z. B. die in der Höhe no liegende Schicht statt des Segmentes hik das Segment hlk oder hmk bildete. Es wird daher die Beibehaltung des Mittelpunktes C für die in der wagerechten Ebene liegenden Kreise nur durch die Rücksicht auf die von em an beginnenden Schichten geboten, welche auf den darunter befindlichen ihre Stützpunkte finden müssen. Denkt man sich nun die beiden seither entwickelten Systeme des Kreuzgewölbes und des Kuppelgewölbes miteinander verbunden, so entstehen allmählich alle Eigenschaften des gotischen Gewölbes von selbst. Es handelt sich bei dieser Verbindung darum, dem Kreuzgewölbe die dem Kuppelgewölbe eigentümliche gesicherte Lage einer jeden Schicht, oder umgekehrt dem Kuppelgewölbe die Teilung der grossen Fläche in vier kleinere durch die Diagonalbogen und somit beiden eine leichtere Ausführbarkeit anzueignen. Fig. 41 zeigt zunächst den wagerecht durch das Kreuzgewölbe Fig. 36 gelegten Durchschnitt. In Fig. 39 verspannen sich, wie gesagt, die unteren Teile, die Füsse der Kuppel, zwischen den über den Seiten des Raumes geschlagenen Bogen, wie Fig. 40 in der Perspektive zeigt. Ebenso könnten sich dieselben zwischen den über den Seiten und den Diagonalen geschlagenen Bogen des Kreuzgewölbes verspannen, mithin die Kappenflächen in dem Grundrisse 41 statt durch gerade Linien durch Segmentbogen begrenzt sein, wie Fig. 41a zeigt. Sofort wird, wenn die Lage des in dem Diagonalbogen liegenden Punktes b gesichert ist, auch die Lage der beiden Schichten ab und bc es sein, also der Unterschied in der Ausführung im Vergleiche zum Kuppelgewölbe nur noch darin liegen, dass, während man im letzteren nur zur Ausführung der über die Seiten geschlagenen Bogen Lehrbogen bedurfte, hier solche auch für die Diagonalen nötig werden. Während hierbei sämtliche Bogen sowohl über den Seiten wie den Diagonalen des Raumes unverändert bleiben, tritt doch in den Stabilitätsverhältnissen des ganzen Gewölbes eine wesentliche Veränderung ein. In Fig. 41 verspannt sich der einzelne Stein, wie schon gesagt, nur als Bestandteil des den Cylinderteil

Vereinigung
der Eigen-
schaften von
Kuppel und
Kreuzge-
wölbe.

* Es ist zu beachten, dass sich nicht, wie es nach Obigem scheinen könnte, die kleinen liegenden Ringschichten der Zwickel lediglich mit ihren Enden zwischen den Wänden verspannen. In der Längsrichtung der Schichten kann zwar auch eine ringförmige Verspannung stattfinden, der eigentliche Gewölbedruck der Kuppel überträgt sich aber von oben nach unten in meridionaler Richtung von der einen Schicht auf die andere, bis er in die Umschliessungswände übergeht. Siehe hinten S. 57.

erzeugenden Halbkreises oder Segmentes, drückt also erst da auf den Diagonalbogen, wo der Bogen, dem er zugehörig ist, darauf trifft. So wird der Stein *s* erst in *t* den Diagonalbogen belasten. In Fig. 41*a* verspannt er sich dagegen in dem Segmente *ab*, drückt also auf den in derselben Höhe gelegenen Stein des Diagonalbogens und verpflanzt in dem letzteren seine Last nach unten.*

Während also nach Fig. 41 der unterste Punkt des Diagonalbogens die volle Last des Halbkreises, jeder weiter vorgeschobene Punkt die eines kleineren Segmentes, und der Scheitel schliesslich gar nichts mehr zu tragen hat, tritt hier das umgekehrte Verhältnis ein, indem auf den Scheitel unmittelbar das Segment der Schicht presst, der unterste Punkt aber von dem Kappengewölbe gar nicht, sondern allein durch den sich nach unten fortpflanzenden Druck des Bogens selbst belastet wird.

Dieser überaus beträchtlichen Belastung des Scheitels zu widerstehen ist die gleichsam zufällig aus der Durchdringung zweier Halbcylinder entstandene Diagonalbogenlinie des römischen Kreuzgewölbes wenig geeignet, insofern sie, wie Fig. 36 *bnd* zeigt, auf eine ansehnliche Länge am Scheitel *n* sich der Wagerechten nähert, also gerade da, wo die Last am grössten ist, ihre schwächste Stelle hat. Sie musste daher durch eine reine Bogenlinie ersetzt werden, also zunächst durch den Halbkreis. Nehmen wir nun, immer bei dem quadratischen Grundrisse stehen bleibend, den Halbkreis als Diagonalbogen und das ganze Gewölbe nach römischem Prinzip in der Weise gebildet an, dass derselbe seine wirkliche diagonale Durchschnittslinie abgäbe, so wird der rechtwinklige Durchschnitt durch ein Viertel des Gewölbes eine auf der kleinen Axe stehende Halbellipse sein, die sich aus dem Halbkreise in umgekehrter Weise entwickelt wie in Fig. 36 der elliptische Diagonalbogen aus dem über die Seite geschlagenen und das Gewölbe erzeugenden Halbkreise. Derartige Gewölbe finden sich noch in einzelnen frühgotischen Werken, an dem Kreuzflügel der Stiftskirche zu Wetter** und, wenn wir nicht irren, der Collegiatkirche zu Mantes. Immerhin zeugen sie von einer noch unvollendeten Durchbildung des gotischen Systemes, dessen Konsequenz darauf führte, sämtliche Bogen sowohl über den Diagonalen wie über den Seiten als das Gerippe des ganzen Gewölbes durch reine Bogenlinien d. i. durch Kreisteile zu bilden.

Halbkreis-
förmige
Kreuzgrate.

Denkt man sich nun auch die letzteren Bogen wieder als Halbkreise, so kommt man auf das Kuppelgewölbe zurück, und allein der wagerechte Durchschnitt der Kappenflächen kann die Unterscheidung ausmachen. Der Scheitel der Diagonalbogen sitzt aber wie beim Kuppelgewölbe hoch über den über den Seiten des Raumes geschlagenen Bogen, und es entsteht selbst schon bei quadratischer, noch mehr aber bei rechteckiger Grundform über den letzten Bogen ein Höhenverlust, welcher der Differenz der Seite und der Diagonale entspricht. Gewölbe dieser Art finden sich z. B. im Dom zu Trient.*** Um diesen in praktischer wie ästhetischer Hinsicht gleich nachteiligen Höhenverlust zu vermeiden, war es notwendig, die

* Letztere Annahme ist nur teilweise zutreffend, vergl. darüber hinten Fig. 117—120.

** Nach SCHÄFER (Centralblatt der Bauverwaltung 1885) nicht zu Wetter, sondern in der Godehardskapelle zu Mainz.

*** Mittelalterliche Kunstdenkmäler im österreichischen Kaiserstaate.

Höhen der Bogen von ihrer Spannung unabhängig zu machen, zunächst den über die Seiten geschlagenen Bogen eine grössere Höhe zuzuteilen.*

Spitzbogen
über den
Seiten.

Die oben angeführte Belastung der Scheitel hatte aber schon vorher darauf geführt, den über den Seiten der Räume geschlagenen Bogen eine diese Punkte verstärkende Form zu geben, also den Spitzbogen für den Rundbogen zu substituieren. Über die Entstehung und Herkunft dieser Bogenformen sind bereits so viele Meinungen verbreitet, dass wir uns hüten werden, eine neue Hypothese zu wagen, zumal dieselbe weitaus nicht die ihr beigemessene Wichtigkeit hat und ein völlig gotisches Gewölbe recht wohl ohne einen einzigen Spitzbogen gedacht werden kann.

In der Wahl der Radien des Spitzbogens aber lag ein ausreichendes Mittel, eine jede beliebige Höhe zu erreichen, mithin die Höhenverhältnisse der Scheitel nach Belieben zu regeln, somit jenen Höhenverlust zu vermeiden.

Schichten-
lage in den
Kappen.

In dem romanischen Tonnengewölbe und Kreuzgewölbe liegen die Fugen der einzelnen Schichten parallel den die gegenüberliegenden Bogenscheitel verbindenden Linien. Dieselbe Fugenrichtung wurde auch in dem gotischen Kreuzgewölbe zunächst beibehalten und nur in den späteren Ziegelbauten durch eine andere verdrängt. In den Figuren 41 und 41a ist dieselbe angenommen. Fig. 42 zeigt dann die Ansicht eines nach dieser Weise bis auf etwa die Hälfte der Höhe gemauerten Gewölbes, wonach also auf dem Diagonalbogen die Wölbsteine entweder auf Kehrung gehauen würden, wie Fig. 41a zeigt, oder nach Fig. 42b eine hakenartige Form erhielten. Im ersteren Falle würde sowohl die durchgehende Fuge als die spitzwinklige Gestalt der Steine einen Übelstand bilden und letzterer sich steigern, wenn die Kappenschichten, wie 41a zeigt, nach Segmentbogen gebildet sind. Im letzteren Falle würde die Bearbeitung der Hakensteine umständlich sein und keinen entsprechenden Nutzen gewähren, da der dadurch bewirkte Verband der Kappenflächen über dem Diagonalbogen durchaus nicht nötig ist. Hiernach liegt es am nächsten, die Diagonalbogen für sich bestehen zu lassen und aus radial gestellten Steinen nach Fig. 43 zu bilden, so dass die einzelnen Kappenschichten sich gegen dieselben verspannen. Hiernach war das System der Rippen- gewölbe schon gefunden und es bedurfte nur einer Verstärkung des Diagonalbogens und der Annahme einer selbständigen Form für denselben, um von der Fig. 43 in die Gestaltung von Fig. 43a zu gelangen. Gemäss der eben angeführten Unterscheidung des gotischen Gewölbes von dem römischen, stellen sich demnach als charakteristische Eigenschaften des ersteren heraus:

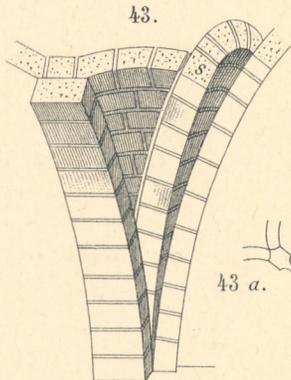
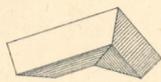
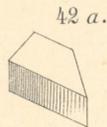
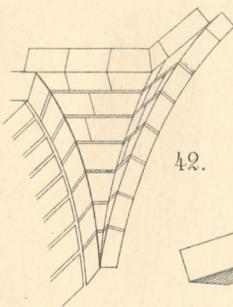
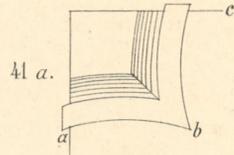
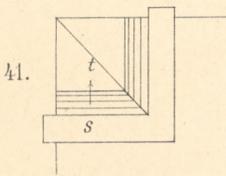
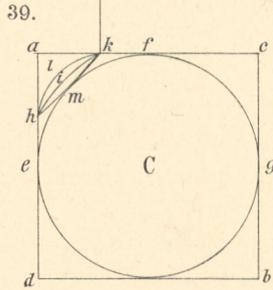
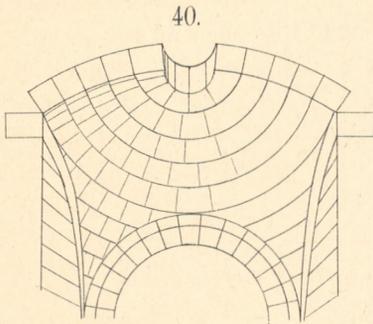
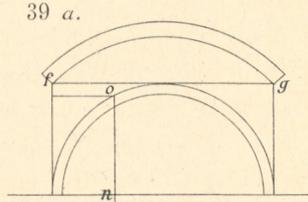
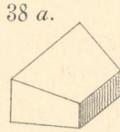
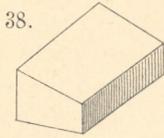
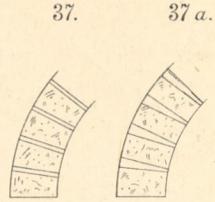
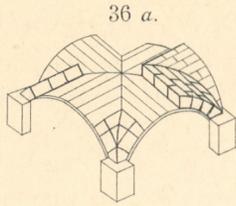
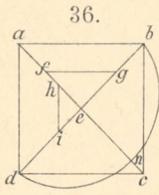
Vortretende
Rippen.

1. die Bildung der Kappenschichten nach Segmentbogen, d. i. die Busung oder der Busen,
2. die Regelung der Höhenverhältnisse der einzelnen Bogen,
3. die selbständige Ausführung und Behandlung derselben.

Ferner aber wird aus dem Gesagten erhellen, dass das gotische Kreuzgewölbe

* Der Höhenverlust ist relativ, je nachdem man vom Scheitel des Schildbogens oder vom Gewölbewiderlager als festem Punkte ausgeht.

Tafel VI.



die früheren Wölbungsregeln des römischen Kreuzgewölbes und der Kuppel in sich vereinigt und sich gewissermassen als notwendige Folge derselben darstellt.

Die Benennung der Bestandteile des gotischen Kreuzgewölbes.

Es sei Fig. 45 der Grundriss des zu überwölbenden Raumes, in welchem die Anordnung des Gewölbes angegeben ist. Es heissen dann die Grundrissfiguren, hier die beiden Rechtecke $abcd$ und $bdef$, die Gewölbejoche oder Gewölbefelder; die über den Seiten der Joche ab , be , ac , ef usw. sich bildenden Bogen nennt man im allgemeinen Stirnbogen oder Randbogen, insofern sie aber durch Mauern geschlossen sind, Schildbogen. Benachbarte Joche scheidende Bogen, wie bd , welche also anstatt der Mauern ac eintreten, heissen Gurtbogen oder auch, wenn sie zwei Kirchenschiffe trennen, Scheidebogen. Über den Diagonalen der Joche liegen die Diagonal- oder Kreuzbogen, welche sich einfachsten Falles nur durch die Kantenlinien der in ihnen zusammenstossenden Kappenflächen bilden und dann Gewölbegrate genannt sind. Treten sie durch einen mehr oder weniger reich profilierten Körper vor der Kappenflucht vor, so heissen sie Rippen, also je nach ihrer Grundrisslage, Gurtruppen, Kreuzrippen, Schildbogenrippen. Die höchsten Punkte der Bogen sind die Scheitel. Die Länge der Grundlinie, über die der Bogen gespannt ist, heisst die Spannung oder Spannweite, die Höhe des Scheitels über den Widerlagern die Pfeilhöhe. Man sagt also z. B. der Bogen ab hat bei 5 m Spannung 3 m im Pfeil. Die sich zwischen die erwähnten Bogen spannenden Gewölbeflächen sind die Kappenflächen, oder, körperlich genommen, die Kappen; das Segment, nach welchem die Kappenschicht gemauert ist, heisst der Busen.

Bei komplizierteren Grundrissen der Stern- und Netzgewölbe fällt eine Benennung der einzelnen Bogen in der Regel weg, sämtliche Rippen oder Grate bezeichnet man wohl als die Reihungen des Gewölbes. Immerhin sind auch hier noch Unterscheidungen möglich in Hauptrippen, Zwischenrippen, Firstrippen usw. Das Werkstück, in welchem zwei oder mehrere Rippen entweder sich durchkreuzen oder zusammentreffen, ist der Schlussstein.

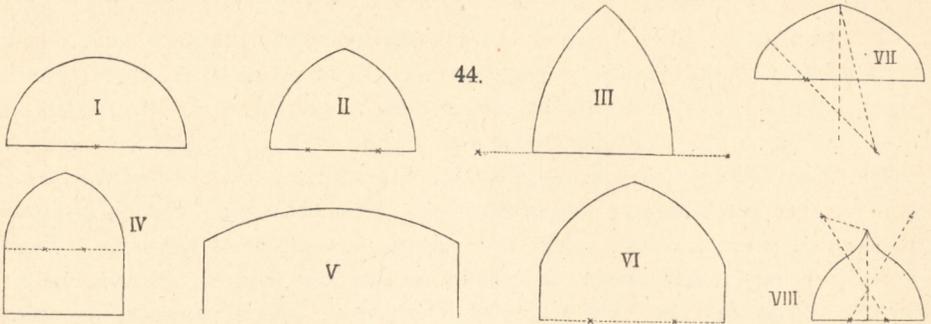
3. Die einfachen Kreuzgewölbe.

Die Aufrissgestaltung der verschiedenen Bogen des Kreuzgewölbes.

Das gotische Kreuzgewölbe gestattet den einzelnen Bogen in ihrer Aufrissentwicklung die grösste Freiheit. Sobald die eine Grundbedingung — das Gleichgewicht der Kräfte — erfüllt ist, kann jeder einzelne Bogen seine unabhängige eigene Gestaltung annehmen. Demgemäss zeigen die Wölbungen der Gotik die wechselvollste Mannigfaltigkeit. Die gängigsten Bogenformen sind neben dem Halbkreise (Fig. 44 I) der mehr oder weniger schlanke Spitzbogen (II, III) und der aufgestelzte oder überhöhte Spitzbogen (IV). Die Schenkel des Spitzbogens sind meist je aus einem, zuweilen aber auch aus mehreren Mittelpunkten geschlagen. (Fig. 48, 49). Bei geringer Konstruktionshöhe herrscht der Flachbogen (V) und der Flachspitz- oder Knickbogen oder spitzer Stichbogen (VI), letzterer besonders in der englischen, aber

Bogen-
formen.

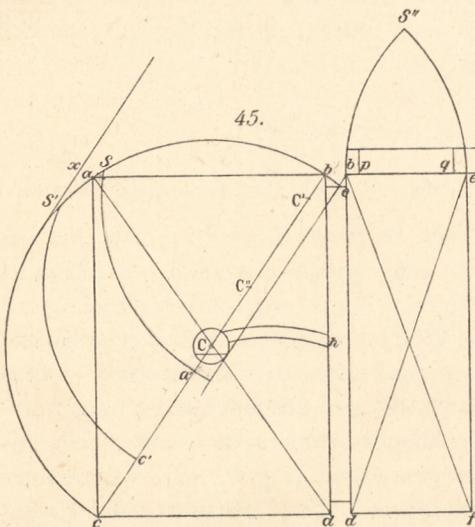
auch in der deutschen profanen Gotik. In der späten, besonders englischen Gotik kommt auch viel der gedrückte Spitzbogen oder Tudorbogen vor, welcher aus 4 Mittelpunkten geschlagen wird (VII) sowie der mehr dekorative Eselsrückenbogen



(VIII). Schliesslich treten vereinzelt die Ellipse, der Korbbogen, Hufeisenformen und andere auf. Die Vorherrschaft hat wegen seiner Vielseitigkeit der Spitzbogen.

Bei aller Ungebundenheit der Bogenformen können bestimmte Rücksichten darauf führen, die Bogen in gesetzmässige Beziehungen zu einander zu bringen. Diese äussern sich einmal bezüglich der Halbmesser, mit denen die Bogen geschlagen sind, sodann bezüglich der gegenseitigen Höhenlage der Scheitel. Im ersteren Falle ist die nächstliegende Konstruktion diejenige, nach welcher sämtliche Randbogen mit dem gleichen Radius wie die Kreuzbogen geschlagen werden. Siehe Fig. 45.

Der Kreuzbogen, der hier als Halbkreis angenommen ist, ist neben der Diagonale niedergeschlagen. Von Endpunkte b aus sind die Jochseiten ab und ac auf der Diagonale als $a'b$ und $c'b$ abgetragen und über ihnen Spitzbogen errichtet mit dem Radius des Halbkreises. Die linksseitigen Zirkelpunkte der Spitzbogen fallen mit dem Mittelpunkte des Halbkreises C zusammen, die rechtsseitigen Punkte liegen auf der Grundlinie in C' bez. C'' .



Bei dieser Konstruktion haben alle Bogen in ihrem unteren Teile genau dieselbe Form, so dass sie sich, wie die Figur zeigt, mit ihrer einen Hälfte ineinander schieben lassen.

Es bietet diese Gestaltung grosse Vorzüge für den Gewölbeanfang, sie giebt ihm ein regelmässiges Aussehen und erleichtert seine Ausführung, besonders wenn zahlreiche Gliederungen fächerartig auseinander wachsen.

Der allgemeinen Verwendung dieser Anordnung stellen sich aber häufig Erschwerungen entgegen. Zunächst ist es oft hinderlich, dass die Höhenlage der Bogen-scheitel durch sie festgelegt ist;

Gleichheit der Halbmesser. Höhenlage der Scheitel.

die Scheitel der Schildbogen liegen niedriger als die Gewölbemitte und weichen bei rechteckigem Joche auch untereinander ab und zwar um so merklicher, je mehr die zu überwölbende Grundform vom Quadrate sich entfernt. Zugleich aber werden wenn z. B. die Seiten des Joches sich verhalten wie 1:3, in *bedf* die über den kurzen Seiten geschlagenen Bogen eine übermässig spitze (lanzettartige) Form annehmen (siehe *bS''e* in Fig. 45).

Eine derartige Gestalt hat zwar für Schildbogen nicht geradezu konstruktive Nachteile und beeinflusst nur die etwaige Anbringung eines Fensters; desto entschiedener aber treten jene Nachteile an den Tag, wenn man sich die Wandflucht *be* durch einen Gurtbogen ersetzt denkt, welcher, wenn er dem Schildbogen konzentrisch sich bewegt, an der inneren Leibung eine noch spitzere Gestalt erhält. Hierdurch aber wird die charakteristische Eigenschaft des Spitzbogens, die Tragfähigkeit seines Scheitels, in übermässiger Weise gesteigert, so dass jede auf die Schenkel wirkende Last oder Seitenkraft den Schlussstein aufwärtstreibt und nur durch eine entsprechende Belastung des Scheitels ausgeglichen werden kann. Noch mehr macht sich ein solcher Nachteil geltend, wenn dem in *e* wirkenden Seitenschube dieses Bogens *pq* der eines viel weiter gespannten *ii* entgegenwirkt. Nicht allein wird der letztere die Rolle jener auf die Schenkel von *be* wirkenden und den Scheitel aufwärtstreibenden Kraft übernehmen, sondern er wird auch in dem auf ein Minimum reduzierten Seitenschube *be* durchaus keinen Widerstand finden und daher eine wesentliche Verstärkung des Pfeilers *e* notwendig machen.

Die Abhängigkeit der Scheitelhöhe von der Wahl des Halbmessers kann somit unbequem werden, ja es kann sogar erforderlich sein, in erster Linie die Höhenlage der Scheitel für die einzelnen Bogen nach ganz bestimmten anderen Forderungen festzulegen. So können verschiedene Gründe verlangen, dass entweder sämtliche Scheitel in gleicher Höhe liegen, oder dass der Scheitel der Kreuzbogen, also die Gewölbemitte, höher hinauf geht, oder dass selbst die Spitze eines bezw. mehrerer Randbogen den Kreuzpunkt der Diagonalbogen überragt. Um den Forderungen nach beiden Seiten gerecht zu werden, hat man auf verschiedene Art versucht, die Scheitelhöhe nach Erfordernis festzustellen und dennoch sämtliche Bogen mit gleichem Halbmesser zu schlagen.

In dem gotischen ABC-Buche von FRIEDR. HOFFSTADT (Frankfurt a. M. 1840) ist zu diesem Zwecke ein Verfahren angewandt, das aus Fig. 46 erhellt.

Für den Schildbogen von der Grundrissbreite *be*, ist der Scheitel in *i* festgelegt — hier beispielsweise in gleicher Höhe mit dem Kreuzbogenscheitel. Sodann sind die beiden Äste des Spitzbogens mit dem Radius des Kreuzbogens aus den Mittelpunkten *k* und *l* geschlagen. Die Bogen schneiden seitwärts über das Lot hinaus und nehmen somit eine dem maurischen Hufeisenbogen entsprechende Gestalt an. Diese wenig empfehlenswerte Bogenform, die in gotischer Zeit nur vereinzelt z. B. in Canterbury zur Ausführung gelangt ist, liesse sich dadurch meiden, dass der Bogen vom Punkte *m* an unten in eine Senkrechte überführt wird. Dadurch entsteht aber ein aufgestellter Knickbogen, der ebensowenig befriedigt und viel besser durch einen überhöhten regelrechten Spitzbogen ersetzt würde.

Da bei obiger Konstruktion die wünschenswerte Gleichheit der Bogenanfänge nicht erzielt ist, im übrigen aber wenig Vorteile aus der Gleichheit der Radien erwachsen, muss dieser Versuch als ziemlich nutzlos angesehen werden.

Ein anderer, bei knapper Konstruktionshöhe nahe liegender Versuch, gleiche Halbmesser zu erzielen, legt die Mittelpunkte der grösseren Bogen unter die Grundlinie, wodurch sich Knickbogen ergeben (Fig. 47). Die Erscheinung der letzteren ist bei geringer Senkung der Zirkelpunkte nicht sehr störend, statisch sind sie sogar

günstig, wenn sie dazu dienen, halbkreisförmige oder gar elliptische Gratbogen zu ersetzen. Die wünschenswerten gleichen Bogenanfänge werden auf diese Art allerdings auch nicht erreicht.

Zusammen-
gesetzte
Spitzbogen.

Beachtenswert ist eine Konstruktion, welche schon seit Ende des XIII. Jahrhunderts in der englischen Gotik zu grosser Verbreitung gelangt ist. Sie beruht darauf, dass sich jeder Bogen aus zwei Stücken zusammensetzt, die mit verschiedenem Halbmesser geschlagen sind und zwar derart, dass alle unteren Teile ein und denselben Halbmesser haben. Siehe Fig. 48.

Die unteren Bogenstücke ab_1 bzw. ab_2 und ab_3 sind sämtlich mit dem gleichen Radius ao um den Mittelpunkt o geschlagen. Dagegen haben die oberen Stücke ihre Mittelpunkte in c_1 bez. c_2 und c_3 . Die Scheitel sind, wie dies bei den reichen englischen Gewölben die Regel ist, in gleicher Höhe angenommen.

In dieser Weise ist es möglich, gleiche Bogenanfänge zu erzielen und doch die Scheitelpunkte für jeden Bogen beliebig festsetzen zu können. Die oft verkannte zusammengesetzte Bogenform, die sich naturgemäss vom Gewölbe auch auf die konzentrischen Fensterlinien übertrug, entbehrt also durchaus nicht einer gewissen praktischen Berechtigung, statisch ist diese Form allerdings meist weniger günstig als der gewöhnliche Spitzbogen.

Es würde nichts im Wege stehen, bei gebotener Veranlassung auch die in Fig. 49 skizzierte Spitzbogenform zu wählen, bei welcher gerade umgekehrt der obere Teil der Bogensätze mit kleinerem Halbmesser geschlagen wird, sie kann statisch günstig und bei geringer Abweichung der Halbmesser auch dem Auge ganz wohlthuend sein. VIOLLET-LE-DUC behauptet in seinem „Dictionair etc.“ Bd. VI S. 29, dass im XII. Jahrhundert vielfach Spitzbogen auftreten, deren Schenkel in ihrem mittleren Teile mit einem vergrösserten Radius geschlagen seien. Auch dadurch könnte eine statisch günstige Form gewonnen werden.

Im allgemeinen ist es nicht empfehlenswert, bestimmten schematischen Konstruktionsregeln eine gar zu hohe Bedeutung beizumessen, man soll sich vielmehr in erster Linie von den Rücksichten auf die jeweiligen praktischen Anforderungen und die Schönheit leiten lassen. Meist gelangt man zum Ziele durch den gewöhnlichen Spitzbogen; wenn man von der Gleichheit der Radien absieht, wird es leicht, mit Hülfe desselben den Bogen eine beliebige Gestaltung und nötigenfalls durch Aufstelzen auch jede beliebige Höhe zu geben.

Aufstelzung.

Ist es beispielsweise erwünscht, den Schildbogen durch ein Fenster oder eine freie Öffnung von einer bestimmten Bogenform zu durchbrechen, so zeichnet man zweckmässig den Schildbogen konzentrisch um letztere herum (vergl. Fig. 50) und stetzt dabei den Bogen bre so weit auf, als es die gewünschte Scheitelhöhe bedingt. In der vorliegenden Figur ist angenommen, dass der Schildbogen gleiche Scheitelhöhe mit dem daneben dargestellten spitzbogigen Kreuzbogen haben soll. Die Schwierigkeit, welche die Aufstelzung für den Gewölbeanfang usf. ergeben kann, wird an geeigneter Stelle besprochen werden.

Die Aufrissentwicklung der Bogen von mehreren aneinander stossenden, verschiedenartigen Gewölbejochen, wie sie bei mehrschiffigen Kirchen vorkommen macht besonders ein geschicktes Abwägen erforderlich. Es kann hier entweder ein wohlthuendes Abstufen der Höhen stattfinden, oder es können, wenn das Vorhandensein eines oberen Fussbodens oder ein ähnlicher Grund es bedingt, die

Scheitel in gleiche Höhe gebracht werden. Es führt die Wahl verschiedener Radien und die Verwendung der Aufhöhung immer zum Ziele. Natürlich dürfen die statischen Anforderungen und die Schwierigkeit der Anfängergestaltung (siehe dort) nicht ausser acht gelassen werden.

Gewölbe über unregelmässigen Grundrissfeldern.

Besondere Beachtung erfordern unregelmässige Joche. Ist die Grundform des zu überwölbenden Raumes ein Trapez, wie $abcd$ in Fig. 51, so können die Kreuzbogen nicht geradehin über den Diagonalen geschlagen werden, weil dann jeder Kreuzbogen aus zwei sehr ungleichen Ästen bestände, von denen der kleinere, wie Fig. 51a zeigt, entweder überhöht oder nach einem weit grösseren Halbmesser geschlagen werden müsste. Hieraus würde aber der statische Nachteil hervorgehen, dass die grössere Hälfte die kleinere hinüberdrängen, mithin die Stabilität gefährden könnte. Es muss daher der Scheitel aus dem Diagonalschnitt C fortgerückt werden nach der grösseren Grundlinie hin, etwa nach der Mitte C' der Mittellinie ef oder besser noch ein wenig weiter bis zum Schwerpunkt C'' der Trapezfläche. Es werden dann die vier Gratbogenhälften annähernd gleiche Spannung erhalten. Wollte man noch weiter gehen und etwa den Scheitel über den Punkt g legen, welcher von den vier Eckpunkten gleichen Abstand hat, so könnte man dadurch zwar vier einander ganz gleiche Gratbogen erzielen, aber das Gleichgewicht wäre nun nach umgekehrter Richtung gestört. Es würde jetzt der Gesamtschub der Bogen dg und cg denjenigen der beiden anderen überwiegen und somit der Scheitel gegen die grosse Grundlinie hin gedrängt werden. Man wird daher auf diese Lage des Schlusspunktes verzichten müssen.

Trapez-
förmige
Felder.

Verschiedene versuchsweise entstandene Anordnungen zeigt das Mittelalter zu der Zeit, als es galt, den trapezförmigen Feldern des Chorumganges eine schickliche Kreuzwölbung zu geben (siehe vorn S. 17). So waren beim Chor der Kathedrale zu Langres (vgl. VIOLLET-LE-DUC Bd. IV S. 70) die Kreuzbogen noch über den Diagonalen gespannt, sie hatten dabei die Form des Halbkreises. Ihr Durchdringungspunkt lag daher weit unter dem Scheitel, so dass der herabgerückte Schlussstein eine geneigte Lage erhielt.

Oft kommt es vor, dass die Kreuzbogen in der Grundrissprojektion keine gerade, sondern eine gebogene Linie bilden. Abgesehen davon, dass schon am römischen oder frühen romanischen Gewölbe diese Form beim unregelmässigen Zusammenschnitt von Cylinder- oder Kegelflächen von selbst entsteht (vergl. Fig. 33 und 201), ist sie später bei gotischen Rippengewölben bisweilen mit Absicht verwendet und zwar aus zwei Gründen. Entweder weil man gern zwei gleiche Zwickelanfänge für die benachbarten Kappen haben wollte und daher die Rippe in Richtung der Winkelhalbierenden beginnen liess, oder weil man ein seitliches Ausbauchen beim Zusammentreten zweier ungleich schiebender Kappen verhüten wollte. Von den bei den Netzgewölben der letzten Periode häufig vorkommenden sogenannten gewundenen Bogen wird noch die Rede sein.

Bei völlig unregelmässigen Grundformen (siehe Fig. 52 und 53), mögen sie vier oder mehr Seiten haben, verfährt man in der Regel am besten, wenn man den

Schlussstein in den Schwerpunkt der Grundrissfläche legt. (Letzteren bestimmt man für unregelmässige Formen genügend genau dadurch, dass man die Fläche in starkem Papier ausschneidet und auf einer Zirkelspitze schweben lässt oder noch besser, dass man das Papierstück nacheinander an zwei beliebigen Punkten aufhängt und den Schnittpunkt der von den Aufhängungspunkten ausgehenden Lotlinien ermittelt.) Meist werden sämtliche Grate verschiedene Länge erhalten, man bestimmt am besten zunächst die Aufrissgestalt für den längsten und danach diejenige der übrigen.

Einigermassen abweichend aber gestaltet sich die Überwölbung einer dreieckigen Grundform.

Es kann dieselbe zunächst aus dem einfachen Bedürfnisse sich bilden. Es kann z. B. in Fig. 54 der zu überwölbende Raum durch die Gurtbogen ef und gd in rechteckige Felder in der Weise zerlegt werden, dass das Dreieck gbd übrig bleibt. Oder aber es können gegen die langen Seiten des zu überwölbenden Rechteckes $abcd$ in Fig. 55, die gegeneinander versetzten Scheidemauern ee , ff und gg treten. Ist die Umfassungsmauer des Raumes selbst nicht stark genug, den Gewölbeschub aufzunehmen, so müssen die Scheidemauern als Widerlager dienen, dadurch zwingen sie aber den einzelnen Jochen die dreieckige Grundform eag und egf etc. auf. Die Sakristei in der Petripaulskirche zu Stettin zeigt einen annähernd quadratischen Grundriss in drei Dreiecksfelder zerlegt (Fig. 56). Hier scheint der Anschluss an die Kirche durch einen seitlichen Zugang m die Hauptveranlassung zur Einschaltung des fünften Stützpunktes e gewesen zu sein. Eine fernere Veranlassung zu dieser Grundform kann sich bei den grösseren mit Umgängen versehenen Choranlagen ergeben, von denen in der Folge die Rede sein wird.

Die Ausführung des Gewölbes über einem Dreiecksfelde kann in verschiedener Weise geschehen. Entweder verspannen sich die Kappen unmittelbar gegen die drei Stirnbogen und schneiden oben walmartig zusammen (s. Fig. 57), wie solches z. B. in den Chorumgängen der Kathedrale von Paris und von Notre-dame zu Chalons vorkommt, oder aber es ist die dreieckige Grundform noch weiter geteilt durch die drei Linien ah , hg und he in Fig. 55, welche dann die Projektionslinien der eigentlichen Kreuzrippen sind, während die über den Dreiecksseiten geschlagenen Bogen in das Verhältnis der Gurtbogen treten. Ein sehr schönes Gewölbe der letzteren Art befindet sich in der unteren Halle des Römers zu Frankfurt a. M. Die Figuren 57 und 58 zeigen die Unterschiede beider Wölbungsarten in perspektivischer Ansicht. In der letzteren kann das Auftragen der einzelnen Bogen in derselben Weise geschehen, wie bei dem vierseitigen Kreuzgewölbe, so dass man mit der Konstruktion der Kreuzbogen den Anfang macht. Beide Wölbungsarten lassen sich in einem Gewölbe von der in Fig. 55 gegebenen Grundform verbinden, in der Weise, dass die grösseren Dreiecke aeg etc. nach Fig. 58 und die an den Seiten übrig bleibenden kleineren aec eben wegen ihrer geringeren Grösse nach Fig. 57 zugewölbt werden. Das dabei verwendete walmartige Herauswölben aus den Ecken kann auch auf vierseitige Felder übertragen werden, es entsteht sodann die interessante aber selten ausgeführte Form des übereckgestellten Klostersgewölbes (Fig. 14a).

Wo es an Höhe mangelt, wie das vornehmlich bei Nutzbauten der Fall ist, da können die Gewölbebogen statt nach dem Halbkreise oder Spitzbogen nach dem Stichbogen gebildet werden oder auch nach dem in der englischen Profangotik sehr bevorzugten Knickbogen, d. h. Spitzbogen mit gebrochenem Widerlager. In

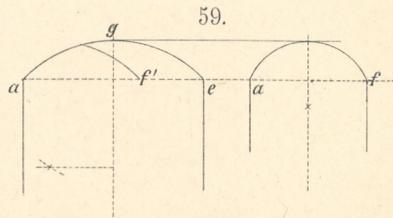
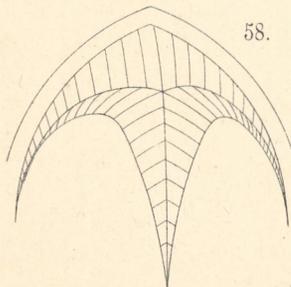
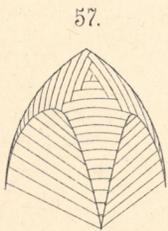
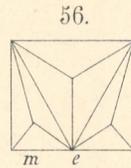
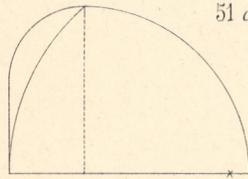
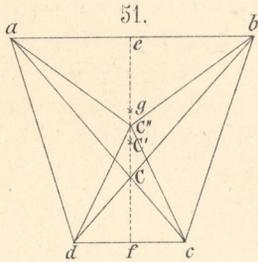
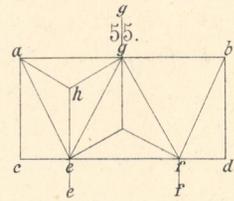
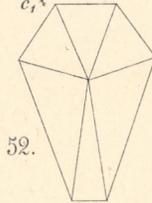
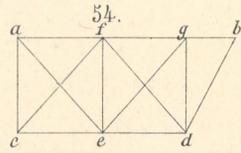
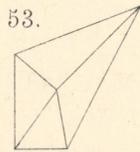
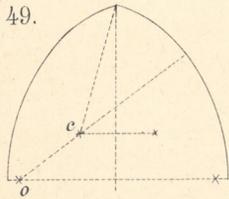
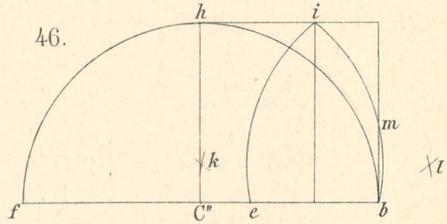
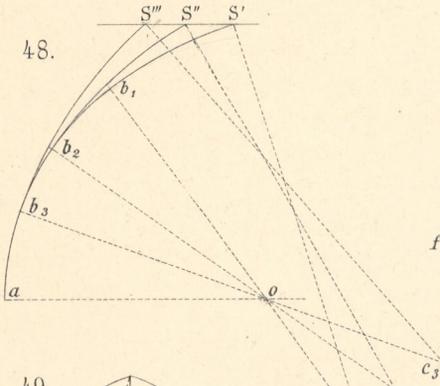
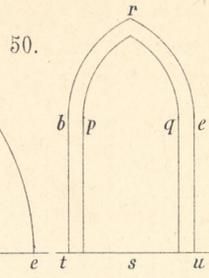
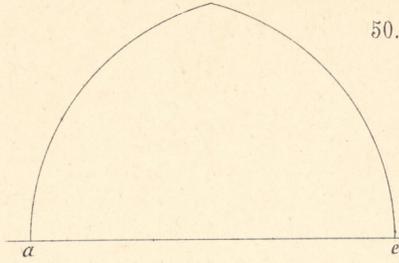
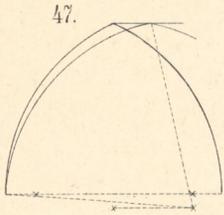
Völlig unregelmässige Grundrisse.

Dreieckige Wölbfelder.

Flache Gewölbebogen.

Tafel VII.

Form der einzelnen Bögen.



der Konstruktion stimmen derartige Kreuzgewölbe mit den besprochenen überein. Soll z. B. in Fig. 59 der Bogen *age* der Kreuzgrat sein, so kann man unter Verwendung gleichen Halbmessers den Randbogen über *af* als Knickbogen herstellen, oder man kann, um gleiche Scheitelhöhe zu erreichen, wie rechts gezeichnet ist, über der Seite *af* einen Flachbogen mit kleinerem Radius schlagen.

4. Die Gewölbe mit zusammengesetzten Rippensystemen.

Sechsteilige und achteilige Gewölbe.

Im XII. und XIII. Jahrhundert findet sich in den normannischen und nordfranzösischen Werken sowie in Deutschland im Dom zu Limburg und andern Orts das System des sechsteiligen Gewölbes. Seine Entstehung hängt mit der ganzen Grundrissanlage zusammen (vergl. Fig. 15 III), es wurde mit der fortschreitenden Entwicklung der gotischen Kunst im allgemeinen wieder verlassen. Fig. 60 zeigt den Grundriss und Fig. 61 seine perspektivische Ansicht. Es bildet sich über dem Mittel- und Querschiff der Basilika und hat meist eine quadratische Grundform, die der Breite von zwei Seitenschiffjochen entspricht. Von dem gewöhnlichen Kreuzgewölbe unterscheidet es sich dadurch, dass zu den beiden Diagonalbogen *ab* und *cd* noch ein dritter Gratbogen *ef* hinzutritt, der seinen Aufstand auf den Zwischenpfeilern *e* und *f* findet. Letztere dienen daher jetzt nicht allein dem Seitenschiffe sondern auch zum Teil dem Mittelschiffgewölbe als Stütze. Die Längswände werden in je zwei Schildbogen zerlegt, wodurch das ganze Gewölbe sechs Kappendreiecke erhält. Die Kappenteile *cCb* und *aCd* sind gewöhnliche Kreuzgewölbekappen, während die vier seitlichen *dfC*, *bfC* usw. eine unsymmetrische Gestaltung erhalten, die man sich am besten vergegenwärtigt durch Antragen des Horizontalschnittes in einer gewissen Höhe (vgl. im Grundrisse die schraffierten Teile).

Das
sechsteilige
Gewölbe.

Die Aufrissentwicklung der Bogen ist in dem Grundrisse eingezeichnet. Die Kreuzbogen *ab* und *cd* sind der Regel nach Halbkreise, der Teilgrat über *ef* muss naturgemäss ein Bogen von derselben Scheitelhöhe sein. Für die sechs Randbogen steht es dagegen frei, sie entweder auf dieselbe Scheitelhöhe zu bringen (s. Fig. 62) oder ihre Spitze tiefer zu lassen (s. Fig. 61). Bei den ältesten Beispielen tritt noch zuweilen die Form des überhöhten Halbkreises auf, der aber sehr bald durch den gerade für diese Wölbform weit günstigeren Spitzbogen ersetzt wird. Die Kappenflächen können gerade oder busig sein, je nach den Anforderungen der Gestaltung oder Ausführung.

Die Figuren 62 bis 62c veranschaulichen die Aufrissentwicklung eines sechsteiligen Gewölbes mit aufgestellten Schildbogen. Fig. 62 stellt den Längsschnitt dar, 62a und 62b zeigen Grundrisse in verschiedenen Höhen, während 62c die Bildung des Anfängers vom Teilgrate klar legt. In Folge der Aufstellung der Schildbogen setzt sich unten hinter den Teilgrat eine senkrechte Wand, welche erst weiter oben in die Kappenwölbung übergeht. (Derartige senkrechte Wandstücke treten besonders oft auch an den Rippenanfängen der Chorpolygone und langgestreckten Rechtecke auf, aber auch bei verwickelten Wölbformen der Spätgotik, vgl. Fig. 86b, 266a, 267, 283 u. a.) Der Schub, welcher den Zwischenpfeilern beim sechsteiligen Gewölbe zufällt, ist offenbar ein weit geringerer, als der

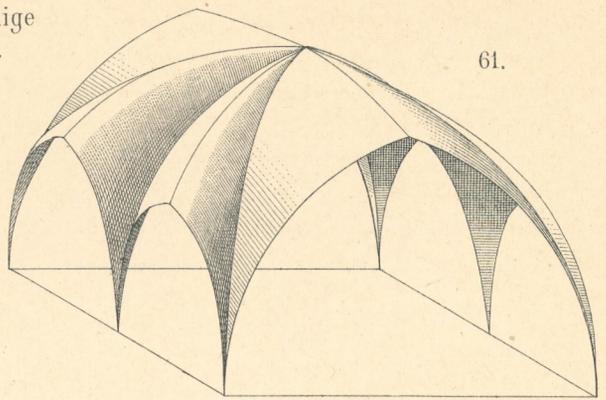
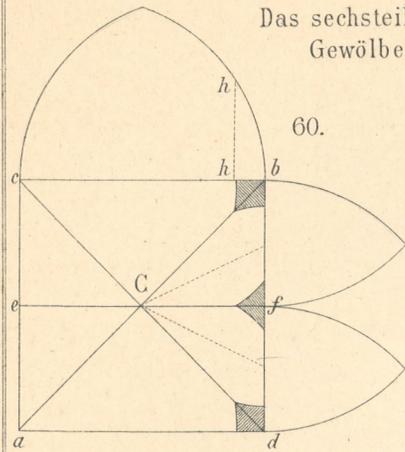
auf die Hauptpfeiler wirkende (gewöhnlich nur etwa $\frac{1}{3}$ desselben). Es bedürfen daher die ersteren entweder nur einer geringeren Stärke, wie in dem Dom zu Limburg, der Kathedrale zu Laon, der Kirche zu Mantes, oder sie können, wenn dieselbe Pfeilerstärke durch den Gewölbeschub der Seitenschiffe sich bestimmt, der künstlichen Sicherung durch Strebebogen entbehren. Wo daher diese Voraussetzungen eintreten, wo entweder die Pfeiler schwächer oder Strebebogen schwierig anzubringen sind, da werden sechsteilige Gewölbe selbst bei sonstiger Durchführung der oblongen Kreuzgewölbe günstig sein.

Derartigen Verhältnissen begegnen wir z. B. bei der Anlage der Kreuzschiffe. Es sei Fig. 63 der Grundriss eines solchen bei niedrigen Seitenschiffen und oblongen Kreuzgewölben über dem Mittelschiffe. Dem Schub der Gewölbe des mittleren Quadrates auf den Kreuzpfeiler *b* wirken die Obermauern des Quer- und Mittelschiffes entgegen und dem der Mittelschiffsgewölbe auf die Schiffspfeiler *a* die von *a* nach *c* gespannten Strebebogen. Dagegen steht dem auf den Punkt *d* wirkenden Schube in der Richtung *dc* keine genügend hohe Mauer entgegen, ebensowenig kann in *d* ein Strebepfeiler angelegt werden, wenn nicht das Fenster *cd* wegfallen soll, und schliesslich würde ein von *d* nach *c* etwa möglicher Strebebogen den Strebepfeiler bei *c* von der Seite treffen, also umkanten. Es liegt daher am nächsten, den Gewölbeschub auf *d* zu verringern und das geschieht eben durch die über *eibb* angegebene Anlage eines sechsteiligen Kreuzgewölbes statt zweier rechteckiger, wie es sich in den Kathedralen von Paris und Beauvais findet. Möglich, dass an dieser Stelle der erste Antrieb zur Entwicklung des sechsteiligen Gewölbes zu suchen ist.

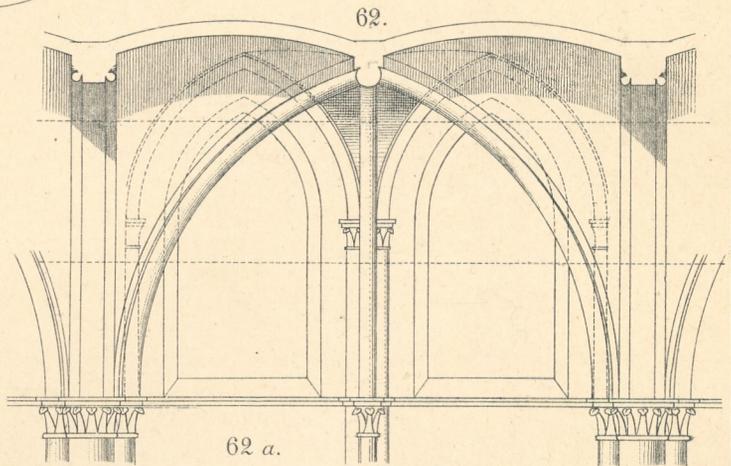
Auch aus gewissen Choranlagen, deren Untersuchung wir daher hier vorgreifen müssen, ergeben sich verwandte Anordnungen. Schliesst das Chorhaupt genau mit einem Polygone, z. B. mit fünf Seiten des Zehneckes (in Fig. 64 und 66), so liegt der natürliche Anfallspunkt der Rippen in der Mitte der Grundlinie des Polygons, also in *c*. Dem hier wirkenden Seitenschube dieser Rippen würde sich aber ein ungenügender Widerstand entgegensetzen, wenn das anstossende vierseitige Gewölbejoch als oblonges Kreuzgewölbe sich bildet. Es muss daher dieses System verlassen und der Schwäche des Punktes *c* Hülfe geleistet werden, und das geschieht, wenn die Rippen von *d* und *e* nach *c* anstatt in der Diagonalrichtung geführt werden, mithin das Joch *abed* die Gestalt der Hälfte eines sechsteiligen Kreuzgewölbes erhält, während das nächstfolgende mit einem gewöhnlichen Kreuzgewölbe überspannt wird. Derartige Anlagen finden sich häufig, u. a. in der Elisabethkirche zu Marburg und der Stiftskirche in Wetter.

Ebenso wie die Anlage der sechsteiligen Kreuzgewölbe auf der Einschaltung je einer Stütze in zwei Seiten des Quadrates beruht, so ergibt sich beim Einfügen einer Stütze in jeder Quadratseite das achtheilige Kreuzgewölbe, in welchem also auch die Kappen *cCb*, *aCd* (Fig. 60) halbiert sind. Eine derartige Pfeilerstellung kommt vor, wo die Westtürme mit der Anlage von fünf Schiffen in der Weise verbunden sind, dass eine Turmbreite derjenigen der beiden Seitenschiffe zusammengenommen gleichkommt. Wenn dann freilich wie in Köln der untere Raum geteilt ist und ausser dem Eingange noch eine Kapelle in sich fasst, so ergibt sich ein neunter Pfeiler inmitten des Quadrates und ein Gewölbegrundriss von vier gleichen Jochen. Wo aber der innere Raum der Türme vollständig mit dem Inneren der Kirche vereinigt ist, wie an der Kathedrale von Paris, da ist der Mittelpfeiler überflüssig, und es ergibt sich das achtheilige Kreuzgewölbe. Ein eigenes Beispiel dieser Art befindet sich in dem Zentralturme der Kirche St. Maclou in Rouen, dessen Gewölbe um zwei Stockwerke über dem Gewölbe des Mittelschiffes erhöht ist, so dass man von der Kirche aus den Einblick in das Innere des Turmes hat. Die Schildbogen sind nicht überhöht, bleiben daher mit ihren

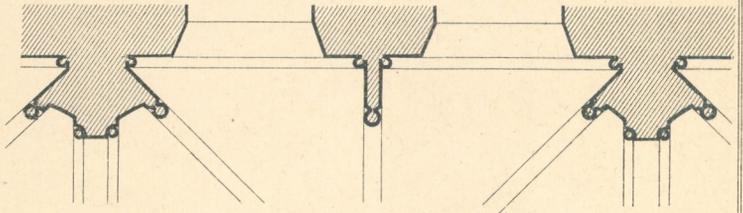
Das sechsteilige Gewölbe.



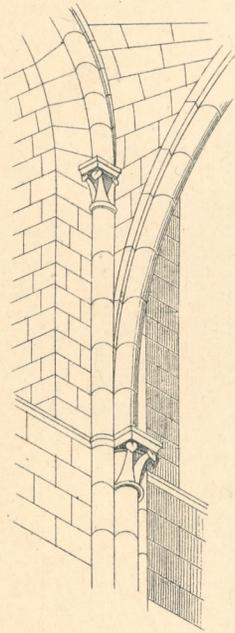
61.



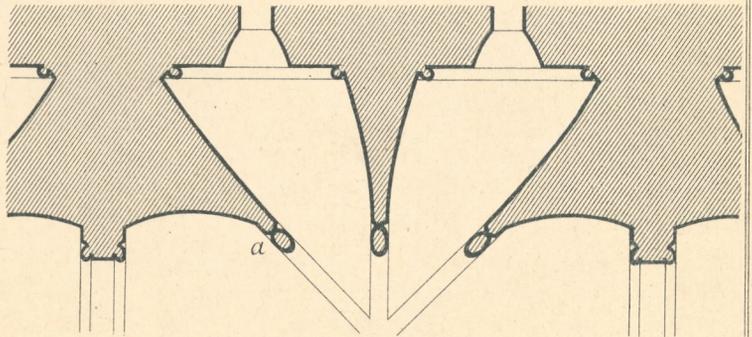
62 a.



62 b.



62 c.



a

Scheiteln weit unter dem der Kreuzrippen. Von den acht Schildbogenscheiteln sind zum Schlusssteine hier steigende Scheitelrippen gespannt, so dass sich für das ganze Gewölbe der in der rechten Hälfte der Fig. 65 angegebene Grundriss ergibt.

Stern- und Netzgewölbe.

Die Anlage des achteiligen Gewölbes führt eine Verkleinerung der Kappenfelder mit sich, da sie an Stelle von vier grossen Kappen acht kleinere setzt. Dabei ist aber eine Verkleinerung der Kappen nur durch Vermehrung der Stützen erreicht; sie lässt sich auch ohne eine solche durch Einschalten neuer Rippen erzielen und führt dann zu verschiedenartigen reicheren Gestaltungen, unter denen besonders die Stern- und Netzgewölbe hervortreten.

Die Einschränkung der Kappengrösse muss als ein natürliches Ergebnis des einmal angebahnten gotischen Prinzipes angesehen werden. Sobald man die Rippen als „tragende Körper“ den Kappen als den „getragenen leichten Füllflächen“ gegenüberstellte, war es ein nahe liegender Schritt, das tragende Geripp zu vervielfältigen, um die Füllflächen bequemer einwölben und an Masse leichter machen zu können. Die Freude an der gefälligen Linienführung wirkte mit, die Musterung immer reicher zu gestalten, bis man am Schlusse des Mittelalters auf spielende Ausartungen verfiel.

Ist demnach die Vermehrung der Rippen als ein von vornheren vorgezeichneter Entwicklungsgang anzusehen, so haben doch bestimmte Anlässe dazu beigetragen, dieselbe anzuregen.

Im Grundrisse Fig. 66 mit rechteckigen Mittelschiffjochen ist ein beim sechseiligen Gewölbe (Fig. 64) erwähnter Chorschluss zur Verwendung gekommen. Es zeigt sich, dass der Kappenteil *dce* grösser ist als alle benachbarten, daraus ergibt sich ein nicht recht befriedigendes Aussehen, die Wölbflächen dieser Kappe verlängern sich ungünstig, und wenn sie gebauet ist, wird eine grössere Pfeilhöhe des den Busen bildenden Segmentbogens nötig. Dieser Höhenverlust kann aber wegen der oberhalb des Gewölbes durchgehenden Balken unbequem werden. Überdies kann eine zu grosse Kappe eine Vergrösserung der Wölbdicke erforderlich machen. Das alles führt auf eine weitere Teilung etwa durch die beiden halben Kreuzrippen *dc'* und *ec'* und die dem Seitenschub derselben im Scheitel widerstehende Scheitelrippe *c'c*.

Dasselbe Verhältnis wiederholt sich hinsichtlich des Mittelquadrates. Werden hier alle vier Kappen in derselben Weise geteilt, so gelangt man zu dem Grundrisse des Sterngewölbes, wie es sich über den Mittelquadraten der Kathedrale zu Beauvais und vielen anderen findet.

Die Teilung der Kappen durch eine vermehrte Zahl der Rippen kann indes noch durch andere Rücksichten veranlasst werden. Es sei z. B. Fig. 67 der Grundriss eines Turmgewölbes, in dessen Mitte eine weite runde Öffnung bleiben soll, um die Glocken oder selbst etwaiges zu Reparaturen erforderliches Baumaterial aufziehen zu können. Diese Öffnung wird eingeschlossen von einem wagerecht liegenden Kranze, der von den Rippen getragen wird. Besteht der Ring nur aus vier Werkstücken *ab*, *be* usw., so genügen zu ihrer Unterstützung die Kreuzrippen, wird die Öffnung aber so gross, dass der Kranz mehr — etwa acht — Werksteine erfordert, so empfiehlt es sich, auch die Zahl der Stützpunkte entsprechend zu vermehren. Es kann dies beim steigenden Gewölbe durch Scheitelrippen *ka* usw. erzielt werden, sonst führt das Einschalten der Rippen *hb*, *he* zum Ziele.

Vorstehende und noch viele andere Bedingnisse führen auf Rippengewölbe der mannigfaltigsten Art. Unter allen nehmen den hervorragendsten Platz die Sterngewölbe ein. Die klarste und einfachste Form eines solchen zeigt das

Verkleinerung der Kappen.

Sterngewölbe.

Vierungsfeld der Fig. 66. Es ist dadurch entstanden, dass in jedes Kappendreieck eines gewöhnlichen Kreuzgewölbes je drei winkelteilende Rippen eingelegt sind, die sich im Mittelpunkte vereinigen. Wird diese Kappenteilung auf reichere Arten des Kreuzgewölbes angewendet, so erzeugen sich entsprechend reichere Gestaltungen. Das achttellige Gewölbe liefert in dieser Weise die in Fig. 68 dargestellte Form, welcher zum Vergleiche die aus dem achteckigen Gewölbe entsprungene Sternbildung (Fig. 69) gegenübergestellt ist. Sie unterscheiden sich voneinander nur dadurch, dass bei ersterem die acht Stützpunkte über einem Vierecke, bei letzterem über dem Achtecke angeordnet sind. Räume mit regelmässig polygonalem Grundrisse führen auf besonders schöne Sternformen, die sich in entsprechender Gestalt auf den vielseitig gebildeten Chorschluss übertragen.

Über oblongen Gewölbejochen lassen sich ebensowohl Sterngewölbe anlegen, wie über quadratischen, sie erhalten nur eine verschobene Form, die indes in der Wirklichkeit durch die Krümmung der Bogen bei weitem weniger auffällig wirkt als im Grundrisse.

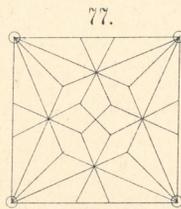
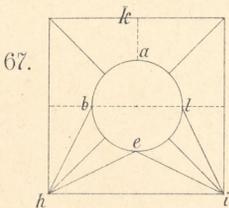
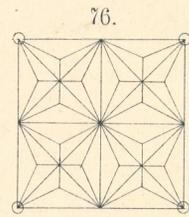
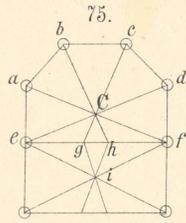
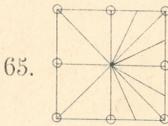
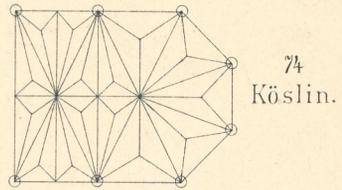
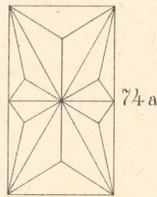
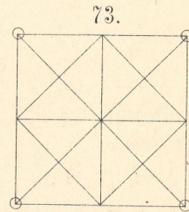
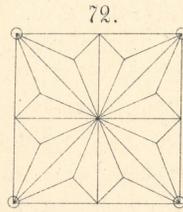
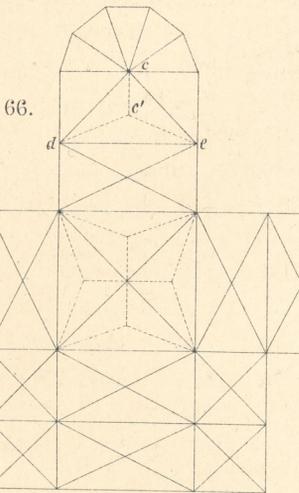
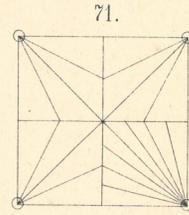
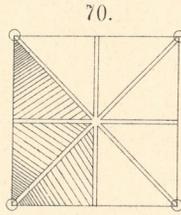
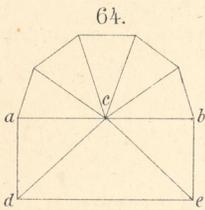
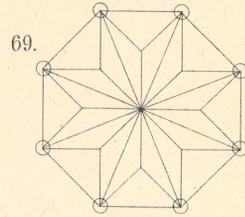
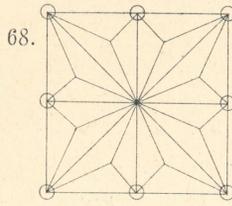
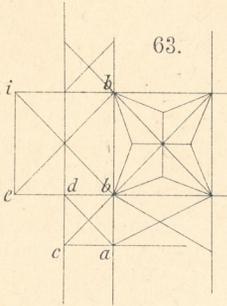
Natürlich lässt sich auch über ganz unregelmässigen Grundrissformen das Kreuzgewölbe in ein Sterngewölbe umwandeln.

Eine etwas abweichende Gestaltung zeigt das Sterngewölbe, welches aus dem Kreuzgewölbe mit vorspringenden Scheitelrippen (Fig. 70) erwächst. Die Scheitel- oder Firstrippen, deren Entstehung auf die Technik des Einwölbens zurückzuführen ist, finden sich sehr früh bei den normannischen und englischen Wölbungen, kommen aber auch bereits früh in Deutschland vor, wie die Kirchen zu Osnabrück und Münster beweisen. Sie verbinden die Scheitel der Randbogen mit dem Schlusssteine und sind in der Regel nach letzterem ansteigend und als Segmentbogen gestaltet. Teilt die Scheitelrippe schon an sich die Wölbflächen, so begünstigt sie auch in hohem Masse eine Fortentwicklung der Teilung. Figur 71 zeigt ein Hinzutreten von Rippen, welche den Scheitelbogen in der Mitte stützen, was bei dessen meist flacher Form sehr erwünscht war. Es ergibt sich auf diese Art eine sehr verbreitete Sternform, die beispielsweise für die Vierung der Kathedrale zu Amiens Verwendung gefunden hat. Die Zahl der Teilrippen kann vermehrt werden nach Art des unten rechts liegenden Teiles der Fig. 71. Die englische Gotik liebt diese Form. Ebenso oft tritt die Anordnung 72 auf, die unter anderen der Dom zu Schwerin und die Kirchen zu Köslin (Fig. 74) aufweisen, oder die nur einseitige Zwischenteilung (Fig. 74a, Dirschau usw.), seltener dagegen ist die der Westminsterabtei zu London entnommene Gestaltung 73.

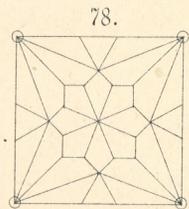
Das Anstossen der Chorpolygone an die rechtwinkeligen Gewölbejocher führt noch auf weitere abweichende Teilungen, wie z. B. Fig. 75 zeigt. Hier spannen sich die Chorrippen aC und dC den in derselben Richtung gehenden eC und fC entgegen. Soll nun für die Rippen bC und cC ein entsprechender Widerstand geschaffen werden, so ergeben sich die Rippenstücke Cg und Ch , die sich vom Scheitel des Chorgewölbes an die Seite der Gurtrippe ef spannen und daher, um die letztere nicht seitwärts zu schieben, die Anlage der Rippen gi , hi und somit die Fortführung derselben Bewegung durch die ganze Länge des Joches zu fordern scheinen. Wir sagen mit Absicht „scheinen“, denn ein sehr dringendes konstruktives Bedürfnis liegt nicht zu Grunde, der Schub der Rippen eC und fC und des von ihnen begrenzten Kappenteiles kann genügen, um dem des Polygongewölbes zu widerstehen; es ergibt sich überhaupt kein weiterer Vorteil aus der ganzen Anlage als der einer Verkleinerung der Kappen und wir werden allmählich

Tafel IX.

Sterngewölbe.



Netz-
Gewölbe.



zu dem Punkte hinübergeleitet, wo die dekorative Konstruktion in eine konstruktive Dekoration übergeht. Nicht wollen wir damit einen Tadel aussprechen, aber es ist unverkennbar, dass reichere Gestaltungen, wie sie in Fig. 76, 77, 78 dargestellt sind, mehr dem Streben nach grösserer Pracht, als einem konstruktiven Antriebe ihre Entstehung verdanken.

Zwei dieser Beispiele zeigen bereits eine Unterbrechung der Kreuzrippen und bilden damit einen Übergang zu der nunmehr zu besprechenden Klasse von Gewölben. Überhaupt ist der Reichtum dieser Gestaltungen im Grundrisse der grössten Steigerung und Veränderung fähig.

Noch viel mannigfaltiger als die Sternformen sind die unter dem Namen Netzgewölbe zusammengefassten Bildungen. Als Sterngewölbe bezeichnet man alle bisher betrachteten Gewölbegrundrisse soweit sie noch auf dem des einfachen Kreuzgewölbes beruhen. In ihnen wurde das quadratische oder rechteckige Joch zuerst durch Kreuzrippen geteilt und jedes der so gebildeten Felder durch Zwischenrippen in eine grössere oder kleinere Anzahl von Unterabteilungen zerlegt. So ergab sich z. B. der Grundriss des einfachen Sterngewölbes dadurch, dass ein jedes der durch die Kreuzrippen eingeschlossenen Gewölbedreiecke nach Art der dreiseitigen Gewölbe geteilt wurde. Erst in den reicheren daraus entwickelten Gestaltungen, wie Fig. 77 und 78, zeigt sich die Kreuzrippe unterbrochen oder vielmehr in zwei Rippen geteilt, d. h. es ist die Richtung der Hauptkraft in die der beiden Nebenkräfte aufgelöst. Die weitere Ausführung dieses Systemes, der Ersatz also der resultierenden durch die seitlichen Kräfte und umgekehrt, bildet nun das Thema, welches in den zusammengesetzteren Grundrissen variiert ist, und welches nebst einer Vermehrung der Durchkreuzungen diese reicheren Gestaltungen ermöglicht. So kann man in dem Grundrisse des einfachen Sterngewölbes die Kreuzrippe durch die anderen Rippen ersetzt denken, mithin weglassen und so zu dem in Fig. 79 angegebenen Grundrisse gelangen, der sich hiernach wieder als Vereinfachung des Sterngewölbes darstellt. Er zeigt das Netzgewölbe in einfachster Form.

Es wäre Unrecht, die Entstehung des Netzgewölbes nur auf eine willkürliche Formenbereicherung zurückführen zu wollen. Welche berechtigten Gründe auf dasselbe hinleiten können, zeigt die Betrachtung eines langgestreckten rechteckigen Wölbfeldes. Bei demselben ergeben sich am Gewölbanfange sehr verschieden grosse Winkel zwischen den Rippen (vergl. Fig. 80). Daraus entsteht aber neben dem ungünstigen Aussehen der Nachteil, dass die Gliederungen sehr unregelmässig ineinander schneiden, und dass die Rippen wegen der verschiedenen Kappenformen leicht von der einen Seite grösseren Schub bekommen als von der anderen. Gleiche Winkelgrösse der Zwickel ist aus diesen Gründen für jedes Rippengewölbe von Vorteil. Zieht man aber über einem rechteckigen Felde die Rippen nicht in der Diagonale sondern in der Richtung der Winkelhalbierenden, so entsteht statt des einfachen Kreuzgewölbes das in Fig. 81 dargestellte Netzgewölbe. Diese Rippenanordnung ermöglicht gleichzeitig einen geschickten Anschluss des Chorgewölbes, der in der skizzierten Weise mehrfach ausgeführt ist — z. B. in der Kirche zu Notteln in Westfalen.

Welche freie Gestaltungen die Netzgewölbe annehmen können, zeigen die in Fig. 82 und 83 dargestellten Beispiele von der Marienkirche zu Danzig und dem Dome zu Kaschau. Es sind hier ansprechende geometrische Muster gebildet, an deren Stelle in der Spätzeit oft ein wirres Liniengewebe tritt.

Netz-
gewölbe.

Alle diese Formen zeigen nur eine Durchbrechung der Diagonalbogen, die Gurte sind beibehalten. Wenn letztere beseitigt werden, so tritt der Charakter des Netzgewölbes noch entschiedener hervor.

Untersuchen wir nun die Bedeutung der Gurtbogen, welche die Teilung in die verschiedenen Joche bewirken. In den Werken der älteren Periode waren sie wirklich konstruktiv, unter anderen durch die starke Überhöhung oder die Strebebogen bedingt (wie unter dem diese letzteren behandelnden Abschnitte in der Folge gezeigt werden wird). Demgemäss erhielten sie eine grössere Stärke und kräftigere Gliederung als die Kreuzrippen. Für die Ausführung des Gewölbes selbst aber war diese Vergrösserung häufig unnütz und wurde daher schon im XIII. Jahrhundert in vielen Fällen aufgegeben. Die Gurte erhielten dann eine den Kreuzrippen gleiche Gestalt und Grösse, und es gelangte so ihr wirkliches von dem der Kreuzrippen nicht wesentlich abweichendes Verhältnis zum Gewölbe zum vollkommenen Ausdruck. Hiernach aber war es nur noch zufällig, dass sie ihre alte Richtung behielten, sie konnten wie die Kreuzbogen durch die Seiten einer Raute ersetzt werden. Dadurch gelangte man zu dem Grundrisse des langgestreckten Netzgewölbes (Fig. 84, 85, 86).

Tonnen-
artige Netz-
gewölbe.

Das bestimmende Merkmal dieses letzteren ist daher darin zu suchen, dass sowohl die Kreuzrippen wie die Gurtrippen verschwinden, dass somit die Einteilung in Joche aufhört und die nunmehr durchweg gleichen Rippen zwar von Pfeilern oder einzelnen Stützpunkten der Wand ausgehen, aber, ohne diese in dem ganzem Schema zur Geltung zu bringen, sich in den verschiedenartigsten Führungen über der Grundfläche verweben.

Besonders entschieden gelangt dieser Charakter zum Ausdruck in dem in Fig. 86 dargestellten, an vielen Orten, z. B. im Chor zu Freiburg i. B., in der katholischen Kirche in Marburg usw., mit gewissen Abweichungen hinsichtlich der Zahl der Teilungen und der Anlage des Rippenanfangs wiederkehrenden Gewölbegrundrisse.

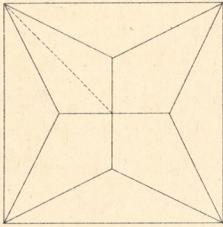
Im Aufrisse haben diese Gewölbe meist eine dem Tonnengewölbe ähnliche Form nur die an der Wand liegenden (in den Fig. 84 und 85 schraffierten) Kappendreiecke sind in Form von Stichkappen unabhängig eingeschnitten. Die ganze Wölbfläche ist mit rautenartigen Feldern überzogen, die als Maschen bezeichnet werden. Je nach der Zahl der in der Wölbweite nebeneinander gereihten Felder, unterscheidet man ein-, zwei-, dreimaschige Netzgewölbe usw.

Wenn der Abstand der Stützpunkte nur einer Maschenlänge entspricht (Fig. 84 linke Hälfte), so bilden die Rippen ein regelmässig gebogenes Netz, in das sich die seitlichen Dreiecke *abm* usw. als Stichkappen einschneiden. Wird dagegen die Entfernung der Stützpunkte grösser, z. B. gleich zwei Maschenlängen, wie in der rechten Hälfte der Figur, so wächst entsprechend auch die Grösse der Stichkappe *cdr*. Die Rippenstückchen *ov* und *pv* können über die Stichkappe fortgeführt werden, sie bilden dann bei *o* und *p* einen Knick, um sich bis zu dem Scheitel *v* zu erheben. Meist werden sie fortgelassen, wie in der linken Hälfte der Fig. 85. Man ging sogar in der Regel noch weiter, indem man auch die Stücke *is* und *tk* beseitigte, dafür aber die queregerichteten Rippenstücke *bk*, *cl* usw. einfügte. (Siehe rechte Hälfte der Fig. 85.) So ergibt sich eine Anordnung, die besonders häufig vorkommt, und welche die Figuren 86—86b in Grundriss und Aufriss darstellen.

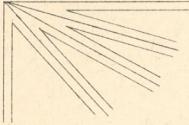
Tafel X.

Netzgewölbe.

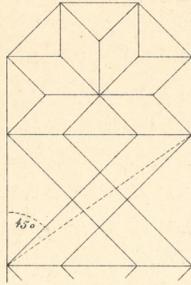
79.



80.

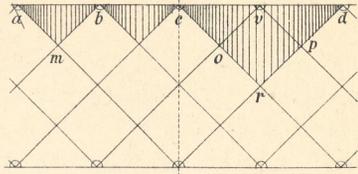


81.

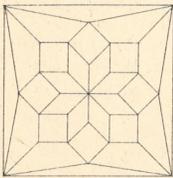
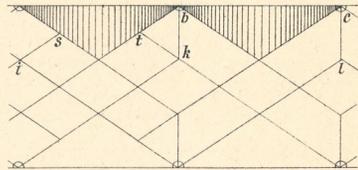


Notteln
in
Westfalen

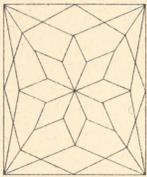
84.



85.

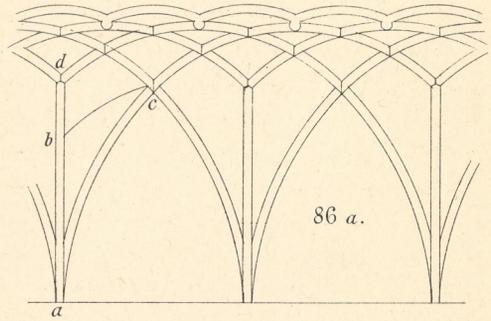
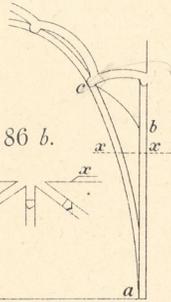
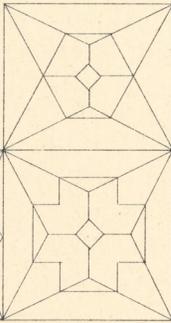


Danzig.

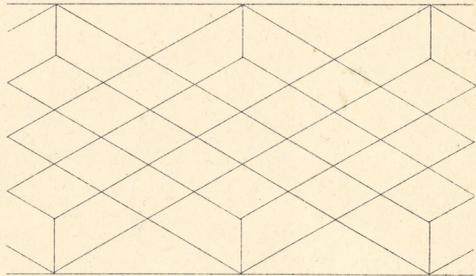


Kaschau.

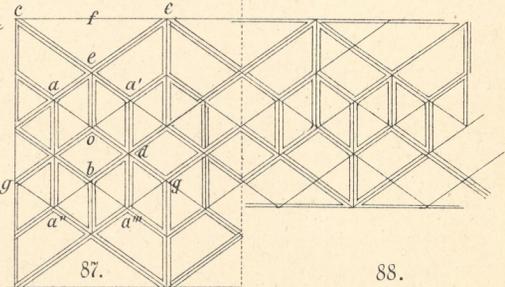
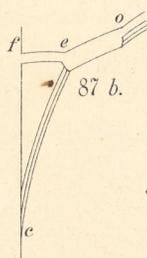
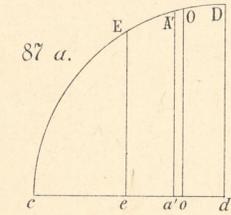
83.



86.



87 a.



88.



89.

Es liegen bei diesem Gewölbe meist alle Rippenpunkte, die in denselben Längsschnitt fallen auf einer Horizontalen, gerade so wie bei einem Tonnengewölbe. Dennoch bleibt zwischen ihm und dem Tonnengewölbe der prinzipielle Unterschied bestehen, dass erstens die Kappen auf die Rippen gewölbt, also von diesen getragen werden, dass zweitens die Kappen eine selbständige von der Tonnenfläche beliebig abweichende Busung haben können und dass drittens die Aufrissform nicht für den Querschnitt des Gewölbes festgelegt wird, sondern für eine schräglaufende Rippe.

Zur Bestimmung der Aufrissgestaltung wählt man eine möglichst lang durchlaufende Rippe aus und giebt ihr die jeweilig beabsichtigte Form eines Spitzbogens, Rundbogens oder gedrückten Bogens. Diesem Bogen, der den Namen Prinzipalbogen trägt, entsprechend werden alle weiteren Rippenstücke gestaltet. Näheres darüber im folgenden Kapitel (S. 63 u. f.).

Ist der Prinzipalbogen ein Halbkreis, so wird der Querschnitt des Netzgewölbes eine aufrechtstehende halbe Ellipse. Es ist demnach jene häufig betonte Übereinstimmung mit dem Tonnengewölbe nur in einer äusserlichen und zufälligen Ähnlichkeit begründet, welche völlig verschwindet, sobald der Grundriss der Rippenführungen nach den oben angedeuteten Prinzipien die geringste Änderung erfährt.

Im Grundrisse 87 z. B. sind die Schrägrippen stellenweise unterbrochen und durch quergeordnete Rippenstückchen ersetzt. Da keine durchlaufende Rippe vorhanden ist, pflegt man in solchen Fällen wohl den Prinzipalbogen für einen gebrochenen Rippenzug anzunehmen. D. h. man legt, wie in Fig. 87a gezeigt ist, die Grundrisslängen des Rippenzuges $cea'd$ aneinander und schlägt über der so addierten Länge den Prinzipalbogen, der beispielsweise ein Viertelkreis sei. Die in den Punkten e und a' errichteten Lote bestimmen in E und A' die Höhenlage der Kreuzpunkte, während die Bogenstücke cE , EA' und $A'D$ die wirkliche Form und Länge der entsprechenden Rippenstücke zeigen. Ein beliebiges anderes Rippenstück, z. B. do im Grundrisse, bestimmt sich in der gleichen Weise dadurch, dass man seine Grundrisslänge do an entsprechender Stelle auf die Grundlinie des Prinzipalbogens trägt. Die in den Endpunkten errichteten Lote schneiden auch hier wieder ein Stück OD des Prinzipalbogens ab, das die wirkliche Gestalt des Rippenstückes angiebt. Wird in dieser Weise das Gewölbe nach einem Prinzipalbogen über gebrochenem Rippenzuge bestimmt, so weicht seine Form sowohl im Längsschnitte als im Querschnitte vom Tonnengewölbe ab. Die Form des Querschnittes zeigt Fig. 87b.

Über die Vorzüge und Mängel derartiger Konstruktionen nach dem Prinzipalbogen siehe das folgende Kapitel S. 67.

Aus den Grundrissen von Fig. 86 und 87 können dann durch Vereinfachung wie durch reichere Zusammensetzung, durch Veränderung der Pfeilerstellung, der Richtung der Rippen, durch fortgesetzte Anwendung des oben erörterten Systems der Auflösung der Diagonale in die Seiten oder umgekehrt der Vereinigung der Seiten zu der Diagonale alle irgend möglichen Gestaltungen entwickelt werden.

So kann in Fig. 86 die Zahl der Maschen seitlich vermindert oder beliebig vermehrt werden. Aus Fig. 87 lassen sich Bildungen wie Fig. 88 und 89 ableiten. Die Abwandlung immer neuer Netzformen kann überhaupt ins Unbegrenzte fortgesetzt werden.

Bei den beiden zuletzt mitgeteilten Grundrissen Fig. 88 und 89 liegen die Stützpunkte des Gewölbes nicht mehr einander gegenüber, sie sind vielmehr zueinander versetzt. Derartige Gestaltungen finden sich schon in manchen romanischen Werken und mehren sich in den gotischen aller Perioden.

Versetzte
Stützpunkte.

Eine noch auf dem Kreuzgewölbe beruhende Anordnung findet sich in den Seitenschiffen der dem XII. Jahrhundert angehörigen Barfüsserkirche in Erfurt. Der Grundriss Fig. 90

erweckt zunächst den Eindruck zweier Kreuzgewölbe, der Aufriss weicht jedoch stark davon ab, da nur an der Aussenwand die 3 Stützpunkte *cge* vorhanden sind, nach dem Mittelschiffe zu aber der Stützpunkt *d* fehlt. Es ist *d* vielmehr der hochliegende Scheitelpunkt des vom Schiffspfeiler *a* zum Schiffspfeiler *b* führenden Scheidebogens. Über dem Scheitel dieses letzteren legen sich die beiden Diagonalbogen *cd* und *de* als Quadranten an und bestimmen sonach sowohl die Höhen der Punkte *f*, wie die Gestalt der Diagonalbogen *ag* und *bg*, deren Hälften den Stücken *ef* und *cf* entsprechen, die also Spitzbogen sind. Von *g* aus spannt sich dann der Gurtbogen *gd* als halber aufgestellter Spitzbogen nach dem Scheitel der Scheidebogen. Eine perspektivische Ansicht zeigt die Fig. 90 a.

Ähnliche Pfeilerstellungen finden sich aus dem XIV. Jahrhundert in der Kreuzkirche zu Breslau und aus dem XV. Jahrh. in St. Stephan zu Wien. In ersterer ist die Auflösung bewirkt mittelst Teilung des Seitenschiffgewölbes in drei dreiseitige Joche Fig. 91 und in letzterer durch die eigentümliche Gestaltung des Netzgewölbes. Es eignen sich auch gerade die letzteren Gewölbe zur Auflösung aller Unregelmässigkeiten.

Sowie in allen diesen Fällen jedem inneren Pfeiler noch ein äusserer gegenüberstand und nur die Zahl der letzteren sich verdoppelte, so kann aber auch bei gleicher Zahl die Gegenüberstellung aufhören oder das Verhältnis der Stützpunkte in den verschiedenen Reihen nicht mehr 1:2, sondern etwa 2:3 oder ein sonst beliebiges werden.

Beispiele der Verlegung der Stützpunkte bei gleicher Zahl haben wir in Fig. 88 und 89 entwickelt. In letzterer Figur liegt immer der Stützpunkt an der einen Seite der Bogenmitte der anderen Reihe gegenüber, in ersterer findet eine minder regelmässige Beziehung statt.

Das Verhältnis der Stützpunkte in beiden Reihen wie 2:3 findet sich in dem östlichen Flügel des Kreuzganges vom Meissner Dom, dessen Grundrissanordnung die Fig. 92 zeigt.

Die Scheitelpunkte sind hier *a, b, c, d, e, f*; die erzeugenden Bogen *gb, bh, mc, ma*, sowie alle von *n* ausgehenden. Der Punkt *k* liegt ebensoweit von dem Scheitel *b* wie der Punkt *l* von dem Scheitel *a*. An der südöstlichen Ecke ist dann, wie aus unserer Figur ersichtlich, ein Übergang in einen vereinfachten Grundriss dargestellt.

Bildungen der Spätzeit.

In der späteren Zeit wurden den Rippen verschiedenartige Bereicherungen zugefügt, sie wurden doppelt übereinander gesetzt, mit masswerkartigen Durchbrechungen versehen usf. Den ersten Anlass zu diesen Bildungen gaben senkrecht über den Rippen aufsteigende Wandzwickel.

Schon in romanischer Zeit führt der unregelmässige Zusammenschchnitt von Wölbflächen auf solche Lösungen. Wenn z. B. das rechteckige Feld *abcd* in Fig. 93 an der Langseite mit einem Halbkreise, an der kurzen Seite mit einem „überhöhten“ Halbkreise überspannt ist, so wird sich im Aufrisse über dem Gurtbogenzwickel die dreieckige Wand *mno* erheben. Überhöhte oder gestelzte Bogen führen überhaupt leicht zu dieser Bildung, die sich besonders oft bei polygonalen Chorschüssen, häufig auch bei sechsteiligen Gewölben findet (vergl. Fig. 62c). Die späteren reichen Netzgewölbe bieten noch mehr Anlass zu derartigen Gestaltungen. So kommt es vor, dass bei dem in Fig. 86a dargestellten Netzgewölbe „nur die Rippen“ bis zu dem tief liegenden Stützpunkte *a* herabgehen; auf ihren Rücken

wird eine senkrechte Wand hochgeführt, gegen welche die Kappenflächen erst weiter oben in der Höhe bc angesetzt werden. Es bildet sich sodann über jeder Rippe ein senkrechtes Wandstück abc usw., wie es Fig. 86b im Schnitte und Grundrisse zeigt. Es liegt nahe, dieses Wandstück zu durchbrechen, beziehungsweise dasselbe in Masswerkformen aufzulösen.

Durchbrochene
Zwickel über
den Rippen.

Ein sehr reiches Beispiel einer derartigen Gewölbeanlage zeigt der Kreuzgang von St. Stephan in Mainz, von dessen südöstlicher Ecke Fig. 95 eine Skizze giebt, zu welcher Fig. 94 den Grundriss darstellt. Da die Ecke in den Raum ein-springend ist, vereinigen sich an ihr eine grosse Zahl von Rippen.

Der jedesmalige Zusammenschchnitt von Unter- und Oberrippe muss natürlich aus einem Werkstücke gearbeitet sein, welches Fig. 95b in Perspektive darstellt. Auch der Anschluss der Oberrippen an den senkrecht herabgeführten Dienst besteht aus einem Stücke, welches, wie der Grundriss Fig. 95c klarlegt, ziemlich grosse Abmessungen bekommt. Der in der Richtung einer Rippe angenommene Querschnitt Fig. 95a zeigt, dass die Masse abc fortgearbeitet werden muss, was die Ausbildung einer Nase an dieser Stelle begünstigt. Wird die Nase an dem darunter liegenden Werkstücke wiederholt, so ergibt sich eine masswerkartige Ausbildung der Durchbrechung. Bei grösseren Verhältnissen wird natürlich das Masswerk bereichert und zur gegenseitigen Verstrebung der Unter- und Oberrippe benutzt werden können.

Das System, auf welchem die ganze Gestaltung beruht, die Durchbrechung einer auf den Rippen aufgeführten Wand, findet sich indes, wenn schon in abweichender Ausführung, an manchen früheren Werken vor. Wir meinen jene Steinplattendecken, welche z. B. in dem Turme des Freiburger Münsters über dem unteren Saale des Turmachteckes und in ganz ähnlicher Weise über der Kapelle im nördlichen Flügel des Kreuzganges des Magdeburger Domes und der Vorhalle des Göttinger Rathauses vorkommen. Sie unterscheiden sich von einem wirklichen Gewölbe nur dadurch, dass die nach einem flachen Bogen von Rippe zu Rippe gewölbten Schichten hier durch von Rippe zu Rippe gelegte Steinplatten ersetzt werden, die daher über dem Rücken der Rippe in einer Fuge zusammenstossen. Um den Platten ein wagerechtes Auflager zu bieten, muss oberhalb der Rippen eine tragende volle oder durchbrochene Wand errichtet werden, die, wie in Freiburg durch ein Pfosten- und Bogensystem (wie Fig. 96 in perspektivischer Ansicht zeigt) oder durch Masswerkformen gebildet sein kann wie in Göttingen und in Magdeburg.

Der einzige Unterschied zwischen der Konstruktion von Fig. 95 und Fig. 96 liegt darin, dass die Rippe c in ersterer Figur einen Bogen, in dieser aber eine Wagerechte bildet. Während also erstere nur noch einer Sicherung des Widerlagers bedarf, so wird für letztere eine fortlaufende Unterstützung nötig, welche wieder von der Rippe c' getragen werden muss. Wenn daher wie in Fig. 96 diese Unterstützung durch Pfosten oder Säulchen bewirkt wird, so müssen die Ansätze der letzteren an die Werkstücke, aus denen die Rippe c' besteht, angearbeitet sein. Der gleichmässigen Belastung wegen müssen diese Werkstücke möglichst so lang sein, dass ein jedes mindestens einen Pfosten aufzunehmen hat. Genaueren Aufschluss über die Belastung der Rippe giebt die für diesen Fall leicht zu konstruierende Stützlinie. Es muss daher jedes einzelne Rippenstück etwa die in Fig. 96a gezeigte Gestalt erhalten. In Freiburg freilich ist nur für die Hälfte der Pfostenbreite der Ansatz angearbeitet und die andere Hälfte in den Rücken der Rippe eingeschnitten, wodurch allerdings an Steinmaterial für die Rippe gespart wird.

Die Belastung der Rippe macht einen wesentlichen Vorzug der Konstruktion von Fig. 96 aus, indem dadurch die Rippe gegen ein seitliches Verschieben ge-

sichert wird. Das Fehlen dieser Sicherung in Fig. 95 zwingt bei grossen Abmessungen zur Anwendung künstlicher Auskunftsmitel, wie eiserner Klammern oder Dübbel, die der oben angeführte Mainzer Kreuzgang zeigt, macht also eine Schwäche dieser sonst noch völlig konstruktiven Anordnung aus. Stärker verleugnet sich aber der konstruktive Charakter in einzelnen Rippengestaltungen der Spätgotik, deren Entstehung allein in dem Gefallen an der bunten Wirkung solcher Durchbrechungen gesucht werden kann. An manchen Orten, unter anderen in St. Leonhard in Frankfurt finden sich zwei Rippen von ungleichen Radien untereinander (vgl. Fig. 97). Diese Anordnung kann konstruktiv berechtigt sein, wenn etwa die obere Rippe die Kappenlast aufnimmt und die untere zwei Kreuzpunkte verstrebt. Oft ist aber die untere Rippe eine unnütze Zuthat, die zuweilen nur durch eiserne Dübbel ihre Lage behaupten kann.

Doppelte
Rippen-
systeme.

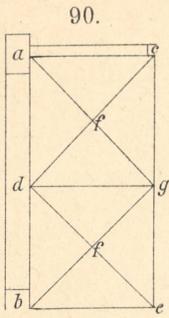
Das Streben nach reichen Formen spricht sich noch mehr in den gleichfalls dem Ende des XV. Jahrhunderts angehörigen doppelten Rippensystemen übereinander aus. Von denselben steht nur das obere in Beziehung zu den Kappen, während das untere, von den gleichen Diensten ausgehend, von dem oberen völlig getrennt ist und seine Verschränkungen nach einem völlig abweichenden Schema bildet, so dass die Oberkante der unteren Rippe unter der Unterkante der oberen hindurchstreicht. Ein Beispiel dieser Anordnung findet sich in der Kirche des Dorfes Langenstein bei Marburg (s. Fig. 98). Die Wirkung der beiden Systeme der einander durchkreuzenden Formen derselben, die noch gesteigert wird durch die von den unteren frei schwebenden Rippen nach oben auf die Kappenfläche geworfenen Schlagschatten, ist eine wahrhaft überraschende. Nicht minder überraschend ist aber die sinnreiche Grundrissanordnung, die überaus geschickte Verbindung der Entwicklung aus dem Vierecke oder Achtecke mit der aus dem Dreiecke oder Sechsecke. Es ist in dieser Hinsicht nicht ganz unfruchtbar, das Sonst mit dem Jetzt zu vergleichen. Es giebt wenig Handwerker oder selbst Baumeister, die im stande wären, heutigen Tages eine Anordnung zu ersinnen, welche der des schlichten Dorfmaurermeisters in Langenstein ebenbürtig wäre. Und es ist nicht die durch vielfache Kunstübung gewonnene Sicherheit der Ausführung, es ist in weit höherem Grade die Unmittelbarkeit der Erfindung, kurz der eigentliche Inhalt, welcher den Ruhm der alten Werke ausmacht.

Das erwähnte Gewölbe gehört erst der Spätzeit an, es leidet in erhöhtem Grade an der oben angeführten Schwäche, nämlich an der Notwendigkeit der eisernen Klammern für das untere System. Noch reichere Beispiele derselben Art finden sich in St. Willibrord in Oberwesel.

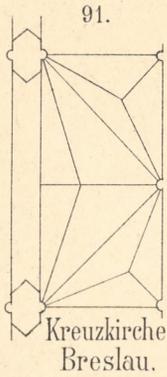
Schwebe-
bogen und
Nasen.

In der Spätzeit sind die Unterkanten der Gewölbebogen oft mit fortlaufenden Reihen kleiner herabhängender Schwebebogen besetzt. Es ist die nämliche Verzierungweise, die sich schon weit früher an Portalbogen findet. Sie überträgt sich dann auf die Scheidebogen im Innern wie bei der noch romanischen Kirche S. Isidoro zu Leon in Spanien und später bei St. Jakob zu Lüttich, wo sie sogar in zwei parallelen Reihen angeordnet ist. Schliesslich macht sie sich auch an den Gurten und Rippen geltend. Bei letzteren finden sie sich entweder nur an den zunächst dem Schlusssteine befindlichen Teilen und hören nach unten auf, wie im

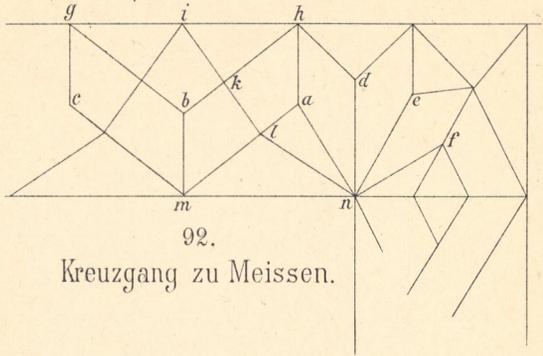
Tafel XI.



90.

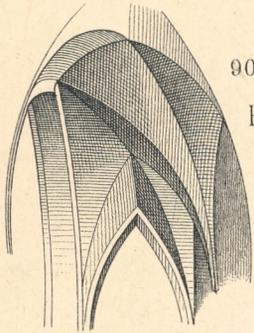


91.



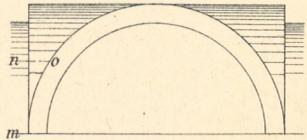
92.

Kreuzgang zu Meissen.

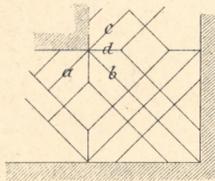


90 a.

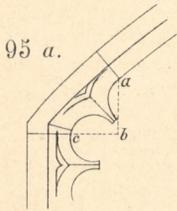
Barfüßerkirche Erfurt.



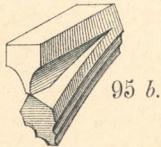
93.



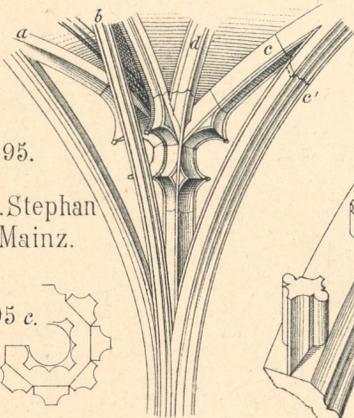
94.



95 a.

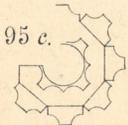


95 b.

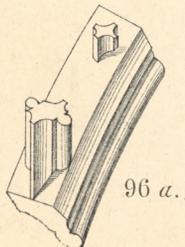


95.

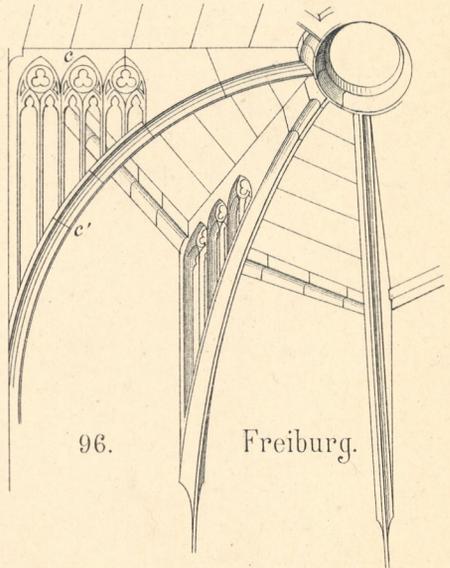
St. Stephan Mainz.



95 c.



96 a.



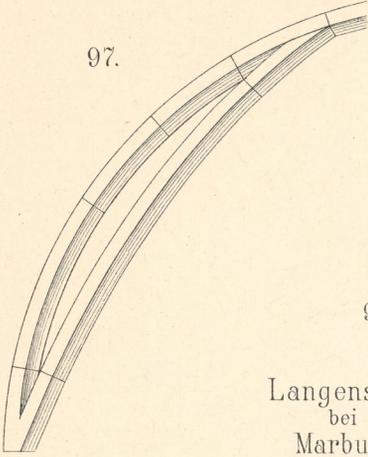
96.

Freiburg.

Tafel XII.

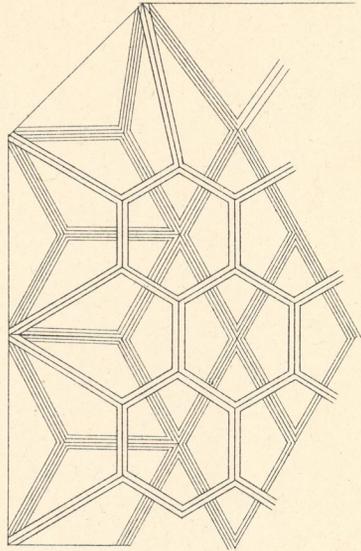
Rippenbildungen der Spätzeit.

97.



98.

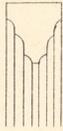
Langenstein
bei
Marburg.



99.

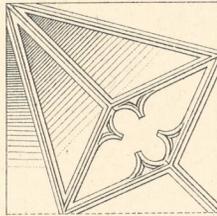


99 a.



100.

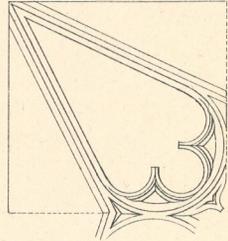
Köln.



100 a.



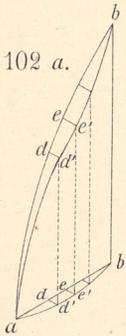
101.



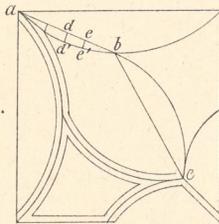
Mühlhausen.

102 a.

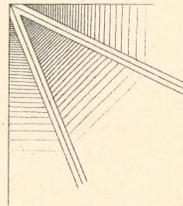
Strassburg.



102.



103.



Chor der Sebalduskirche in Nürnberg, oder sie werden über die ganze Rippe vom Kapitäl aus zum Schlusssteine fortgeführt, wie im nördlichen Seitenschiffe des Domes zu Mainz und in besonders zierlicher Weise in dem Treppenturme eines Hauses in der rue de forge in Dijon (Fig. 99, wozu 99a das Rippenprofil) zeigt.

Ebenso gehört zu den mehr willkürlich dekorativen Gestaltungen der Rippen das Ansetzen von Nasen an die Seitenflächen der Rippen, welche dann frei unter die Kappenflächen hineintreten, zugleich aber dem betreffenden Werkstücke der Rippe ein grösseres Breitenmass aufzwingen. Ein derartiges Beispiel findet sich in einer der Kirche Maria zum Kapitol in Köln angebauten Kapelle Fig. 100. In der Regel ist dann das Rippenprofil nach oben wieder zusammengezogen, so dass die Nase frei zu liegen kommt (s. Fig. 100a). Unmittelbar aus einer Fortführung der Nasenbogen ergibt sich die Gestaltung der im Grundrisse masswerkartig gebildeten Rippen, welche anfangs noch in Verbindung mit geradlinigen Rippen vorkommen, wie in der Vorhalle der Marienkirche zu Mühlhausen (Fig. 101), während später der ganze Gewölbegrundriss daraus gebildet ist. Schwach gebogene Rippen können, wie bereits Seite 29 erwähnt wurde, ihre praktische Berechtigung haben, davon kann aber bei den sogenannten gewundenen Reihungen der Spätgotik meist nicht mehr die Rede sein, wofür eine Kapelle an der Südseite des Strassburger Münsters einen möglichst entschiedenen Beleg giebt. Die Wirkung der sich wie Schlangen im Raum herumwindenden Rippen ist eine wahrhaft quälende und überaus magere. Fig. 102 zeigt ein derartiges Beispiel im Grundrisse.

Gewundene
Reihungen.

Die Konstruktion der Aufrissbogen dieser gewundenen Rippen geschieht zunächst für die Sehnen derselben, also für den Bogenteil ab in Fig. 102 über der Sehne ab usw. Aus dem für die Sehne ab konstruierten Aufrissbogen bestimmt sich daher der Bogen der eigentlichen Rippe in der Weise, dass z. B. die Höhe des Punktes d' gleich der des Punktes d genommen wird und ebenso die Höhe des Punktes e' daselbst gleich der des Punktes e usw. Wenn in Fig. 102a der Bogen $adeb$ die isometrische Projektion des über der Sehne geschlagenen Bogens ist, so wird der Bogen $ad'e'b$ der wirkliche Bogen des Rippenstückes, welcher sich in derselben Weise für bc usw. würde ermitteln lassen.

In derselben Weise geschieht dann auch die praktische Ausführung, indem nämlich den Seitenflächen des über der Sehne ab gestellten Lehrbogens ein entsprechend gebogenes Stück Holz angefütert wird.

Die Richtung der Fugen in den Kappen kann in verschiedener Weise angenommen werden. Der Gewölbegrundriss bestimmt in der Regel die Wahl. Es kann diese Richtung entweder für jedes Kappenfeld eine besondere sein, so dass die Fugen der verschiedenen Felder sich auf den Rücken der Rippen unter schiefen Winkeln schneiden, wie in Fig. 103, oder es können die Fugen über den Rücken einzelner Rippen in gerader Linie durchgehen und auf den zunächstbefindlichen sich unter schiefen Winkeln schneiden, wie in Fig. 100 angegeben. Endlich können sie über allen Rippen in gerader Linie durchgehen und sich in den Mittellinien der Kappenfelder schneiden, in ähnlicher Weise, wie in den Scheitellinien der Kreuzgewölbe. (Näheres über die Konstruktion der Kappen folgt in einem besonderen Kapitel.)

5. Die Aufrissgestaltung der Gewölbe nach statischen und praktischen Rücksichten.

Im vorigen Kapitel sind die reicheren Gewölbeformen vorwiegend nach der „Grundrissbildung“ ihrer Rippen behandelt, nunmehr sollen die wichtigsten Anforderungen an die „Aufrissgestaltung“ zusammengestellt werden.

Die Mannigfaltigkeit der Aufrissbildung ist nicht geringer als die der Grundrissbildung. Das Prinzip der Gotik, jeden Bauteil streng aus den jeweiligen Bedingungen heraus zu entwickeln, tritt bei der Überwölbung besonders hervor. Für zwei verschiedene Grundbedingungen schafft die Gotik auch zwei verschiedene Gewölbe. Die veränderliche Grundform der Joche, die vorhandene Konstruktionshöhe, Beschaffenheit der Baustoffe, absolute Grösse der Wölbung, Höhenlage der Lichtöffnungen, Beschaffenheit und Verteilung der das Gewölbe tragenden Stützen — das alles schafft immerfort veränderte Vorbedingungen, die den willkommenen Antrieb zu stets neuen Lösungen geben. In diesem ständigen Wechsel ruht zum grossen Teile der zauberhafte Reiz der mittelalterlichen Werke.

Es war natürlich, dass unter „ähnlichen Verhältnissen“ auch „ähnliche Bildungen“ sich ergaben, die ein gemeinsames wiederkehrendes Gepräge annahmen, aber anfangs nie zu einer Erstarrung führten. Die Bauhütten dürften zunächst ihr Streben lediglich auf eine Schulung im eigentlichen Wesen der Sache gelenkt haben, nicht auf einen toten Formelkram; dieser kann selbst in der späteren Zeit nicht allzu starr gewesen sein, das beweist die ungebundene Abwechslung und die immer noch von Jahrzehnt zu Jahrzehnt erkennbare lebensvolle Umgestaltung der Formen. Am letzten Ausgange des Mittelalters war allerdings immer mehr des „Zirkels Kunst und Gerechtigkeit“ zu Ehren gekommen und aus der lebenden Konstruktionskunde eine tote Handwerksform geworden, die sich in die Renaissancezeit übertrug und hier ausser Zusammenhang mit dem praktischen Schaffen gänzlich verknöcherte, bis sie sich erst an der Schwelle unserer Tage in ihren letzten Resten verliert.

Sehr lehrreich ist in dieser Richtung die umfangreiche Arbeit von FR. HOFFSTADT — das gotische A B C — Frankfurt 1840. Der Verfasser hat, gestützt auf Überlieferungen aus dem späteren Mittelalter, noch mehr aber auf solche aus dem XVI. bis XVIII. Jahrhundert (Zeichnungen, Meisterschriften, Modelle u. dgl.) ein ganzes System von geometrischen Konstruktionsregeln entwickelt, die sich auf alle Teile des gotischen Bauwerks, als Mauer- und Pfeilerstärke, Fenstermasswerk, Gewölbebogen, ja selbst auf das spätgotische Laubwerk erstrecken. Die geometrischen Beziehungen sind meist aus dem Quadrate (Verhältnis von Seite zur Diagonale), aus dem gleichseitigen Dreiecke und aus dem Kreise entwickelt. So lehrreich die Arbeit nach mancher Richtung ist, so darf man ihr doch für das Verständnis der frühen und mittleren Gotik jedenfalls keinen erheblichen Wert beimessen. Einige Konstruktionsregeln für Stern- und Netzgewölbe, die gerade durch HOFFSTADT verbreitet sind, werden am Schlusse dieses Kapitels eine Besprechung finden, zuvor scheint es aber geboten, diese Gewölbe von anderen Gesichtspunkten aus zu betrachten.

Die Gestaltung der Wölbform mit Rücksicht auf das Gleichgewicht der Kräfte.

a. Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte.

Das Gewölbe als Stabsystem. Um die Vorstellung von der Lage und wechselseitigen Abhängigkeit der Kreuzpunkte eines reichen Rippengewölbes zu erleichtern, denke man sich zunächst

die Kappen fehlend und die Rippen ersetzt durch gerade Stäbe oder Spreizen. Von einem Gewichte oder einer Belastung dieser Spreizen selbst sei einstweilen abgesehen, alle vorhandenen Lasten mögen auf die Knoten- oder Kreuzpunkte vereinigt sein, welche letztere als bewegliche Gelenke zu denken sind.

Ein gewöhnliches Kreuzgewölbe nimmt sodann die Gestalt einer vierseitigen Pyramide an (vgl. Fig. 104). Bei einem einfachen Sterngewölbe setzt sich auf jede Seite der vorigen Pyramide noch eine dreiseitige Pyramide auf (vgl. die linke Seite der Figur). Wenn die vier Widerlagspunkte A, B, C, D fest und unverschieblich sind, dann ist auch die Spitze S ein fester Punkt. Damit sind dann auch alle drei Fusspunkte A, B und S der kleinen Pyramide fest und somit auch deren Spitze E . Diese Spitze könnte ihrerseits wieder den festen Stützpunkt für eine Firstrippe E, F abgeben. Das ganze Sterngewölbe stellt sich somit dar als ein festes unverschiebliches Gerüst von Stäben.

Die kleine Pyramide kann viel flacher sein als in der Figur gezeichnet, die Spitze kann ziemlich dicht auf die Grundfläche herabrücken (vgl. ME in Fig. 105). Die Haltbarkeit der Pyramide bleibt dabei noch immer gesichert, nur werden die Druckspannungen in den drei Stäben grösser, je flacher ihre Neigung ist. Wenn nun aber die Spitze noch weiter herabrückt, so dass sie in die Grundfläche ABS hineinfällt oder gar unter ihr liegt, dann wird die Grenze der Haltbarkeit erreicht oder überschritten sein, die drei Stäbe werden herabfallen (da ja eine Sicherung gegen Zug nicht angenommen war).

Daraus folgt die erste Grundbedingung für die Haltbarkeit des Gewölbes: Jeder Kreuzpunkt muss oberhalb der Ebene liegen, welche durch die Fusspunkte seiner „stützenden“ Rippen gelegt wird.

1. Gesicherte Höhenlage der Kreuzpunkte.

Ohne weiteres ergibt sich noch die zweite Bedingung, dass jeder Kreuzpunkt von mindestens drei Rippenästen gestützt sein muss, die so gerichtet sind, dass jede beliebige durch den Kreuzpunkt gelegte senkrechte Ebene beiderseits mindestens eine Rippe hat.

2. Unterstützung des Kreuzpunktes durch Rippen.

Als Grenzfall würde die Unterstützung eines Schlusspunktes durch nur zwei in einer Ebene liegende Rippenäste gelten können, letztere würden ebenso wie zwei gegeneinander gerichtete Dachsparren aufrecht stehen, solange keine quer gerichtete Seitenkraft auf sie einwirkt. Eine solche würde immer eine seitliche Absteifung verlangen, die durch weitere Rippen oder unter Umständen durch die eingespannten Kappenflächen geboten werden könnte.

Sehr oft treffen mehr als drei Rippen in einem Kreuzpunkte zusammen und zwar vier, sechs, selbst acht und mehr. Unter diesen müssen mindestens drei vorhanden sein, welche die vorigen Bedingungen erfüllen; strenggenommen lässt sich überhaupt nur bei Vorhandensein von drei stützenden Rippen die Verteilung der Druckkräfte auf die einzelnen genau ermitteln, bei einer grösseren Zahl ist die Konstruktion nicht mehr statisch bestimmt, es können hier durch Zufälligkeiten der Ausführung schwer berechenbare Druckverteilungen eintreten (in gleicher Weise wie drei Beine eines Tisches stets ihren Anteil tragen, während das bei vier oder mehr Beinen nicht angenommen werden kann). Bei der Ausführung der Gewölbe trägt die Dehnbarkeit des Mörtels viel dazu bei, von vornherein selbstthätig eine angemessene Verteilung der Kräfte herbeizuführen. Bei einem vierseitigen Kreuzgewölbe kann man beispielsweise mit grosser Sicherheit voraussetzen, dass jede der vier Rippen ihren Kraftanteil richtig überträgt, es müsste denn eine wesentliche Verschiebung in der Lage der Widerlager oder in der Belastung stattgefunden haben.

Wenn sich mehr als drei Rippen in einem Schlusspunkte vereinen, so können sie sämtlich

ihn unterstützen, oder es können ausser den erforderlichen Stützrippen auch belastende Rippen auftreten (vgl. DS in Fig. 107 und FE in Fig. 104). Als belastend muss eine Rippe gelten, wenn sie mit ihrem Fussende oberhalb einer Ebene mno (Fig. 107) liegt, welche durch den Schlusspunkt S parallel zu der Grundebene ABC der Stützrippen gelegt ist.

Neben derartigen Rippen, welche mit einem Ende stützen, mit dem anderen aber belasten, kommen solche vor, welche mit jedem Ende einen Kreuzpunkt zu stützen haben oder richtiger zwei Punkte gegeneinander abzusteifen haben. Solche verstrebbende Rippen treten besonders an Netzgewölben auf, die oft ganze Züge derselben aufweisen. Man muss sie für jeden der beiden Kreuzpunkte als eine Stützrippe ansehen, z. B. os , ns usw. im Netzgewölbe 109a. Im Sterngewölbe 108 würde dagegen ns als eine den Punkt s belastende und den Punkt n tragende Rippe gelten müssen.

Die Holzspreizen seien nun durch die wirklichen Rippen aus Stein ersetzt. Sehr kurze Rippen könnten als eine gerade Steinspreize gebildet sein, wie die englische Spätgotik thatsächlich gerade Rippen von geringerer Länge verwendet hat, die natürlich aus einem Stücke bestehen mussten. Sobald längere Rippen aus einer grösseren Anzahl von Steinen zusammengesetzt werden, bildet sich hier wie an anderer Stelle der naturgemässe Übergang vom Steinbalken zum Bogen. Die Bogenform wird schon durch das eigene Gewicht der Rippe, noch mehr aber durch die Belastung seitens der Kappen bedingt. Durch die gekrümmte Rippenform wird der obigen Grundbedingung für die Haltbarkeit eines Schlusspunktes aber noch eine zweite zugefügt. In Fig. 106 würde nämlich der Schlusspunkt E wohl durch die geraden Spreizen AE und BE getragen werden können, nicht aber durch die Rippenbogen über denselben. Diese zeigen zwischen R und S eine Einsenkung, welche ein Herabfallen der mittleren Rippensteine nach sich ziehen würde. Wenn von einer Aufhängung des Kreuzpunktes an oberen besonderen Tragbogen oder ähnlichen Künsteleien abgesehen wird, dann kann das Rippenstück nur dadurch haltbar gemacht werden, dass man dem Rücken soviel Masse zugiebt, als es die sichere Druckübertragung erfordert oder dadurch, dass man eine längere Strecke vw aus einem einzigen festen Steine herstellt, der unter den einwirkenden Kräften nicht zerbricht. Unter solchen Bedingungen finden sich in der That Beispiele von etwas eingesenkten Kreuzpunkten (z. B. an den reichen Netzgewölben des Kreuzganges zu Aachen).

Aus vorigem folgt die dritte Grundbedingung: Die stützenden Rippen dürfen sich am Kreuzpunkte nicht stark nach innen einsenken, es sei denn, dass hier besondere Sicherungen vorgesehen sind.

Ob ein Gewölbe diesen drei Bedingungen entspricht, lässt sich durch einfache Betrachtung seiner Form leicht erkennen. Allein genügen dieselben jedoch noch nicht um die Standfähigkeit eines Stab- oder Rippensystemes zu gewährleisten, es muss vielmehr die Lage der Stützpunkte und die Belastung in einem gewissen Zusammenhange stehen.

Wenn z. B. in Fig. 105 der Schlusspunkt S nur gering durch das Gewicht P belastet ist, dagegen der Kreuzpunkt E dicht über seiner Grundfläche ABS liegt und stark durch G belastet ist, so erzeugt G in den nach E führenden drei Stützrippen grosse Druckkräfte, von denen diejenige der Rippe ES den Scheitel S zu heben sucht. Die Stäbe AS und BS würden den Punkt S zurückhalten können, wenn sie Zugkräfte leisten könnten. Da mit diesen aber nicht gerechnet werden darf, würde die Haltbarkeit nur durch grössere Belastung des Scheitels S erreicht werden können. Wird E geringer belastet oder höher hinaufgeschoben, so kann natürlich die Be-

lastung von S sich wieder verringern oder schliesslich ganz fortfallen. Weit empfindlicher ist noch die Figur 109a. Wenn in dieser irgend ein Schlusspunkt eine Lastvermehrung erfährt, so wird er sich sofort senken und die umliegenden Stäbe in eine die Standfähigkeit verletzende Bewegung bringen.

Es lässt sich leicht erkennen, dass zwischen dem Verhalten der Rippensysteme nach Art der Figuren 105, 108a, 108b (Sterngewölbe) einerseits und den Systemen nach Art der Figuren 109a, 109b (Netzgewölbe) ein wesentlicher Unterschied besteht. In dem Stabsysteme 105 kann die Scheitellast P , wenn sie nur nicht gar zu klein wird, eine beliebige Grösse annehmen, ebenso kann der Punkt E , falls er nur nicht gar zu tief herabrückt, eine beliebige Höhenlage erhalten. In dem entsprechenden Gewölbe 108 können also die betreffenden Kreuzpunkte ebensowohl in der Höhe m wie in der Höhe n liegen oder selbst eine unter einander abweichende Höhenlage haben. In einem solchen Sterngewölbe haben die Kreuzpunkte eine unbewegliche Gleichgewichtslage zu einander, die auch in angemessenen Grenzen bestehen bleibt, wenn die Lasten sich ändern. Bei wechselnder Gestalt oder anderer Last ändern sich natürlich entsprechend die Grössen der Kräfte in den einzelnen Rippen, deren Abmessungen und Formen den Kräften angepasst sein müssen.) Die Vorzüge dieser Sternformen bestehen also darin, dass sie eine ziemlich willkürliche Anordnung der Kreuzpunkte zulassen und dass das ganze System selbst bei veränderter Belastung der Kreuzpunkte unverrückbar oder steif ist.

Anders verhält es sich mit dem Netzgewölbe 109a, 109b (vgl. 82, 83 und vielen anderen). Da die Kreuzbogen unterbrochen sind, wird der Scheitel s nicht fest durch sie unterstützt, er kann demzufolge auch nicht als unverrückbarer Fusspunkt für die weiteren Rippen so , sm usw. angesehen werden. Ebenso wenig können die Punkte o , m , usw. feste Fusspunkte für den Schlusspunkt s abgeben. Das ganze Rippennetz befindet sich in einem labilen Gleichgewichtszustande, wenn es als Stabsystem mit beweglichen Gelenken aufgefasst wird. Die Kreuzpunkte liegen nicht fest, sondern lassen sich gegeneinander verschieben. Eine Ruhelage des Systems ist nur möglich bei einer ganz bestimmten dieser Lage zugehörenden Belastungsart. Ändert sich die Lastverteilung im mindesten, so werden die Stäbe ihre Ruhelage verlassen und durcheinander fallen, oder wenn sie zugfest verbunden wären, so würde sich das ganze Stabsystem nach unten durchschlagen und gleich einem Netze unter den Widerlagspunkten hängen. Jede neue Belastung erfordert zur sicheren Aufnahme eine andere Lage der Stäbe. Soll z. B. der Scheitel s stärker beschwert werden, so muss er zuvor höher hinaufgerückt werden; allgemein fordert eine Lastzunahme ein Heben, eine Lastabnahme ein Senken des betreffenden Kreuzpunktes, damit eine Gleichgewichtslage entsteht. Man sieht, dass bei derartigen labilen „Netzformen“ die Höhenlage der Schlusspunkte durchaus nicht freigegeben ist; wenn die Widerlagspunkte und event. noch die Pfeilhöhe gegeben sind, so wird die weitere Höhenlage der einzelnen Kreuzpunkte durch die Belastung bedingt. Dem stellt sich, wie gezeigt, die grössere Freiheit in der Gestaltung der festen „Sterngewölbe“ gegenüber, die besonders in der früheren Zeit ihrer Verwendung mannigfach ausgenutzt wurde; je mehr man aber in der

späteren Gotik zu den beweglichen, maschenartigen Netzformen übergang, umsomehr mussten einheitlich gebogene Gesamtformen der Gewölbe gewählt werden, kugelähnliche oder cylinderartige Flächen.

Wir glauben die Unterscheidung von Stern- und Netzgewölben am besten so fassen zu können, dass unter einer Sternform ein unverschiebliches, unter Netzform dagegen ein labil verknüpftes Rippensystem zu verstehen ist. (In diesem Sinne werden beide Ausdrücke in der Folge verwendet werden.)

Die Rippensysteme sind zu vergleichen mit den räumlichen Fachwerken. Damit ein unverschiebliches oder steifes Stabsystem (Sterngewölbe) entsteht, sind bei m Kreuzpunkten und n Widerlagpunkten mindestens $3m + n - 3$ Stäbe erforderlich (die umschliessenden Stirnbogen sind dabei nicht als Stäbe mitgerechnet).

In Wirklichkeit sind die mit Masse behafteten Netzgewölbe natürlich längst nicht so labil, wie ein theoretisch gedachtes wesenloses Stabsystem. Die körperliche Ausdehnung der Rippen, die Steifigkeit der Knotenpunkte und die Versteifung durch die Kappen machen das Gewölbe in gewissen Grenzen unbeweglich. Bei nicht zu grossen Änderungen in der Belastung werden die zugehörigen Stützlinien nicht sehr voneinander abweichen, so dass sie alle im Innern der körperlichen Rippen einen gesicherten Platz finden. Wenn demnach das Netzgewölbe nach Form und Stärke richtig konstruiert ist, so steht es bezüglich der Haltbarkeit dem Sterngewölbe nicht gar so sehr nach, immer aber zeigt es diesem gegenüber beim Entwerfen die Fessel einer geringeren Freiheit in der Höhenlage der einzelnen Schlusspunkte.

Die theoretische Ermittlung der Gleichgewichtslage für die Kreuzpunkte solcher Gewölbe würde meist nicht sehr einfach sein. Man stellt sich ihre Gestalt am besten vor, wenn man sich unterhalb des Gewölbes ein herabhängendes Netz hergestellt denkt, dessen Knotenpunkte genau so belastet sind wie die des oberen Gewölbes. Dieses Netz wird eine Form annehmen, welche das getreue Spiegelbild eines oberen, dem Gewölbe entsprechenden Stabsystemes bildet. Der Unterschied zwischen dem Stabnetze und dem Seilnetze besteht darin, dass im ersteren sämtliche Stäbe auf Druck, im letzteren sämtliche Seile mit gleicher Kraft auf Zug beansprucht werden, ferner befindet sich das Stabnetz im labilen, das Seilnetz im pendelnden Gleichgewichte, d. h. ersteres hat das Bestreben, seine Gleichgewichtslage zu verlassen, letzteres immer wieder in dieselbe zurückzukehren. Ändert man die Belastung des Seilnetzes, so geht es selbstthätig in eine andere dieser Last entsprechenden Gleichgewichtslage über. Letztere müsste auch dem Stabnetze gegeben werden, damit es bei der neuen Last stehen könnte. Wenn im Stabnetze bei einer Belastung irgendwo eine unerlaubte Zugkraft entstehen würde, so ist auch diese aus dem entsprechenden Seilnetze sofort zu erkennen, es werden sich hier die Knotenpunkte gegeneinander bewegen und das zwischen ihnen liegende Seil wird schlaff werden.

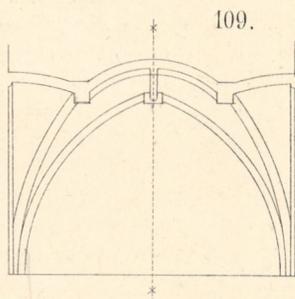
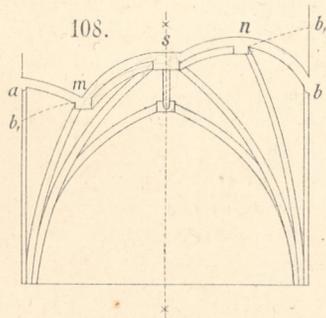
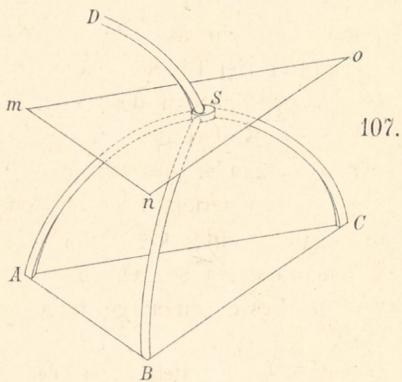
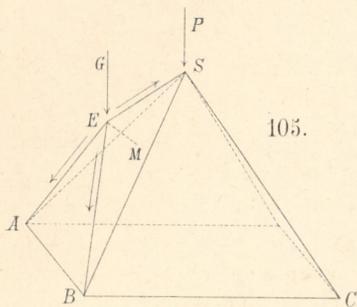
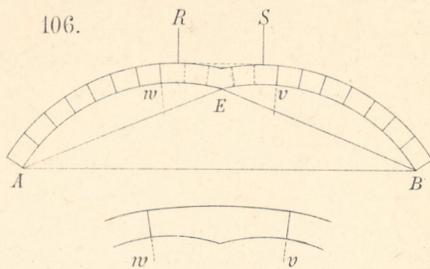
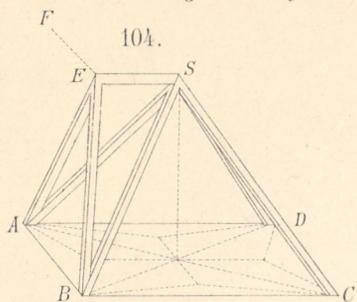
Ein solches Seilnetz ist für das Gewölbe dasselbe, was das Seilpolygon für einen Bogen ist. Wird unter einem Bogen ein Seil ausgespannt, das man genau so belastet wie den Bogen selbst, so wird es die theoretisch richtige Bogenlinie im Spiegelbild zeigen. Würde man die Lasten fortlaufend anbringen, so würde sich eine Kurve „eine Seillinie“ ergeben; da man aber die Lasten an einzelnen Punkten aufhängen wird, ergibt sich ein eckiger Linienzug „das Seilpolygon“. Das diesem entsprechende Druckpolygon, das im übertragenen Sinne auch wohl Seileck genannt wird, geht bei Vermehrung der Lastpunkte in eine Kurve über, die der Seillinie entspricht und als „Drucklinie“ bezeichnet wird. Die graphische Statik konstruiert diese Linien in einfacher Weise durch mannigfache Anwendung des Parallelogrammes der Kräfte (vgl. MÜLLER-Breslau, Elemente der graphischen Statik; KECK, Vorträge über graph. Stat. und andere). Dabei findet man nicht nur die Richtung der Kräfte, sondern auch ihre Grösse. Eine Ausdehnung der graphischen Statik auf die räumlichen Netzformen ist für die meisten Fälle nicht so sehr einfach, da sie ihre

Unterscheidung der Stern- und Netzgewölbe.

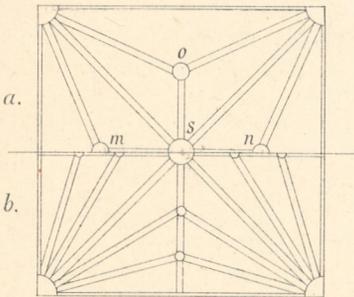
Seilpolygon und Seilnetz.

Tafel XIII.

Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte.

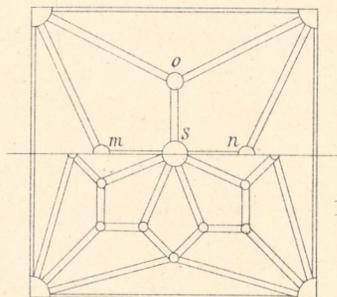


108 a.



108 b.

109 a.



109 b.

Konstruktionen nur in der Ebene ausführen kann. Hat man z. B. mit drei von einem Punkte ausgehenden Kräften im Raume zu thun, so wird man zunächst zwei durch eine Resultierende ersetzen müssen, welche mit der dritten in einer Ebene liegt.

Für besondere Fälle der Praxis könnte es sich thatsächlich empfehlen, kleine Netzmodelle (vielleicht in $\frac{1}{10}$ d. nat. Gr.) aus Seilen oder Fäden anzufertigen, deren Herstellung gar nicht so übermässig schwierig ist, wie Versuche des Bearbeiters gezeigt haben. Handelt es sich nur um die Festlegung der Kreuzpunkte, so würde man auf diese die ihnen zukommenden Belastungen der Umgebung in geeigneter Weise vereinigen können. Die von Punkt zu Punkt laufenden Fäden würden dann als straffe gerade Linien erscheinen.

Wollte man auf diese Art auch die theoretisch richtigste Krümmung der Rippen (von der unten noch die Rede sein wird) ermitteln, so hätte man das jeder Rippe zugehörige Seilstück in Form einer das Rippengewicht darstellenden Kette einzufügen und an deren Teilstücken eine ihnen zukommende Kraft anzubringen, berechnet aus Schub und Schwere des zugehörigen Kappenstückes sowie der etwaigen Oberlast. Auf diese Art bekäme man genau die theoretisch richtige Rippengestaltung. Wäre eine wechselnde Last anzunehmen, so würde man auch die Belastung des Modelles entsprechend ändern und die Verschiebungen beobachten. Alle dabei sich ergebenden Seillagen müssen natürlich mit genügender Sicherheit im Innern des späteren Rippenkörpers Platz finden.

Im Mittelalter hat ein gesundes konstruktives Gefühl, zeitweise geschärft durch üble Erfahrungen, die richtige Form selbst für die reichsten Rippengewölbe finden lassen, Wenn das Rippennetz ziemlich dicht wird und die Belastung nicht gar zu ungleichmässig verteilt ist, dann nimmt das Geripp eines Netzgewölbes eine ziemlich regelmässig gebogene Gesamtform an, die um so einheitlicher ist, je enger die Maschen werden. Bei zentralen Feldern ergeben sich meist kugelähnliche, über langgestreckten Räumen tonnenartige Bildungen. Sehr dichte Netze kann man ihrer konstruktiven Gestalt nach dreist als einfache vollflächige Gewölbe behandeln, es ist damit aber durchaus nicht gesagt, dass man bei ihnen unbedingt zu der genauen Kugel oder dem halben Kreiscylinder der Römer zurückkehren müsse. Andere Scheitelhöhen ergeben andere Gestalten, überdies erfordern jene römischen Formen eine Verschwendung an Wölbstärke, da sie mit den theoretischen Gleichgewichtsformen wenig genau übereinstimmen. Über letztere siehe weiter hinten (Seite 54 und folg.).

Eng-
maschige
Gewölbe-
netze.

Zwischen den ursprünglichen Gewölberippen und den späteren Maschenreihungen ist ein merklicher Abstand zu erkennen. Jene waren stark belastete Tragbogen, welche als festes Gerüst das ganze Gewölbefeld in Einzelgewölbe zerlegen; diese ziehen sich schliesslich als Netz unter einer einheitlich gebogenen Fläche hin, die Kappen oft weniger tragend als zeitweise verstärkend, wodurch aber immer noch leichte Wölbung, leichtes Lehrgerüst und eine ästhetische Teilung erzielt ist.

b. Druckverteilung in den Kappen.

Im vorstehenden handelt es sich um die Gesamtgestalt des Gewölbes, besonders um die gegenseitige Lage der Schlusspunkte. Die Rippen sind nur nebenher und die zwischen ihnen ausgespannten Kappenflächen noch gar nicht zur Besprechung gelangt. Bei einem grossen Teile der Wölbsysteme — den gewöhnlichen Kreuz- und Sternformen — konnte man in den durch die aufgestellten Bedingungen gebotenen Grenzen über die Lage der Schlusspunkte frei verfügen. Je

mehr man aber diese Freiheit ausnutzt, um so schärfer muss man sein Augenmerk auf eine richtige Gestaltung der Rippen und Kappen lenken.

Auf streng wissenschaftlichem Wege die Kräfte zu ermitteln, die in den tausendfältig gestalteten Kappen auftreten können, würde zu äusserst schwierigen, und doch nur bedingungsweise löslichen Aufgaben der Statik führen. Damit ist dem praktischen Baukünstler wenig gedient, für ihn ist es wichtig, dass er sich ein Gesamtbild von den Kraftwirkungen verschafft und dass er auf vereinfachtem, aber doch möglichst zutreffendem Wege sich Rechenschaft über seine Werke geben kann. Dazu gehört vor allem eine klare Vorstellung von den einschläglichen Verhältnissen; wird diese erworben, so kann man selbst ein nach dem ersten Anschein so unwegsames Gebiet, wie das der reichen gotischen Wölbbildungen, leicht entwirren und durchwandeln, wie es im folgenden versucht werden mag.

Sehr verbreitet ist die Täuschung, dass die Richtung des Wölbdruckes immer von der Lage der gemauerten Kappenschicht abhängt. Dies ist im allgemeinen nicht der Fall, für den Widerlagsdruck eines Tonnengewölbes ist es z. B. bei sonst gleicher Form ohne viel Belang, ob die Schichten liegend oder „auf den Schwalbenschwanz“ gemauert sind. Die Schichtenlage hat ihre grosse Bedeutung für die Ausführung der Gewölbe, später tritt sie ziemlich zurück (wenngleich sie immer noch bei etwaigen Verdrückungen eine gewisse Rolle spielen kann, wenigstens dann, wenn der Winkel zwischen der Druck- und Schichtrichtung ein zu spitzer ist. Näheres siehe hinten unter Kappengemäuer). In altchristlicher, romanischer und auch gotischer Zeit ist demgemäss ein mannigfaltiger Wechsel in der Schichtenlage zu beobachten. (Über die Schichtenlage bei den Byzantinern siehe vorn Fig. 12—13 und über diejenige der gotischen Gewölbe hinten Fig. 298—319).

Der wesentliche Faktor für die Druckverteilung ist nicht die Schichtenlage sondern die Gestalt des Gewölbes, aber auch diese ist nicht ganz allein entscheidend, es können verschiedene Nebenumstände, selbst Zufälligkeiten einen ganz erheblichen Einfluss üben.

Wenige Konstruktionen sind so sehr wie gerade die Wölbungen abhängig von Zufälligkeiten. Einige mögen hier aufgezählt werden. Auf die Spannungen im Gewölbe haben Einfluss: 1. unrichtig verteilte Widerlagsstärken, die ein gewisses Fortweichen der schwachen und ein Feststehen der starken Widerlagsteile ergeben, 2. verschieden starkes Einspannen der Widerlager durch äussere Kräfte z. B. die Schubkräfte benachbarter Gewölbe, welche sich auf das in Frage kommende Gewölbe übertragen, 3. verschiedenes Setzen der Widerlager, 4. ungleich zusammengesetzter oder ungleich steifer Mörtel, der an ein und demselben Gewölbe verwendet wird, 5. Unterbrechungen und verschieden schnelles Vorgehen beim Aufmauern, 6. festes Einspannen einzelner Schichten, während andere beweglich im vollen Mörtel stehen, 7. mehr oder weniger grosse Beweglichkeit des Lehrgerüsts und Art oder Zeitpunkt der Ausrüstung. Alle derartigen Umstände können kleine Verschiebungen oder Bewegungen bewirken, die bei der geringen Elastizität der verwendeten Baustoffe sofort eine merkliche Druckänderung nach sich ziehen. Findet bei starken Verdrückungen eine Zertrennung einzelner Wölbteile durch auftretende Risse statt, so wird dabei die Kraftübertragung um so mehr beeinflusst.

Bei den meisten dieser Nebenumstände spielt der Mörtel eine gewisse Rolle mit, er kann deren Einfluss ausgleichen oder verstärken, es kommt dabei besonders in Frage, ob der Mörtel noch weich oder bereits erhärtet ist. Im allgemeinen trägt der weiche Mörtel dazu bei, eine gleichmässige, der Form des

Einfluss der Schichtenlage.

Unregelmässige Druckverteilung.

Einfluss des Mörtels auf die Druckverteilung.

Gewölbes folgende Druckverteilung zu begünstigen, während nach Erhärtung des Mörtels sich der Druck vorwiegend dorthin fortpflanzt, wo er den grössten Widerstand findet.

Es hängen diese Erscheinungen mit den plastischen und elastischen Eigenschaften der in Frage kommenden Stoffe zusammen. Um sie zu verstehen, denke man sich eine zähflüssige, dem Erhärten nahe Masse (Mörtel, Asphalt) einen Abhang herabgleiten und sodann durch einen ausgezackten Körper aufgehalten (Fig. 110). Der Hauptdruck wird auf die vortretenden Zacken a ausgeübt, durch Verdrückungen und Verschiebungen in der Masse wird eine geringere Belastung auch noch den Vertiefungen b mitgeteilt, die Lücken c dagegen gehen ganz leer aus. Es wird die Masse nach der stattgehabten Formänderung zur Ruhe kommen und erhärten. Je starrer der Körper war, um so mehr wird er seinen ganzen Druck nur auf wenige vortretende Zacken bringen, je dünnflüssiger oder schmiegsamer er war, um so mehr wird er seine Last auch den Vertiefungen mitteilen.

Ähnliche Vorgänge spielen sich in einem Gewölbe ab. Denkt man sich ein Rechteck durch eine bauchige Tonne oder böhmische Kappe überspannt, so wird diese sowohl den Längs- als den Querseiten Druck übermitteln. Wie sich dieser Druck aber auf beide Richtungen verteilt, ist nach Erhärtung des Mörtels nicht völlig bestimmt zu sagen, es hängt das zum Teil von Zufälligkeiten ab. Werden die Mauern der kurzen Seiten $D G$ und $E F$ (vgl. Fig. 111) beseitigt (vielleicht auch nur durch ein Setzen der Grundmauern gesenkt —), so werden sich die anschliessenden Gewölbeile herabschieben, das benachbarte Stück fällt vielleicht ganz herab, darüber bilden sich schräge Risse, allmählich kommt das Gewölbe zur Ruhe und wird lediglich durch die Längswände getragen (Fig. 111a). Sind umgekehrt bei dem gleichen Gewölbe die kurzen Wände äusserst fest (Fig. 111b), während die langen zwar vorhanden aber zu schwach sind, (da völliges Fehlen im skizzierten Falle wohl nicht mehr thunlich), so werden die dünnen Längswände unter dem Wölbdruke sich setzen oder ausweichen. Dabei wird das Gewölbe nachrücken, bis es seiner Hauptmasse nach sich auf die festen kurzen Seiten gestützt hat. Diesmal tragen also gerade die kurzen Seiten, die vorhin leer ausgingen. Auf die Längswände kommt nur ein geringer Teil des Druckes und zwar so viel, wie diese aufnehmen können. Würde ihnen mehr zugemutet, als sie tragen können, so würde sich die Bewegung noch bis zur weiteren Entlastung fortsetzen. So wird das Verdrücken und Verschieben bis zu einer neuen Ruhelage mit anderer Lastverteilung stattfinden. Natürlich dürfen die Widerlager nicht gar zu unvollkommen sein, da sich sonst keine Ruhelage bilden kann, sondern die Verschiebungen sich bis zum Einsturze fortsetzen.

Je mehr der Mörtel erhärtet ist und je besser er angebunden hat, um so mehr lässt er zu, dass ein stärkeres Widerlager für ein schwaches eintritt; je weicher er aber ist, um so weniger ist dieses möglich. Die Umlagerung des Druckes infolge von Widerlagsverschiebungen bei erhärteten Gewölben ist in alten Bauten oft ganz erstaunlich, man kann an den Rissen verfolgen, dass sich die Wölblast auf gänzlich andere Punkte übertragen hat. Unter Umständen kann eine solche Umlagerung von Nutzen sein, im allgemeinen ist es aber dem Bauwerke dienlich, dass es dauernd

in derjenigen Weise seine Beanspruchung empfängt, die man ihm von vornherein zugemutet hat.

Dass aber von vornherein eine günstige allseitige Druckverteilung stattfindet, ist gerade durch den „weichen Mörtel“ zu erreichen. Wenn ein Widerlagsteil etwas weicht, so wird er bei weichem Mörtel nicht entlastet, es rückt vielmehr ein Teil des Gewölbes unter gewissen Verdrückungen nach, bis eine Ruhelage eintritt. Ist ein Widerlagsteil so schwach konstruiert, dass er überhaupt nicht mehr zur Ruhe kommt, so rückt ein weiches Gewölbe bis zum teilweisen oder auch völligen Einsturze nach. Wenn diese Eigenschaft des weichen Mörtels schlechten Konstruktionen zwar verhängnisvoll werden kann, so ist sie für richtige Anlagen willkommen, für diese will man gerade erreichen, dass einem jeden Widerlagsteil der Druck zugeführt wird, der ihm nach der Wölbform gebührt.

Welcher Grad der Weichheit für den Mörtel günstig ist, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden, einen gar zu beweglichen Mörtel wird man besser meiden, da er unerwünscht starke Verdrückungen erzeugen kann. Gewöhnlich reicht es hin, wenn nur noch ein ganz geringer Grad von Dehnbarkeit beim Ausrüsten vorhanden ist. Beim freihändigen Mauern genügt der dazu übliche steife Mörtel noch, um die Kappen bei der fortwährend wechselnden Last immer in einer entsprechenden Bewegung zu erhalten, so dass, wenn nicht ein gewaltsames Einkeilen einzelner Schichten stattfindet, schliesslich die Druckverteilung der Form des Gewölbes folgt.

Es geht aus diesen Betrachtungen hervor, dass ein Baumeister mit reinem Gewissen sein Gewölbe nicht zu spät ausrüstet, um die günstige Thätigkeit des Mörtels auszunutzen. Einer unsicheren Konstruktion kann dagegen „unter Umständen“ durch längeres Erhärten gedient sein, da dann „vielleicht“ die Arbeit der weichenden faulen Konstruktionsteile durch andere reichlich kräftig konstruierte mit geleistet wird. Im Nachfolgenden wird vorausgesetzt, dass eine der Wölbform zukommende regelrechte Druckverteilung, begünstigt durch die plastischen Eigenschaften des Mörtels, stattfindet. Man kann dann allgemein die Hypothese aufstellen, dass in einer gewölbten Kappenfläche jedes Kappenteilchen vorwiegend in derjenigen Richtung seinen Druck nach dem Widerlager fortpflanzt, welche eine rollende Kugel verfolgen würde, oder mit anderen Worten, dass der Druck sich immer in der steilsten Richtung zu übertragen sucht.

Die Kappengestalten, welche das Mittelalter verwendet hat, sind ungezählte, für die meisten gibt es keinen mathematischen Namen. Teile liegender, steigender und bauchiger cylinderartiger Flächen, Kegelausschnitte und alle möglichen kugelähnlichen oder busigen Formen kommen vor, sie lassen sich bei aller Verschiedenheit vorwiegend in zwei Abteilungen zerlegen, in die nach einer Richtung gekrümmten, tonnenartigen Flächen und die nach allen Richtungen gebogenen, busigen Flächen.

Nimmt man gemäss der vorstehenden Hypothese die Fortpflanzung des Gewölbedruckes an, so wird sich für Tonnenflächen eine parallele Streifenteilung (Fig. 112) und für eine Kuppel eine radiale Flächenzerlegung (Fig. 113 und 114)

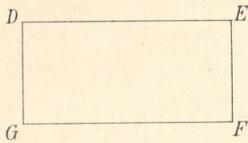
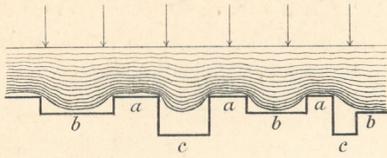
Abhängigkeit des Druckes von der Wölbform.

Zerlegung der Kappen in Streifen.

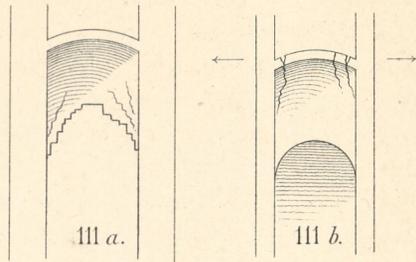
Tafel XIV.

Druckverteilung in den Gewölben.

110.



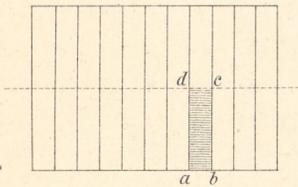
111.



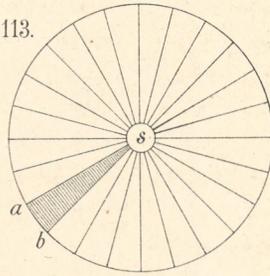
111 a.

111 b.

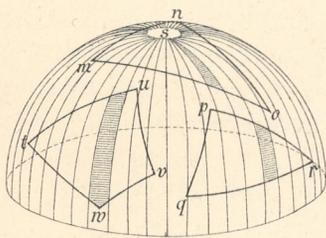
112.



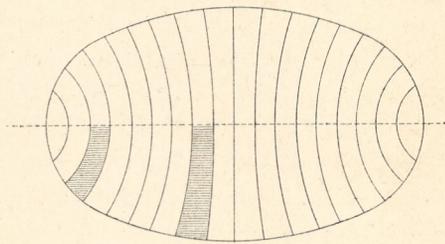
113.



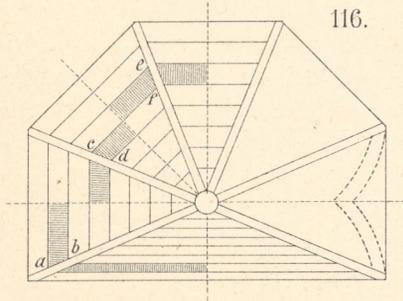
114.



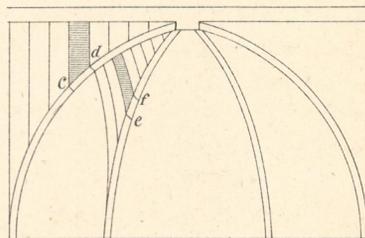
115.



116.



116 a.



ergeben. Für busige Flächen, welche sich von der Umdrehungskuppel nicht weit entfernen, kann man ohne grossen Fehler die gleiche radiale Zerlegung vom höchsten Punkte (Gipfelpunkt) aus vornehmen. Für beliebige Teilstücke einer solchen Fläche wie die gebogenen Dreiecke mno und pqr , sowie das Viereck $tuvw$ in Fig. 114 bleibt natürlich die Streifenteilung die gleiche. Nötigenfalls sind solche Flächenstücke erst bis zu ihrem Gipfelpunkte zu ergänzen, damit man von diesem aus die Teilung vornehmen kann. Liegen Flächen vor, welche sich sowohl von der Tonne als von der Kuppel weit entfernen, z. B. die zwischen beiden stehende Form Fig. 115, so ergibt sich nach Massgabe der Bahnen herabrollender Kugeln eine abweichende Streifenteilung, wie sie für den vorliegenden Fall in die Figur eingetragen ist. Meist wird man aber hinlängliche Genauigkeit erzielen, wenn man nach den Vorbildern 112 u. 113 parallel oder radial teilt oder auch beides vereint.

Nach diesen Angaben ist es leicht, bei einem Kreuzgewölbe irgend welcher Art die Kappenflächen in geeigneter Weise in Streifen zu zerlegen und dadurch die Art der Druckverteilung nach den einzelnen Richtungen angenähert zu erkennen. Es werde dies an mehreren Abbildungen gezeigt, die sich fast ohne jede Erläuterung verstehen lassen.

1. Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel. Die Kappenflächen haben eine tonnenartige Form und werden daher senkrecht zum Scheitel in parallele Streifen zerlegt. Als Beispiel (Fig. 116, 116a) ist ein halbpolygonales Chorgewölbe gewählt, es ist gleichgültig, ob die Schildbogen bzw. Kappenflächen nach dem Halbkreise, dem Spitzbogen oder einer anderen Linie gebogen sind. Jeder Kappenstreifen trägt seinen Anteil an Gewölbelaast und Schub auf das zugehörige Rippenstück, so dass der Rippenteil ab die beiden hier zusammenstossenden schraffierten Streifen aufnimmt. In gleicher Weise ist die Belastung der Rippenstücke cd und ef durch Schraffur angedeutet. Damit die Rippe nicht seitwärts ausbaucht, muss der Schub, den die beiderseitigen Streifen ausüben, sich in der Richtung senkrecht zur Rippe aufheben, es wird davon noch die Rede sein. Bei Gewölben mit steigendem Scheitel werden die Streifen die an der rechten Seite von Fig. 116 durch gestrichelte Linien angedeutete Richtung nehmen.

2. Kreuzgewölbe mit kugelähnlichen busigen Kappen (Fig. 117, 118, 119). Man sucht für jedes Kappenfeld den höchsten Punkt s auf und zieht von diesem aus im Grundrisse Strahlen, welche die Fläche in dreieckige Teilstreifen zerlegen. Auf ein Stück vw einer Rippe (Fig. 117) kommt Gewicht und Schub der schraffierten Dreiecke. In Fig. 117 liegen die Gipfelpunkte etwa in der Mitte der Kappenflächen, es verteilt sich der Druck daher etwa zu gleichen Teilen auf die Rippen und die Schildbogen. Rückt der Kappengipfel dicht an den Schlussstein (Fig. 118 links), so bekommt der Schildbogen den grössten Druck, umgekehrt erhalten die Rippen den Hauptanteil, wenn der Gipfelpunkt in die Nähe des Schildbogens rückt (118 rechts). Es kann sogar die Kappe sich so sehr nach einer Seite heben, dass der Gipfel gar nicht mehr im Kappendreiecke liegt, sondern ausserhalb desselben ergänzt werden muss. In dem linksliegenden Dreiecke der Fig. 119 erhält nur der Schildbogen eine senkrechte Last von den Teilstreifen, die Rippen werden nicht belastet, ausser dem nie fehlenden Horizontalschube er-

leiden sie vielmehr einen nach oben gerichteten Druck, sie werden getragen. Umgekehrt werden in dem rechts liegenden Kappendreiecke die Rippen stark belastet, während der Schildbogen einen Druck nach oben bekommt.

Man hat es in dieser Weise ganz in der Hand, je nach Wahl der Kappenform den Wölbdruck nach dem einen oder anderen Bogen zu lenken, was für die Ausführung solcher Gewölbe grosse Bedeutung hat. Wichtig ist es, immer darauf zu sehen, dass die Rippen möglichst von beiden Seiten gleich geschoben werden, was sich am vollkommensten erzielen lässt, wenn man die benachbarten Kappenwipfel symmetrisch zur Rippe legen kann. Selten haben busige Kappen eine kugelartige Form, meist weichen sie von der Kugel in der Weise ab, dass die in die unteren Kappendreiecke der Figuren 117, 118 und 119 eingetragenen Streifen an Stelle der in den linksseitigen Dreiecken gezeichneten in Frage kommen.

3. Kreuzgewölbe mit zugeschärften busigen Kappenfirsten (Fig. 120). Das Gewölbe entsteht, wenn von spitzen Schildbogen aus gekrümmte Firstkanten fm und gm zur Mitte geführt werden, gegen welche sich dachartig die Kappenflächen zusammenschneiden. Jede der Kappenhälften ist anzusehen als ein aus einer kuppelähnlichen Fläche geschnittenes Dreieck (vgl. pqr in Fig. 114). Den mutmasslichen Gipfelpunkt s muss man ergänzen und von hier aus die Teilstrahlen ziehen, wie solches in der Abbildung 120 geschehen ist.

4. Sterngewölbe. Es ergeben sich hier ganz entsprechende Abwandlungen wie bisher, einige derselben sind in der Fig. 121 dargestellt. Man kann auch hier mehr die eine oder die andere Rippe oder schliesslich auch den Schildbogen belasten. Gleicher Schub von beiden Seiten der Rippen ist natürlich auch hier zu erstreben.

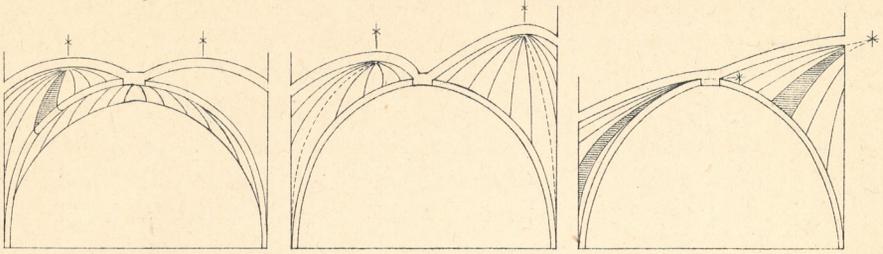
5. Netzgewölbe. Es kann wie bei vorigen Gewölbearten jedes einzelne Kappenstück für sich in mannigfacher Weise gebauht sein (siehe linke und untere Seite von Fig. 122 und Fig. 123); oder es kann, wie schon an anderer Stelle besprochen ist, für das ganze Gewölbe eine gemeinsame gebogene Kappenfläche angenommen werden. Es pflanzt sich im letzteren Falle der Druck von Kappenfeld zu Kappenfeld direkt fort, ohne dass den Rippen eine besondere Bedeutung dabei zufällt. Die Flächenteilung würde bei langgestreckten Netzgewölben auf eine Parallelstreifung wie bei der Tonne hinauslaufen (Fig. 123 rechts); bei zentralen Netzwölbungen würde dagegen eine strahlenförmige Teilung (Fig. 122 rechts) von dem Mittelpunkte s ausgehen, die sich über alle Felder zieht mit alleiniger Ausnahme der äusseren Dreiecke, welche gewöhnlich nach den Schildbogen hin anzusteigen pflegen (Wipfelpunkt s_2 und s_3).

c. Die richtige Form der Kappen.

Die Zerlegung der Kappen in einzelne Streifen, die sich sonach nicht nach der Richtung der Steinschichten sondern nach der Gestalt der Kappen richtet, war sehr einfach durchzuführen, nunmehr handelt es sich darum, die zweckmässige Krümmung eines solchen Kappenstreifens festzustellen und den Widerlagsdruck, den er auf die ihn tragende Rippe ausübt. Die Wölbdicke der Kappen sucht man so gering wie irgend möglich zu machen, sie beträgt meist 10—15 cm,

Tafel XV.

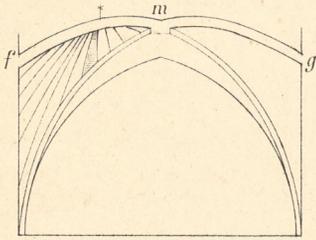
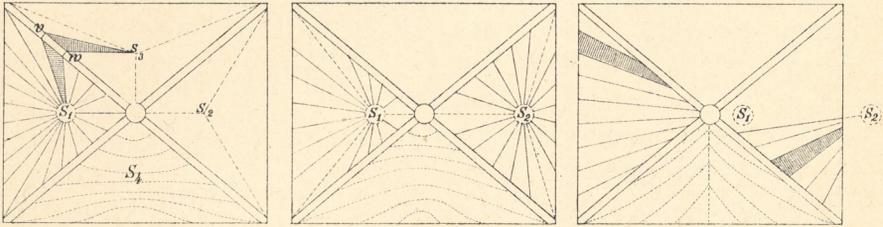
Zerlegung der Kappen entsprechend der Druckrichtung.



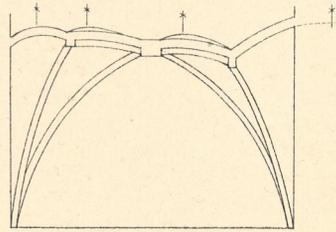
117.

118.

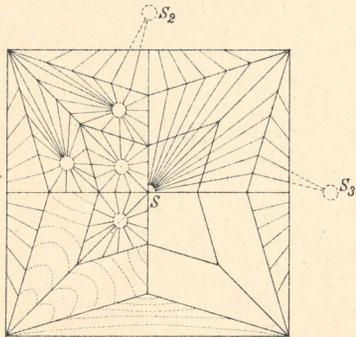
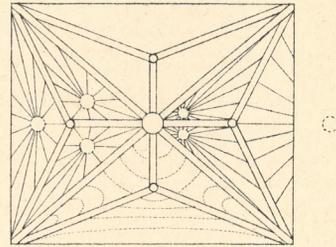
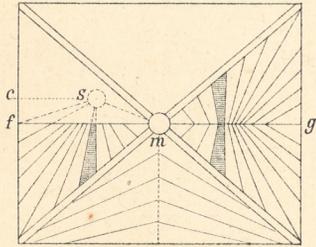
119.



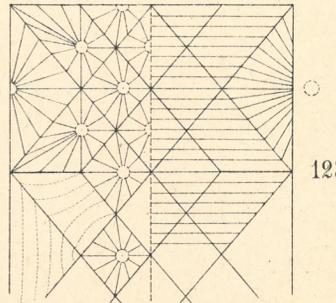
120.



121.



122.



123.

kann selbst noch weiter eingeschränkt sein. Soll nach der üblichen Annahme die Mittellinie des Druckes überall in dem mittleren Drittel der Wölbdicke liegen, so bleibt kein grosser Spielraum, d. h. mit anderen Worten, will man dünne Kappen wölben, so hat man sich an die theoretisch ermittelte Drucklinie mit der Wölb-
biegung anzuschliessen; ganz besonders gilt das für tonnenartig gestaltete Kappen. Ein aus der Tonnenkappe senkrecht zu deren Scheitel geschnittener Parallelstreifen ist genau so zu behandeln wie ein ganz gewöhnlicher gemauerter Bogen, die Stützlinie findet man für ihn gerade so wie für diesen.

Ermittlung
der Stütz-
linie.

Man zerlegt den Bogen oder den Kappenstreifen in eine beliebige Anzahl — z. B. elf — gleicher Teile, für jeden Teil berechnet man sein Gewicht, welches im Schwerpunkte angreift und senkrecht nach unten gerichtet ist nach Massgabe der Linien 1—11 in Fig. 124. In einer besonderen Nebenfigur, dem Kräfteplane oder Kraftecke, trägt man die berechneten elf Gewichte senkrecht unter einander nach einem angenommenen Massstabe, hier z. B. 20 kg gleich 1 Millimeter. Es entsteht dadurch die Linie AB , welche das Gesamtgewicht des Bogens darstellt. Ist, wie im vorliegenden Falle, der Bogen symmetrisch gebildet und symmetrisch belastet, so legt man durch den Mittelpunkt C der Linie AB eine Horizontale, auf welcher die im Bogen auftretende Horizontalkraft H aufzutragen ist. Da diese von vornherein nicht genau zu ermitteln ist, giebt man ihr zunächst probeweise eine Länge CP . Vom Endpunkte P , dem Pole, führt man nach den Teilpunkten der Vertikalen AB verbindende Strahlen, welche mit den römischen Ziffern I bis XII bezeichnet sind. Angenommen H sei richtig gewählt, so stellen diese Linien die im Bogen von einem Teile zum andern sich fortpflanzenden Druckkräfte nach Grösse und Richtung dar, aus ihnen lässt sich sehr leicht das Druckpolygon oder Seileck konstruieren, was unterhalb des Bogens in Fig. 124b geschehen ist. Es wird hier zu jedem der Strahlen I bis XII eine Parallele gezogen in der Art, dass ein polygonaler Linienzug entsteht, dessen Ecken je auf einer der Vertikalen 1 bis 11 liegen. Eine Kraft IV, welche im Kräfteplane sich zwischen die Vertikalkräfte 3 und 4 setzt, liegt auch im Seilecke zwischen den Vertikallinien 3 und 4 usf.

Das so für das vorläufig angenommene H ermittelte Seileck kann man als Drucklinie oben in den Bogen eintragen (siehe SR), es zeigt sich in diesem Falle, dass die Linie viel zu flach ist; wenn sie im Bogen bleiben soll, muss sie steiler, bezw. mehr gekrümmt sein. Es wird das dadurch erzielt, dass man einen geringeren Horizontalschub H annimmt, denn es entspricht einem hohen Bogen ein kleiner, einem flachen Bogen ein grösserer Schub. Man nimmt daher im Kräfteplane ein kleineres H an durch Verlegung des Poles P nach P' . Für diesen Pol führt man dieselbe Konstruktion der Drucklinie durch und fährt nötigenfalls mit den Versuchen noch weiter fort, bis man die günstigste Drucklinie ermittelt hat, d. h. diejenige Drucklinie, welche sich möglichst wenig von der Mittellinie des Bogens entfernt (vgl. $US'V$ in der Abbildung). Man nimmt an, dass bei einem „in gutem Zustande befindlichen“ Gewölbe der Druck bestrebt ist, sich nach der günstigsten Drucklinie fortzupflanzen, überhaupt hält man einen Bogen oder ein Gewölbe noch für haltbar, so lange noch eine befriedigende Drucklinie in ihm möglich ist. Näheres über die Konstruktion der Drucklinien siehe in den betreffenden Lehrbüchern, unter anderen in MÜLLER-BRESLAU, Elemente der graphischen Statik.

Die eingezeichnete Drucklinie $US'V$ fällt im vorliegenden Falle nicht mit der Mittellinie des Bogens zusammen, sie liegt aber überall im mittleren Drittel, im Scheitel nähert sie sich bei c mehr der unteren Grenze dieses Drittels, am Widerlager dagegen berührt sie die äussere, ausserdem nähert sie sich den Grenzen noch in den Querschnitten de und fg und zwar beim ersteren nach aussen, beim zweiten nach innen. Diese Stellen sind zu beachten, denn je mehr die Drucklinie sich aus der Mitte entfernt, um so ungleichmässiger verbreitet sich der Druck über den betreffenden Querschnitt. Nur wo die Drucklinie gerade durch die Mitte geht, wie bei ik , da bekommt der Bogen auf seinem ganzen Querschnitte gleichen Druck. (Wäre z. B. der Gesamtdruck nach Ermittlung durch den Kräfteplan an einer solchen Stelle 1000 kg, die Querschnittsfläche aber 800 qcm, so würde überall auf 1 qcm ein Druck von 1,25 kg zu rechnen sein.) Anders ist es beim Querschnitte ed , je mehr die Drucklinie sich der Aussenkante d nähert, um so stärker

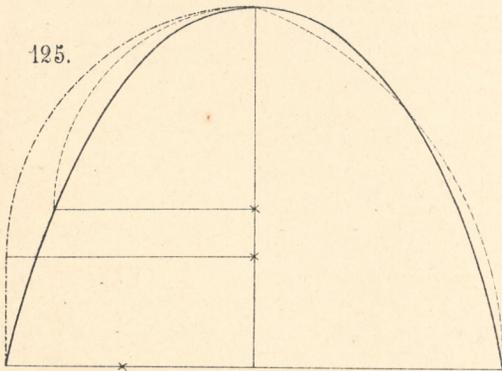
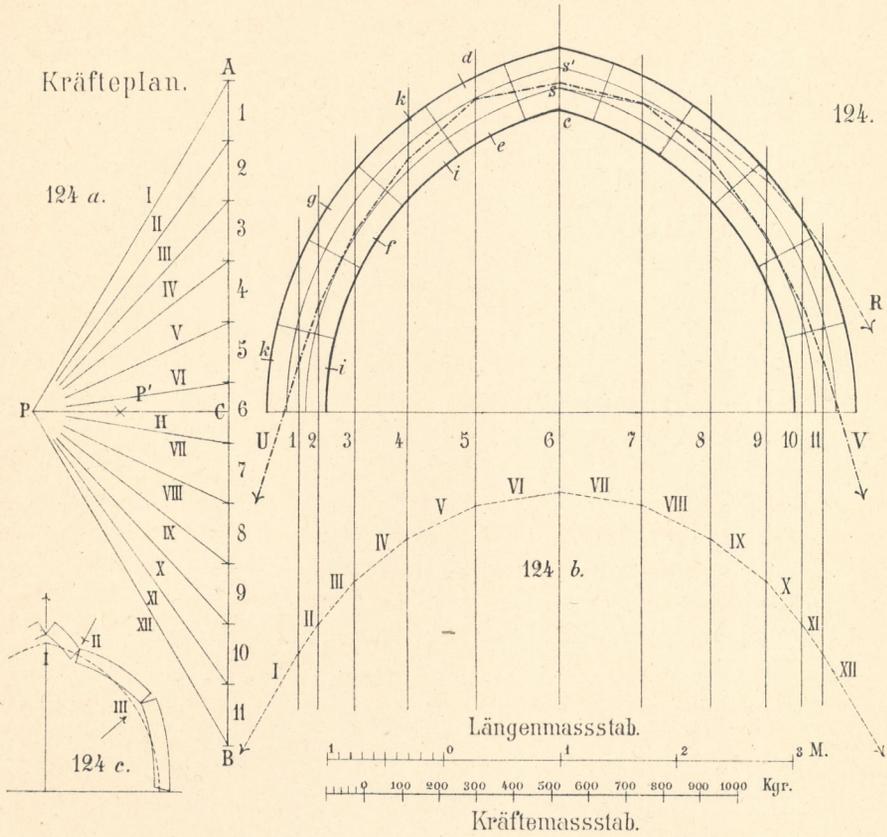
wächst der Druck an dieser Kante, während er bis zur inneren Kante e beständig abnimmt. Geht die Drucklinie gerade durch $\frac{1}{3}$ der Breite, so wird an der Aussenkante d ein Druck herrschen, der doppelt so gross ist als der Durchschnitt (also 2,5 kg statt 1,25 bei Annahme von 1000 kg Gesamtdruck und 800 qcm Fläche), an der Innenkante wird dann der Druck gerade gleich Null sein. Schiebt sich die Drucklinie noch mehr nach aussen, so wird sich an der Aussenkante der Druck rasch steigern, während an der Innenkante Zugkräfte auftreten. Können letztere vom Mörtel nicht geleistet werden, so tritt ein Öffnen der Fuge ein (ein Vorgang, den man an zahlreichen Gewölben oder Bogen beobachten kann). Würde gar die Drucklinie ganz aus dem Bogen hinaustreten, so würde, falls nicht der Mörtel Zug aushält, sicher ein Einsturz erfolgen. Die hierbei eintretende Bewegung ist in der Skizze 124 c veranschaulicht, man sieht, wie sich an den gefährdeten Stellen die Fugen, die sog. „Bruchfugen“, abwechselnd nach aussen und innen öffnen. Die Bruchfuge öffnet sich stets an der von der Drucklinie abgewandten Seite. Man erkennt ferner, wie wichtig es für „dünne“ tonnenartige Kappen ist, dieselben möglichst genau der Drucklinie anzupassen, da schon geringe Abweichungen bedenklich werden können.

Stützzlinie
für Tonnen-
gewölbe
gleicher
Wandstärke.

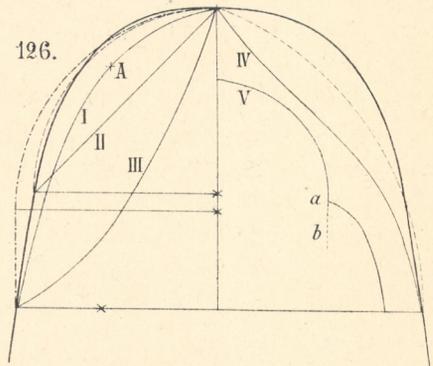
Ist die Beachtung der Drucklinie so wichtig, so fragt es sich, welches ist die eigentliche Gestalt derselben. Die in Frage kommenden Gewölbekappen werden fast immer in einer gleichmässigen Stärke, z. B. gleich einem halben Ziegelsteine, ausgeführt. Es ergibt sich aber für tonnenartige Bogen bzw. Gewölbe von gleicher Stärke immer dieselbe ganz bestimmte Drucklinie, die sich auf dem soeben beschriebenen Wege graphisch ermitteln lässt, die aber auch analytisch bestimmt werden kann (siehe HAGEN, Form und Stärke gewölbter Bogen und Kuppeln). In Fig. 125 ist die Gestalt der Drucklinie dargestellt, sie ähnelt etwas einer Parabel, die unteren Schenkel würden bei „unendlicher“ Verlängerung schliesslich in die vertikale Richtung übergehen. Ein „endliches“ Stück dieser wie jeder anderen Drucklinie kann aber unten am Widerlager nie ganz vertikal sein, sondern wird stets eine gewisse Neigung nach aussen zeigen. Ist ein flacher Bogen auszuführen, so wird man nur den oberen Teil der Drucklinie zu verwenden haben, für hohe Bogen wird man ein Stück aus der Stützzlinie herauszuschneiden haben, das soweit herabreicht, bis das erforderliche Verhältnis von Pfeilhöhe zu Spannweite erreicht ist. (Natürlich kann man die Form der Drucklinie als ähnliche Figur beliebig vergrössern oder verkleinern, jenachdem es die absolute Grösse des Gewölbes oder der etwaige Massstab der von dem Gewölbe zu fertigenden Zeichnung verlangt.)

Wird die Drucklinie nun mit den in der Praxis üblichen Bogenformen verglichen, so zeigt sich, dass ein sehr flacher Bogen keine erhebliche Abweichung von dem entsprechenden Stücke jener Linie zeigt, wohl aber ist dies bei hohen Bogen der Fall. Zum Vergleiche sind die gängigen Bogenformen als gestrichelte Linien in die Figur eingetragen, links der Halbkreis und der überhöhte Halbkreis, rechts der Spitzbogen. Man sieht, dass die beiden ersteren sehr ungünstig sind, sie entfernen sich sehr weit von der Stützzlinie, selbst durch grosse Materialhäufung an den Widerlagern kann die Stützzlinie ihnen nur um ein geringes näher gebracht werden. Soll die Drucklinie sicher ihren Platz in den Gewölben finden, so geben diese beiden Bogenformen stets ein schwerfälliges dickes Kappengemäuer. Unvergleichlich günstiger ist ein nicht zu schlanker Spitzbogen, dessen Vorzug besonders dem überhöhten Halbkreise gegenüber auffallend in die Augen springt, er weicht von der theoretisch richtigen Kurve unten ein wenig nach aussen, oben nach innen

Konstruktion der Drucklinie.



Drucklinie eines Tonnengewölbes
bei gleicher Wandstärke.



Drucklinie eines Kuppelgewölbes
bei gleicher Wandstärke.

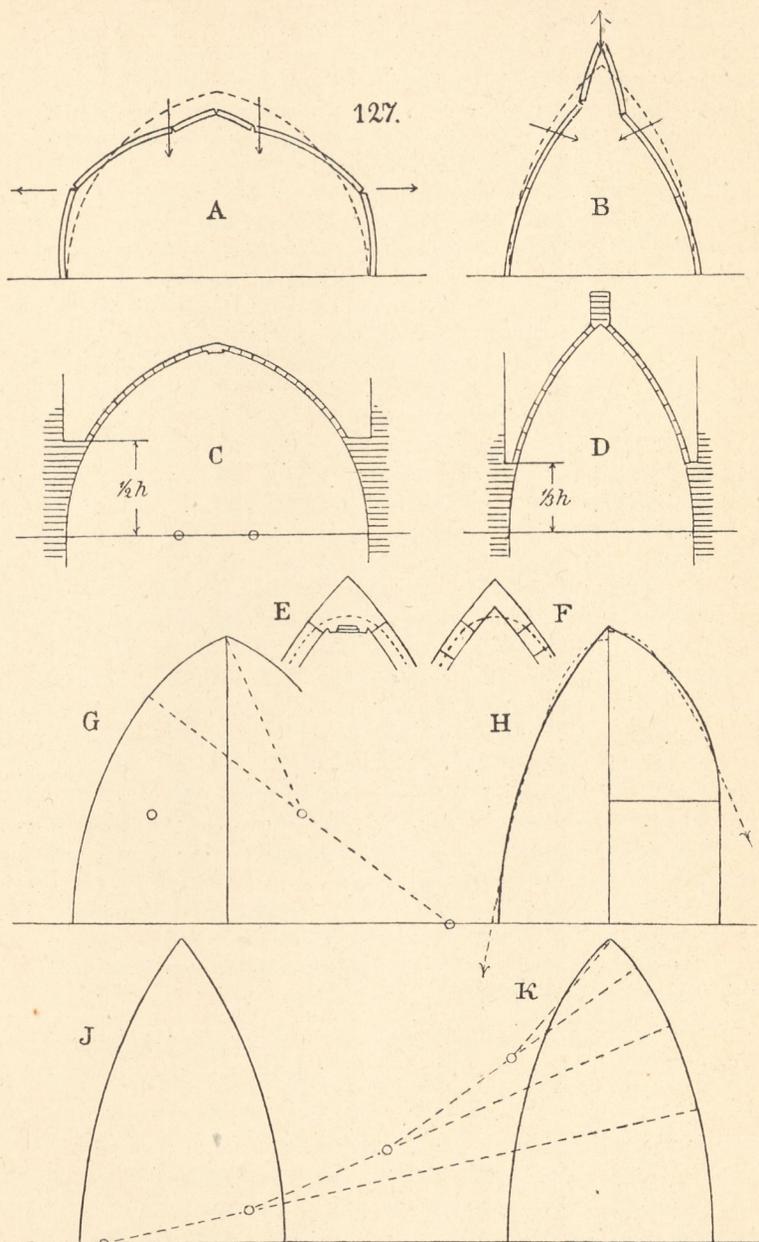
ab, zeigt aber überall nur eine geringe Entfernung von derselben. Sobald man die gleichmässige Kappenbelastung nur um ein geringes ändert durch Hintermauerung der tiefsten Zwickel und durch Hinzufügen einer gewissen Scheitelbelastung, so ändert sich sofort die

Stützkurve in der Weise, dass sie fast genau mit dem Spitzbogen zusammenfällt. Es steht eben keine einfache mit dem Zirkel geschlagene Bogenlinie der Stützkurve so nahe wie der Spitzbogen.

Hier finden wir die Erklärung, weshalb man im XII. u. XIII. Jahrhundert beim Einschränken der Wölbstärke so bereitwillig den Spitzbogen für die Kappen und somit auch für die Schildbogen und Gurte aufnahm. Selbst die frühzeitig von den Normannen eingeführte belastende First- oder Scheitelrippe findet somit neben ihrer praktischen auch eine konstruktive Begründung.

Was wir theoretisch ermitteln können, hat das Mittelalter im zielbewussten Streben empirisch errungen.

Das Verhalten der Spitzbogen ist sehr verschieden nach ihrer Pfeilhöhe, besonders verlangen sehr hohe, schlanke Bogen Beachtung. Von den Bruchfugen I, II und III in Fig. 124c wird für



Spitzboge
Tonnen-
gewölbe und
Kappen.

den niedrigen Spitzbogen mehr die untere III in Frage kommen, für den hohen mehr die obere I oder II. Beim Einsturze würde sich ein niederes Gewölbe nach der Skizze 127 A, ein hohes nach der Skizze B bewegen. Das niedrige ist statisch günstig, wenn die Scheitellast gering ist oder auch ganz fehlt, es ist bei ihm aber eine gute Hintermauerung (siehe Fig. 127 C) bis mindestens zu $\frac{1}{3}$ der Höhe, besser bis etwa zur Hälfte der Höhe erforderlich. (Beim Halbkreise am besten noch über die Hälfte.) Je schlanker der Bogen wird, um so wichtiger ist die Scheitellast, bei einem gleichseitigen oder 60 gradigen Spitzbogen (dem gleichseitigen Dreiecke umschrieben) wird sie zweckmässig schon zu $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{4}$ des Bogengewichtes angenommen werden, es würde sich also schon ein schwerer Schlussstein oder beim Tonnengewölbe eine verstärkte Scheitellinie empfehlen.

Wird der Spitzbogen noch weit schlanker (Fig. 127 D), so wird er sich mit gleichmässiger „geringer“ Wölbdicke überhaupt nur ausführen lassen, wenn der Schlussstein oder Scheitel stark belastet wird, nötigenfalls durch eine Übermauerung, die selbst bis zum Eigengewicht des übrigen Bogenteiles und darüber anwachsen würde. Die angemessene Grösse der Scheitellast ist sehr leicht durch versuchsweise Konstruktion der Stützzlinie zu ermitteln. Wird sie in gebührender Grösse ausgeführt, so ist gleichzeitig eine feste Zwickelhintermauerung bis $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ der Höhe am Platze, ist die Scheitellast aber zu knapp, so darf die untere Hintermauerung keinenfalls zu schwer werden, da sie sonst ein Hochdrängen der Bogenspitze befördern würde; bis zu ein Drittel der Höhe darf sie allerdings auch in diesem Falle meist unbedenklich hochgeführt werden, vorausgesetzt, dass sie gut einbindet.

Will man die Scheitellast umgehen, so giebt es für Bogen von übermässiger Pfeilhöhe nur die folgenden Auswege. a. Die Wölbdicke wird derart vergrössert, dass die Drucklinie sicher in ihr Platz findet, ein Mittel, das wohl am niedrigsten steht. — b. Der scharfe einspringende Winkel unter dem Scheitel wird ausgefüllt (vergl. Fig. 127 E). Gerade an dieser Stelle wird bei fehlender Scheitellast die Drucklinie am leichtesten unten aus dem Bogen treten, füllt man diese Stelle durch einen entsprechenden Schlussstein (E) (bezw. eine nicht zu schmale Scheitelrippe), so ist schon viel gewonnen. Auch das Einfügen eines Werkstückes mit langen Schenkeln wird schon helfen können (F), vorausgesetzt, dass es genügend fest ist, um bei der exzentrischen Lage der Drucklinie nicht zu zerbrechen. — c. Es wird eine günstigere Bogenlinie gewählt, als solche kann z. B. ein Spitzbogen in Frage kommen, dessen Schenkel unten mit einem grossen, oben mit einem kleineren Halbmesser geschlagen sind (Fig. 127 G und K, auch Fig. 49). — d. Der Spitzbogen wird aufgestellt (Fig. 127 H, rechts). Es wird dadurch oben eine Krümmung erzielt, die besser mit der Drucklinie übereinstimmt, allerdings wird der Widerlagsschub grösser und höher angreifen. Der aufgestellte Bogen ist in alter und neuer Zeit ein gutes und viel verwendetes Aushülfsmittel gewesen. Besser führt allerdings noch der soeben erwähnte zusammengesetzte Bogen zum Ziele, besonders wenn er mit noch mehr als zwei Halbmessern geschlagen wird; es entsteht dadurch eine bei grosser Pfeilhöhe auch dem Auge weit wohlthuerendere Form als die des gewöhnlichen, an der Spitze stets hart wirkenden hohen Lanzettbogens. (Vergl. Fig. 127 J und K.)

In jedem Falle wird das leicht ausführbare Einzeichnen der Drucklinie nach Fig. 124 darüber Aufschluss geben, welches Mittel am besten ist.

Richtige
Form der
Kuppeln und
busigen
Kappen.

Erfordern tonnenartige Kappen ein genaues Anlehnen an eine bestimmte Stützform, so ist dies weit weniger bei busigen Kappen der Fall, wie sich nachstehend ergeben wird. Bei der Tonne kann die zwischen je zwei Parallelstreifen auftretende Seitenkraft als Null angesehen werden, bei allseits gebogenen Kuppelflächen darf dagegen die zwischen zwei benachbarten Meridianstreifen auftretende gegenseitige Kraftäusserung nicht ausser acht bleiben, sie pflanzt sich in der Richtung eines horizontalen Ringes von Streifen zu Streifen fort und kann entweder eine Druck- oder eine Zugkraft sein. Ob Ringdruck oder Ringzug in der Kuppelfläche herrscht, hängt von der Gestalt derselben ab, es wird natürlich eine bestimmte Kuppelform möglich sein, bei der weder Druck noch Zug in der Ringrichtung auftritt, diese Form zu ermitteln ist von grossem Interesse. Wenn man

aus einer solchen Kuppel einen schmalen Meridianteil oder Spalt herauschneidet, so wird an dessen seitlichen Schnittflächen keinerlei Kraftäusserung auftreten können, d. h. solch ein gebogenes Dreieck wird selbständig stehen, sobald es nur oben am Scheitel und am Widerlagspunkt gehalten wird. Die Gestalt, welche diesem Spalt (und somit der Kuppel) zu geben ist, lässt sich auf graphischem Wege sehr leicht ermitteln, indem man ihn als einen ganz gewöhnlichen Mauerbogen betrachtet und für seine Belastung in der üblichen Weise die Drucklinie sucht. Es kümmert uns hier der Fall, in welchem wieder eine gleichmässige Wölb- dicke für die Kuppel bzw. busige Kappe vorliegt. Die sodann entstehende Stütz- form ist in Fig. 126 gezeichnet, sie ist gleichfalls durch HAGEN am angegebenen Orte analytisch bestimmt. Kuppeln oder Busenkappen, welche diesen Querschnitt haben, zeigen weder Ringdruck noch Ringzug.

Zu bemerken ist, dass für die Nachbarschaft des Scheitels die Kurve nicht ganz richtig ist, hier muss stets Ringdruck auftreten, da die Meridianstreifen, die nach der Mitte zu scharf aus- laufen, mit ihrer Spitze keinen Horizontalschub übertragen können.

HAGEN empfiehlt in seiner Schrift (Über Form und Stärke gewölbter Bogen und Kuppeln, Berlin 1874, S. 59) den Querschnitt der Kuppel direkt nach der von ihm aufgestellten, in Fig. 126 dargestellten Linie zu bilden — wir möchten dem nicht zustimmen. Der Vorzug busiger Flächen beruht gerade in der Möglichkeit einer „allseitigen“ Verspannung; auf den Ringdruck verzichten hiesse einen grossen Vorteil aus der Hand geben.

Wir möchten im Gegenteil als günstig gerade solche Kuppelflächen oder busige Kappen ansehen, die in jeder Höhe einen gewissen Ringdruck aufweisen. Bei derartigen Flächen können selbst bei bedeutenden Lastschwankungen nie Zugkräfte auftreten, für die Spannungen, welche in meridionaler Richtung nicht aufgenommen werden können, tritt der Ringdruck ein. Dadurch wird es möglich, eine busige Kappe auch bei Lastschwankungen sehr dünn zu halten, während ein Tonnengewölbe in solchen Fällen zur sicheren Aufnahme der Drucklinien eine Verstärkung fordert.

Unter diesen Gesichtspunkten sind unzählige Kuppelformen statisch als zulässig zu bezeichnen; so lange an keiner Stelle der Meridian- oder Ringdruck die durch die Festigkeit des Baustoffes gebotenen Grenzen überschreitet, so lange ist die Kuppel haltbar. Zur Veranschaulichung sind die Querschnittsformen I bis V in die Figur 126 eingetragen.

I. Der als besonders günstig zu bezeichnende Querschnitt I ergibt sich, wenn der Ring- druck von oben bis unten überall gleich gross ist, er ist in diesem Beispiele so gross wie der von oben nach unten wachsende Meridiandruck etwa an einer Stelle A.

II. Ein Kegel mit einem Winkel von 90° an der Spitze stellt sich als eine Kuppel dar, welche bei gleichmässiger Wanddicke in jeder beliebigen Höhe gleich grossen Ring- und Meridian- druck hat. Ein solcher Kegel übt zwar unten einen grösseren Schub aus als der vorige Querschnitt, ist aber sonst eine gute Kuppelform. Desgleichen sind schlanke Kegel oder Pyramiden (Turm- helme) als statisch günstige Kuppeln anzusehen.

III. Eine eingebogene Kurve giebt in gewissen Grenzen eine statisch mögliche Kuppel. Unten wird aber der Ringdruck und der Widerlagsdruck sehr gross und zwar um so mehr, je flacher hier die Kurve wird.

IV. Eine geschwungene Linie (orientalische Kuppel) kann sehr wohl ohne Zugringe oder Anker ausführbar sein, falls sie sich an keiner Stelle zu sehr nach aussen rundet und an keiner Stelle sich zu sehr der Senkrechten oder Horizontalen nähert. Dagegen sind zwiebelartig nach unten ein- gezogene Kuppeln ohne besondere Sicherung gegen Zug nicht möglich und daher als Wölbung widersinnig.

V. Am auffallendsten tritt die Wirkung des Ringdruckes in dem Diagonalschnitte der Zwickel- kuppel (Kurve V) zu Tage. Trotz des nach innen gekehrten Knickes ist die Kuppel ausführbar und zahllos oft ausgeführt. Von Vorteil ist es, die Richtung *ab* über der Knickstelle von der

Vertikalen etwas fern bleiben zu lassen, was die Byzantiner geschickt durch kleine Verdrückungen in der Form erreichten.

Ähnliche Wirkungen ergeben sich, wenn die Kuppel oben eine schwer lastende Laterne trägt, es tritt unter der Basis der Laterne ein gewaltiger Ringdruck auf, der aber um so geringer wird, je steiler die Kuppellinie gegen die Laterne anfällt.

Zum Vergleiche sind auch die gängigen Wölblinien, rechts der Spitzbogen, links der einfache und überhöhte Halbkreis in die Abbildung eingetragen. Man kann etwa annehmen, dass sie dort Druck bekommen, wo sie innerhalb der HAGEN'schen Linie liegen, dass dagegen in den darüber hinausschneidenden Teilen Ringzug auftritt. Sehr ungünstig ist demnach der überhöhte Halbkreis, gleichfalls recht unvorteilhaft der einfache Halbkreis, bezw. die Halbkugel, welche bis reichlich $\frac{3}{5}$ der Höhe Zug bekommt, der sich nur durch eine entsprechend hohe Hintermauerung oder eine entsprechende Verstärkung des unteren Kuppelteles beseitigen lässt, wenn nicht zu eisernen Ringen gegriffen werden soll. Ein schlanker Spitzbogen ist viel vorteilhafter, er erfordert nur im unteren Stücke eine Hintermauerung.

Im allgemeinen sind unten in die Senkrechte übergehende Linien nicht günstig, wählt man sie, so muss aussen eine zur Aufnahme des Druckes nötige Verstärkung vorausgesetzt werden, das innere untere Mauerwerk ist dann eine einfach füllende Masse.

Vorstehendes wird hinlänglich erläutert haben, welche grosse Ungebundenheit die allseits gekrümmte Fläche gegenüber der Tonne zeigt; in der Bevorzugung busiger Kappen zeigt daher das Mittelalter wieder in wunderbarer Weise sein feines, gleichzeitig praktisches und statisches Gefühl. In praktischem Sinne begünstigt die busige Kappe das freihändige Wölben, in statischer Hinsicht erlaubt sie die Einwölbung äusserst dünner Kappen in ziemlich willkürlichen Formen, die selbst bei starken Lastverschiebungen oder Verdrückungen immer noch stabil bleiben.

d. Die Gestalt der Rippen.

Druck der
Kappen auf
die Rippen.

Die letzten Betrachtungen galten der Form der Gewölbekappen, fast noch wichtiger als diese aber ist der Widerlagsdruck, den jeder Streifen der Kappe an seinen Enden auf die ihn stützenden Rippen oder Stirnbogen ausübt. Hat man für den Kappenstreifen die Drucklinie ermittelt, so sind damit zugleich seine Endkräfte gefunden, man kann zu letzteren aber auch annähernd genau gelangen, wenn die etwas weitschweifige Konstruktion der Drucklinie nicht geboten erscheint.

Betrachtet man einen Kappenstreifen als ein geschlossenes Ganzes, so kommen gewöhnlich nur drei Kräfte in Frage, das Gewicht und die beiden Widerlagskräfte. Das Gewicht (G in Fig. 128), das natürlich senkrecht durch den Schwerpunkt zu legen ist, kann man sich berechnen, es setzt sich zusammen aus dem Eigengewichte des Bogens und der etwa darauf ruhenden Oberlast. Die Richtung der Widerlagskräfte W_1 und W_2 muss ziemlich genau mit der Richtung der Bogenenden (oder deren Tangenten) zusammenfallen, da die meist sehr dünnen Kappen den in ihnen liegenden Druckkräften keinen grossen Spielraum gestatten, ausserdem müssen die Widerlagsdrücke durch einen gemeinsamen auf der Linie O liegenden Schnittpunkt

O gehen. Danach kann man annähernd genau die mutmassliche Lage der Kräfte in die Zeichnung eintragen. Sollte eine solche Lage nicht gut zu erreichen sein, so ist darin der Beweis zu erblicken, dass die Kappen eine statisch ungünstige Form haben, also geändert werden müssen (vergl. Fig. 128a). Hat man die Richtung der Widerlagskräfte angenommen, so findet man ihre Grösse dadurch, dass man die Kraft G einfach nach dem Parallelogramme der Kräfte zerlegt.

Grösse und Richtung der Widerlagsdrücke stehen in direkter Abhängigkeit zu der Richtung der Kappe, wie Fig. 129 veranschaulicht. Es ist hier von der Rippe *A* zur Rippe *B* ein Kappenstreifen hinüber zu spannen, welchem man die Lagen *I*, *II* und *III* geben kann, die diesen Lagen zugehörigen Endkräfte sind durch Pfeile mit den entsprechenden Ziffern kenntlich gemacht. Man sieht, ihre Richtungen gehen weit auseinander; um gleichzeitig ihre Grössenunterschiede klarzulegen, sind in den Figuren 129a bis 129c Kraftzerlegungen für die drei Fälle vorgenommen. Zunächst ist das für alle drei Fälle gleich vorausgesetzte Gewicht G in die Widerlagsdrücke W_1 und W_2 zerlegt, und diese sind an den Auflagerpunkten wieder je in eine horizontale Seitenkraft (H_1 bzw. H_2) und eine vertikale Kraft (V_1 bzw. V_2) zerteilt. Erstere ist der Seitenschub, welchen die Rippe bekommt, letztere die senkrechte Belastung der Rippe, In horizontaler Richtung treten nur die Kräfte H_1 und H_2 auf, dieselben müssen sich daher das Gleichgewicht halten, also gleich gross sein. In vertikaler Richtung muss die algebraische Summe der Auflagerdrücke V_1 und V_2 gleich der Kappenlast G sein. Die grosse Verschiedenheit der Schübe und Auflagerdrücke tritt aus den Figuren schlagend hervor.

Im ersten Falle, also bei sehr stark gekrümmter Kappe, ist der Schub gering, die senkrechte Last verteilt sich auf die beiden Rippen *A* und *B*.

Im zweiten Falle, d. h. bei mässig gekrümmter Kappe, ist der Schub schon grösser, die senkrechte Kraft fällt hier nur dem Auflager *A* zu (also $V_1 = G$ und $V_2 = 0$), da das obere Ende der Kappe wagerecht gegen die Rippe *B* trifft.

Im dritten Falle, bei ganz flacher Kappe, wird der Horizontalschub sehr gross. Bezüglich der Auflagerdrücke tritt hier eine wohl zu beachtende Eigentümlichkeit auf, der Druck V_2 ist nämlich nach oben gerichtet, während der Druck V_1 auf die untere Rippe um V_2 stärker ist, als die Kappenlast G (denn $V_1 - V_2 = G$). Dieser Fall wird stets eintreten müssen, wenn das eine Ende eines Bogens oder Gewölbes schräg nach oben weist, es kann dieses Ende keinen nach unten gerichteten Druck auf das Widerlager bringen, es sucht vielmehr das Widerlager nach oben zu treiben. Im vorliegenden Falle wird die Rippe *B* nicht von der Kappe belastet, sondern sie wird von ihr getragen oder auch nach oben hinausgedrängt, wenn sie nicht schwer genug ist, die aufstrebende Kraft durch ihr Gewicht auszugleichen.

Die Horizontalkraft tritt natürlich ganz unbeirrt auch an dem nach oben gerichteten Bogenende auf, wie überhaupt der Schub weniger von der Richtung der Bogenenden als von der Stärke der Krümmung oder dem Pfeilverhältnisse des Bogens abhängt. Je flacher und schwerer der Bogen, um so grösser wird sein Schub, das gilt allgemein, mögen die Widerlagspunkte zu einander liegen wie sie wollen.

Man hat es nach Fig. 129 in weiten Grenzen in der Hand, durch entsprechende Wahl der Kappenkrümmung die Grösse des Schubes nach Bedürfnis zu regeln, ein Umstand, der die höchste Bedeutung für die Wölbrippen hat. Letztere sind so schmal, dass sie bei einem starken, einseitigen Schube sofort seitlich ausbauchen würden, es muss sich daher der Schub der beiden Kappen in der Richtung quer zu der Rippe aufheben. Wenn z. B. eine Rippe *A* (Fig. 130) von der linken Seite durch eine grosse, schwere Kappe sehr stark seitwärts gehoben wird, so würde es sehr fehlerhaft sein, rechts eine leichte, stark gekrümmte Kappe anzuschliessen, sie würde durch das Übermass an Wölbschub von der anderen Kappe nach oben hinausgedrängt. Es muss vielmehr die rechtsseitige Kappe sehr flach oder nötigenfalls künstlich belastet sein, damit sie einen gleich grossen Schub liefern kann, der natürlich auch an dem anderen Widerlager *C* auftritt (Fig. 130a). Derartige Rücksichten können z. B. nötig werden für die seitliche Stiehkappe eines Netz- oder Sternengewölbes.

Durch Ausbildung einer nahezu geradlinigen Drucklinie kann die Kappe *AC* den Charakter einer Spreize annehmen, sie kann also bei flacher Form sehr bedeutende Schubkräfte von *A* nach *C* hinübertragen. Durch Einfügung verstärkender Rippen kann man sie noch mehr zur Spreize geeignet machen.

Wenn die kleinere Kappe in der Schubrichtung *AC* zu busig, dagegen im Grundrisse gesehen in irgend einer „schrägen Richtung“ flach genug ist, so wird sich der überwiegende Schub nach dort lenken und dadurch abgefangen werden können.

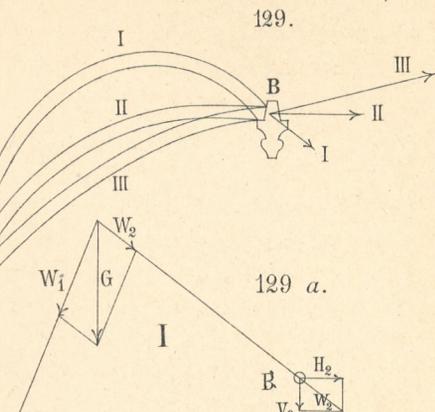
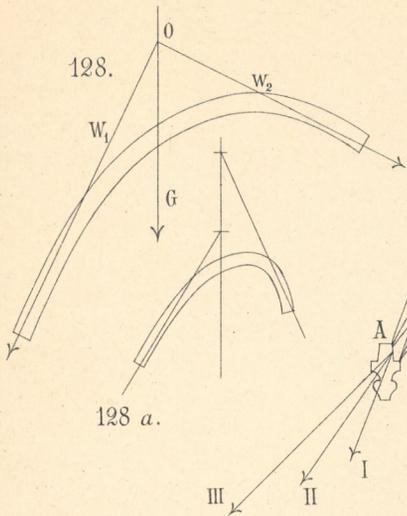
Biegung der
Rippen.

Es ist bisher zuerst die Form der Gewölbekappen behandelt, sodann ist eine Ermittlung der Kräfte vorgenommen, welche die Kappenteile auf die Rippen ausüben, es erübrigt jetzt nur noch, aus diesen Kräften die richtige Form der Rippen abzuleiten.

Am einfachsten würde dies möglich sein, wenn die Rippe von Kappenstreifen belastet würde, die im Grundrisse gesehen (Fig. 131) beiderseits senkrecht auf die Rippe stossen. Jeder Streifen überträgt nach Fig. 129a usw. auf die Rippe einen Horizontalschub *H* und einen Vertikaldruck *V*. Die Horizontalschübe heben sich in Fig. 131 bei richtiger Konstruktion von beiden Seiten auf, es bleiben also nur die Vertikalkräfte der beiden Streifen übrig, die sich addieren und verbunden mit dem Eigengewichte des betreffenden Rippenstückes dessen Gesamtlast ausmachen. Alle Rippenstücke bekommen in dieser Weise ihre zugehörigen Vertikallasten, aus denen man auf einfache Art genau so, wie es in Fig. 124 gezeigt ist, die Stütze für die Rippe konstruiert und zugleich die richtige Rippenkrümmung ermittelt, der man die Rippenform anpasst, so weit es möglich ist.

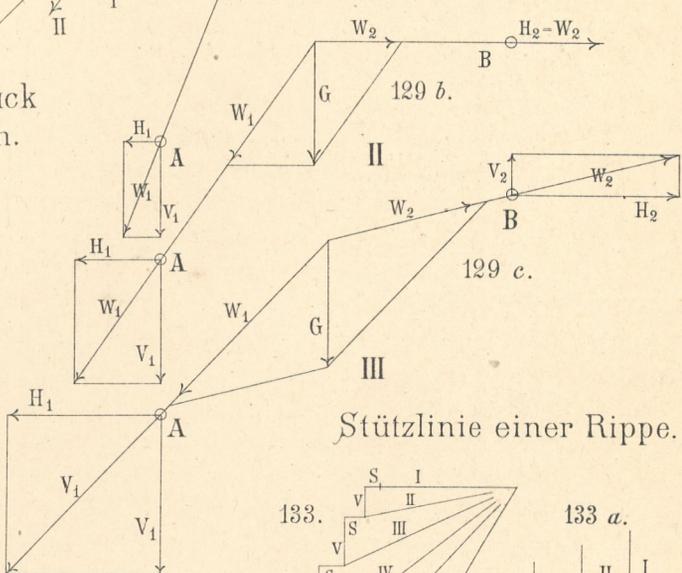
Dass die belastenden Kappenstreifen gerade senkrecht gegen die Rippe treffen, ist, wie die Figuren 116 bis 121 ausweisen, selten anzunehmen, meist werden die Streifen schräg einmünden Fig. 132. Jedes der beiden Streifenenden übt wieder einen senkrechten Auflagerdruck und einen Schub aus, die beiden senkrechten Kräfte geben wieder zusammen mit dem Eigengewichte des Rippenstückes dessen Vertikalbelastung *V*.

Der Horizontalschub eines Rippenendes H_1 in Fig. 132 trifft aber schräg gegen die Rippe, er ist noch zu zerlegen in eine Kraft N_1 senkrecht zur Rippenebene und in eine Schubkraft S_1 , welche wagerecht in der Rippenebene liegt. Die

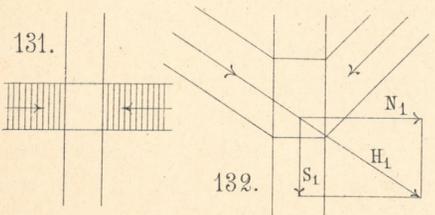
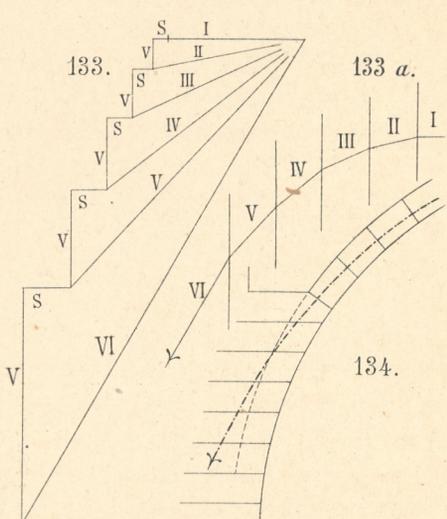
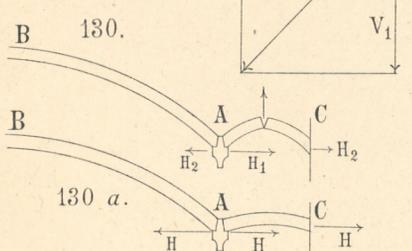


Widerlagsdruck
der Wölbkappen.

- I $H_1 = H_2$
 $V_1 + V_2 = G$
- II $H_1 = H_2 - W_2$
 $V_1 = G_1$
- III $H_1 = H_2$
 $V_1 + V_2 = G$



Stützlinie einer Rippe.



Kraft N_1 muss sich mit der entsprechenden Seitenkraft vom anderen Streifenende aufheben, die Kraft S_1 dagegen vereinigt sich mit der entsprechenden Kraft des anderen Kappenstreifens zu einem gemeinsamen Schube S , der das Rippenstück fortzubewegen sucht. Auf jedes Rippenstück wirken jetzt also zwei Kräfte, die Vertikallast V und der Schub S . Trägt man den Kräfteplan für einen Rippenast auf, so bekommt derselbe ein treppenartiges Aussehen, im übrigen zeigt die Konstruktion der Drucklinie keine Abweichung (vergl. Fig. 133 bis 134).

Dieser Drucklinie muss sich die Form der Rippe möglichst anpassen, was allerdings schwerlich ganz zu erreichen ist, da, wie die Skizze 134 zeigt, die Drucklinie unten sich nicht der Senkrechten nähert, sondern ziemlich flach bleibt. Die Ellipse des römischen Gewölbes ist für den Grat recht ungünstig, der Halbkreis und der Spitzbogen sind schon wegen ihrer grösseren Pfeilhöhe vorteilhafter, noch besser würde ein unten schräg ansetzender Spitzbogen (hoher Knickbogen) oder natürlich ein der Drucklinie genauer angepasster Bogen sein. Bei niederen Gewölben ist ein Flachbogen günstig, der wie die Stützzlinie schräg ans Widerlager schneidet aber stark schiebt. Jedenfalls ist es wichtig, den Rippenanfänger unten sehr fest mit dem Widerlager zu verbinden, damit die Drucklinie ganz unbeschadet schon höher über dem Widerlagspunkte das Rippenprofil verlassen und von der Hintermauerung sicher aufgenommen werden kann. Bei Werkstein sind grosse durchbindende Anfängersteine am Platze, bei Ziegelstein müssen die Zwickel gleich in möglichst festem Verbands mit hochgenommen und event. mit Zementzusatz gemauert werden. Ein leichtfertiges, nachheriges Ausfüllen der tiefsten Zwickel ist sehr bedenklich.

Sicherung
des Rippen-
anfanges. —
Hinter-
mauerung.

Die so wichtige Frage, wie weit man mit der Hintermauerung der Zwickel hinaufzugehen habe, lässt sich schwer allgemein beantworten, für wichtige Fälle empfiehlt es sich, die Drucklinie unter Berücksichtigung des Zwickelgewichtes aufzutragen. Als ungefähren Anhalt kann man annehmen, dass man bei den elliptischen Graten des römischen Gewölbes unbeschadet bis zwei Drittel der Höhe ausmauern kann, während man sich bei Rund- und Spitzbogen mit $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ begnügt. Bei schlanken Spitzbogen darf man die Ausmauerung nicht zu hoch treiben, da sonst der Scheitel des Bogens in die Höhe gedrängt wird. (Vergl. auch Fig. 127 nebst dem dazu gehörigen Texte.) Bis zu $\frac{1}{3}$ der Höhe ist eine gut durchbindende Zwickelmauerung aber immer zulässig.

Soll das Gurt- oder Rippenprofil zum tatsächlichen Träger des zusammenfliessenden Druckes werden, so muss die Stützzlinie in ihm ein gesichertes Unterkommen finden, überdies darf in keinem Querschnitte der Rippe die Druckpressung zu gross werden. Als zulässigen Druck auf ein Quadratcentimeter Fläche kann man annehmen bei guten (nicht porösen) Ziegeln in Kalkmörtel 7 Kilogramm, bei sehr festen Ziegeln in Zement etwa 11 Kilogramm, bei Werkstein in gutem Mörtel oder Blei versetzt bis 20 Kilogramm und darüber. Da der Mörtel aber beim Zuwölben erst wenig erhärtet ist, nimmt man besser kleinere Beanspruchungen. Eine gleichmässige Druckverteilung über die ganze Querschnittsfläche darf, wie gesagt, nur vorausgesetzt werden, wenn die Drucklinie gerade durch den Mittelpunkt des Querschnittes geht, rückt sie unten an die Grenze des mittleren Drittels (richtiger

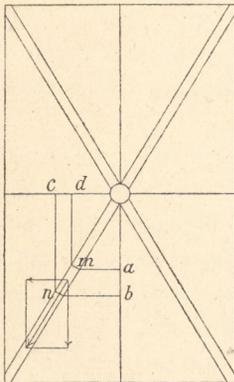
Druck auf
den
Querschnitt.

an die Grenze des Querschnittkernes), so ist der Druck an der unteren Kante doppelt so gross als der Durchschnittsdruck, wird aber der Druck noch mehr exzentrisch, so steigert sich die Kantenpressung noch weit mehr. (Über die Verteilung des Druckes über den Querschnitt siehe hinten Widerlager, Fig. 375—386.) Es darf natürlich auch an der am meisten gedrückten Kante der Druck auf ein Quadratcentimeter die angegebenen Ziffern nicht überschreiten. Wenn die Drucklinie sich der oberen Grenze des Profiles nähert, so ist das weniger bedenklich, da dann die benachbarten Kappenteile mit zur Druckübertragung herangezogen werden. Bei sehr kleinen oder ganz fehlenden Rippen haben die der Gratkante benachbarten Kappenteile die Druckübermittlung ganz auf sich zu nehmen; bei grösseren Gewölben ist in solchen Fällen eine verstärkende Übermauerung auf dem Rücken des Grates geboten (vergl. hinten Fig. 324), die aber auch bei Vorhandensein von Rippen nötig werden kann.

Beispiel:
Druck in
einem recht-
eckigen
Kreuz-
gewölbe.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen sei als Beispiel kurz der Weg skizziert, der bei der Kräfteausmittlung für ein rechteckiges Kreuzgewölbe mit geraden Scheiteln einzuschlagen wäre. Die Kappen eines solchen Gewölbes haben eine tonnenartige Gestalt, sind daher senkrecht zu ihrer Richtung in Parallelstreifen zu zerlegen (siehe Fig. 135). Ein Rippenstück mn

135.



würde von den beiden Streifenhälften $mncd$ und $mnba$ belastet werden. Will man die Aufrissform dieser Streifen prüfen, so kann man für sie die Drucklinie konstruieren, sonst kann man sich damit begnügen, ihre Auflagerdrücke auf vereinfachte Weise nach Massgabe der Figuren 128 und 129 zu ermitteln. Die Grundflächen der beiden Streifen sind bei rechteckigen Gewölben gleich gross, infolgedessen wird bei gleicher Kappenstärke auch ihr Gewicht ziemlich gleich sein, sie liefern mithin für das Rippenstück etwa gleich grosse Vertikaldrucke. Die Horizontalkräfte sind dagegen verschieden, und zwar überwiegt diejenige des längeren Streifens. Bei gleicher Scheitelhöhe, gleicher Stärke und einer der Stützzlinie nicht zu unähnlichen Ausbildung beider Kappen wird sich aber die Grösse der Schübe verhalten wie die Grösse der vorliegenden Rechteckseiten, was zur Folge hat, dass die Mittelkraft aus beiden Schüben in die Richtung der Rippe fällt. Somit wird ein seitliches Ausbauchen der Rippe bei derartigen rechteckigen, natürlich auch quadratischen Feldern nicht zu fürchten sein. (Würde der Schub gegen die Rippe von einer Seite überwiegen,

so würde das für gewöhnliche Kreuzgewölbe übrigens gar nicht so ängstlich sein, da fast immer eine flachere Richtung in der Kappe aufzufinden ist, die das Geschäft der Absteifung übernehmen könnte.) Aus den Vertikallasten und Schüben der einzelnen Rippenstücke konstruiert man nach Fig. 133 die Drucklinie für die Rippe und ermittelt damit auch den Schub des ganzen Gewölbes auf die stützenden Mauerkörper.

Wenn im vorstehenden den statischen Anforderungen an die Gewölbebildung ein gewisser Platz eingeräumt ist, so soll damit weniger bezweckt sein, den Baumeister zu einer genauen Kräfteausmittlung für „jedes“ auszuführende Gewölbe anzuspornen; vielmehr soll er zunächst in den Stand gesetzt werden, sich von den jeweiligen Kräften, die er in seinem Gewölbe zu gewärtigen hat, eine richtige Vorstellung zu machen, die ihn vor Fehlschritten bewahrt.

Die Gesamtgestalt reicher Rippengewölbe und das Austragen der Rippenbogen.

Die Aufrissgestaltung der Rippen eines gewöhnlichen Kreuzgewölbes hat bereits in einem besonderen Kapitel Erledigung gefunden, hier handelt es sich um die reicheren Stern- und Netzbildungen. In welcher Weise den statischen Forderungen Rechnung zu tragen ist, wurde soeben entwickelt, es trat dabei besonders der Unterschied zwischen den festgeknüpften, freiere Aufrissbildung gewährenden Sterngewölben und den beweglichen an eine einheitliche Gesamtform gebundenen Maschensystemen der Netzgewölbe hervor. Die frühere Gotik nutzte die grössere Unabhängigkeit ihrer Sternformen aus, sie legte die seitlichen Schlusspunkte bald höher, bald tiefer als den mittleren und liess die Kappen bald nach der Mitte, bald nach aussen steigen, ganz nach dem jeweiligen Bedürfnisse, soweit es die Ansprüche des Gleichgewichts gestatteten. Die späteren Netzformen mussten sich aus statischen Gründen mehr einheitlich gebogenen Gesamtformen anbequemen, an die man sich um so mehr anklammerte, je mehr man sich ausser stande sah, die immer kompliziertere Kräfteführung klar zu überblicken. Die Sterngewölbe wurden, wenn auch unnötig, mit in diesen Entwicklungsgang gezogen, so dass die meisten späteren Wölbungen eine ausgesprochene Gesamtgestalt zeigen. Für dieselbe finden sich besonders die folgenden Typen vorherrschend:

Allgemeine
Formen.

1. tonnenartig geformte Rippengewölbe, die sich über langen Räumen forterstrecken, Fig. 136,
2. aus Zusammenschnitten von Flächen gebildete Gewölbe, z. B. die Gestalt der gewöhnlichen Kreuztonne, Fig. 137,
3. kuppelartig gebogene Rippengewölbe, Fig. 138,
4. Fächergewölbe, Fig. 139.

Die grössere Beachtung verdienen die beiden letzteren, von denen das Fächergewölbe vorangestellt werden soll. Bei ihm liegen alle Rippen auf einer Umdrehungsfläche um die senkrechte Pfeilerachse. Dieser ganz besonders von der englischen Gotik bevorzugten, aber auch sonst weit und breit anzutreffenden Gewölbekonstruktion liegt nichts weiter zu Grunde als das berechnete Streben, den Gewölbeanfang so gesetzmässig wie möglich zu gestalten. Es wird dadurch erzielt, dass zunächst der Unterschied zwischen Gurtbogen und Rippen fortfällt, sodann alle Rippen mindestens in ihrem unteren Teile kongruent gebogen sind und schliesslich die Grundrisswinkel zwischen je zwei benachbarten Rippen möglichst einander gleich sind. Werden diese schon aus Gründen der leichten Herstellung gebotenen Vorschriften beachtet, so entsteht das Fächergewölbe ganz von selbst, gleichviel ob ihm das Kreuz-, Stern- oder Netzgewölbe zu Grunde liegt. Je mehr Rippen zusammentreten, um so mehr tritt ihr regelmässiges fächer- oder palmenartiges Auseinanderwachsen hervor, zum vollendetsten Ausdrucke gelangt die ganze Rippenentfaltung immer über einer freistehenden Säule.

Fächer-
gewölbe.

Jeder Horizontalschnitt liefert einen Kreisring, auf dem die Rippen liegen (Fig. 140). Die Kappen zwischen je zwei Rippen werden der Regel nach aus liegenden Schichten (mit gleich hoch liegenden Endpunkten) gewölbt. Eine Schicht kann ebensowohl gebogen als geradlinig sein. (Fig. 140 a und 140 b.)

Wird in dem Fächergewölbe Fig. 141 mit am ein Kreis geschlagen, so müssen die Punkte n, o, p usw. auf einer Höhe liegen, die Rippen steigen aber noch weiter über diese Punkte hinaus bis e, d, c . Der Punkt c wird naturgemäss am höchsten zu liegen kommen, die Scheitellinie mc steigt daher in geschweiftem Bogen von m nach c , wie der Schnitt 141a zeigt. Ist der Diagonalbogen acb spitz (Fig. 141b), so bilden die Rippenäste am, ae usw. Stücke dieses Spitzbogens und sind danach sehr einfach in ihrer richtigen Gestalt ausgetragen. Ist statt dessen die längste Rippe ein Halbkreis (Fig. 141c), so werden die Höhenunterschiede der Punkte m, e, d, c sehr gering, es wird infolgedessen der Scheitel nur eine unbedeutende Wellung erhalten. Es kann ein Grund vorliegen, die Wellung des Scheitels ganz zu meiden, denselben völlig horizontal zu machen. Die englische Gothik hilft sich in solchen Fällen, wie schon bei Fig. 48 gezeigt, durch Bogen, die je aus zwei Radien geschlagen sind, es sind dann die Rippen nur in ihrem unteren Stücke kongruent.

Eine besondere, der spätesten Zeit angehörende Bildung ist noch zu erwähnen, bei welcher die gleich gebildeten Rippen oben in einander berührenden Horizontalkreisen abschliessen. Die zwischen den Kreisen bleibenden viereckigen Zwickelfelder sind entweder mit einer Steinplatte oder auf eine andere gekünstelte Art geschlossen.

Beim Fächergewölbe liegt der Schwerpunkt auf der Schönheit des Gewölbeanfängers, die Bildung des Scheitels tritt dagegen zurück. Man kann umgekehrt eine günstige Ausbildung der Wölbmitte in die erste Linie stellen und dieser die Widerlagsbildung unterordnen, man wird dann vorwiegend auf die drei Formen 136, 137, 138 angewiesen sein.

Das tonnenartige Netzgewölbe fand gewöhnlich über langgestreckten Räumen Verwendung. Dichte Rippennetze unterliegen ihrer Gesamtgestalt nach ähnlichen statischen Anforderungen, wie einfache glattflächige Gewölbe, demnach würde der günstigste Querschnitt eines solchen Netzgewölbes etwa zusammenfallen mit der Drucklinie für ein gewöhnliches Tonnengewölbe gleicher Kappenstärke, in Fig. 125 ist diese Kurve dargestellt. Die Form des Gewölbes pflegte man in der Weise zu bestimmen, dass man die schräg laufenden Rippen nach einer gängigen Bogenlinie austrug, nach einem Spitzbogen, Halbkreise oder irgend einem gedrückten Bogen. Der Querschnitt der Tonne wurde daher die schmalere Projektion eines solchen Bogens, aus dem Halbkreise entstand die aufrechtstehende Ellipse, aus dem Spitzbogen ein spitzer Schnitt zweier Ellipsenäste. Diese Projektionen nähern sich der richtigen Stützzlinie weit mehr als ihre erzeugenden Linien selbst, somit haben die gestreckten Netzgewölbe der Spätgotik eine statisch viel günstigere Gestalt als die Tonnengewölbe der römischen und romanischen Zeit, ein Umstand, der allerdings nach den Ausführungen von Seite 54 durchaus erforderlich war, wenn man überhaupt daran denken wollte, tonnenähnliche Gewölbe mit geringem Materialverbrauch aufzuführen.

Die in ein Rippennetz aufgelöste Kreuzkappe (Fig. 137) hat ähnlichen Gleichgewichtsforderungen zu genügen wie die Tonne, besondere Beachtung erheischen die Diagonalrippen, welchen weit grössere Beanspruchung zufällt, als allen übrigen, sie können daher ihrer konstruktiven und architektonischen Bedeutung gemäss durch ein kräftiger gebildetes Rippenprofil ausgezeichnet sein.

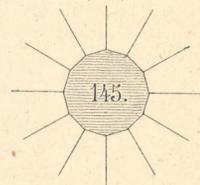
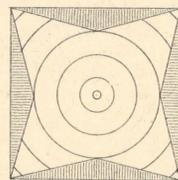
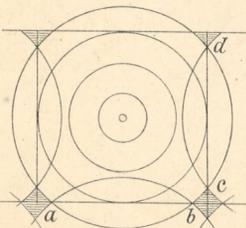
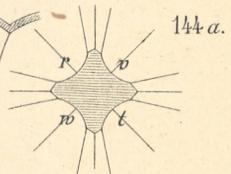
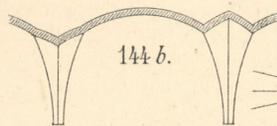
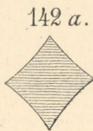
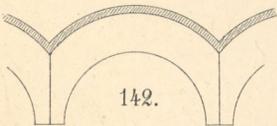
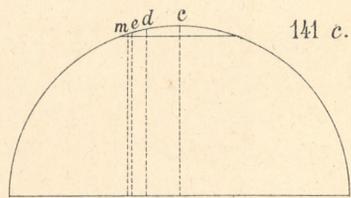
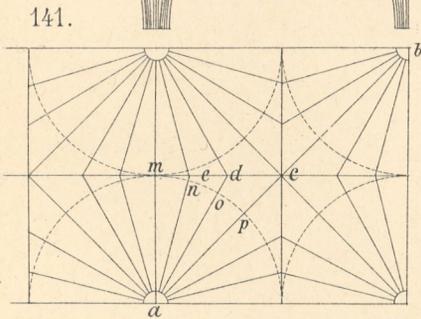
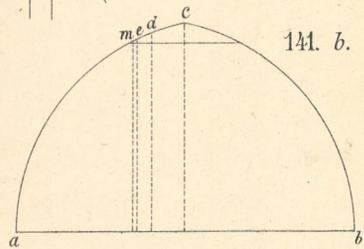
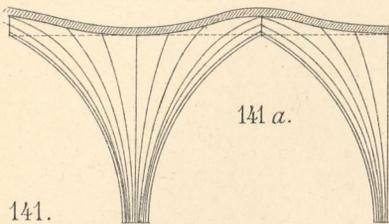
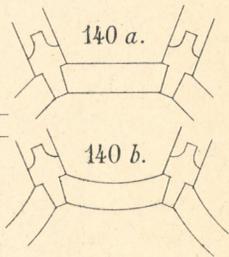
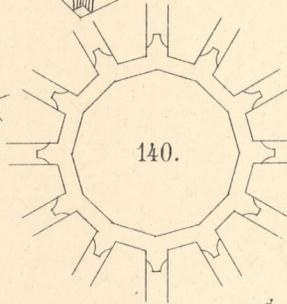
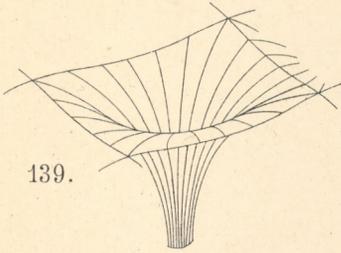
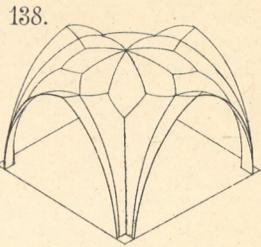
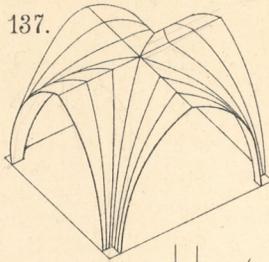
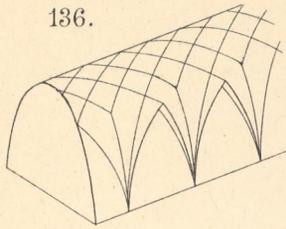
Busige oder kuppelartige Netzgewölbe haben in statischer Hinsicht ähnliche günstige Eigenschaften wie busige Kappen oder schlichte Kuppelgewölbe. Wenn eine ringförmige Verspannung möglich ist, sei es durch Querrippen oder

Tonnen-
artige Netz-
gewölbe.

Kuppelartige
Netz-
gewölbe.

Tafel XVIII.

Gesamtgestalt der reichen Rippengewölbe.



steife Kappenflächen, so kann sich die Gleichgewichtslage in viel weiteren Grenzen bewegen als bei tonnenartigen Wölbformen. Alle Querschnittskurven, deren Krümmung an keiner Stelle die entsprechende Krümmung der unter Fig. 126 dargestellten HAGEN'schen Linie überschreitet, sind für solche Gewölbe anwendbar, solange der Ringdruck genügend sicher aufgenommen werden kann. Solcher Querschnitte gibt es aber sehr viele. Der Spitzbogen ist in einem kleinen, der Rundbogen in einem grösseren, unteren Stücke nicht günstig, beide können aber als Querschnitt ruhig verwendet werden, wenn sie bis zu der betreffenden Höhe eine sichere Hintermauerung erhalten.

Will man Netzgewölbe über einem viereckigen Felde nach einer genauen Umdrehungsfläche bilden, deren senkrechte Achse durch den Schlussstein führt, so wird sich die Gestalt einer Stutzkuppel ergeben (Fig. 142).

Der Gewölbeanfänger über einem freistehenden Pfeiler wird im Grundrisse die Umrisslinie eines Vierecks mit eingebogenen Seiten annehmen (Fig. 142a). Bei rechteckigen Gewölbejochen wird dieses Viereck in eine langgezogene Form übergehen (Fig. 143). Die das Feld einschliessenden Rand- oder Stirnbogen *ab*, *dc* usw. sind bei halbkugelförmiger Kuppel Halbkreise, bei spitzbogiger Kuppel hervorgezogene, der Ellipse ähnelnde Kurven. Die Trennungsbogen zweier Felder sind besonders stark belastet und werden deshalb bis in die späteste Zeit bisweilen als stärkere Gurtbogen ausgebildet. Meist allerdings suchte man auch diesen Bogen die gleichen Rippenprofile zu geben, dann ist aber eine Entlastung derselben erwünscht, die am leichtesten erreicht wird, indem man ihnen die Form eines höheren, auch aus anderen Gründen günstigeren Spitzbogens mit anschliessenden Stichkappen giebt. In Fig. 144 sind die Stichkappen schraffiert, der mittlere, hellgelassene Teil hat noch die Kugelform beibehalten, der Schnitt durch den Scheitel ist in Fig. 144b gezeichnet, während Fig. 144a den nun schon etwas mehr zentral gebildeten Gewölbeanfänger im Grundrisse zeigt. Soll der Anfänger noch mehr abgerundet werden, so müssen die auf den eingebogenen Seiten bei *rvtw* sitzenden Rippen vorgezogen werden, damit wäre aber die regelmässige Umdrehungsfläche aufgegeben. Bringt man schliesslich die Rippenanfänge in einen regelmässigen Kreisgrundriss Fig. 145, so ist die Überleitung zum Fächergewölbe geschaffen.

Es lässt sich ein stufenförmiger Übergang verfolgen, von der Drehfläche um die Mittelachse des Gewölbefeldes bis zur Drehfläche um die Mitte des Pfeilers. An ausgeführten Werken kann man die Abstufungen in mannigfacher Weise beobachten. In vielen Fällen wird es geboten sein, weder eine genaue Umdrehungsfläche um die Wölbmitte noch eine solche um die Pfeilerachse zu wählen, sondern auf geeignete Art zwischen beiden zu vermitteln.

Der Gang der Gewölbeausmittlung wird etwa der folgende sein. Nachdem den obwaltenden Verhältnissen entsprechend die Gesamtgestaltung entworfen, besonders die Rippenfigur im Grundrisse festgelegt ist, wird man dazu schreiten, den Querschnitt des Gewölbes in der Richtung der Diagonalen, der Gurte und der Wölbseitel annähernd anzunehmen, immer im Hinblick darauf, dass eine günstige Gesamtform entsteht, denn letztere wird auf diese Weise schon vorgezeichnet. In diese Hauptform sind nun die Kreuzpunkte ihrer Höhenlage nach einzuordnen, wobei zu beachten ist, dass keiner nach unten eingesenkt erscheint und jeder genügend von seinen Rippen versteift wird (siehe darüber Seite 44). Kommen dabei die Schlusspunkte auf eine „allseits“ gekrümmte Fläche zu liegen, so braucht man sich bei den entwickelten statischen Vorzügen der letzteren, selbst bei den Netzformen nicht gar zu sehr um die gesicherte gegenseitige Gleichgewichtslage der Rippenkreuzungen zu sorgen. Es ist nun den Rippenbogen ihre Form anzuweisen, wobei besonders ein günstiges Auseinanderwachsen aus dem Gewölbeanfänger ins Auge zu fassen ist, lässt sich dieses nicht erzielen, so ist nötigenfalls an der Lage der Kreuzpunkte etwas zu

Ausmittlung der Gewölbebogen.

ändern. Kann man unbeschadet anderer Rücksichten die Rippenbogen meist mit gleichem Halbmesser schlagen, so möge man dieses bei Quaderrippen thun, bei Ausführung in Ziegelstein ist aber kein grosser praktischer Nutzen darin zu sehen. Ein gutes Rippennetz muss so beschaffen sein, dass es seine Kräfte sicher übertragen kann, ohne der Verspannung durch die Kappen zu bedürfen. Letztere ist zur weiteren Sicherung natürlich erwünscht. Bei Einfügung der Kappen ist hauptsächlich darauf Rücksicht zu nehmen, dass für keine Rippe die Gefahr des seitlichen Ausbauchens eintritt.

Auf solche Art wird es für kleinere Gewölbe leicht sein, bei nur einiger Umsicht eine die in Frage kommenden Bedingungen erfüllende Gestalt zu gewinnen. Für besondere Fälle werden die weiter oben dargelegten Ausführungen ein Mittel an die Hand geben, eine Prüfung des Gewölbes auf seine statischen Eigenschaften vorzunehmen.

Dem Polier ist auf dem Bau neben den genauen Grundrissen des Gewölbes und des Anfängers ganz besonders die Ordinatenhöhe jedes Schlusspunktes anzugeben, bei busigen Kappen auch Grundrisslage und Höhe des Kappenscheitels. Nie sollte es unterlassen werden, bei reichen Rippengewölben das aufgestellte Gerüst der Lehrbogen näher in Augenschein zu nehmen, da an diesem ein Mangel weit besser zu erkennen ist als auf der besten Zeichnung.

Das beste Gewölbe wird immer dasjenige sein, welches für den jeweilig vorliegenden Fall aus den massgebenden Bedingungen heraus entwickelt ist. Es haben sich zur Bequemlichkeit einige allgemeine schematische Konstruktionsregeln eingebürgert, die zum Teil dem Mittelalter zugeschrieben werden, es ist schwer zu sagen, ob mit Recht oder Unrecht. Diese das Austragen der Rippen bezweckenden Regeln sind nunmehr zum Abschlusse dieses Kapitels noch aufzuführen und soweit es nötig scheint, kritisch zu beleuchten.

a. Austragen eines Rippengewölbes, dessen Rippen sämtlich auf einer Kugelfläche liegen. Wengleich man aus bereits aufgeführten Gründen seltener die Gewölbe nach einer genauen Kugelfläche bilden wird, sei doch vorab dieser Fall als der einfachste behandelt. (Fig. 146.)

Es liegen alle Rippen in ihrem ganzen Verlaufe auf einer Halbkugel, deren Grundkreis in die Abbildung eingetragen ist. Will man irgend ein Rippenstück mn nach seiner Lage, Länge und Gestalt austragen, so verlängert man den Grundriss desselben bis zum Schnitte mit dem Grundkreise, es entsteht dadurch die Sehne rs . Eine senkrecht über rs errichtete Ebene schneidet die Halbkugel in einem Halbkreise, denn jeder senkrechte Schnitt durch eine Halbkugel liefert einen solchen. Auf diesem senkrecht über rs zu denkenden Halbkreise muss aber die Rippe mn liegen, man kann sie also mit ihm zusammen in die Grundrissebene niederklappen, was einfach dadurch geschieht, dass man seitwärts über rs als Grundlinie einen Halbkreis schlägt und auf der Grundlinie in m und n Lote errichtet, welche den Halbkreis in den Punkten M und N schneiden. Der Bogen MN ist der thatsächliche Rippenbogen nach Länge und Krümmung, und in den Linien Mm und Nn ist die Höhe der beiden Schlusspunkte über der Grundebene gefunden. Das ist aber alles, was man durch das Austragen ermitteln will. Man verfährt genau in derselben Weise mit jedem anderen Rippenstücke, in der Abbildung sind als weitere Beispiele die Bogen EO und aB ausgetragen. Alle Rippen, welche durch die Wölbmitte o führen, liegen auf sogenannten grössten Kugelkreisen, während die übrigen, als ab und mn , auf kleineren Kugelkreisen liegen. Letztere haben daher kleinere Halbmesser, oder was dasselbe sagt, eine stärkere Krümmung.

b. Austragen eines Gewölbes nach einem über der Diagonale geschlagenen Prinzipalbogen. (Fig. 147 und 147a.) Es werden bei diesem Verfahren alle Bogen mit demselben Halbmesser geschlagen, was soeben nicht der Fall war. Es wird die Kreuzrippe zunächst als Spitz-, Flach- oder Rundbogen angenommen, aus der einen Hälfte derselben, dem „Prinzipalbogen“, werden alle anderen Bogen abgeleitet.

Übliche
Regeln für
das
Austragen.

a. Rippen in
einer
Kugelfläche.

b. Prinzipal-
bogen über
der
Diagonale.

Zum besseren Vergleiche mit der vorigen Konstruktion ist der Diagonalbogen als Halbkreis angenommen, der Prinzipalbogen ist also ein Viertelkreis. Die Rippe über ao ist demnach als Viertelkreis direkt gegeben, in der Nebenfigur 147a ist dieser als der Bogen a_1O hingetragen, es handelt sich nun darum, die Rippen über be und eo zu bestimmen. Zu diesem Zwecke trägt man letztere beiden Strecken in die Nebenfigur vom Punkte o_1 aus auf die Grundlinie als o_1e_1 und e_1b_1 . Über e_1 wird eine Senkrechte bis zum Viertelkreise errichtet, deren Länge e_1E die Höhenlage des über e befindlichen Schlusspunktes angeibt, während das Bogenstück EO die Rippe über eo nach Lage und Grösse darstellt. Die Rippe be im Grundrisse muss über b_1e_1 liegen, der obere Schlusspunkt E ist bereits ermittelt, es ist also nur b_1 mit E durch einen Bogen zu verbinden, welcher mit dem gegebenen Radius r des Prinzipalbogens aus dem Mittelpunkte x geschlagen wird. Der Mittelpunkt x liegt unterhalb der Grundlinie, weshalb die Rippe als Knickbogen aus dem Widerlager herauswächst. Die Randbogen cd und hg können, um das Prinzip der gleichen Halbmesser konsequent durchzuführen, als Spitzbogen mit dem Halbmesser r ausgebildet werden, ihre Scheitel m und n liegen dann höher als die benachbarten Schlusspunkte e und f .

Das so ausgetragene Gewölbe stimmt ziemlich genau mit dem nach der Kugel gebildeten überein, nur ein Teil der Rippen tritt in seiner Biegung innen aus der Kugelfläche heraus, alle Kreuzpunkte aber, ebenso die zu der Wölbmitte führenden Rippen, liegen auch bei diesem Verfahren in der Kugelfläche.

Die Rippe be tritt — wie alle entsprechenden — schräg aus dem Widerlager, statisch ist das meist nicht ungünstig. Der Gewölbeanfänger kann aber durch das wechselweise senkrechte und schräge Aufsetzen der Rippenfüsse eine so unregelmässige Gestalt bekommen, dass unter Umständen eine in Fig. 148 zur Darstellung gebrachte Abart von dieser Konstruktion vorzuziehen ist.

Es unterscheidet sich diese Konstruktion von der vorigen nur dadurch, dass der gebrochene Rippenzug beo (Fig. 147) auf der Grundlinie der Nebenfigur 148 nicht vom Punkte o_1 ab nach links, sondern von a_1 ab nach rechts aufgetragen wird. Die Rippe be wird als a_1E gefunden, sie fällt mit dem unteren Stücke des Prinzipalbogens zusammen, die Scheitelrippe eo muss ihren Endpunkt in E , den anderen in einem Punkte O_1 haben, welcher gleiche Höhe mit O hat. Es wird die Bogenlinie wieder mit dem gegebenen Halbmesser aus dem Mittelpunkte x geschlagen. Die Randbogen können wie vorhin Spitzbogen mit denselben Halbmessern sein, ihre Scheitel werden jetzt aber von den Kreuzpunkten e und f überragt.

Es entsteht auf diese Weise ein Gewölbe mit regelmässigen Gewölbeanfängen, die seitlichen Kreuzpunkte e, f usw. in Fig. 147 liegen nicht mehr auf der Kugelfläche, sie sind höher hinaufgerückt, so dass sie nahezu die Höhe der Wölbmitte erreichen. Will man einen grösseren Unterschied in der Höhe der seitlichen und des mittleren Schlusspunktes erzielen, so wählt man als Prinzipal- bzw. Diagonalbogen besser den auch aus statischen Gründen vorteilhafteren Spitzbogen (vergl. Fig. 149).

c. Austragen nach dem Prinzipalbogen über einem im Grundrisse gebrochenen Rippenzuge Fig. 150. Es möge im Grundrisse wieder das gleiche einfache Sterngewölbe Fig. 147 vorliegen. Der Prinzipalbogen wird jetzt nicht über der halben Diagonale geschlagen, sondern über einer Grundlinie die durch Addieren der Längen be und eo gewonnen wird, er sei wieder ein Viertelkreis.

In der Fig. 150 sind die Grundrisslängen der in Frage kommenden Rippen als Linie $b_1e_1o_1$ aneinander getragen, und darüber ist der Prinzipalbogen b_1O geschlagen. Die beiden Teile b_1E und EO desselben geben direkt die ausgetragene Gestalt dieser Rippen. Um auch die Kreuzrippe zu ermitteln, trägt man ihre Grundrisslänge als a_1o_1 hin und hat dann die Punkte a_1 und O durch

einen Bogen zu verbinden. Soll für diesen Bogen der Halbmesser des Prinzipalkreises verwendet werden, so rückt der Mittelpunkt nach x , er liegt etwas über der Grundlinie, was zu einem hufeisenförmigen Bogen führen würde. Besser wird man aber von der Gleichheit der Halbmesser absehen und die Kreuzrippe nach einem Spitzbogen bilden.

Da dieser letztere Prinzipalbogen eine längere Grundlinie hat, führt er zu grösseren Scheitelhöhen. Fehlt es an Konstruktionshöhe, so wird man statt des Viertelkreises eine flachere Linie zu Grunde legen müssen, die man aber nicht nach der statisch gar zu ungünstig liegenden Ellipse bilden sollte.

Bedenken
gegen
die letztere
Regel.

Der Prinzipalbogen über einem gebrochenen Rippenzuge scheint besonders am Platze zu sein für Netzgewölbe, denen die durchgehende Kreuzrippe fehlt, seine Anwendung wird auch vorwiegend für diese empfohlen, und doch darf er gerade hier nur mit der grössten Vorsicht aufgenommen werden, wie an dem Grundrisse 151 erläutert werden soll.

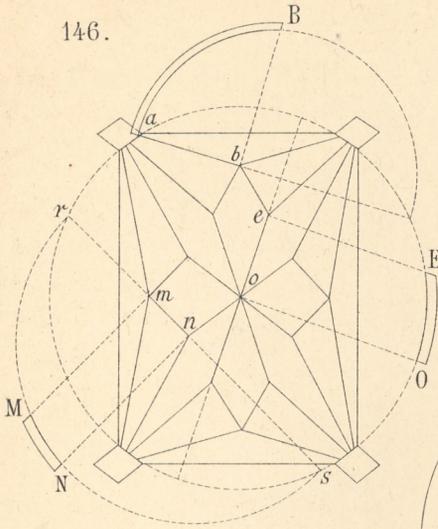
Als Grundlinie des Prinzipalbogens, der auch hier wieder ein Halbkreis sein möge, würde man naturgemäss den Rippenzug $aefgo$ wählen, in der Nebenfigur 151 a ist die Konstruktion, die nichts Neues bietet, durchgeführt, die meisten Rippen ermitteln sich als Teile des Prinzipalbogens direkt; der nicht in dem Rippenzuge enthaltene Bogen über af ist besonders als pF auszutragen. Sind solcher Art die Lage der Schlusspunkte und die Form der Rippen festgelegt, so lässt sich leicht der Diagonalschnitt des Gewölbes zeichnen — Fig. 151 b. Dieser setzt sich aber in Widerspruch mit den einfachsten Bedingungen der Haltbarkeit (siehe Seite 44 und folgende), der Kreuzpunkt E ist in so auffallender Weise nach innen eingesenkt, dass der Einsturz des Gewölbes zu fürchten wäre — mit der Anwendung dieses Verfahrens würde man also bei diesem Gewölbe übel beraten sein.

Man fragt mit Recht, woher diese zweifelhafte Konstruktion stammt. Verbreitet ist sie hauptsächlich durch HOFFSTADT (gotisches ABC), und dieser stützt sich im wesentlichen auf eine dem Jahre 1695 angehörige Schrift des Danziger Maurermeisters BARTHEL RANISCH, den wir wohl kaum als Gewährsmann anerkennen dürfen. Wissen wir auch, dass Reste gotischer Konstruktionsregeln sich fort und fort vererbt haben bis fast auf unsere Tage, so ist doch schwerlich vorauszusetzen, dass jene Meister, welche die Formen der Antike und Renaissance schliesslich in die gequältesten Schnörkeleien überführt hatten, gerade die Überkommnisse des Mittelalters in lauterer Form bewahrt haben sollten.

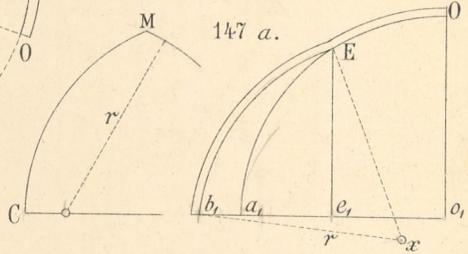
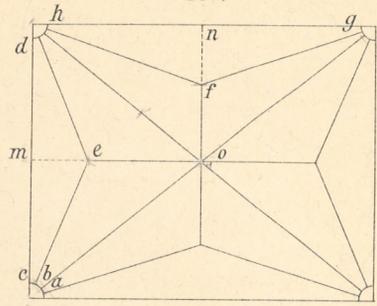
Dass die Ausgangszeit des Mittelalters bei ihren Wölbungen wie überall gewisse handwerksmässige Regeln gepflegt hat, ist sehr wohl denkbar, einen Aufschluss über dieselben würden vielleicht zahlreiche genaue Messungen liefern können, die sich besonders an den Decken der Kreuzgänge leicht ausführen liessen. Oft hat es den Anschein, als könne man derartige Beziehungen verfolgen, seien es Anordnungen der Kreuzpunkte auf einer Kugelfläche, oder seien es auf einen Prinzipalbogen hinweisende Rippenzüge; gewöhnlich trifft man aber dicht daneben Gewölbe, die sich keinem Systeme anpassen wollen. Auch etwas eingesenkte Schlusspunkte finden sich, die aber nicht so bedenklich sind, wie der in Fig. 151 b mit E bezeichnete. Es liesse sich daher annehmen, dass solche Prinzipalbogen in gewissen Grenzen angewandt wären und dass spätere Zeiten die Regeln in missverständlicher Weise verallgemeinert haben. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass man die Verwendung gleicher Halbmesser, die in den Prinzipalbogen zum Ausdruck gelangt, in vernunftmässigen Grenzen erstrebt hat. Für die Bildung der Anfänger und die Aus-

Austragen der Bögen.

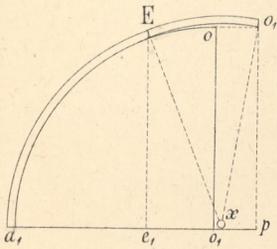
146.



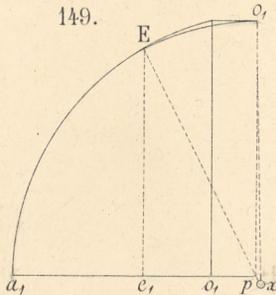
147.



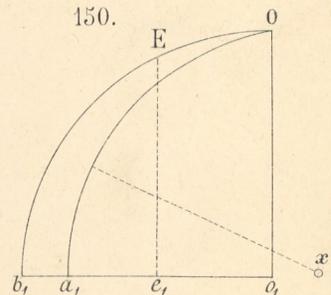
148.



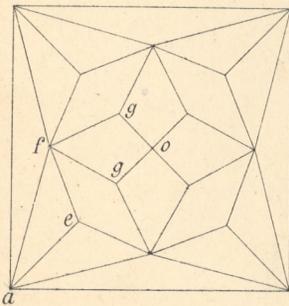
149.



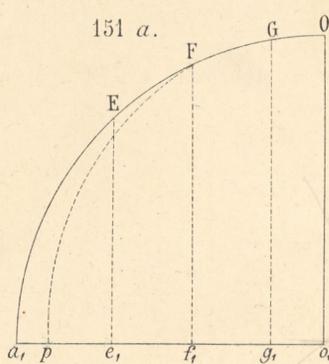
150.



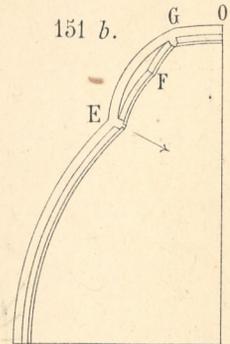
151.



151 a.



151 b.



führung in Werkstein hatte sie einen gewissen Wert, daneben mag die Art des Einrüstens auf sie hingeleitet haben. Man stellte jedenfalls zunächst die Lehrbogen unter den Gurt- und Diagonalen auf, letztere wohl selbst, dann, wenn die Rippen stellenweise unterbrochen waren, den Schlusspunkt unterstützte man durch einen senkrechten Holzstiel. Dann fügte man auch für die übrigen Rippen die entsprechenden Lehrbögen ein, wie man sie der Reihe nach am besten befestigen konnte, erst die grösseren, dann die kleineren, indem man die Kreuzpunkte soweit es nötig war stützte. Dabei war es jedenfalls eine Bequemlichkeit, bei reichen Wölbungen die Lehrbogen vorher mit ein und demselben Halbmesser aufzureissen und sie dann einzupassen und abzuschneiden, soweit man ihrer gerade bedurfte. So können mehrfache Gründe zusammengewirkt haben, das Streben nach der konsequenten Durchführung gleicher Radien zu erzeugen. Wo letztere aber zu nachteiligen Folgen führten, da wird ein denkender Baumeister auch in jenen Tagen nicht einem zu weit getriebenen Prinzip zu Liebe die Schönheit oder gar die Sicherheit seines Werkes geopfert haben.

6. Die Gestaltung der Rippenprofile.

Vorspringende Gewölberippen traten allgemein auf, als seit dem XII. Jahrhundert nicht mehr die Wölbflächen, sondern die Wöblinien das bestimmende Ausgangsglied für die Gewölbbildung waren (vgl. S. 11). Damals vollzog sich rasch jener bedeutende Umschwung, der neue Bogenformen einführte, der die Gestalt und die Herstellungsweise der Kappenflächen änderte und der seine Krönung erhielt, als der tragende Rippenbogen sich von der getragenen Wölbfläche schied.

Den wirksamsten Anstoss zur Einführung der Rippen gaben die Schwierigkeiten bei Herstellung der unregelmässigen Gratkante und die grosse Beanspruchung der letzteren durch die gerade in diesen Schnittlinien zu übertragenden Kräfte.

Der Querschnitt der Rippen muss erstlich den einzelnen Kappenschichten das erforderliche Auflager gewähren, sodann aber nach Grösse und Form geeignet sein, die einwirkenden Belastungen genügend sicher aufzunehmen, er zerfällt hiernach in zwei Teile, in das obere Widerlager und das nach unten vorspringende tragende Profil.

Das Widerlager, welches den Kappenschichten geboten wird, besteht entweder in einer ebenen Fläche (Fig. 152), oder in zwei dachförmig gegeneinander geneigten Flächen (Fig. 153), oder in einem durch die ganze Kappendicke dringenden aufgesetzten Rücken, dessen Seitenflächen am besten so geneigt sind, dass sie die Kappenrichtung möglichst senkrecht aufnehmen (Fig. 154). Der Rückenansatz tritt sowohl für Werkstein als Backstein schon in frühester Zeit auf, wie die der ersten Gotik angehörenden Profile (Fig. 195, 196) aus den Ruinen zu Walkenried am Harz und viele andere beweisen. Besonders nahm der Ziegelbau das angeformte Widerlager auf, das auch für Neuausführungen wieder beliebt geworden ist. Es hat unter anderen den Vorteil, dass sich die Rippe nicht unter der Kappe verschieben kann, was vereinzelt an alten Werken beobachtet worden ist (Marktkirche zu Hannover). Ein interessantes, der Renaissance angehöriges, vielleicht früheren Werken nachgebildetes Profil findet sich in den Ruinen der Ordensburg Doblen in Kurland (Fig. 155), es zeigt einen schwalbenschwanzförmigen Eingriff, der sich da empfehlen dürfte, wo die Kappen zum Teil gegen die Rippen ansteigen. Auch in preussischen Ordensbauten (vgl. Steinbrecht) finden sich ähnliche Profile, ebenso in Nordwestdeutschland. An Stelle der eingezogenen Rücken-

Anschluss
der Kappen.

aufsätze zeigen die Ziegelrippen häufig, so am Eingange der deutsch-katholischen Kirche zu Wilna, am Kreuzgange des Domes zu Riga usw. einen Eingriff des Rippensteines in seiner ganzen Breite (Fig. 156 und 157).

Profilierung.

Was nun die Profilierung des vor die Kappenflucht vortretenden Teiles betrifft, so ist dieselbe überaus verschiedenartig, jedoch immer in erster Linie von den Gesetzen der Festigkeit bedingt. Wenn seitliche Verschiebung nicht in Frage kommt, vielmehr der Bogen vorwiegend senkrechte Lasten aufzunehmen hat, dann wirkt die Breite für seine Widerstandsfähigkeit in weit geringerem Masse als die Höhe. Diese vorwiegende Wichtigkeit der Höhe muss in dem Rippenprofile zum Ausdruck kommen, sowohl in seinen Abmessungen als im Charakter der Gliederung. Daher ist die Höhe mindestens der Breite gleich zu machen, besser überwiegt sie und zwar etwa in der Weise, dass sie sich zur Breite verhält, wie die Diagonallänge eines Quadrates zu dessen Seite. Die Alten hatten die Bedeutung der Höhenrichtung sehr bald erkannt, sie ist vielfach schon in romanischen Querschnitten ausdrucksvoll betont.

Der Gliederung nach lehnen sich naturgemäss die Rippenquerschnitte an die weit älteren Gurtbogen an, ihre Grundform ist, wie bei diesen das Rechteck oder der Rundstab. Das Rechteck tritt beim ersten Vorkommen bisweilen in einfachster Form auf wie bei den wohl noch dem XI. Jahrhundert zugehörenden Rippen der Krypta zu Gloucester (Fig. 158). Meist sind aber ebenso wie bei den Gurten die Ecken reicher gegliedert, z. B. in Notre Dame zu Paris (Fig. 159), oder auch einfach abgefast (Fig. 160). An Stelle der anfänglichen Fasenrichtung von 45° tritt später oft eine die Höhenrichtung mehr ausdrückende steilere Richtung ein von vielleicht 60° (Fig. 161). Der Rundstab kommt bis zur Übergangszeit wohl als einfacher Halbkreis mit oder ohne Überhöhung vor (Fig. 162), häufiger aber ist er einer rechteckigen Platte aufgelegt (Fig. 163 und 164).

Die vorwiegende Bedeutung der Höhe spricht sich am deutlichsten in der letzten Form mit zwei untereinandergelegten Teilen aus, dieselbe ist daher auch ganz besonders zum Ausgangspunkte für weitere Gestaltungen geworden. Ein Beispiel dieser Art zeigt die Figur 165, welche einer Seitenkapelle des Domes in Fritslar entnommen ist und gewissermassen als Wurzel der in den Figuren 166—172 dargestellten reicheren Gestaltungen angesehen werden kann. Im Chor der Kirche zu Wetter findet sich der untere Stab verkleinert und die Fase durch eine Hohlkehle ersetzt, wie Fig. 166 zeigt. In dem wenige Jahre späteren Schiff derselben Kirche ist dann die Verbindung zwischen der Kehle und der lotrechten Platte noch durch eine Platte vermittelt (s. die rechte Hälfte derselben Figur). Die hier noch matte Wirkung wird besser, wenn die Hohlkehle sich tiefer einschneidet (s. Fig. 167). Noch lebendiger scheidet sich die Hohlkehle von der lotrechten Seitenfläche ab durch einen dazwischengeschobenen Rundstab, wie die dem XIII. Jahrhundert angehörigen Rippenprofile der Stiftskirche in Treysa (Fig. 168) und des Domes zu Magdeburg (Fig. 169) zeigen. Dieser Rundstab wiederholt sich zuweilen kleiner vor dem Ansatz der Kehle an den Stab, so im Kapitelsaal vom Kloster Haina, im XIII. Jahrhundert (Fig. 171), im Kölner Dom (Fig. 170) und in der 1288 gegründeten Marburger Schlosskapelle (Fig. 172).

Einfache Gestaltungen ergeben sich unmittelbar aus dem abgefasten Rechtecke (Fig. 160 und 161), wenn die schrägen Seitenflächen durch flache Hohlkehlen ersetzt werden (s. Fig. 173), woraus sich dann durch Verdoppelung oder Vertiefung der Hohlkehlen die der Spätzeit angehörenden Formen von Fig. 174 und 175 entwickeln.

Die Absicht, die Durchkreuzung der Rippen deutlicher auszusprechen, führt in der Spätzeit auf eine häufige Anwendung des in Fig. 176 dargestellten unten geteilten Querschnittes, der aber auch schon in frühester Zeit an Rippen und Gurten auftritt.

Wie ein Überblick über die mitgeteilten Querschnitte zeigt, endigen die meisten unten in einem Rundstabe. Derselbe ist in der Regel nach einem Zirkelschlage geformt (Fig. 177), vereinzelt auch aus zwei Mittelpunkten gezeichnet, sei es als Spitzbogen (Fig. 178), wie er schon in der frühesten Zeit vorkommt, sei es als breitgedrückter Wulst (Fig. 179), wie ihn spätgotische Werke wohl zeigen.

Dem Wulste gesellt sich schon im XIII. Jahrhundert eine ihm hinfort eigentümliche Beigabe zu, in Gestalt einer an der Unterfläche entlang laufenden Schneide oder Leiste. Die aus zwei gegeneinander gerichteten Flächen gebildete Schneide Fig. 180 trat zuerst auf, bald folgte ihr aber die vorgezogene Leiste Fig. 181, welche dann häufiger zur Verwendung kommt als die erstere. Die Anwendung dieses Gliedes mochte durch das spitzbogige Profil Fig. 178 vorbereitet sein, auch mochte selbiges das Versetzen auf dem Lehrbogen begünstigen, immerhin wird man aber den Hauptgrund seiner Einführung in der künstlerischen Wirkung suchen müssen. Bei der grossen Höhe und der verworrenen Beleuchtung wirkt ein einfacher Rundstab leicht etwas unklar, die Schattengrenze zieht sich oft als langgezogene Schlangenlinie auf demselben entlang. Dagegen fasst der Blick die Form klar auf, wenn er an einer scharf vorgezogenen Kante fortgleiten kann. Da nur kräftige Gliederungen an dieser Stelle wirken, zog man die Leiste bald recht stark vor, bis man zu dem birnenähnlichen Querschnitte Fig. 182 gelangt war.

In Fig. 182 ist angedeutet, wie sich diese Wulstform aus Kreisstücken zusammensetzen lässt. Ein solches Aufreissen nach Kreislinien bildete im Mittelalter aber durchaus nicht die Regel, vielmehr erweisen Messungen an Rippenquerschnitten aus Köln, Aachen usw., dass diese Glieder ebenso wie viele andere oft in einer ansprechenden Krümmung aus freier Hand gezeichnet sind.

Bisweilen werden auch zu beiden Seiten des Rundstabes Leisten angefügt, die so weit hervortreten, dass sie sich nahezu oder völlig mit der unteren Leiste vereinigen und den Wulst zurücktreten lassen, vgl. Fig. 183. Die übrigen Rundstäbchen der Rippe werden später ebenfalls mit einer Schneide oder Leiste versehen, die sich dann auch selbst auf die an den Pfeilern herablaufenden Glieder sowie auf Profile an Fensterpfosten usw. überträgt.

Umzieht man den Querschnitt der Rippe mit einem die Hauptpunkte berührenden Linienzuge, so erkennt man, dass im allgemeinen im Laufe der Zeit die rechteckige Grundform mehr und mehr zurückwich, dagegen die Form eines unten spitzigen Dreieckes immer ausgesprochener hervortrat.

Ein solcher den Querschnitt umhüllender oder seine Hauptpunkte (z. B. Mittelpunkte der Wulste und Kehlen) aufnehmender Linienzug zeigt oft ganz unverkennbar eine regelmässige geometrische Figur, z. B. ein Quadrat, ein gleichschenkelig-rechtwinkliges Dreieck, ein gleichseitiges

Unterer
Wulst der
Rippe.

Gesamtform
des Quer-
schnittes.

Dreieck usf. Ebenso lassen sich einfache Längenverhältnisse wie 1:1 oder 1:2 auch 3:5, wohl auch das Verhältnis der Quadratseite zur Diagonale hier und da erkennen.

Es ist nicht zu leugnen, dass ein Zugrundelegen solcher einfachen Beziehungen das Zustandekommen einer ansprechenden Form sehr erleichtert und überdies beachtenswerte Bequemlichkeiten und Anhalte für das Aufreissen und Zurichten eines Werkstückes gewährt. Diese Vorteile hat sich auch das Mittelalter mit Recht zu nutze gemacht, es hat aber die richtige Grenze wenigstens in der besseren Zeit nie überschritten. Gerade die Rippenquerschnitte zeigen, dass geometrische Konstruktionen höchstens erst dann in Frage kommen, nachdem die Anforderungen der Festigkeit und des künstlerischen Ausdruckes ihr Recht geltend gemacht hatten. Die in grosser Höhe verkürzt in gebrochenem Lichte erscheinenden Gewölbebogen stellten eben Forderungen an ihre Profilierung, die in geometrischen Verhältnissen des Querschnittes kaum zum Ausdruck kommen können, die vielmehr in der ganzen eigenartigen Bildung der Glieder, beispielsweise in der Entstehung des birnenartigen Wulstes hervortreten.

Verhältnis
zwischen
Rippe und
Gurt.

Als die Rippen zuerst auftraten, machte man sie vereinzelt ebenso stark wie die Gurte, so an manchen französischen Werken vom Ausgange des XII. Jahrhunderts, sowie in Deutschland zu Walkenried, am Chore zu Magdeburg usf. Bald erkannte man aber, dass die Rippen nur eines geringeren Querschnittes bedurften, man machte sie daher, wie dies bei den frühen Werken Deutschlands bereits üblich war, allgemein schwächer als die Gurte. Das geschah mit vollem Rechte, denn die derzeit üblichen überhöhten Gewölbe übertragen, ähnlich wie Kuppeln, auf den Gurt eine bedeutende Last. Ein starker Gurt gibt überdies eine wünschenswerte feste Verstrebung der gegenüberliegenden Pfeiler gegen Lastschwankungen, Winddruck usw. Besonders ist aber da ein breiter Gurtbogen erforderlich, wo benachbarte ungleiche Gewölbe einen verschieden grossen Seitenschub auf den Gurt ausüben. Wo zudem Oberlasten durch Mauerwerk oder das Dachgerüst dem Gurte anvertraut werden, wird natürlich auch hierdurch eine entsprechende Stärke bedingt.

Derartige Gründe können dem Gurte eine sehr grosse Stärke aufzwingen, wo sie jedoch nicht zu gebieterisch auftreten, begnügt man sich, den Breitenunterschied zwischen Gurt und Rippe etwa wie 5 zu 3 anzunehmen.

Wo bei manchen Gewölbegealtungen der vorgeschrittenen gotischen Zeit dem Gurte nur die Aufgabe einer gewöhnlichen Rippe zugewiesen war, wurde er ganz folgerichtig auch nach Grösse und Form des Querschnittes wieder genau wie jede andere Rippe behandelt. Bei den fortlaufenden Netzgewölben fehlen die Gurte oft gänzlich. Sobald aber ein Grund für das Vorhandensein des Gurtbogens vorlag, tritt er bis in die späteste Zeit in angemessener Stärke auf.

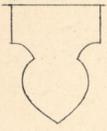
Der Gurtquerschnitt ist in romanischer Zeit meist ein Rechteck mit mehr oder weniger reich gegliederten Kanten (Fig. 184).

Querschnitte
des
Gurtbogens.

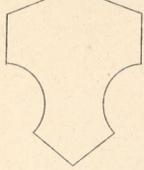
Sehr oft ist unter das Rechteck noch eine halbrunde oder eckige Vorlage gesetzt (Fig. 185 und 186). Von diesen Formen übernimmt die Gotik besonders das einfache Rechteck, welches in verschiedenster Weise gegliedert wird. Die Fase, Kehle und noch mehr der Rundstab bleiben in der ganzen gotischen Zeit beliebt. Wenn die Breite verhältnismässig gering war, treten schon seit der Übergangszeit ab und zu die Unterflächen ganz zurück, so dass sich die zweiteiligen Formen Fig. 188 bis 191 ergeben. 189 und 190 sind dem Chorgewölbe des Magdeburger

Rippen- und Gurtbogenquerschnitte

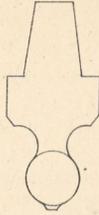
152.



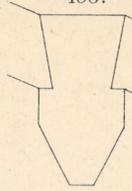
153.



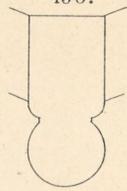
154.



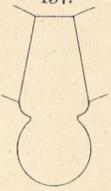
155.



156.



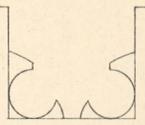
157.



158.



159.



160.



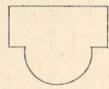
161.



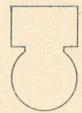
162.



163.



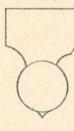
164.



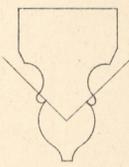
165.



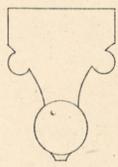
166.



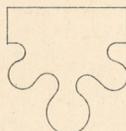
167.



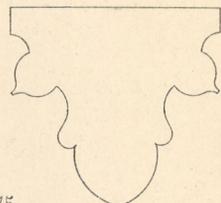
168.



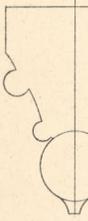
169.



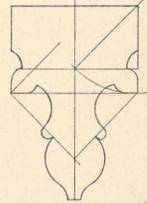
170.



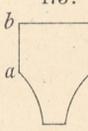
171.



172.



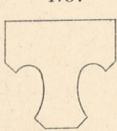
173.



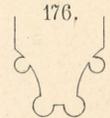
174.



175.



176.



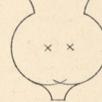
177.



178.



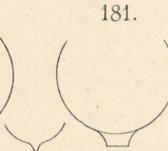
179.



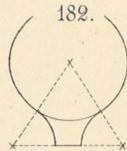
180.



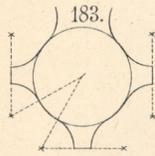
181.



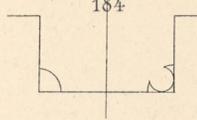
182.



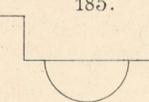
183.



184.



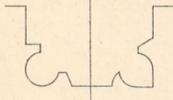
185.



186.



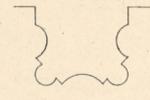
187.



188.



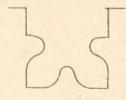
189.



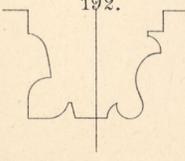
190.



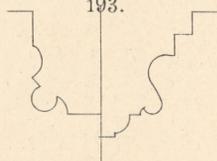
191.



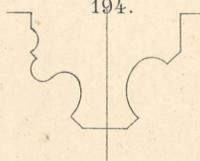
192.



193.



194.



Domes entnommen, während 191 zu Strassburg, Freiburg usw. Verwendung gefunden hat.

Andere häufiger auftretende Gliederungen geben die Fig. 192 bis 194.

Die Gurte und Rippen weichen, wie die dargestellten Beispiele zeigen, im allgemeinen voneinander ab, sie sind bei ein und demselben Gewölbe oft grundverschieden, wengleich immer ein ansprechendes Zusammenstimmen erstrebt ist. Selbst bei denjenigen der frühesten Werke, welche gleich grosse Querschnitte für beide Bogen aufweisen, ist die Gliederung oft abweichend, wie die in Fig. 195 und 196 nebeneinandergestellten Profile aus der Klosterkirche zu Walkenried zeigen. (Dieselben Querschnitte befinden sich am oberen Chorumgange des Magdeburger Domes und am Herrenrektorium zu Maulbronn. — Auf den Zusammenhang dieser drei Bauten hat neuerdings auch Hasak hingewiesen.)

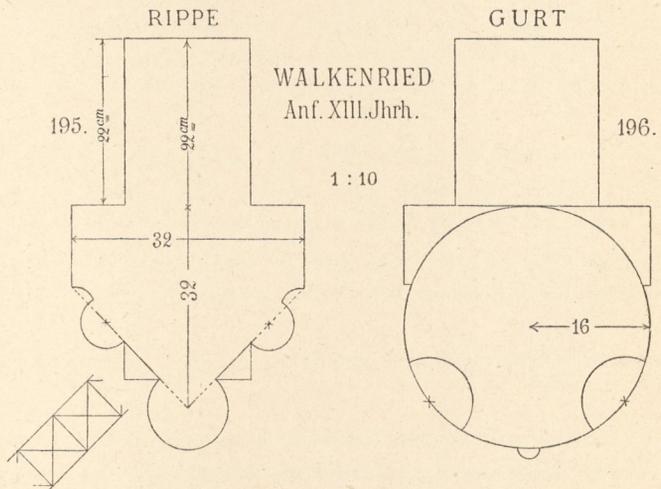
Das richtige Gefühl, welches die verschiedenen Aufgaben der lediglich tragenden Rippe, bzw. des gleichzeitig tragenden und trennenden Gurtes in der Gliederung zum Ausdruck bringt, lässt sich bis in die Spätgotik verfolgen, daneben tritt aber auch

schon früh das Streben auf, beide Bogen gleichartig zu behandeln. In vielen Fällen ist der Gurtquerschnitt nur eine Verbreiterung oder Bereicherung der zugehörigen Rippenform. Somit übertragen sich die oben dargestellten Rippengestaltungen grossenteils auch auf die Gurte, ein Beispiel dieser Art vom Kölner Dom ist in Fig. 198 wiedergegeben.

Bei der Feststellung der Gliederung beider Bogen darf nicht übersehen werden, dass ein schönes, regelmässiges Zusammenwachsen derselben am Gewölbeanfange (siehe dort) bestimmend auf ihre Form sein muss.

Grössere Gurtquerschnitte werden ähnlich wie die Scheidebogen aus mehreren Steinschichten übereinander hergestellt. In der früheren Zeit war auch bei Backstein die Ausführung in Rollbogen beliebt, wogegen man jetzt gewöhnlich die Steine in dem üblichen Verbands sich verzahnen lässt. Einen aus dem XIII. Jahrhundert stammenden Ziegelsteingurt aus dem Kapitelsaale des Domes zu Riga zeigt Fig. 197.

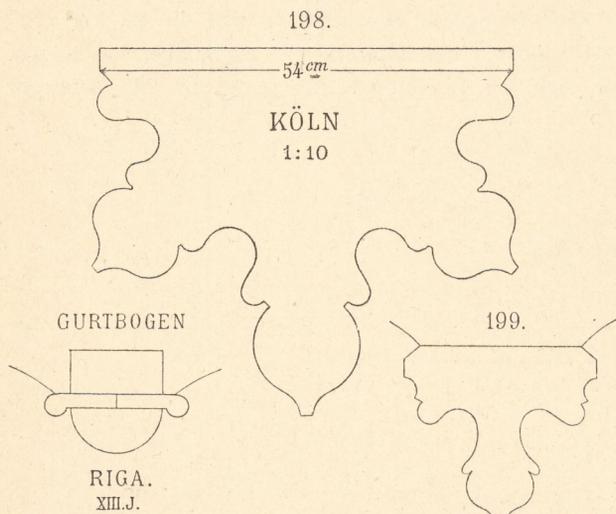
In der Spätzeit wird häufig die obere Kante sowohl beim Gurte, als beim Kreuz- und Schildbogen vermittelt einer Schräge zurückgesetzt (vgl. Fig. 199), wodurch sich bei der Ausführung ein sauberer Anschluss und ein etwa erwünschtes Auflager für den jeweilig aufzustellenden Lehrbogen ergibt.



Schildbogen.

Die Schildbogen können entweder vor der Mauerflucht vortreten oder in der Mauerflucht liegen bleiben.

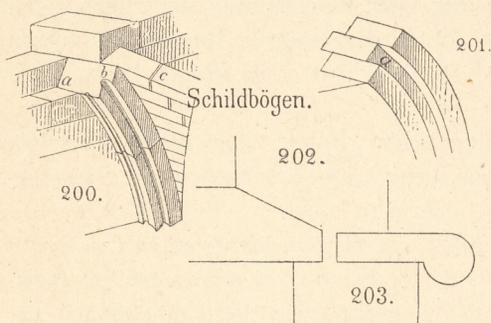
Im ersteren Falle (siehe Fig. 200) ist der Schildbogen eingebunden, d. h. die Werkstücke oder Ziegel *a*, aus welchen er besteht, stecken mindestens mit der Hälfte der Bogendicke in der Mauer. Wenn die Mauer oben nicht zurückspringt, dann müssen sie zugleich mit Ausführung derselben versetzt werden und treten mit einer entweder der Hälfte der Gurtgliederung entsprechenden oder besser selbständigen Profilierung vor der Mauerflucht vor. Sie bilden mit ihrem Rücken *b* eine bogenförmige Bank, auf welche die Kappen *c* sich setzen.



selbständigen Profilierung vor der Mauerflucht vor. Sie bilden mit ihrem Rücken *b* eine bogenförmige Bank, auf welche die Kappen *c* sich setzen.

Wo der Schildbogen nicht vor der Mauerflucht hervortritt, da muss dieses Auflager durch einen Rücksprung der Mauer oder eine nutartige Vertiefung gebildet werden. Diese Vertiefung *a* in Fig. 201 findet sich bei sparsam ausgeführten Werken aus Quadermauerwerk zuweilen über

die dem gewöhnlichen Verbannde entsprechenden wagerechten und lotrechten Fugen hinweg eingehauen, nachdem an der Wand der richtige Zirkelschlag gemacht ist. Bei Bruchsteinmauerwerk hat man die Steine zuweilen einfach im gewöhnlichen Verbannde treppenförmig zurückgesetzt, wodurch sich häufig sehr unregelmässige



Bogenlinien ergeben haben. Bei Ziegelmauerwerk kann eine Nut aus drei konzentrischen Bogen (nach Fig. 201) gebildet werden, obwohl durch letztere Anlage im Vergleiche zu der eines einbindenden Schildbogens kaum an Leichtigkeit gewonnen werden dürfte.

In früher Zeit war es ganz besonders üblich, die Mauer über dem Schildbogen zurücktreten zu lassen, wodurch ein sicheres Auflager

über dem Schildbogen in möglichst einfacher Weise geschaffen wird, gleichviel ob ein Profil angewandt wurde oder nicht. Ein Beispiel für Werkstein zeigen die Trümmer der Marienkirche zu Lippstadt Fig. 202, ein solches für Ziegelstein der Domkreuzgang zu Riga Fig. 203.

Über die absolute Querschnittsgrösse der Gewölbobogen ist schwer eine allgemeine Angabe zu machen. Wie die Ausführungen des vorigen Kapitels (s. S. 61)

Grösse des
Rippenquer-
schnittes.

lehren, kommt weniger die Grösse des von den Rippen zu übertragenden Druckes in Betracht, als der richtige Angriff desselben in der Mitte des Querschnittes, oder mit anderen Worten die günstige Lage der Drucklinie. Würde man den Rippenquerschnitt nur nach der Grösse des Druckes zu berechnen haben, so entstünden häufig Profile von so geringen Abmessungen, dass sie praktisch gar nicht ausführbar wären. Mit Rücksicht auf eine sichere Aufnahme der Drucklinie schränkt man zweckmässig die Profilgrösse nicht gar zu sehr ein. In der Praxis nimmt man an, dass untergelegte Rippen aus Werkstein bei 15 cm Breite und 22 cm Höhe noch bei Gewölben bis etwa 9 m Diagonallänge genügen. Ziegelrippen von dem Querschnitte eines flachen Steines (12×25 cm), den etwaigen Rückenansatz eingerechnet, werden oft bis fast zu der gleichen Spannung ausgeführt. Es dürfte sich für solche Weiten aber schon empfehlen, die Profile zu vergrössern, bei Ziegeln durch grössere Formsteine oder mehrere im Verbands gemauerte Steine. Zudem kann eine Verstärkung der Kappen über dem Rücken der Rippe am Platze sein (siehe hinten Kappengemäuer).

Als untere Grenze für Breite und Höhe des Rippenquerschnittes wird wohl 9 und 15 cm bezeichnet, wenngleich für kleine Ziergewölbe nichts im Wege stehen würde, noch weiter herabzugehen. In der That finden wir auch an alten Werken bisweilen noch kleinere Profile, in den Triforien der Marienkirche zu Stargard in Pommern zum Beispiel solche, deren vortretender Teil nur etwa 8 . 10 cm beträgt.

Der Aufführung der Rippenbogen wird im letzten Kapitel (Lehrbogen usw.) Erwähnung geschehen.

7. Von den Schlusssteinen.

Schlusssteine der Bogen.

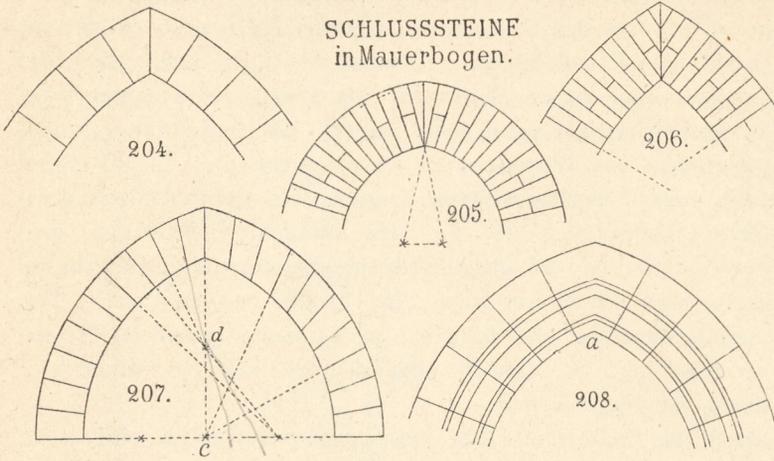
Für einen einfachen Mauerbogen ist es in konstruktiver Hinsicht meist gleichgültig, ob er im Scheitel eine Fuge oder einen Stein aufweist. Bei den Römern war es jedoch Regel, der Bogenmitte einen Stein, den „Schlussstein“ zu geben, der häufig zum bevorzugten Zierstück wurde, so bei den Triumphbogen usw. Das Mittelalter verliess diese Regel und ordnete nach jedesmaligem Ermessen bald eine Fuge, bald einen Stein an, beim Spitzbogen findet sich die Scheitelfuge sogar mit Vorliebe verwendet, vgl. Fig. 204—207. Die übrigen Fugen sind radial nach den Mittelpunkten der Bogenäste gerichtet. Bei kleinen Steinen scheute man sich nicht, Zusammenschnitte nach Art der Fig. 206 zu bilden. Nur vereinzelt, so bei den Stadthoren zu Pisa (Mitte des XII. Jahrh.) hat man bei Werkstein einen allmählichen Übergang der Fugenrichtung angestrebt, indem man entweder einen Teil der oberen Fugen nach einem anderen Mittelpunkte *d* (Fig. 207) laufen liess, oder auch sämtliche Fugen gegen einen gemeinsamen Punkt *c* richtete. Bei Ziegelsteinbogen finden sich derartige allmähliche Übergänge häufiger.

Schlusssteine
der Mauer-
bogen.

Ein besonderer Schlussstein ist beim Spitzbogen aber gleichfalls nicht selten, besonders wurde er bei stark profilierten Bogen angewandt, um einen sauberen Zusammenschnitt der Glieder zu ermöglichen (Fig. 208). Der hakenförmige Ein-

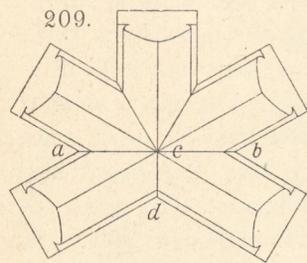
sprung bei *a* gab bisweilen Anlass, hier aus der überschüssigen Steinmasse eine vortretende Scheibe (Rosette) oder einen aus den Bogengliedern herauswachsenden,

nach unten gekehrten cylindrischen Körper zu bilden. Beispiele dieser Art zeigen die Seitenschiffe des Münsters in Freiburg. Dass diese Ausfüllung bei schlanken Bogen statisch günstig sein kann, ist an Fig. 127 E gezeigt.

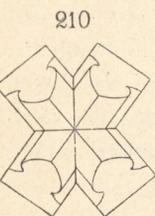


Schlusssteine der Gewölbe.

Unter den Gewölben kann die Tonne, ähnlich den Mauerbogen, sowohl eine fortlaufende Fuge als auch eine schliessende Steinschicht im Scheitel haben. Von einem einzigen bestimmten Schlusssteine kann natürlich beim Tonnengewölbe nicht die Rede sein, dieser kommt erst in Frage bei den Wölbungen mit kuppelartig erhöhter Mitte und bei den Kreuzgewölben.



Zu einer wirklichen Bedeutung gelangt der Schlussstein aber bei den Rippengewölben. Hier vereinen sich im Scheitel beim gewöhnlichen Kreuzgewölbe vier, beim sechsteiligen Gewölbe sechs und bei Chor- und Sternwölbungen oft noch mehr Rippenäste in einem Punkte. Ein solcher Schlussstein hat gleichzeitig Forderungen der Festigkeit, der zuverlässigen Ausführung und der Schönheit zu genügen, denn er muss die Rippenäste fest und unverschieblich vereinigen, er muss ein sicheres Versetzen der Mitte ermöglichen, er muss in schöner Weise die Rippengliederungen aufnehmen und schliesslich auch als Gipfelpunkt des innen sichtbaren Aufbaues eine würdige Ausstattung erfahren.



Dieser Bedeutung des Schlusssteines entspricht es, dass er schon in romanischer Zeit nach Auftreten der ersten Rippen stark betont und reich ausgebildet wurde. Nur die mehr bescheiden aufgefassten Werke zeigen zu allen Zeiten einen einfachen Zusammenschchnitt der Rippenprofile. Von diesen als einfache Durchkreuzung der Rippenäste gebildeten Schlusspunkten soll zunächst die Rede sein.

Theoretisch genommen ist es statthaft, die Rippen auf Kehrung nach den Fugen *ab, cd* usw. in Fig. 209 zusammenschneiden zu lassen, wie es bei Ziegelrippen in der That oft geschehen ist. Daraus würde sich aber bei Werk-

Schlusssteine der Gewölbe.

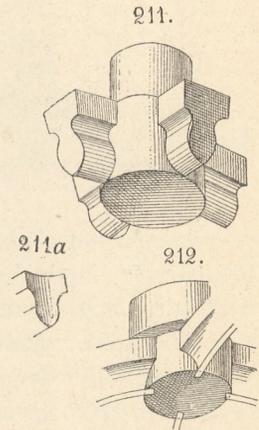
Einfache Rippenkreuzung.

stein ein schwieriges Austragen, scharfe verletzbar Steinkanten, ein unbequemes Versetzen (besonders bei zahlreichen Rippen), eine leichte Verschieblichkeit und schliesslich ein unvorteilhaftes Erscheinen der Fugen ergeben. Es kann daher nur eine Anordnung in Frage treten, welche den ganzen mittleren Teil aus einem gemeinsamen Werkstücke mit Ansätzen für jede einzelne Rippe herstellt. Fig. 210.

Der Umfang des Schlusssteines richtet sich nach Grösse und Zahl der Rippen; wo genügend grosse Werksteine zur Verfügung stehen, empfiehlt es sich, die einzelnen Rippenansätze nicht zu kurz zu machen. Kommt es dagegen auf eine Einschränkung der Grösse an, so wird man die Ansätze so kurz machen, dass sich die Profile eben frei entwickeln können.

Wenn die in einem Schlusssteine zusammentreffenden Rippen nach verschiedenen Bogenformen gebildet sind, also verschieden steil gegen den Schlusspunkt anfallen, so muss jeder Rippenansatz für sich ausgetragen werden. Die Glieder der einzelnen Rippenäste schneiden in diesem Falle nicht regelmässig ineinander, dadurch erhält aber die Rippenkreuzung ein unschönes Aussehen. Da dieselbe überdies die einheitliche Bedeutung des Schlusssteines nicht zum Ausdruck bringt und dabei das unnütze Wegarbeiten eines ansehnlichen Teiles des Werksteines verlangt, hat das Mittelalter die nackte Rippenkreuzung mit Vorliebe durch eine selbstständige Schlusssteinbildung ersetzt, welche die mannigfachste Abwechslung zeigt. Man schob zwischen den Rippen einen runden oder eckigen Körper ein, der sich oft zu einem Ringe erweiterte. Man bereicherte auch wohl den Zusammenschchnitt zwischen je zwei Rippen durch Laubwerk oder Engelsköpfe, oder verdeckte ihn durch eine untergelegte grosse Scheibe, endlich liess man die Schlusssteine weit nach unten vorspringen und versah sie mit reichem pflanzlichen und figürlichen Ornamente.

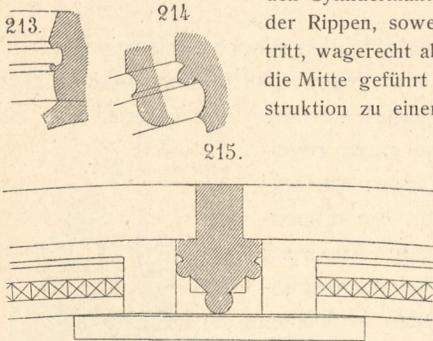
Besonders gern liess man die Rippen sich an einen cylindrischen Kern schliessen, an welchem die Ansätze angearbeitet sind, so dass also der ganze Schlussstein nunmehr die in Fig. 211 gegebene Gestaltung erhält. Es könnte näher zu liegen scheinen, diese Ansätze wegzulassen, dafür die Seitenflächen des Kernes nach den Radien der einzelnen Bogen zu richten, ihm also eine konische Form zu geben. Da aber das Anschliessen der Fugenfläche der Rippen an einen runden Körper eine konkave Gestaltung bedingen und somit ein Wegsprengen der Ecken verursachen würde (s. Fig. 211a), so sind kleine Ansätze doch immer nötig und machen, weil an ihnen der radiale Fugenschnitt angebracht ist, eine konische Gestaltung des Kernes überflüssig. Das mindeste Mass des Radius für den cylindrischen Kern würde in Fig. 209 die Länge ba sein; in der Regel jedoch wird er grösser genommen, so dass der Mantel des Cylinders überall zwischen den Rippenansätzen sichtbar wird. In der Höhe der Kappenflucht setzen sich diese Cylinder ab, so dass ein vortretender Rand stehen bleibt, und dringen mit verringertem Durchmesser durch die Kappendicke, wie Fig. 211 zeigt. Beim cylindrischen



Selbständig
ausgebildete
Schluss-
steine.

Schlusssteine pflegt in der Regel dieser zurückgesetzte Aufsatz, der die Kappendicke durchdringt, rund zu sein. Er ist meist auch dann vorhanden, wenn die Rippen selbst ohne Rippenansatz bleiben, nötig ist er für diejenigen Schlusssteine, welche in der Mitte eine Öffnung haben.

An einzelnen Werken aus dem Anfange des 16. Jahrhunderts hat der durch die Kappendicke dringende Teil des Schlusssteines einen stärkeren Durchmesser als der sichtbare Cylinder, so dass sich ein vortretender Rand im umgekehrten Sinne bildet, der sich dem Rücken der Rippen auflegt. Fig. 212. Die Rippen selbst schliessen dann an die Seitenflächen des Cylinders mit einer senkrechten Fuge an, müssen aber, um eine ausgehöhlte Form der Fugenfläche zu vermeiden, in



den Cylindermantel eingelassen werden. Ebenso muss die Rückenfläche der Rippen, soweit sie unter den vortretenden Rand des Schlusssteines tritt, wagerecht abgearbeitet sein, falls die Rippe nicht wagerecht gegen die Mitte geführt wird. Beide Notwendigkeiten machen aber die Konstruktion zu einer unvorteilhaften.

An den Seitenflächen des cylindrischen Kernes der Schlusssteine ist häufig das Profil der Rippen herumgeführt (Fig. 213); vielfach nimmt die Gliederung auch eine ganz andere Gestalt an, wie in Fig. 214. Letztere Anordnung hat den Vorzug, sobald die Rippen Spitzbogen sind, da wegen

des schrägen Anschnittes gegen den Schlussstein das Profil am letzteren doch eine abweichende, mehr hochgezogene Form annehmen würde. Wenn die Rippen verschieden steil anfallen, ist ein Durchführen des gleichen Profiles am Schlusssteine überhaupt nicht mehr zu erreichen, da sich bei jeder Rippe ein anderer Zusammenschnitt der Profile bilden würde, es bleibt dann am besten die Seite des Schlusssteines ganz glatt.

Die Schlusssteinprofile 213 und 214 zeigen unten eine vorspringende Scheibe, welche den Anlass zu reicher Ornamentierung bietet (siehe hinten). Diese Scheiben ragen bei manchen frühgotischen Werken, so bei der Stiftskirche zu Lippstadt und der Klosterkirche zu Walkenried, weit tellerförmig über die Rippenansätze hinaus, so dass sie den Anschluss der Rippen verdecken. Es braucht über diesen Scheiben kein cylindrischer Kern vorhanden zu sein, so schneiden in Walkenried (Fig. 215) die Rippen einfach gegeneinander, nachdem sie zuvor in den rechteckigen Querschnitt überführt sind. Die untergelegten Scheiben nehmen oft statt der runden eine ganz selbständige Gestalt an als Dreipass, Vierpass oder auch als eine Verbindung von Dreipass und Dreieck bzw. von Vierpass und Viereck.

Zuweilen aber ist eine derartig gegliederte Grundrissform direkt als Kern hochgeführt, so dass jeder untere Vorsprung wegfällt und die etwa für die Seitenflächen des Kernes bestimmte Gliederung nunmehr diese Grundform umzieht. Fig. 216 zeigt ein derartiges Beispiel, in welchem die Rippen in die Einsprünge des Vierpasses treten, während sie bei oben rundem Kerne auch in der Richtung *ab* sich hätten anschliessen können.

Überhaupt ist die runde Grundform des Kernes nur eine konventionelle. Sie bietet allerdings den Vorteil, dass die in verschiedenen Richtungen nach dem

Mittelpunkte des Schlusssteines gehenden Rippen die Seitenflächen rechtwinklig schneiden, zeigt aber die ursprünglich viereckige Gestalt des Werkstückes nur noch in den Rippenansätzen an. Deutlicher spricht sich aber das Werkstück aus in einer quadratischen oder dem Quadrate sich nähernden Schlusssteinform, wie sie Fig. 216 und 217 zeigen. In dem vierseitig geschlossenen Chore der Kirche zu Volkmarsen ist die Grundform des Schlusssteines das übereckstehende Quadrat, so dass die Rippen an den Ecken desselben anschliessen. Auf der unteren Fläche findet sich das Lamm mit der Kreuzfahne in einem durch eine flache Gliederung abgesetzten Felde, in den Ecken desselben sind vier Rosetten angebracht. Ebenso findet sich nicht selten der Schlussstein in Gestalt der vesica piscis und trägt dann ein Marienbild.

In dem Kreuzgange des Erfurter Domes findet sich aber auch das Verhältnis umgekehrt, indem der Kern des Schlusssteines nach einem Quadrate oder flachen Vierbogen gebildet ist, an dessen Seiten die Rippen anlaufen, die Anschlüsse derselben sind auch hier von unten verdeckt durch eine aufgelegte runde, reich ornamentierte Scheibe (s. Fig. 218).

Die Grösse des Schlusssteines darf aus statischen Gründen nicht willkürlich angenommen werden, rundbogige Rippen können nur einen leichten Schlussstein tragen, während umgekehrt steile spitzbogige Rippen eine grössere Scheitellast verlangen, über deren Umfang man sich durch Konstruktion der Stützlinie Aufschluss verschaffen kann. Die Scheitelbelastung kann durch entsprechende Breitenausdehnung und Höhenentwicklung des Schlusssteines, unter Umständen auch durch ein grosses spezifisches Gewicht des Baustoffes erzielt werden.

Belastung
des Scheitels.
Herab-
hängende
Schluss-
steine.

Häufig tritt der Schlussstein unter die untere Rippenflucht herab, wie es bereits viele der angeführten Beispiele zeigen, so die Figuren 215, 216, 218. Dieser Vorsprung, welcher entweder nach unten glatt bleibt und nur an seinem Rande mit einer Gliederung versehen ist, oder auch zu einem mehr oder weniger reichen Ornamente die Masse hergiebt, spricht die durch das Aufwärtsdrängen des Spitzbogens gebotene Belastung des Scheitels aus und giebt zugleich Gelegenheit, durch seine reichere Ausführung die Wirkung des Gewölbes auch in dekorativer Hinsicht zum Schlusse zu bringen.

In jedem Falle muss auf diesen Vorsprung bei Aufstellung der Lehrbogen Rücksicht genommen werden, d. h. es muss die obere Fläche derselben im Scheitel so tief liegen bleiben, dass zum Versetzen des nach unten vorspringenden Schlusssteines Raum gelassen ist. Näheres darüber siehe unter Lehrbogen.

Die Belastung des Scheitels ist durch die förmlich herabhängenden Schlusssteine noch deutlicher ausgesprochen. Es bilden sich dieselben einfachsten Falles aus den in Figur 216 und 218 gezeigten Gestaltungen dadurch, dass die einzelnen Blätter eine mehr der vertikalen Ebene sich nähernde Lage erhalten, und nehmen dann das Ansehen von Kragsteinen oder Kapitälern an. In der Marienkirche in Mühlhausen ist ein herabhängender Stengel gebildet, an welchem in zwei Reihen je vier Blätter fast kreuzblumenartig angesteckt sind (s. Fig. 219). Gerade im vorliegenden Falle, in welchem bei den niedrigen nur halbkreisförmigen Kreuzrippen eine Scheitelbelastung nicht nötig war, ist die Willkür unverkennbar, dennoch aber

ist der feine Sinn zu bewundern, mit dem die Umbildung des Typus der Kreuzblume versucht worden ist, anstatt dieselbe geradeswegs umzudrehen und sonst unverändert zu lassen.

Eine andere noch gesuchtere, weil eine konstruktive Bedeutung affektierende Bildung des Schlusssteines findet sich in einem Joche des nördlichen Seitenschiffes des Mainzer Domes, wo derselbe die Gestaltung eines herabhängenden Baldachins von quadratischer Grundform annimmt, an dessen Ecken dann die Rippen anlaufen. Ebendahin gehören diejenigen Schlusssteine, welche gleichsam auf einem schwebenden Kragsteine aufsitzende Rippenanfänge darstellen, so dass also die Rippenansätze anstatt in der Fortsetzung des Rippenbogens an den Kern zu dringen, nahe bei der Fuge umkehren und in einem eigenen, mit kleinerem Radius beschriebenen Bogen sich bis auf den die untere Begrenzung bildenden Kragstein senken.

Auf die Spitze getrieben zeigt sich aber das ganze Prinzip in der ausschliesslich der Spätgotik eigenen Anlage der hängenden Gewölbe, die sich in England besonders häufig, seltener in Frankreich und Deutschland finden. Eine Anwendung dieser Konstruktion auf den Grundriss des Netzgewölbes zeigt der Kreuzgang der Stephanskirche in Mainz. Hier ist der Schlussstein zu einer förmlichen Hängesäule geworden und wird wie eine wirkliche Hängesäule in der Holzkonstruktion von den Strebebändern, so hier von den oberhalb des eigentlichen Gewölbes gespannten Rippen getragen, setzt sich dann nach unten fort bis zur Höhe der Grundlinie des Gewölbes und endigt in einem schwebenden Knaufe. Oberhalb des Knaufes finden sich dann die Ansätze für die schwebenden Rippen. Fig. 220 zeigt diese Konstruktion im Durchschnitt. Es sind darin *a* die den Schlussstein tragenden Bogen, *b* der hängende Schlussstein, *c* die Rippen und *d* die Kappen des Gewölbes.

Die reiche und malerische Wirkung derartiger Gewölbe versöhnt in der Wirklichkeit mit der Übertreibung. Mag man sie immerhin als blosser Dekoration betrachten, so bilden sie doch nur aus der Konstruktion entwickelte und in Wirklichkeit konstruierte, keineswegs bloss eine jener angehefteten oder angeklebten Zuthaten, an denen die moderne Architektur so reich ist.

Wurde im vorstehenden gezeigt, wie weit die Höhenentwicklung des Schlusssteines getrieben werden kann, so ist andererseits auch seine Breitenrichtung einer grossen Steigerung fähig. Besonders führt das Zusammentreten einer grossen Zahl von Rippen zu ausgedehnten Schlusssteinen. Bei manchen Werken der Übergangszeit, besonders bei den Westfälischen Kirchen zu Billerbeck, Leyden, auch bei der grossen Marienkirche zu Lippstadt und dem Dom zu Minden hat man das Zusammentreten von acht Rippen dadurch umgangen, dass man nur vier derselben zum Schlusspunkte führte, vier andere dagegen durch einen konzentrischen Kreis aufnahm, vergl. Fig. 211 aus der Kirche zu Billerbeck (nach Lübcke). Zu erwähnen sind an dieser Stelle ähnliche mehr spielende Ausbildungen der Wölbmitte, unter denen ein grosser radartiger Rippenschluss in einem Mittelschiffgewölbe des Domes zu Paderborn besonders hervorsteht.

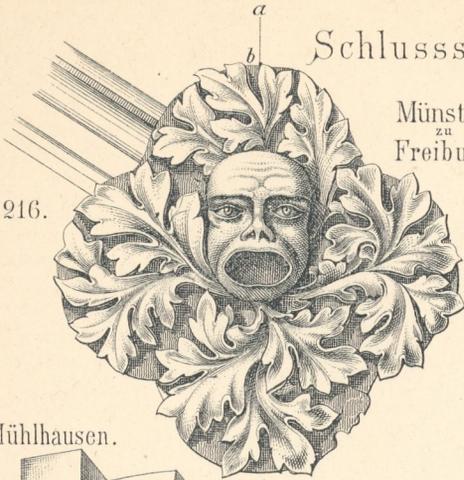
Grosse Schlusssteine sind sehr oft durchbrochen, aber auch die kleineren haben vielfach Mittelöffnungen erhalten. Die Durchbrechungen können sehr verschiedenen Zwecken dienen, sie können zum Herablassen von Rüstseilen, Aufhängen

Breiten-
entwicklung
der Schluss-
steine.

Durch-
brochene
Schluss-
steine.

Schlusssteine.

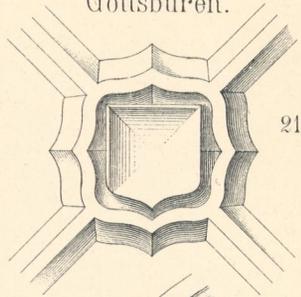
216.



Münster
zu
Freiburg.

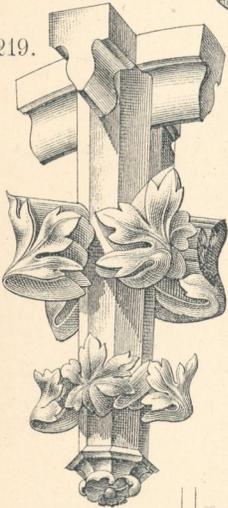
Kirche zu
Gottsbüren.

217.



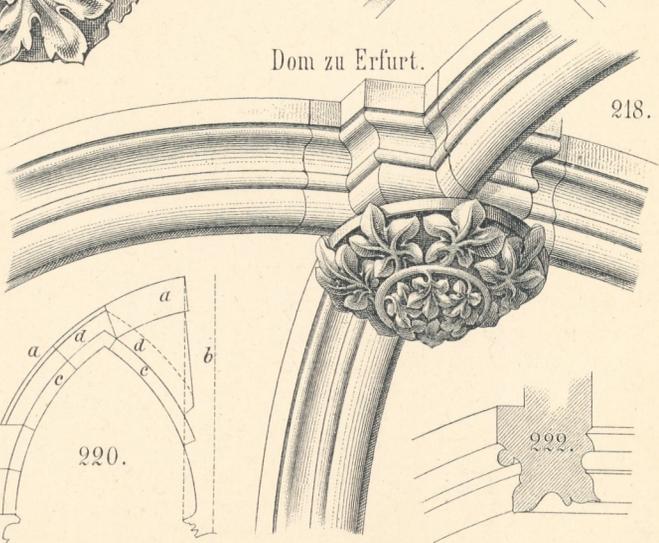
Mühlhausen.

219.



Dom zu Erfurt.

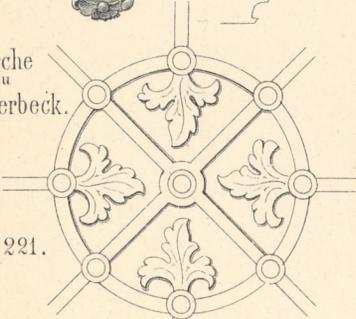
218.



220.

Kirche
zu
Billerbeck.

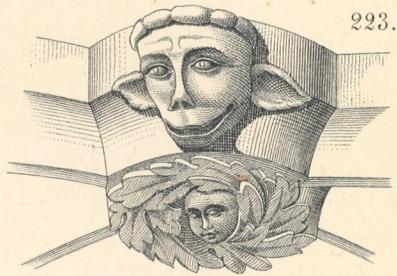
221.



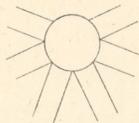
223 a.



223.

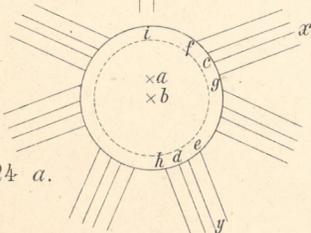


224.

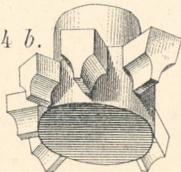


Franziskanerkirche - Fritzlär.

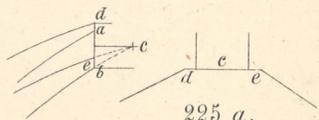
224 a.



224 b.



225.



von Kronleuchtern, zur Auslüftung des innern Raumes, schliesslich auch zum Aufziehen grösserer Gegenstände z. B. Glocken bestimmt sein. Bei Anordnung der Durchbrechungen zum Luftaustausch ist eine gewisse Sparsamkeit notwendig, denn besonders in kleinen Kirchen entsteht leicht ein unerträglicher Luftzug, der mindestens zum zeitweisen Verschliessen der Öffnungen führt.

An der inneren Leibung der Löcher läuft zuweilen wieder die Rippengliederung oder auch eine davon abweichende herum (s. Fig. 222). Häufig sind die Seitenflächen dieser Durchbrechungen auch einfach lotrecht, wie in Fig. 231, oder die Öffnungen bilden gewissermassen die Mitte einer Rosette wie in Fig. 232, oder sie sind in einer sonstigen Weise in das Ornament des Schlusssteines verwoben, wie in Fig. 216, wo die durchgearbeitete Mundöffnung eines Kopfes die Durchbrechung abgiebt.

Jene weiteren von einem Rippenkranz umschlossenen Mittelöffnungen im Gewölbe, welche zum Aufziehen grösserer Gegenstände auf die oberen Räume, wie Dachboden und Türme, erforderlich sind, wurden schon bei den Gewölben mit zusammengesetzten Rippensystemen angeführt. Die Öffnung selbst ist dann in der Regel durch eine dem Rippenkranz aufgelegte Steinplatte oder eine leichter hinwegzuräumende Bretttafel verschlossen.

Bei langgestreckten Jochen werden zwischen den Rippenansätzen an zwei Seitenflächen des Schlusssteines bedeutende Zwischenräume stehen bleiben, während an den anderen Seiten die Rippenansätze dicht aneinander schliessen. In solchen Fällen sind zuweilen diese Zwischenräume mit aus der Seitenfläche der Schlusssteine hervorragenden Köpfen besetzt. Ein derartiges Beispiel aus der ehemaligen Franziskanerkirche in Fritzlar zeigt Fig. 223 in perspektivischer Ansicht. Derselbe Fall tritt ein bei den Schlusssteinen der sechsteiligen Kreuzgewölbe, wie z. B. im südlichen Kreuzflügel des Domes zu Wetzlar, und ferner bei denen der polygonen Chorgewölbe (s. Fig. 224). In beiden letzteren Fällen findet sich die gleiche, eine sehr glückliche Wirkung hervorbringende Anordnung solcher Köpfe. VIOLLET-LE-DUC giebt mehrere französische Beispiele dieser Art.

Auf eine andere Weise lässt sich bei Chorschlüssen die Ungleichheit der Zwischenräume mindern, wenn der Schlussstein um ein geringes Stück, z. B. ab in Fig. 224a, über den Mittelpunkt des Polygons hinausgerückt wird, wobei die Richtung der Rippen nach dem ersten Punkte unverändert bleibt. Es wird dadurch aber ein schiefwinkliger und ungleicher Anschluss der Ansätze an den Cylinder herbeigeführt, ebenso werden auch die Höhen, in welcher diese Anschlüsse erfolgen, geändert.

Es würden in Fig. 224a die Mittellinien sämtlicher Rippen in ein und demselben Höhenpunkte a zusammentreffen. Da nun die Entfernung des Anschlusses der Rippe cx an den Schlussstein von a kleiner ist, als die des Anschlusses der Rippe dy von demselben Punkte, also ac kleiner als ad , so liegt d tiefer als c . Hiernach muss der Schlussstein eine grössere Höhe erhalten, als die durch den Anschluss einer Rippe bedingte, und es muss dieser Höhenzusatz der Differenz der Höhen der Punkte c und d gleich sein. Ebenso treffen aber auch die Rückenlinien der Rippenquerschnitte in ungleichen Höhen an den Schlussstein und zwar selbst die beiderseitigen ein und derselben Rippe. So liegt der Punkt f höher als der von derselben Rippe gebildete Punkt g , und beide höher als die wieder ungleichen Punkte e und h . Hiernach würden auch die

Kappen nicht in einer wagerechten, sondern in einer von h nach i ansteigenden Linie an den Schlussstein schliessen, mithin der oben erwähnte vortretende Rand des Kernes (s. Fig. 211) nach einer derartigen Linie abgearbeitet werden müssen. Das ganze Verhältnis spricht sich deutlich aus in der perspektivischen Ansicht Fig. 224 b, in welcher der grösseren Deutlichkeit halber eine spitzere Form der Rippenbogen angenommen ist, als in Wirklichkeit vorzukommen pflegt, so dass die Ungleichheit der Ansätze sowohl, wie die dadurch hervorbrachte geneigte Lage des vortretenden Kernrandes sich in einer übertriebenen Bestimmtheit zeigt.

Ganz ähnliche Verhältnisse liegen vor, wenn die Rippen verschieden steil anfallen. Fig. 225 wird dieses deutlich machen, es ist darin c der eigentliche Scheitelpunkt des Gewölbes. An der linken Seite der Figur sind zwei Rippenansätze gezeichnet, sie müssen beide nach c gerichtet sein. Der steilere trifft demnach den Schlusssteinmantel tiefer in ba , der flachere dagegen höher in de , so dass die ganze Schlusssteinhöhe bd sein muss.

Alle diese Ungleichheiten lassen sich vermeiden, sobald die Rippenansätze an den Schlusssteinen einen Übergang in die wagerechte Richtung vermitteln, wie in Fig. 225 a, und die Bogen der einzelnen Rippen nicht nach den Punkten c geschlagen sind, sondern nach den Punkten d und e , welche durch die zuerst zu konstruierenden Schlusssteine gewiesen werden.

Architektonische Ausbildung der Schlusssteine.

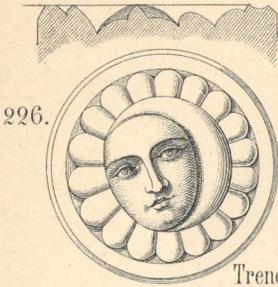
Es erübrigt noch, einen Blick auf die architektonische Ausbildung der Schlusssteine zu werfen. In welcher Weise die Seitenflächen gestaltet, durch verschiedenartige Profile gegliedert bzw. durch vorspringende Köpfe usw. bereichert waren, ist schon an geeigneter Stelle gezeigt. Noch mehr bethätigt sich die künstlerische Schaffensfreude in der Behandlungsweise der unteren Fläche, hier hat die gotische Ornamentik ihren unerschöpflichen Reichtum auf das glänzendste bewährt. Diese Schlusssteine, gleichsam die Sonnen am Gewölbehimmel, finden sich häufig selbst in den dürrftigsten Werken aufs reichste geschmückt und bilden die einzige Zierde derselben. Diese Wirkung wurde noch gesteigert durch die leider an den meisten Orten überweisste oder durch Schmutz unkenntlich gewordene Bemalung nicht allein der Schlusssteine selbst, sondern auch der zunächst daran stossenden Rippenenteile. Es ist die Vernichtung dieser Farbenpracht um so beklagenswerter, weil auch die plastische Behandlung des Laubwerkes darauf eingerichtet war, dass sie in vielen, ja den meisten Fällen der Farbe bedurfte, um kenntlich zu sein, wogegen jetzt die einzelnen Blätter, nicht mehr durch die Farbe von einander geschieden, dazu durch den Rauch geschwärzt, völlig in einander fließen.

Wir können hier nur die hauptsächlichsten Behandlungsweisen aufführen und durch Beispiele erläutern, die aus den angeführten Gründen grösstenteils kleineren Kirchen, Kreuzgängen usw. entnommen sind. Die einfachste Ausbildung entsteht, wenn das Ornament in die Unterfläche des Cylinders vertieft hineingearbeitet ist, so dass es noch von einem in der Unterfläche liegenden Rande umschlossen wird.

Gestaltungen dieser Art finden sich mehrfach schon im Übergangsstile, wie an den Gewölben des Mainzer Domes, in späterer Zeit erscheinen sie hauptsächlich in sehr einfachen Werken. Ein Beispiel aus der Kirche in Trendelburg bei Karlshafen zeigt Fig. 226. Besser ist es, wenn das Ornament sich einer nach unten vorspringenden Scheibe einfügt, so dass seine Vertiefungen nicht weiter

Schlusssteine.

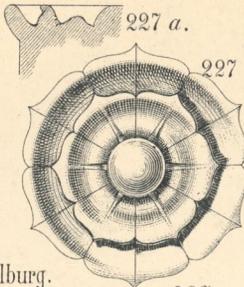
226 a.



226.

Trendelburg.

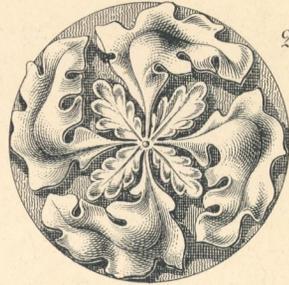
227 a.



227

227.

Volkmarsen.



228.



229.

229 a.

Volkmarsen.

St. Blasien-Mühlhausen.



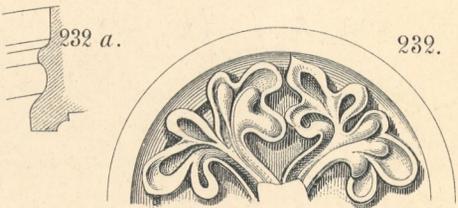
230.



Haina

231.

Erfurt.



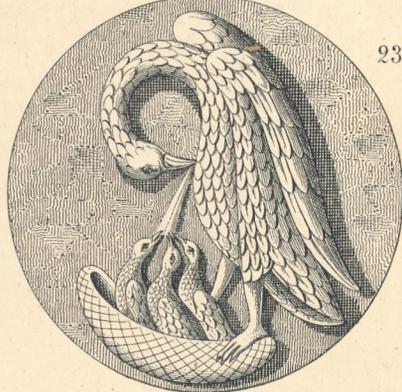
232 a.

232.

Fritzlar.



233.



234.

als bis zur unteren Rippenflucht in den Kern hinauf reichen. Ein vertieft eingearbeitetes Ornament liegt dann entweder, wie bei Fig. 232 und 232a auf einer durch eine Gliederung zurückgesetzten Fläche oder wie bei Fig. 213 und 231 auf einer flach ausgehöhlten Unterfläche.

Häufig kommt es auch vor, dass sich das Laubwerk ohne umlaufende Gliederung stark vorspringend direkt der Unterfläche des Schlusssteines auflegt und nicht selten über die Ränder hinausgeht. Beispiele dieser Art zeigen die Figuren 227 aus der Kirche in Trendelburg, (wozu Fig. 227a der Durchschnitt), dann Fig. 228 und 229 aus der Kirche in Volkmarsen (zu letzterer Fig. 229a der Durchschnitt), Fig. 216 aus dem Dome in Freiburg, Fig. 230 aus St. Blasien in Mühlhausen. Zuweilen legt sich auch das Laubwerk einer die untere Fläche des Schlusssteines verdeckenden Scheibe auf, wie Fig. 218 aus dem westlichen Flügel des Kreuzganges in Erfurt zeigt.

Die Anordnung des Laubwerkes ist eine überaus verschiedene. Im einfachsten Falle stehen die Blätter radial und zwar von der Mitte nach dem Rande, seltener, wie in einzelnen Schlusssteinen von St. Blasien, in umgekehrter Richtung. Es entsteht hierdurch eine Rose, die entweder einfach oder, wenn mehrere Blattreihen angebracht sind, gefüllt ist. Die Anordnung solcher Rosen oder Rosetten hat den Vorteil der leichten Erkennbarkeit für sich und findet sich zuweilen geradezu als stilisierte Nachbildung einer Rose, wie der Schlussstein Fig. 227 aus dem XIV. Jahrhundert zeigt.

Anstatt der geradlinigen Stellung sind die einzelnen Blätter zuweilen seitwärts gebogen, wie in Fig. 228, oder in Büschel geordnet, wie in Fig. 232, oder sie sind derartig mit anders gerichteten Blättern gemischt, dass die Rosette völlig verschwindet, wie in Fig. 229 und 216, oder endlich es besteht das Ornament in einem der unteren Fläche aufgelegten und im Kreise herumgebogenen Zweige dessen Blätter dann die Fläche bedecken, wie in Fig. 230 und 218.

In den älteren Beispielen, wie Fig. 231, wird der Grund zwischen den einzelnen Blättern noch sichtbar und die Modellierung ist nur angedeutet, so dass das Blatt hauptsächlich durch seinen Kontur wirkt, während schon zu Ende des XIII. Jahrhunderts die Modellierung dermassen überhand nimmt, und die Blätter sich in so reichen Mustern an- und übereinanderlegen, dass der Grund fast verschwindet, aber auch die Erkennbarkeit des Ganzen leidet, wie in Fig. 228 und 216. In beiden Fällen ist jedoch noch eine Gesamtwirkung erhalten, in ersterem durch die regelmässige Anordnung, in letzterem durch den im Zentrum angebrachten Kopf. Noch ist darauf aufmerksam zu machen, dass die Wirkung eine wesentlich reichere wird, wenn die einzelnen Blätter sich wechselnd von den oberen und unteren Seiten zeigen, wie in Fig. 229, wodurch zugleich die verschiedene Färbung derselben motiviert wird. Sowie in Fig. 216 ein Kopf die Mitte des Schlusssteines auszeichnet, so bildet ein solcher nicht selten das ganze Ornament desselben in der Weise, dass zur Gewinnung einer regelmässigen Form entweder Haar und Bart benutzt oder letztere Teile durch Blätter ersetzt werden.

Überhaupt ist es das figürliche Ornament, welches den reichsten und schönsten Schmuck der Schlusssteine abgibt. Hierher gehören zunächst die sym-

bolischen Darstellungen, wie die Zeichen der Evangelisten, der Pelikan (s. Fig. 234) aus dem Kreuzgange des Domes in Fritzlar, das Lamm mit der Kreuzfahne usw., dann Sonne und Mond (s. Fig. 226), oder auch mehr phantastische Tierbildungen s. Fig. 233 aus dem östlichen Flügel des Kreuzganges in Erfurt. Es ist bei solchen Gestaltungen besonders dem feinen ornamentalen Gefühle nachzustreben, welches die Bildungen der Alten leitete. So sind alle diese Tiere mit bewunderungswertem Verständnis stilisiert, es ist von den natürlichen Eigentümlichkeiten derselben gerade so viel herausgenommen, wie zur Bezeichnung derselben nötig war, und dann durch eine schärfere Betonung dieser Eigentümlichkeiten, durch Weglassung aller indifferenten Teile eine Darstellung gewonnen, welche den beabsichtigten Gegenstand in schärferer Weise zum Ausdruck bringt. Den entschiedensten Gegensatz zu dieser Behandlungsweise bilden so manche moderne Wappenzeichen, welche in möglichst naturalistischer Weise gebildet, das Charakteristische so unbestimmt erscheinen lassen, dass dadurch die drolligsten Verwechslungen herbeigeführt worden sind. So ist der Löwe, wie er jetzt dargestellt wird, mit metallenen Haaren bedeckt, kaum noch in der geringsten Entfernung erkennbar, die Haare wirken nicht in klarer Umrissform, sie bilden nur einen Auftrag der Masse. Der Umriss, welcher alle natürlichen Feinheiten wiedergeben soll, verliert an Bestimmtheit, an Energie, die Bewegung wird lahm, und der ganze Eindruck ist weit entfernt, dem Begriffe des Löwen im mindesten zu entsprechen. Ebenso verhält es sich auch mit anderen Wappenbildern, sowie mit den meisten jener Tierbildungen, welche einen integrierenden Bestandteil des modernen Ornamentes abgeben. Hier, wie in so vielen Fällen, stimmt die mittelalterliche Darstellungsweise mit der antiken, der modernen gegenüber, völlig überein. So finden sich z. B. in der Sammlung römischer Altertümer und Gipsabgüsse in Mainz einzelne auf Helmen, Schilden usw. eingravierte Tierbildungen, die beinahe für mittelalterliche Zeichnungen gehalten werden könnten.

Figuren finden sich auf den Schlusssteinen schon in der ersten Zeit, besonders die heilige Jungfrau, die Patrone der Kirche oder des Ordens, Engel usw., oft aber auch irgend eine Darstellung aus der heiligen Geschichte, besonders häufig die Marienkrönung. Zuweilen ist der ausser den Figuren noch bleibende freie Raum auf den Schlusssteinen mit Laubwerk gefüllt, welches die Figuren umrankt. Von der grössten Schönheit sind die derartigen Beispiele in dem *dictionnaire raisonné* von VIOLLET-LE-DUC. Auch die Wappen der Gründer, selbst Stadt-, Familien-, Landeswappen finden hier ihren Platz. Zuweilen finden sich selbst leere Schilde, in denen die Wappenbilder ursprünglich nur gemalt waren. Siehe Fig. 217 aus der Kirche in Gottsbüren.

Unterhalb des Wölbscheitels gelegene Rippenkreuzungen.

Bei Stern- und Netzgewölben entstehen Rippenschnitte, die tiefer liegen als der Wölbscheitel; dieselben geben stets Anlass zu unregelmässigen Bildungen, gleichviel ob sie aus einer blossen Durchdringung entstehen, oder an einen Schlussstein anlaufen. Die Schwierigkeiten entspringen daraus, dass sich die Rippenquer-

schnitte nicht senkrecht gegen die jedesmalige Wölbrichtung setzen, Fig. 235, sondern überall lotrecht nach unten gerichtet sind, Fig. 236.

Dieser Unterschied macht sich wenig oder gar nicht für die Diagonalrippen bemerkbar, sehr stark dagegen für die quer laufenden Rippen. In Fig. 235, wo die Querrippe sich senkrecht gegen die Wölbrichtung setzt, schneiden die Gliederungen beider Rippen regelrecht ineinander, in Fig. 236 dagegen findet eine gesetzlose Durchdringung statt. Man legt die Rippen so, dass wenigstens ihre tiefsten Kanten in einem Punkte m zusammenschneiden.

Trotz des unbequemen Zusammenschnittes ist letztere Rippenlage vorherrschend gewesen, es hat das seinen Grund darin, dass die radiale Rippenanordnung zu anderen grösseren Schwierigkeiten führt, sie erschwert das Aufstellen der Lehrbogen sowie das Zurichten und Versetzen der Rippen und leitet schliesslich auf gebogene Grundrissprojektionen der Rippen, wie sie in der Spätzeit ja thatsächlich ausgeführt sind.

Die unregelmässige Durchdringung der Rippenglieder, welche in allen Netzgewölben beobachtet werden kann, ist nicht sehr hinderlich, sie erhöht selbst die Mannigfaltigkeit ihres Aussehens. Die eigentliche Schwierigkeit erwächst aus dem Anschlusse der Kappen an die Rippenrücken, die am Durchschnittpunkte in verschiedener Höhe liegen.

Die Kante r der Querrippe erhebt sich in Fig. 236 um das Stück rs über den Rücken der anderen Rippe. Demnach verlangt die Querrippe, dass die Kappe in der Höhe r , die Hauptrippe dagegen, dass sie in der Höhe s ansetzt. Diese Forderungen lassen sich nur dadurch vereinigen, dass der tiefer liegende Rücken durch eine keilförmige Aufsattelung fr auf gleiche Höhe gehoben wird oder allenfalls dadurch, dass die andere Rippe in ihrer Höhe verkümmert wird.

An der anderen Seite der Querrippe liegt das Verhältnis umgekehrt, hier liegt der Rücken o der letzteren um das Stück op zu tief. Es muss demnach hier die Querrippe eine einseitige Aufhöhung erfahren, die entweder durch eine seitwärts steigende Oberfläche (Fig. 237) oder durch einen Absatz (Fig. 238), schliesslich bei Vorhandensein einer Widerlagsleiste durch verschieden hohe Absätze zu beiden Seiten derselben (Fig. 239) erzielt werden kann. Der ganze Kreuzpunkt würde unter Annahme des nach Fig. 238 abgesetzten Rückens die in der perspektivischen Fig. 240 gezeigte Gestalt haben.

Eine andere Rippenkreuzung ist in den Figuren 242 bis 242c dargestellt, sie entspricht dem Grundrisspunkte A im Netzgewölbe Fig. 241. Die Kreuzung ist gegen die Achse MM zu beiden Seiten symmetrisch gebildet. Fig. 242a zeigt, wie für die beiden unteren Rippenansätze eine Aufsattelung erforderlich wird, Fig. 242c stellt das Werkstück dar für den Fall, dass ein Widerlagssteg auf dem Rücken der Bogen vorhanden ist. Der Zusammenschnitt von mehr oder weniger als vier Rippenenden vollzieht sich nach den gleichen Gesichtspunkten. In der Regel bestehen diese Knotenpunkte der Stern- und Netzgewölbe in einer einfachen Durchkreuzung, während nur in den Scheitellinien wirkliche Schlusssteine angeordnet sind. Zuweilen aber finden sich in den Winkeln zwischen den Rippenansätzen Blätter oder Blattbüschel. Dieselbe Gestaltung kommt indes auch bei den im Scheitel befindlichen Schlusssteinen vor. Ebenso ist die untere Ansicht der Durchkreuzungen zuweilen verdeckt durch eine davorliegende mehr oder weniger reich verzierte Scheibe.

Seltener dagegen ist die Durchkreuzung vermieden durch einen cylindrischen Kern. Die Stellung dieses Cylinders muss strenggenommen senkrecht nach unten gerichtet sein. Der Umstand, dass die Rippenansätze sich schräg übereinander gegen den Kern setzen, kann auch darauf führen, denselben geneigt anzuordnen.

Verdecken
der Kreuz-
punkte.

Es ist aber unverkennbar, dass die lotrechten Seitenflächen der Rippenprofile zu der geneigten Mantelfläche des Cylinders in einem Widerspruche stehen und hierdurch die ganze Anordnung zu einer gesuchten wird, und dass daher eine einfache, etwa mit Laubwerk verdeckte Durchdringung ungezwungener wird. Eine überaus reiche und glückliche Behandlung solcher Knotenpunkte zeigt das Chorgewölbe der Martinskirche in Kassel, in welchem die zwölf Kreuzungen der Rippen durch die den betreffenden Werkstücken angemesselten Figuren der zwölf Apostel verdeckt sind, während der Schlussstein des Ganzen das Kruzifix trägt.

Bildungen
der Spätzeit.

In einzelnen Werken der Spätgotik sind Rippendurchdringungen so absichtlich gesucht und gesteigert, dass man eine jede sich nicht über den Knotenpunkt hinaus fortsetzende Rippe aus rein dekorativer Absicht ein kurzes Stück über denselben hinaus gehen liess und dann winkelrecht abschnitt, s. Fig. 244. Auch hierfür lässt sich eine gewisse Begründung versuchen. Es konnte nämlich richtiger erscheinen, den Teil des Werkstückes, welcher zwischen den Rippenansätzen wegfallen musste, in der Flucht der Kappen stehen zu lassen und hiernach die hinwegzuarbeitende Steinmasse noch durch jene abgeschnittenen Rippenstücke zu verringern.

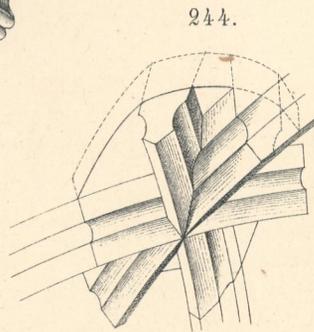
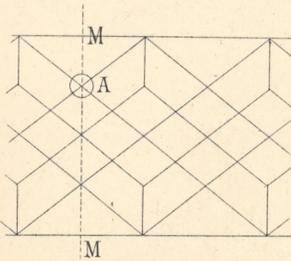
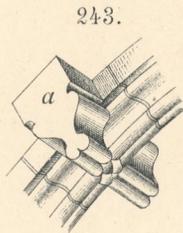
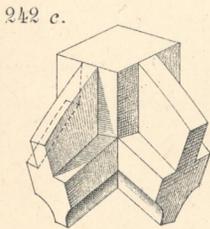
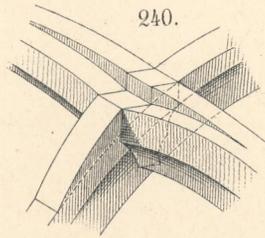
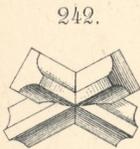
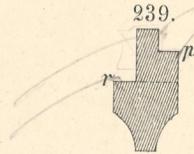
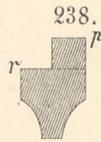
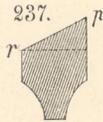
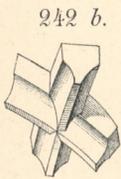
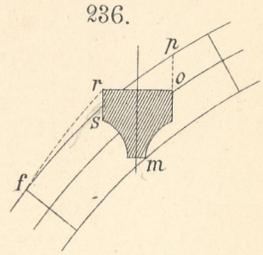
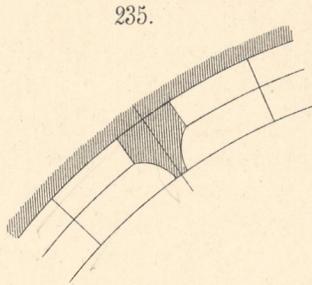
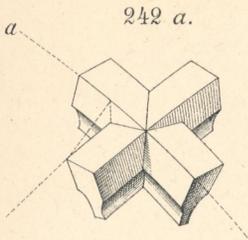
Aber man ging noch weiter, indem man in einzelnen Fällen da, wo der Gewölbegrundriss kein Zusammenstossen, keine Durchkreuzung der einzelnen Rippen mit sich brachte, wo diese letzteren also ganz einfach ihre Bahn zu verfolgen hatten, ihnen gewissermassen einen Haltpunkt vorzeichnete, indem man sie mit einem nach demselben Profile gebildeten kurzen, zu beiden Seiten abgeschnittenen Rippenstücke *a* in Fig. 243 rechtwinkelig kreuzen liess. Wir haben nicht die Gelegenheit zur näheren Untersuchung einer derartigen Konstruktion gehabt, die sich z. B. in der Katharinenkirche zu Eschwege findet. Immerhin ist es nicht unwahrscheinlich, dass man den flach unter den Kappen gespannten Rippen einen gewissen Verband mit dem Kappengemäuer durch eben diese grösseren, vielleicht durch die Kappendicke fassenden Kreuzungsstücke sichern wollte. Es entsprächen diese den in einzelnen frühgotischen Kirchen Westfalens den Rippenbogen in Abständen eingefügten und durch die Kappen fassenden Cylindern, die ähnlich den Bunden an den Säulen und Diensten des Übergangsstiles und der Frühgotik ein Einbinden bewirken sollten.

8. Die Gewölbeanfänge.

Es sind Gewölbeanfänge die untersten Teile der Wölbungen, soweit sie mit Mauer oder Pfeiler in Verbindung stehen und deshalb gleichzeitig mit diesen aufgeführt werden, während die Herstellung des eigentlichen Gewölbes erst später, nachdem das Ganze unter Dach gebracht ist, zu erfolgen hat.

Im Altertume und im frühen Mittelalter schieben sich die unteren Enden der Bogen und Gewölbe meist in freier Entfaltung in das Fleisch des tragenden Mauerwerkes hinein. Siehe Fig. 245. Es ist diese Anordnung sicher und gut, wenn sich auf das untere Bogenende kein aufsteigendes Mauerwerk stützt, wenn also die hochgeführte Obermauer sich auf die Flucht *nn* zurücksetzt. Wenn dagegen der Mauerkörper sich oben in gleicher Stärke fortsetzt, so ruht er teilweise

Rippenkreuzungen.



auf dem Bogenrücken und findet hier einen unzuverlässigen Aufstand. Sobald sich die Fuge zwischen Bogen und Mauer lockert, liegt bei dünnen Wänden die Gefahr eines einseitigen Senkens der Mauer vor. Dieser Fall kann in bedenklicher Weise für die Mittelmauern einer mit Tonnengewölben überdeckten Basilika oberhalb der Seitenschiffgewölbe eintreten. Noch verhängnisvoller gestaltet sich die Anordnung da, wo in einen hoch geführten stark belasteten dünnen Pfeiler, von beiden Seiten Arkaden — oder Scheidebogen einschneiden — vergl. Fig. 246. Der schwere Oberpfeiler schiebt sich genau so wie ein eingetriebener Keil zwischen die Bogenäste, drängt diese auseinander und zermalmt bei *A* die unteren Zwickelsteine, bis bei fortgesetztem Nachrücken der Einsturz erfolgt. Bei mehrfachen neuen Bauausführungen sind Unfälle durch diesen Vorgang herbeigeführt. Man kann die gefährdete Stelle zwar dadurch sichern, dass man Pfeiler und Bogenenden in gutem Zementmörtel mauert und somit zu einem gemeinsamen Steinklotz macht; auch kann die Keilwirkung durch Abtreppen der Bogensteine (Fig. 247) abgeschwächt werden; weit zuverlässiger sind aber die folgerichtig abgeleiteten Konstruktionen, welche das Mittelalter eingeführt und erprobt hat.

Gefährdung
und Sicherung
der Anfänge.

Die romanische Kunst suchte, wo es anging, in wirksamster Weise dadurch Abhilfe zu schaffen, dass das Einschneiden der Wölbanfänge in das Mauerwerk ganz gemieden ward, indem die Gurte und auch wohl Gewölbegrate auf weit vorgezogene Vorlagen gestützt wurden. Fig. 248. Dieser Ausweg war natürlich der sicherste, soweit es ging, behielt ihn auch die Gotik bei.

Die Vorlagen beengten aber nachteilig den unteren Raum, besonders machten sie die Schiffspfeiler unerwünscht stark. Man suchte zunächst die Vorlagen durch starke Ausladung der Kapitäle, auch wohl durch teilweise Verwendung von Kragsteinen unten dünner zu machen als die obere Gewölbgliederung. Das genügte aber nicht immer, man sah sich vielmehr häufig genötigt, auch noch die Gewölbeanfänge mindestens teilweise in die Mauer hineinzuschieben. Man liess sie nun aber — und das war der Erfolg der neuen Konstruktionsweise — fest mit der Mauer verwachsen. Siehe Fig. 249 und 250. Die Fugen waren im Innern in der Breite der Obermauer wagerecht, in der Ausladung setzten sie sich entweder horizontal fort (siehe *a* und *b* in Fig. 250) oder sie waren hier radial umgebogen (*c* und *d*).

Die Fugen dürfen nur horizontal durchlaufen, wenn der Kantenwinkel vorn nicht zu spitz wird und wenn ein Gleiten der Werkstücke aufeinander nicht zu befürchten ist. Ein Gleiten bzw. Fortschieben des oberen Steines auf dem unteren ist aber möglich, wenn der Winkel *a* in Fig. 251 zwischen der Richtung des Wölbschubes und der Senkrechten zur Fuge grösser als der Reibungswinkel wird. (Bei Stein und weichem Mörtel etwa 30° , bei erhärtetem Mörtel mehr.)

Die den Anfang eines Kreuzgewölbes bildenden Werkstücke sind so gross als irgend thunlich zu machen, damit der hier vereinte starke Wölbschub sich gleichmässig und rasch auf eine möglichst grosse Fläche des stützenden Mauerwerkes überträgt. Bei Backstein empfiehlt sich, wo es angängig ist, für den Wölbanfang ein Werkstein, sonst muss auf harte Ziegel, festen Mörtel (neuerdings Zement oder Trass) und auf guten Verband gesehen werden. Besonders ist auf sorgfältige Ausführung zu achten, wo Rippenprofile aus Formsteinen, sich am Anfänge

Anfänge
von
Ziegelrippen

Es sei Fig. 252 der Rippenquerschnitt, so wird, wenn Fig. 253 den Grundriss des Rippenanfanges anzeigt, die Ausführung desselben in der Weise bewirkt, dass von dem Gurtrippenziegel das Stück adc , von dem Kreuzrippenziegel das Stück abc weggeschlagen wird, und so die einzelnen Ziegel der untersten Schicht, die in der rechten Hälfte der Figur angezeigte Gestaltung annehmen. In der folgenden Schicht werden die Ziegel zur Herstellung des Verbandes in anderer Weise zugehauen.

Rippenanfänge aus gegliederten Formziegeln nötigen dazu, die Fugen fast von der ersten Schicht an radial zu richten, die einzelnen Steine behaupten alsdann beim Mauern trotz der geneigten Lage ihren Platz durch die Bindekraft des Mörtels. Wo aber die Gewölbe später geputzt werden sollen und der Anfang aus gewöhnlichen Steinen zugehauen wird, ist es besser die ganze Höhe, mindestens aber den unteren Teil des Gewölbeanfanges aus horizontalen Schichten auszukragen.

Die für Ausführung des Wölbanfanges zu befolgenden Vorschriften finden natürlich auch auf rippenlose Gewölbe Anwendung. Der Anfang ist bei ihnen bis zu der Stelle zu rechnen, wo sich der Kappenrücken aus dem Mauerwerke ablöst. Sind bei rippenlosen Ziegelgewölben die bei diesen üblichen oben vorspringenden Verstärkungsgrate vorhanden, so reicht für sie natürlich der Anfang bis zu deren Freiwerden aus der Mauerecke hinauf. Am besten wird der Anfang in dieser ganzen Höhe gleich mit aufgemauert.

Die Höhe des Anfanges für den Verstärkungsgrat bestimmt man durch Antragen seiner Querschnittsfläche ag an die Verlängerung des Diagonalgrates ax im Grundrisse Fig. 254, durch Heraufholen des Gratbogens $a'x'$ und $g'i$ (Fig. 254b) aus dem Grundrisse und Errichten eines

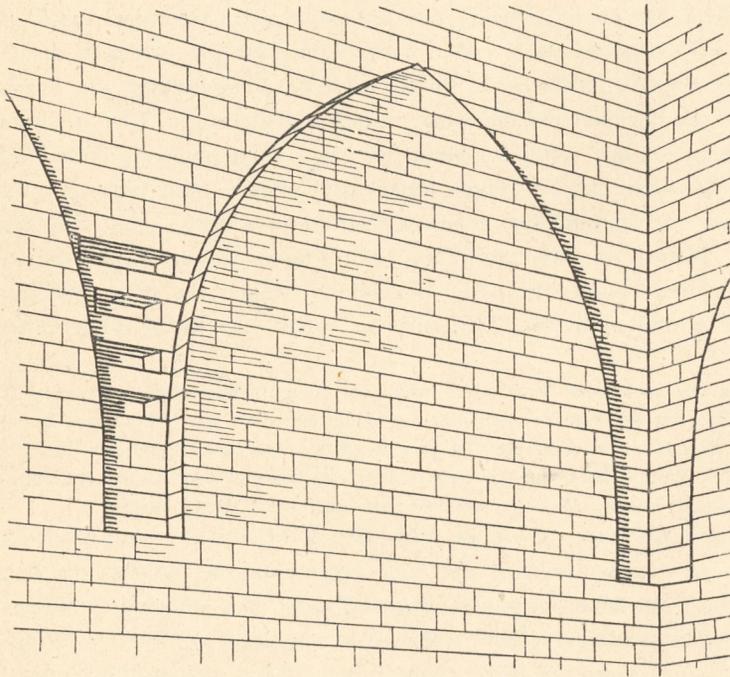
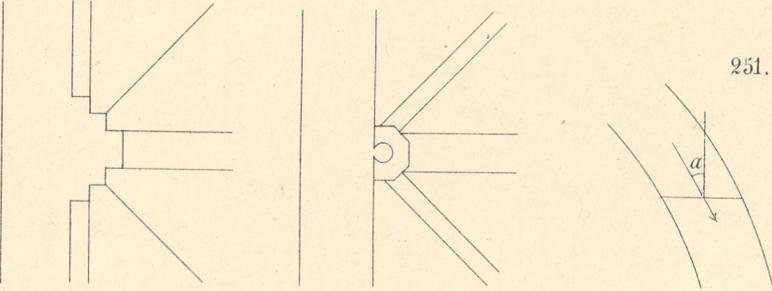
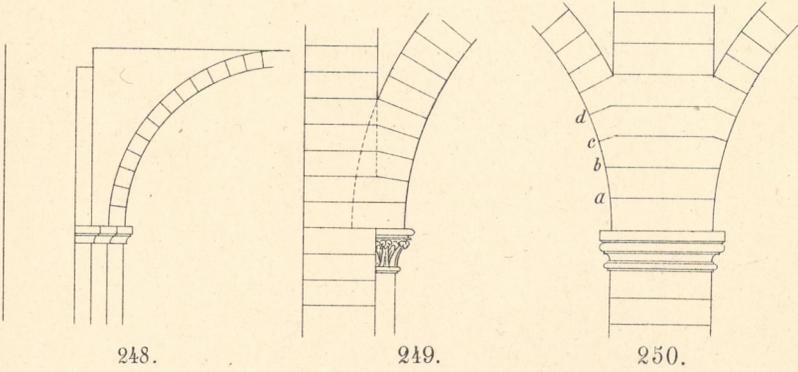
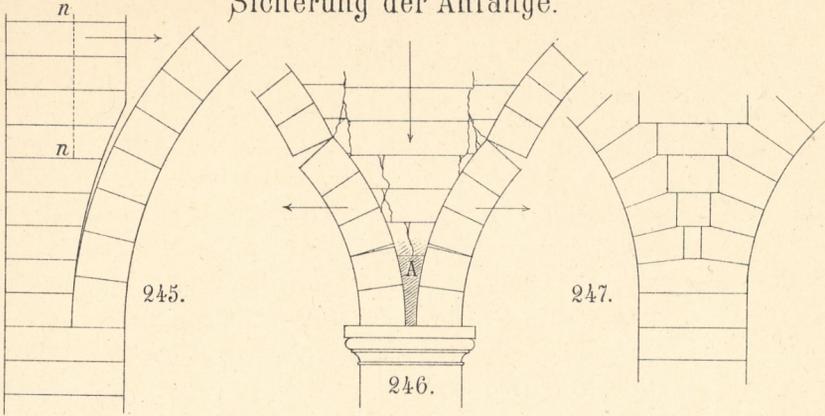


Fig. 255 a.

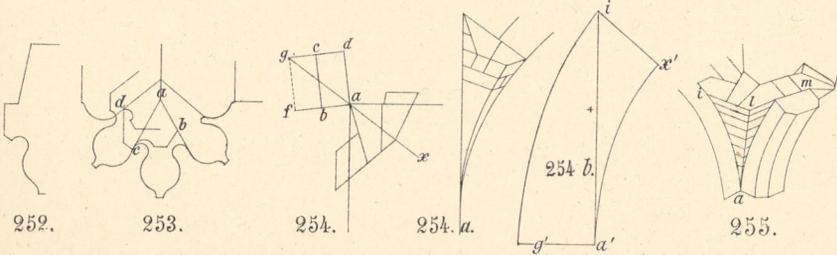
Wenn mehrere Joche aneinander stossen, die durch Gurtbogen geschieden sind, so müssen diese, falls sie eine Obermauer tragen, gleichzeitig mit dem auf-

Lotes in a' , welches den Bogenrücken in i trifft. Es ist $a'i$ die Höhe, bis zu welcher der Gewölbeanfang mit der Mauer in Verbindung steht, mithin muss das entsprechende Stück des Lehrbogens gleich bei Aufführung der Mauer in der erforderlichen Höhe aufgestellt und darauf der untere Kappenwickel hingemauert werden (vgl. Fig. 254 c). In der Praxis wird bei Ziegelgewölben besonders bei flachen, der Anfang oft nicht gleich mit hochgenommen, er muss dann aber um so sorgfältigerspäter eingesetzt werden.

Sicherung der Anfänge.



Anfänge von Ziegelrippen und rippenlosen Gewölben.



gehenden Mauerwerke fertig zugewölbt werden. Wenn sie nur zur Verstärkung des Gewölbes dienen, so genügt es, sie bis zur Höhe des daran stossenden Kappenanfanges heraufzunehmen, so dass Fig. 255 die perspektivische Ansicht eines solchen Anfanges zeigt.

Da die Aufführung der Gewölbeanfänge bei Herstellung der Mauern praktisch oft unbequem ist, hat man vielfach das ganze Gewölbe mit Einschluss des Anfanges erst nachträglich eingesetzt. Es setzt das voraus, dass der Schildbogen einen Rücksprung erhält, und dass die Zwickel nachträglich gut einbinden. Zu letzterem Zwecke ist vielfach in dem zurückliegenden Mauerwerke eine Verzahnung gelassen, wie Fig. 255a zeigt. Das nachträgliche Einmauern des ganzen Gewölbes war besonders im Ziegelbau verbreitet, findet sich aber auch bei Bruchstein- und selbst Werksteingewölben mit und ohne Rippen. Sorgfältige Ausführung nachträglich eingemauerter Wölbzwickel ist natürlich geboten, obgleich die Gefahr einer Zerstörung der Zwickel dadurch gemindert wird, dass der Wölbschub nicht in der unteren Spitze des Anfanges sondern schon weiter oben in die Wand übertritt und sich das Gewölbe somit oberhalb der unteren Zwickel zwischen die Wände einspannt.

Komplizierter und verschiedenartiger gestalten sich die Anfänge bei den Rippengewölben aus Werkstein. Schon beim gewöhnlichen Kreuzgewölbe mit vortretenden Schildbogen kommen auf einen Gewölbeanfang aus dem Winkel des Raumes drei, aus der Wandfläche fünf und aus einer vorspringenden Ecke sieben Bogen. Diese Bogen können sich wie in der romanischen Zeit frei nebeneinander auf die Deckplatte des Kapitales oder Kragsteines stellen (Fig. 256), oder ihre Grundrisse können mehr oder weniger miteinander verwachsen (Fig. 257).

Anfänge der
Rippen-
gewölbe.

Im ersteren Falle ist von einem mit der Mauer gleichzeitig aufzuführenden Rippenanfang nicht die Rede. Es brauchen nur Kapital oder Kragstein bei Herstellung der Mauer versetzt und die Schildbogen zugleich mit ihr ausgeführt zu werden, während die übrigen Rippen, für deren Auflager auf dem Kragstein der erforderliche Platz vorhanden sein muss, erst dann aufgestellt werden können, wenn das Gewölbe geschlossen werden soll. Ein fester Verband der Bogen mit der Mauer fällt fort. Einesteils aber ist diese Verbindung, besonders bei beträchtlicher Spannung, zur sicheren Übertragung des Gewölbeschubes erwünscht, und andererseits bedingt die grosse, durch die einzelnen Rippen beanspruchte Fläche eine weite Ausladung vor der Mauerflucht, welche unten entweder die Anlage von beengenden Wandpfeilern oder die einer mächtigen und hohen Auskragung erfordert, mithin bei mässigen oder beschränkten Dimensionen hinderlich wird. Aus beiden Gründen sind in den Werksteinanfängen der gotischen Kunst, im Gegensatz zu der romanischen, die Rippengrundrisse in der Höhe der Grundlinie in der Regel miteinander und mit der Mauer verwachsen und trennen sich erst in derjenigen Höhe voneinander, in welcher die Rippen den hierzu erforderlichen Weg in horizontaler Richtung zurückgelegt haben.

Es sind dabei hauptsächlich zwei Punkte zu berücksichtigen. Erstlich muss der Rippenanfang der Fläche, auf welcher er aufsitzt, sich leicht und füglich einbeschreiben. Es wird daher sein unterer Grundriss zunächst danach

einzurichten sein, ob für jede Rippe ein besonderer oder für alle ein gemeinsamer Dienst oder Kragstein angeordnet ist. Im ersteren Falle folgt die polygonale Gestaltung der Platte jedem einzelnen Rippengrundrisse, während im anderen die Gesamtheit der Rippengrundrisse der Gestaltung der Kapitalplatte entsprechen muss. Der zweite zu berücksichtigende Punkt betrifft die obere Fläche des Rippenanfanges und liegt darin, dass es für die Ausführung der Kappen von Vorteil ist, wenn die äussersten Punkte der verschiedenen Rippen möglichst in einer und derselben Höhe voneinander frei werden. Die Erfüllung dieser Bedingung hängt ab von der Gestaltung des unteren Grundrisses. Die Möglichkeit derselben ist wohl in allen Fällen gegeben; bei unregelmässiger Grundform der Joche aber nur schwer und durch fortgesetztes Probieren erreichbar, und kann dem unteren Grundrisse eine so unpassende Gestaltung aufzwingen, dass oft besser davon abzugehen ist.

Je regelmässiger das Auseinanderwachsen der Glieder und das Loslösen der Profile voneinander vor sich geht, um so schöner wird das Aussehen und um so leichter ist die Herstellung der Werkstücke.

Ein durchaus regelmässiges Auseinanderwachsen der Bogen tritt dann ein, wenn die nachstehenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind, und zwar:

1. im Grundrisse sich die Mittellinien aller Bogen in einem Punkte schneiden,
2. alle Winkel zwischen den Bogenrichtungen einander gleich sind,
3. sämtliche Bogen gleichen Querschnitt haben,
4. alle Bogen mindestens im unteren Teile mit ein und demselben Halbmesser geschlagen sind, wobei entweder alle Bogen gar nicht oder alle gleich hoch aufgestellt sind.

Das Streben, diesen Bedingungen möglichst Rechnung zu tragen, hat die Weiterentwicklung des gotischen Gewölbes merklich beeinflusst, vollständig ist ihm genügt in dem Fächergewölbe. Das gewöhnliche Kreuzgewölbe kann nur dann alle Punkte vereinen, wenn es über quadratischen Jochen geschlagen ist. Fig. 257 zeigt einen Gewölbeanfang beim Zusammentreten von drei quadratischen Jochen der allen obigen Bedingungen nachkommt.

Die meisten Gewölbe, besonders die frühgotischen, vereinen die obigen Bedingungen einer regelmässigen Anfangsbildung nicht, ja sie weisen oft keine einzige derselben auf. Trotzdem lassen sich durch geschickte Lösungen meist die entstehenden Unregelmässigkeiten so weit einschränken, dass sie nicht lästig stören. Um einen Anhalt für die Bekämpfung der Schwierigkeiten beim Entwerfen zu bieten, möge eine kurze Erläuterung der aufgeführten 4 Punkte hier Platz finden.

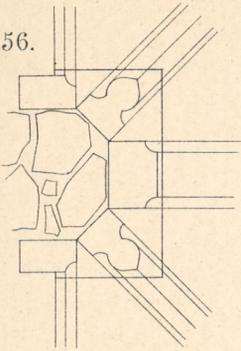
1. Schnitte der Mittellinien der Bogen im Grundrisse in einem Punkte. Der Schnittpunkt liegt am einfachsten in der Mauerflucht bzw. der Mauerecke (Fig. 257, 260), jedoch führen oft (unten zu erläuternde) Gründe dazu, ihn weiter zurückzusetzen (Fig. 261 und Fig. 265).

Wenn sich ein Zusammentreffen aller Bogentrichtungen in einem Punkte nicht erreichen lässt, vielmehr zwei oder mehr Schnittpunkte entstehen, so können die Schubkräfte der Bogen, wie der Grundriss Fig. 258 zeigt, eine Drehwirkung erzeugen. Der Schub *I* will den Punkt *A* nach der einen, der Schub *III* den Punkt *B* nach der andern Seite drehen. Diese Wirkung ist aber, wenn der Abstand der Punkte *A* und *B* nicht gar zu gross ist, ganz ungefährlich. Auch in der Erscheinung macht sich eine geringe Exzentrizität nicht sehr bemerklich. Deshalb wird oft sogar

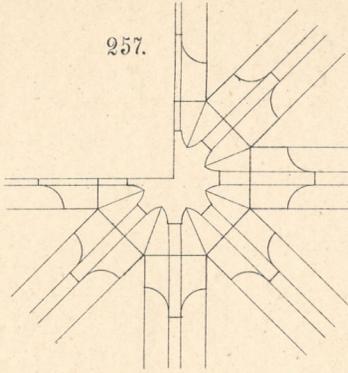
Tafel XXV.

Erzielung regelmässiger Anfänge.

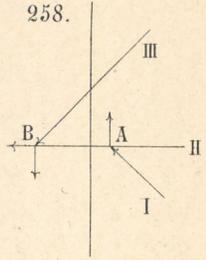
256.



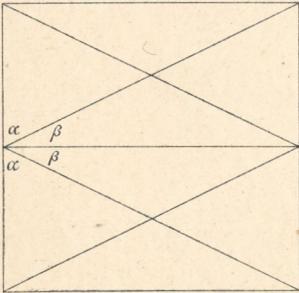
257.



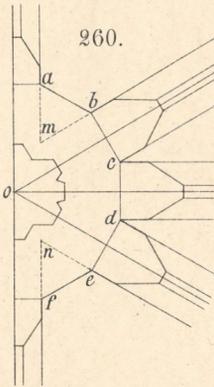
258.



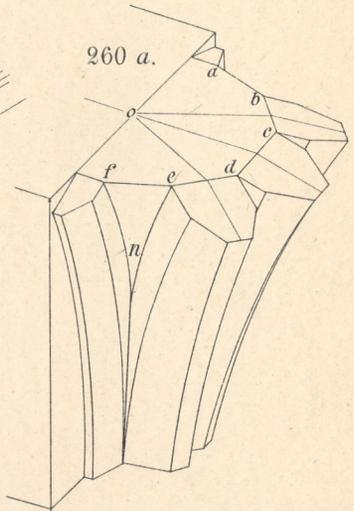
259.



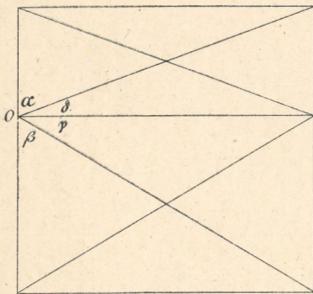
260.



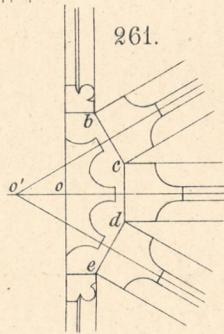
260 a.



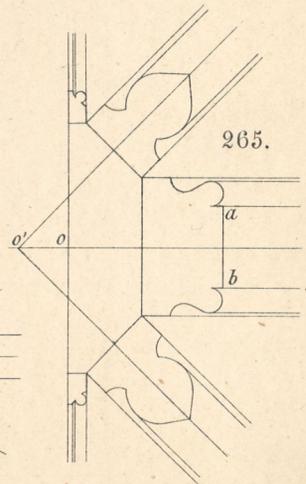
262.



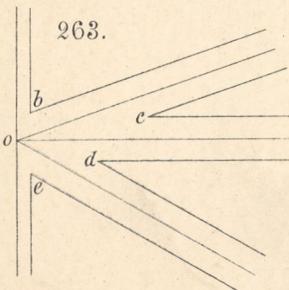
261.



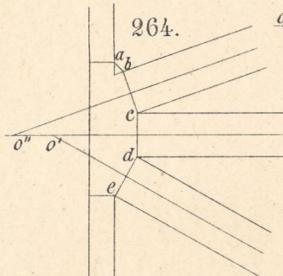
265.



263.



264.



mit Absicht eine Verschiebung der Schnitte vorgenommen, um andere grössere Unregelmässigkeiten aufzuheben, wie bald bei Fig. 264 gezeigt werden soll.

2. Gleichheit der Grundrisswinkel zwischen den Bogenrichtungen. Trotz der grossen Vorzüge, welche gleiche Grundrisswinkel bieten, sind dieselben meist verschieden. Dieser Fall tritt schon bei Kreuzgewölben über rechteckigen Feldern ein; in Fig. 259 sind die Winkel α merklich grösser als β . Fig. 260 zeigt die Aufsicht auf die obere Fläche, und 260a die perspektivische Ansicht des zugehörigen Gewölbeanfanges. Rippen und Gurt trennen sich in gleicher Höhe in den Punkten c und d , dagegen haben sich Rippe und Schildbogen schon in dem weit tiefer liegenden Punkte m bzw. n getrennt. Die Kappenzwickel setzen demnach in verschiedener Höhe an, an der Stelle, wo die beiden vorderen Zwickel in c und d beginnen, haben die seitlichen schon die Breite ab bzw. ef erreicht. Diese seitlichen Kappenanfänge müssen mit aus dem Werkstücke gearbeitet werden, erst über der Linie ab beginnt das Kappengemäuer. Konstruktiv bietet der verschieden hoch liegende Beginn der Kappen keinen Nachteil, wo dagegen aus Gründen des guten Aussehens ein Loslösen in gleicher Höhe erzielt werden soll, kann durch Zurücksetzen des Schnittpunktes O nach O_1 in Fig. 261 Abhilfe geschaffen werden. Die Kappen beginnen nunmehr in gleicher Höhe in den Punkten $bcd e$. Es ergeben sich dagegen leicht Unregelmässigkeiten für das untere Verwachsen des Schildbogens mit der Rippe, falls nicht ersterer einen geeigneten Halbmesser bekommt oder gestelzt wird. Auch hat ein zu weites Zurücksetzen des Punktes O' leicht den Nachteil, dass sich unten die Bogen sehr rasch in die Wandfläche hineinschieben. Aus diesem Grunde ist es vielfach das beste, den verschiedenen hohen Ansatz der Kappen ruhig zu belassen, die Perspektive 260a zeigt, dass die Wirkung durchaus nicht so sehr abstossend ist.

Gar nicht vermeiden lässt sich ein verschieden hohes Ansetzen der Kappenzwickel da, wo zwei ungleich breite Felder zusammentreten. Fig. 262 zeigt einen solchen Grundriss, in dem alle vier Winkel verschieden sind. Die Anfänge der Kappenzwickel würden, wenn die Mittellinien der Bogen sämtlich nach dem Schnittpunkt O geführt werden, jeder in anderer Höhe sich ablösen (Fig. 263). Durch ein Verschieben der Mittellinien der Bogen derart, dass sie sich in zwei verschiedenen Punkten O' und O'' hinter der Mauerflucht schneiden (Fig. 264), lassen sich die drei Trennungspunkte cde in gleiche Höhe bringen, bei ab dagegen ist ein tiefer gelegener Zwickelanfang nicht zu umgehen.

3. Gleichheit der Bogenquerschnitte. Wie an anderer Stelle erwähnt, sind gleiche Querschnitte für Gurt und Rippe bei einigen der frühesten Werke, dann aber wieder vorwiegend in der späteren Gotik zur Anwendung gekommen. Sonst bildet Unterscheidung von Gurt und Rippe die Regel.

Am regelmässigesten entwickelt sich natürlich der Anfang, wenn alle Bogen gleich sind (Fig. 257). Jedoch ist der Einfluss der grösseren Gurtbreite, wenn sonst keine Erschwerungen vorliegen, sehr leicht durch ein entsprechendes Zurücksetzen des Schnittes der Bogenmittellinien nach o' auszugleichen (Fig. 265). Wäre der Schildbogen so breit wie der halbe Gurt, so würde der Schnittpunkt o' regelrecht in die Mauerflucht rücken.

Mehr Schwierigkeiten macht das Zusammendrängen der Gurt- und Rippenglieder auf der Kapitälplatte. Ein breiter von der Form des Rechteckes wenig abweichender Gurt lässt sich unten überhaupt nicht sehr einziehen, mindestens muss die Unterfläche ab ungeschmälert bleiben. Dieser Umstand erklärt es, dass auch für den Gurtbogen besonders in der Spätzeit eine nach unten verjüngte Querschnittsform beliebt wurde, die oft der Rippe ganz entsprechend gestaltet ist. Wenn der Gurt seinem inneren Wesen gemäss anders als die Rippe gegliedert wird, so muss darauf Bedacht genommen werden, dass beim Zusammenwachsen der Glieder immer ein günstiger Zusammenschchnitt entsteht, von dem man sich durch Austragen von Horizontalschnitten in verschiedenen Höhen des Anfanges überzeugen kann.

4. Übereinstimmung der Bogenhalbmesser und Aufstelzung. Ein schönes Auseinanderwachsen wird sehr erleichtert, wenn alle Bogen aus gleichem Halbmesser geschlagen sind, deren Mittelpunkte in derselben Grundrissebene liegen. Da aber Anforderungen an die Höhenentwicklung der Bogen einer Erfüllung dieser Gesetzmässigkeit oft entgegenstehen, so ist sie in vielen Fällen, besonders bei langgezogenen Jochen, nicht durchführbar, wenn nicht etwa das von der englischen Gotik eingeführte Hilfsmittel der aus mehreren Radien geschlagenen Bogenlinien gewählt werden soll (vgl. vorn Aufrissgestaltung der Bogen, Fig. 48).

Wo verschiedene Halbmesser vorliegen, lässt sich gewöhnlich die in Fig. 266 zur Darstellung gebrachte Unregelmässigkeit nicht umgehen. Wenn der Bogen I mit grösserem, der Bogen II mit kleinerem Halbmesser geschlagen ist, so wird II in einer bestimmten Höhe schon einen grösseren horizontalen Weg zurückgelegt haben als I, d. h. der Rücken von II ist bereits bis zum Punkte *b* vorgerückt, während sich der Rücken von I erst bei *a* befindet. Infolgedessen hat sich unter der Linie *ab* eine senkrechte Zwickelfläche gebildet, die über *ab* in die windschief gestaltete Kappenfläche übergeht, deren Form durch die eingezeichneten Fugen veranschaulicht wird.

Oft lässt sich ein Aufstelzen einzelner Bogen nicht umgehen, dasselbe führt gewöhnlich ebenfalls zu der windschiefen in Fig. 266 dargestellten Gestaltung des Kappenanfanges, meist in noch höherem Masse. Besonders häufig tritt eine Stelzung der Schildbogen bei langgestreckten rechteckigen Jochen ein. Die Stelzung reicht dann selbst zu einer Höhe hinauf, in der die übrigen Bogen sich schon weit voneinander getrennt haben, so dass nacheinander die Grundrisse Fig. 267 *a* bis *d* entstehen. Bezeichnend für diese Gewölbeentwicklung ist der schwache Zusammenhang zwischen dem Anfang und der Mauer, der sich in der ganzen Höhe der Stelzung auf dasselbe Mass *mn* beschränkt. Da aber gerade an dieser Stelle der Gewölbeschub in die Mauer zu übertragen ist, muss auf eine sehr feste Konstruktion aus grossen einbindenden Werkstücken bzw. harten Ziegeln in sehr gutem Mörtel Bedacht genommen werden. Ausserdem sollte an diesen Punkten das Zusammendrängen der Glieder nicht zu weit getrieben werden, besonders da, wo zwei ungleich breite Felder verschiedenen Schub von beiden Seiten ausüben. Ein Beispiel einer besonders starken Aufstelzung der Schildbogen liefert das Mittelschiff St. Paul zu Lüttich.

Bei schmalen Seitenschiffen tritt oft der umgekehrte Fall ein, es bilden sich langgestreckte Felder, deren lange Seite der Schildbogen, deren kurze Seite dagegen der Gurt ist. Es muss nunmehr der Gurtbogen aufgestellt werden, wodurch sich eine breitgezogene Gestalt des Anfanges giebt, wie sie der in Fig. 268 gezeichnete Anfang aus der frühgotischen Stiftskirche St. Marien zu Lippstadt in ausgesprochener Weise zeigt. 268 *a* ist der Grundriss über dem Kapitäl 268 *b* über der Stelzung und 268 *c* über der Loslösung des Gurtbogens.

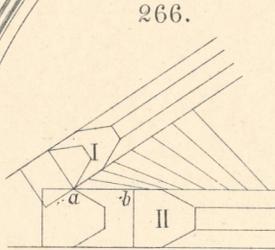
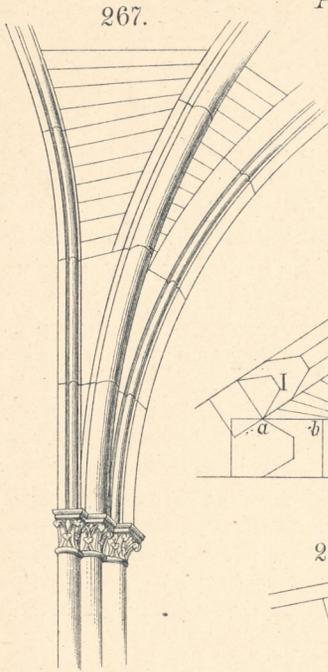
Besonders auffallend wird die Erscheinung bei vielseitigen Kapellen oder Chorschüssen. Der Längenunterschied von Rippe und Polygonseite ist im Grundrisse so gewaltig, das letztere meist mit einem sehr hochgestelzten Schildbogen überspannt wird. Da wo der gestelzte Bogen immer noch gerade aufsteigt, da hat sich die Rippe bereits sehr weit von der Mauer entfernt. Hinter der Rippe bildet sich eine senkrechte Wand von grosser Ausdehnung, die natürlich aus festem Steine in gutem Verbande mit Rippe und Mauer herzustellen ist. (Fig. 266 A.) Eine besonders hohe Stelzung zeigen die Schildbogen am gotischen Chore des Domes zu Aachen (um 1400).

Das Austragen der Werkstücke.

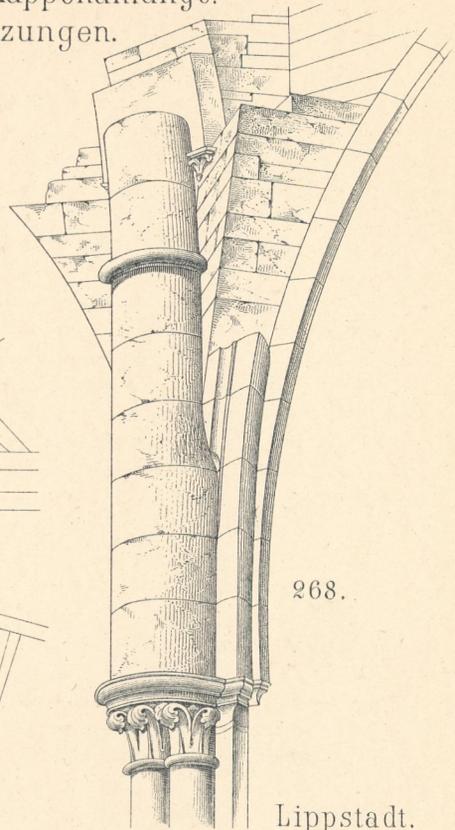
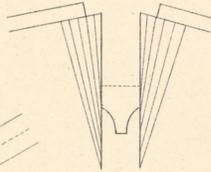
Die praktische Ausführung dieser Rippenanfänge geschieht im Steinbau in der Weise, dass man sie aus einem oder aus mehreren aufeinander gelegten Werkstücken herstellt, deren Lagerfugen wagerecht sind. An der oberen Fläche der Anfänge können dann die einzelnen Rippen entweder wieder nach einer wagerechten oder nach einer radial gelegten Fläche abgeschnitten sein. Die radiale Lage ist neben andern Gründen dann vorzuziehen, wenn die wagerechte Fuge die verschiedenen Bogen unter schärferen Winkeln schneiden würde, als dies die Beschaffenheit des Steines gestattet. Es ist von der grössten Wichtigkeit, dass das Auftragen dieser Anfänge mit der äussersten Genauigkeit geschehe, damit die später darauf zu versetzenden Rippenstücke weder in der wagerechten noch in der lotrechten Ebene einen Knick gegen die dem Anfänge angearbeiteten Glieder bilden.¹⁾

¹⁾ Bei zahlreichen alten Werken kann ein aufmerksames Auge einen Knick über dem Anfänger wahrnehmen, der teils auf ungenaue Ausführung, teils auch wohl auf spätere Verdrückungen zurückzuführen ist.

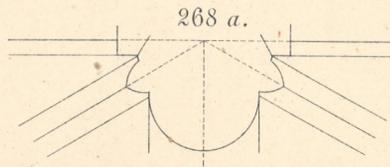
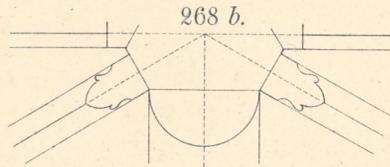
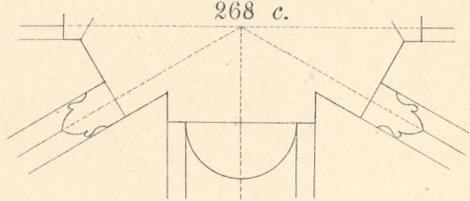
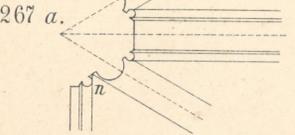
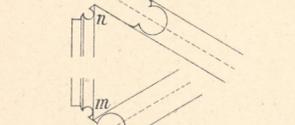
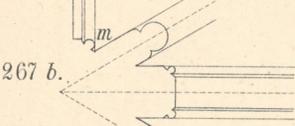
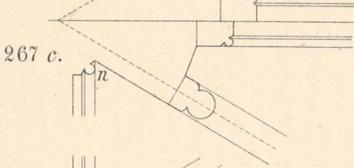
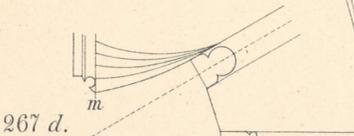
Windschiefe Kappenanfänge.
Aufstellungen.



266 a.



Lippstadt.



Es sollen daher in dem Folgenden die Konstruktionen dieser Werkstücke für verschiedene Fälle gezeigt werden.

1. Der Gewölbeanfang besteht aus einer Gurtrippe und zwei Diagonalrippen, die Jochweiten und die Radien der verschiedenen Bogen sind gleich, die Mittelpunkte liegen in derselben Grundebene. S. Fig. 269 und 269a.

Austragen
der Werk-
stücke. —
Erstes
Beispiel.

Die Mittellinien der 3 Rippen schneiden sich im Punkte b . Die sich auf das Kapital bzw. den Kragstein setzende Unterfläche der stark zusammengeschobenen Glieder ist gezeichnet. Der Anfänger soll aus einem Werkstücke bestehen, das bis zur Trennung der Rippen hinaufreicht. Es handelt sich darum, die Höhe und die obere Fläche des Werksteines auszutragen.

Über der Mittellinie AB als Grundlinie wird die in den Grundriss niedergelegte Seitenansicht der Gurtrippe gezeichnet, deren innerer Bogen ax und deren Rücken by ist. Der Punkt, an welchem sich die Rippen trennen, ist im Grundriss d , in demselben wird ein Lot errichtet, bis es den Bogenrücken in e schneidet. Dieser Punkt e ist der Trennungspunkt der Rippen im Aufriss. Eine Horizontale durch e giebt die Höhe des Werkstückes an, die damit schon gefunden ist.

Die obere Fuge kann eine durchweg wagerechte Fläche sein, geh , oder sie kann vorn in der Tiefe der Rippen radial stehen, ef . Hier werde die Fuge noch als wagerecht zulässig angenommen. Es handelt sich nun darum die Aufrissfläche der oberen Fuge in den Grundriss zu projizieren. Es geschieht das einfach durch Herunterloten der das Profil bestimmenden Punkte $m'' n''$ usw. in den Grundriss, wo durch Seitwärtsziehen von den Punkten mn die gesuchten Punkte m', n', h' ermittelt werden. Zum genaueren Zeichnen des Profiles können in derselben Weise noch weitere Punkte bestimmt werden.

Der Fugenschnitt der Gurtrippe ergibt sich somit als das langgezogene Profil $dh' n' m'$. Für die Kreuzrippen würde dasselbe Verfahren einzuschlagen sein, man hätte z. B. den Aufriss der unteren Kreuzrippe in gleicher Weise um die Linie br niederzulegen usw. Es ist das in diesem Falle aber nicht nötig, da unter den vorliegenden Annahmen die Horizontalschnitte der beiden Rippen gerade so sind wie diejenigen des Gurtes, also einfach durch Übertragen zu finden sind.

Die obere Endfläche ist für die drei Bogen somit gefunden. Es zeigt sich aber, dass sich in dieser Höhe die Bogen schon ziemlich weit von der Wand entfernt haben, darum handelt es sich nun noch darum, wie die Lücke zwischen den Punkten s bzw. t und der Wand zu schliessen ist. Es hängt das von der Form des Schildbogens ab. Es ist bei diesem Beispiele kein vortretendes Schildbogenprofil, sondern nur eine Schildbogenlinie vorausgesetzt. Wenn die Schildbogenlinie mit ein und demselben Halbmesser geschlagen ist wie die drei Rippen, so wird, während die Rippenkante von p nach s vorgerückt ist, der Schildbogen um das gleiche Stück von p nach w gerückt sein. Es wäre demnach die Linie sw zu ziehen, welche in der Kappenfläche liegt. Das Kappengemäuer setzt sich später auf diese Linie. Der Zwickel der Kappe unterhalb sw wird gleich mit aus dem Werkstücke gearbeitet, er zieht sich bis zum Punkte p hinab.

Ist der Schildbogen mit grösserem Halbmesser geschlagen oder auch etwas aufgestellt, so ist er in der Höhe des Werkstückes noch nicht so weit fortgerückt, er ist vielleicht erst von u bis v (untere Hälfte der Figur) gelangt. In diesem Falle würde die Linie tv den Werkstein begrenzen. Es kann aber auch der Schildbogen um die ganze Höhe des Anfängers aufgestellt sein. Die Schildbogenlinie stiege dann im Punkte u in die Höhe, so dass tu die Umrisslinie des Werkstückes würde. Der Kappenanfang setzte sich dann in der in Fig. 267 gezeigten Weise unter ut senkrecht, über ut windschief an. Einen näheren Aufschluss über das Verhalten des Schildbogens erhält man dadurch, dass man ihn um die Linie up in den Grundriss niederlegt.

Dem Werkstücke wird ein in die Mauer eingreifendes Ansatzstück angearbeitet, so breit wie es der verwendete Stein hergiebt.

2. Der Gewölbeanfang besteht aus einer Gurtrippe, zwei Kreuzrippen und zwei Schildbogenrippen, und die Breiten der aneinander stossenden Joche sind so verschieden, dass die Trennungspunkte der Rippen in ver-

Austragen
der Werk-
stücke. —
Zweites
Beispiel.

schiedenen Höhen liegen. Da ferner die Schlusssteine der beiden Gewölbejoches in der gleichen Höhe liegen, so muss der Radius der Rippen des schmalen Joches grösser sein. Die Scheitel der Schildbogen dagegen sollen etwas niedriger liegen als die der Diagonalbogen, so dass die des grösseren Joches mit dem Radius dieser letzteren aus einem in der gemeinschaftlichen Grundlinie gelegenen Punkte geschlagen sind. Die Schildbogen des kleineren Joches sollen dieselbe Höhe behaupten, mit ihrer eigenen Spannung als Radius geschlagen und um die Differenz der sich so ergebenden Pfeilhöhe und jener des grösseren Schildbogens aufgestellt sein. Die Fig. 270 zeigt in dem schraffierten Teile den Grundriss des auf einem sechseckigen Kapitäl sitzenden Rippenanfanges.

Man zeichnet zunächst über der Mittellinie ab der kleinen Kreuzrippe als Grundlinie die in den Grundriss niedergeklappte Seitenansicht dieser Kreuzrippe durch Schlagen der Bogen ac usw. Im Grundriss löst sich der Rücken der Rippe im Punkte e von der benachbarten Gurtrippe los, man macht daher in e einen Lotriss zu ab , welcher im Aufrisse den Bogenrücken in f schneidet. gf bezeichnet demnach die grösste Höhe des Rippenanfanges. Jenachdem die obere Fuge wagerecht oder radial gerichtet ist, wird sie durch die Linie fh oder fu' bezeichnet. Durch Herunterprojizieren ergibt sich für die wagerechte Fuge das Profil eki , für die radiale Fuge dagegen das Profil ekw als Grundrissprojektion.

Die Seitenansicht des Gurtbogens wird in derselben Weise über lm als Grundlinie niedergeklappt. Auf dem Rücken wird ein Punkt angenommen, der über der Grundlinie dieselbe Höhe hat, wie der Punkt f über der Grundlinie ab . Die radial gerichtete Fuge in dieser Höhe würde ebenso wie vorhin in den Grundriss projiziert das Profil prx zeigen und die wagerechte obere Fuge würde gleichfalls in der vorigen Weise das längere Profil prq ergeben. Da in diesem Falle der Gurtbogen mit kleinerem Halbmesser geschlagen ist als die Rippe, ist in dieser Höhe sein Profil um das Stück re weiter vorgerückt als die Rippe, es ergibt sich daher hier das oft auftretende bei Fig. 266 erläuterte senkrechte Zwickeldreieck mit windschiefem Kappenanfange darüber.

In derselben Weise wird auch für die andere Kreuzrippe st das Grundrissprofil in der gleichen Höhe fg gefunden, dessen Rücken in dem Punkte u sich befindet, so dass die Linie pu hier die Kappenflucht bildet.

Wenn die Fugenfläche wie hier zur Vermeidung spitzer Winkel radial angenommen wird, so kann der Steinmetz das genaue Konstruieren der Grundrissprojektion ekw bzw. rpq umgehen. Er braucht nur die Rückkante ek und pr zu projizieren und auf die obere Fläche seines Werkstückes aufzutragen, von dieser Kante aus arbeitet er eine radial gerichtete Fläche an und zeichnet auf diese den wirklichen Rippenquerschnitt auf.

Sowie gleich zu Anfang durch die Länge fg die Höhe des Anfängers festgelegt ist, so sind jetzt seine Länge und Breite durch ein der oberen Aufsichtsfläche umschriebenes Rechteck $yz a' b'$ bestimmt. Der Eingriff des Werksteines in die Mauer wird natürlich durch ein entsprechendes Hinausschieben der Linie $y b'$ so gross angenommen, als es der Stein irgend erlaubt.

Wollte man auch den rasch sich entfernenden Schildbogen mit aus dem Werkstücke herausarbeiten bis zur ganzen Höhe, so würde dadurch die Steinbreite in unnötiger Weise vermehrt werden. Man schneidet daher, wie Fig. 270b zeigt, das Schildbogenprofil da, wo es die Grenze des Werkstückes erreicht, radial ab und legt darüber einen Ausschnitt an, in welchen sich der Rücken des ersten Schildbogenwölbsteines hineinlegt. Das Austragen ist auch hier wieder ähnlich. Man zeichnet die Schildbogenansicht über $d' e'$ als Grundlinie niedergelegt und errichtet gemäss der Breite des Werkstückes ein Lot, bis es die „untere“ Laibung des Schildbogens in g' trifft. Von hier wird die radiale Fuge $g' h'$ gezogen, der Rückenausschnitt verläuft in der Bogenlinie $h' i$ bis zur Höhe des Werkstückes.

Der Schildbogen des kleinen Joches ist um die Höhe des Anfanges aufgestellt, zeigt daher in der oberen Lagerfuge des Rippenanfanges noch denselben Grundriss, wie in der unteren, so dass auch die Kappenflucht hier noch durch Fortführung der radialen Seitenfläche des Profiles des Kreuz-

bogens ab gebildet wird. Die Fig. 270 a zeigt die Ansicht des Rippenanfanges von dem kleineren Joche aus. In beiden Ansichten (270 a und 270 b) sind die dem Grundrisse entsprechenden Punkte mit den gleichnamigen Buchstaben bezeichnet. Der Schildbogen des kleineren Joches bleibt, wie die Figuren zeigen, völlig mit dem Rippenanfange verwachsen und trennt sich erst oberhalb des oberen Bogens von demselben, so dass sich auf die Fläche C in Fig. 270 a das in Fig. 270 c dargestellte Werkstück setzt und auf die radiale Fläche D dieses letzteren die folgenden Stücke des Schildbogens, gerade wie sich die der übrigen Rippen auf die radialen Flächen pxr und ewk in Fig. 270 a aufsetzen.

Die Konstruktion des in Fig. 270 c gezeichneten Werkstückes ist die folgende. Man zeichnet über die Linie $o' d'$ als Grundlinie die Ansicht des „über“ der Aufstelzung beginnenden Schildbogens. In dem Grundrisspunkte r , in welchem der Schildbogen aus der Kappenfläche hervorst, wird ein Lot errichtet, bis es den Rücken in s' schneidet, es ist dann $o' s'$ die Höhe des Werkstückes und $s' t'$ die radiale Fuge. In der Perspektive 270 c zeigt sich diese Fuge als Fläche $u'' D w''$. Das Werkstück muss nach beiden Seiten einbinden und bekommt daher entsprechende Zusätze, zunächst ein Stück $u'' v''$ mindestens gleich der Kappenstärke, um welches das Werkstück in den Kern fasst, sodann das Stück $w'' x$, um welches es in die Mauer ragt, und welches natürlich die Länge hat, um welche überhaupt der Schildbogen in die Mauer einbindet.

Dieses kleine Werkstück setzt sich auf den Gewölbeanfänger, während an den übrigen Stellen direkt die Rippen hochgewölbt werden. Den Zwischenraum zwischen den Rippen und jenem Werkstücke füllt das Kappengemäuer nebst seiner bis $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ der Wölbhöhe reichenden Hintermauerung. Wo die Mehrkosten nicht gescheut werden, da ist es besonders bei weit gespannten Gewölben vorteilhaft, das untere Kappenstück noch als einen Werkstein hinter die Rippenrücken zu stellen, er vereinigt sich in diesem Falle mit dem kleinen Werksteine 270 c zu einem grossen in Fig. 270 d dargestellten Steine. Die drei Bogenflächen EFC setzen sich hinter die Rippenrücken, während die Flächen $HIKL$ Kappenstücke sind. Die Fläche H zeigt durch die Schraffierung die windschiefe Gestalt des Kappenanfanges.

Sollte die Höhe des Gewölbeanfanges sehr bedeutend werden, so wird er durch horizontale Fugen in mehrere Schichten zerlegt, im vorliegenden Beispiele in zwei, wie es die Figuren 270 a und 270 b veranschaulichen. Die Gestalt der Fugenflächen lässt sich nach obigem leicht austragen, sie wird bei der Ausführung auf die entsprechenden Lagerflächen der Werkstücke aufgerissen, die dann nach Massgabe der Bogenkrümmungen bearbeitet werden. Somit ist die Konstruktion des Rippenanfanges beendet.

Beschränkung der Grundfläche.

Die Fig. 270 hat gezeigt, dass die Verbindung des Schildbogens mit dem Körper des Rippenanfanges in einem Werkstücke unter Umständen gewisse Schwierigkeiten nach sich zieht, denen in verschiedener Weise ausgewichen werden kann. Zunächst durch eine Trennung des Schildbogens von den übrigen Rippen.

Diese Trennung ergibt sich von selbst, sobald für jede Rippe ein besonderer Dienst angeordnet ist. Fig. 271 zeigt den Grundriss einer derartigen Anordnung aus dem Chore der Kirche zu Wetter. Die Dienste stehen hier soweit auseinander, dass die Gurtrippe mit den Kreuzrippen nur noch in der geraden Seitenfläche ihres Profiles verwächst, dagegen die Schildbogen völlig frei liegen. Abgesehen aber von der erleichterten Ausführung wird auch das Wesen der Sache hierdurch vollkommener bezeichnet; denn die Funktion des Rippenanfanges liegt eben nur darin, die auseinander laufenden Rippen an ihrem Ursprunge unter sich und mit der Mauer zu verbinden. Der Schildbogen aber bewegt sich an der Mauer hin, ist derselben ohnedies eingebunden, bedarf daher keines weiteren Verbandes damit. So treffen in allen Fällen richtige Auffassung und erleichterte Ausführung

Getrennter
Anfang für
den Schild-
bogen.

zusammen und es ist Ursache vorhanden, gegen jede Auffassung, gegen jede Anordnung misstrauisch zu sein, deren Ausführung nur durch übermässig schwierige, vor allem durch versteckte Mittel möglich ist. Im vorliegenden Falle sind die Dienste durch Hohlkehlen verbunden und tragen Kapitäle von sechseckiger nach der Richtung der Rippen gestellter Grundform. Über diese Kapitäle hinaus setzt sich aber der Schildbogendienst *a* in Fig. 271a noch fort bis in die höher liegenden Grundlinien des Schildbogens und schliesst hier mit einem runden Kapitäl. Es wird also hierdurch zugleich das Aufstelzen des Bogens vermieden. Auf den sechseckigen Dienstkapitäl *b* und *c* in Fig. 271 sitzen dann die Gurt- und Kreuzrippen auf, deren Hohlkehlen aneinanderstossen und so die Regelmässigkeit noch deutlicher hervortreten lassen. Auf das Dienstkapital *a* aber setzt sich der Schildbogen, dessen Profil dem Grundrisse des Dienstes entspricht; deshalb ist das Kapital auch rund geblieben und dient bloss dazu, den Bogenanfang zu bezeichnen.

In einfacher durchgeführten Werken mit einem einzigen Wanddienste findet sich zuweilen die Trennung des Schildbogens von den übrigen Rippen durch sehr sinnreiche Anordnungen bewirkt. Eine solche zeigen die Rippen-Anfänge des aus dem Anfange des 15. Jahrhunderts stammenden Chores der Kirche zu Immenhausen, s. Fig. 272 und 272a, wo die gestelzten Schildbogenrippen sich unten zurücksetzen und so den aus einer Gurtrippe und zwei Kreuzrippen bestehenden Anfang frei lassen. Nachdem also der Schildbogen sich in solcher Weise abgesetzt hat, bleibt noch der rechtwinkelige Körper *fgh* übrig, vor welchen sich die Anfänge der übrigen Rippen setzen und der mit denselben auf dem achteckigen Dienstkapital steht. In ähnlicher Weise sind die Schildbogen in der Marienkirche zu Heiligenstadt unten konsolartig abgeschlossen. Solche einfachen Mittel tragen viel zu dem hohen Reize der einfachsten alten Werke, selbst der Spätzeit, bei und unterscheiden dieselben durch ihre Frische und ihre sinnreiche Erfindung sehr vorteilhaft von den meisten neueren.

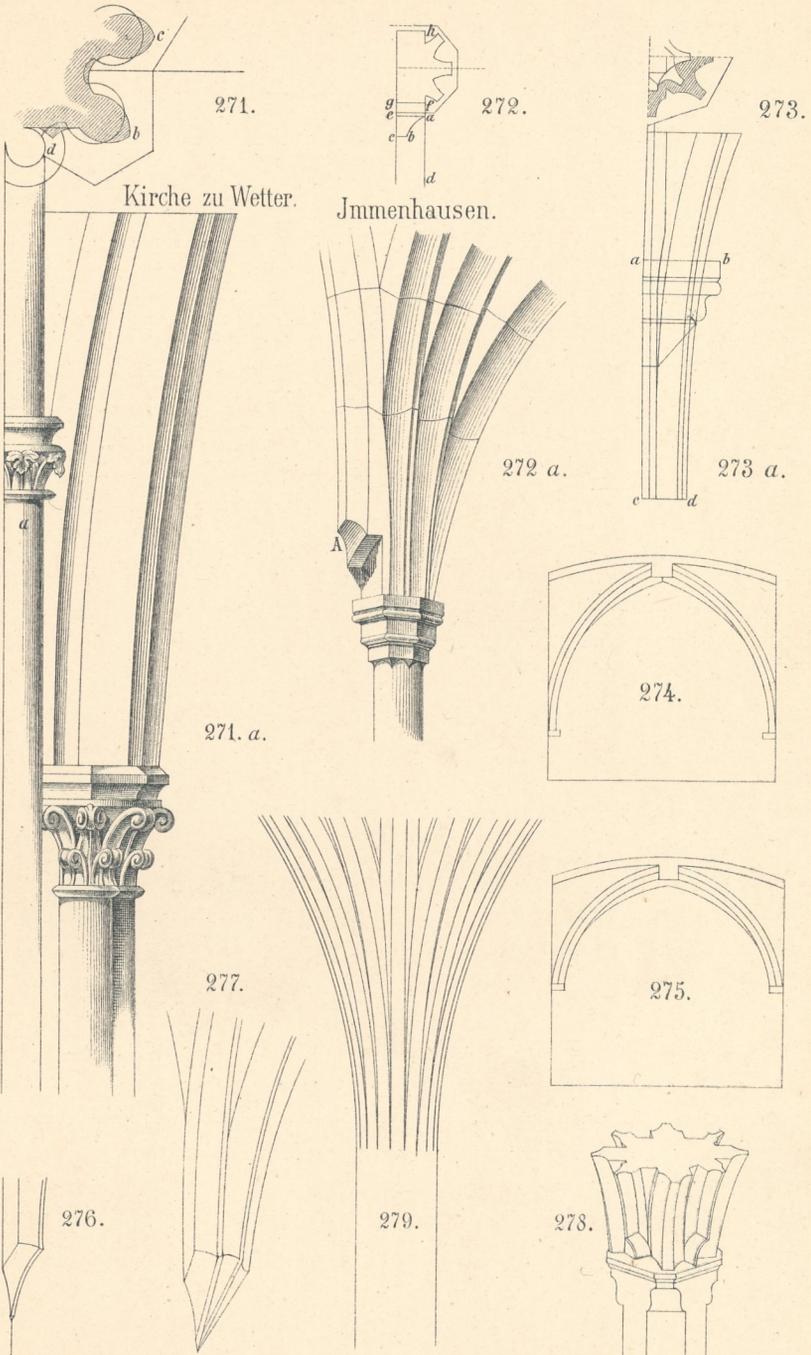
Verkürzte
Anfänge. —
Aus-
kragungen.

Streng genommen bilden alle solche zusammengedrängten Rippenanfänge, soweit sie von wagerechten Fugen geschnitten werden, doch nur Auskragungen der Fläche, auf welcher die Rippen sich aufsetzen, und würden sich daher durch wirkliche Kragsteine ersetzen lassen oder selbst deren Aufgabe übernehmen können. Aus statischen Gründen erfordern stark zusammengedrückte Anfänge keine Unterstützung, da sich der Wölbschub bereits weiter oben auf die Mauer überträgt.

Fig. 273 zeigt den Grundriss und Fig. 273a den Aufriss eines seiner Höhe nach aus zwei Werkstücken bestehenden Rippenanfanges, der schraffierte Teil des Grundrisses giebt den Horizontalschnitt in der Höhe der Fuge *ab*. Statt des unteren Werkstückes *abcd* könnte daher der in der Figur angegebene Kragstein das obere Werkstück tragen und hierdurch die Grundlinie des Gewölbes um die Strecke *ac* in die Höhe gerückt werden, was besonders in niedrigen Räumen von Vorteil sein wird.

Es wird aber durch diese Anordnung die ursprüngliche Linie des reinen Halbkreises oder Spitzbogens in ein Segment dieser Bogenformen verwandelt und so die wohlthuende Wirkung des Überganges aus der lotrechten in die gebogene Richtung gestört. Andererseits ist der durch eine vollkommene Entwicklung der Bogenlinien entstehende Höhenverlust nur dann ein Nachteil, wenn er etwa die

Beschränkung der Grundfläche..



zusammen und es ist Ursache vorhanden, gegen jede Auffassung, gegen jede Anordnung misstrauisch zu sein, deren Ausführung nur durch übermässig schwierige, vor allem durch versteckte Mittel möglich ist. Im vorliegenden Falle sind die Dienste durch Hohlkehlen verbunden und tragen Kapitäle von sechseckiger nach der Richtung der Rippen gestellter Grundform. Über diese Kapitäle hinaus setzt sich aber der Schildbogendienst *a* in Fig. 271a noch fort bis in die höher liegenden Grundlinien des Schildbogens und schliesst hier mit einem runden Kapitälchen. Es wird also hierdurch zugleich das Aufstelzen des Bogens vermieden. Auf den sechseckigen Dienstkapitälchen *b* und *c* in Fig. 271 sitzen dann die Gurt- und Kreuzrippen auf, deren Hohlkehlen aneinanderstossen und so die Regelmässigkeit noch deutlicher hervortreten lassen. Auf das Dienstkapitälchen *a* aber setzt sich der Schildbogen, dessen Profil dem Grundrisse des Dienstes entspricht; deshalb ist das Kapitälchen auch rund geblieben und dient bloss dazu, den Bogenanfang zu bezeichnen.

In einfacher durchgeführten Werken mit einem einzigen Wanddienste findet sich zuweilen die Trennung des Schildbogens von den übrigen Rippen durch sehr sinnreiche Anordnungen bewirkt. Eine solche zeigen die Rippen-Anfänge des aus dem Anfange des 15. Jahrhunderts stammenden Chores der Kirche zu Immenhausen, s. Fig. 272 und 272a, wo die gestelzten Schildbogenrippen sich unten zurückschlagen und so den aus einer Gurtrippe und zwei Kreuzrippen bestehenden Anfang frei lassen. Nachdem also der Schildbogen sich in solcher Weise abgesetzt hat, bleibt noch der rechtwinkelige Körper *fgh* übrig, vor welchen sich die Anfänge der übrigen Rippen setzen und der mit denselben auf dem achteckigen Dienstkapitälchen steht. In ähnlicher Weise sind die Schildbogen in der Marienkirche zu Heiligenstadt unten konsolartig abgeschlossen. Solche einfachen Mittel tragen viel zu dem hohen Reize der einfachsten alten Werke, selbst der Spätzeit, bei und unterscheiden dieselben durch ihre Frische und ihre sinnreiche Erfindung sehr vorteilhaft von den meisten neueren.

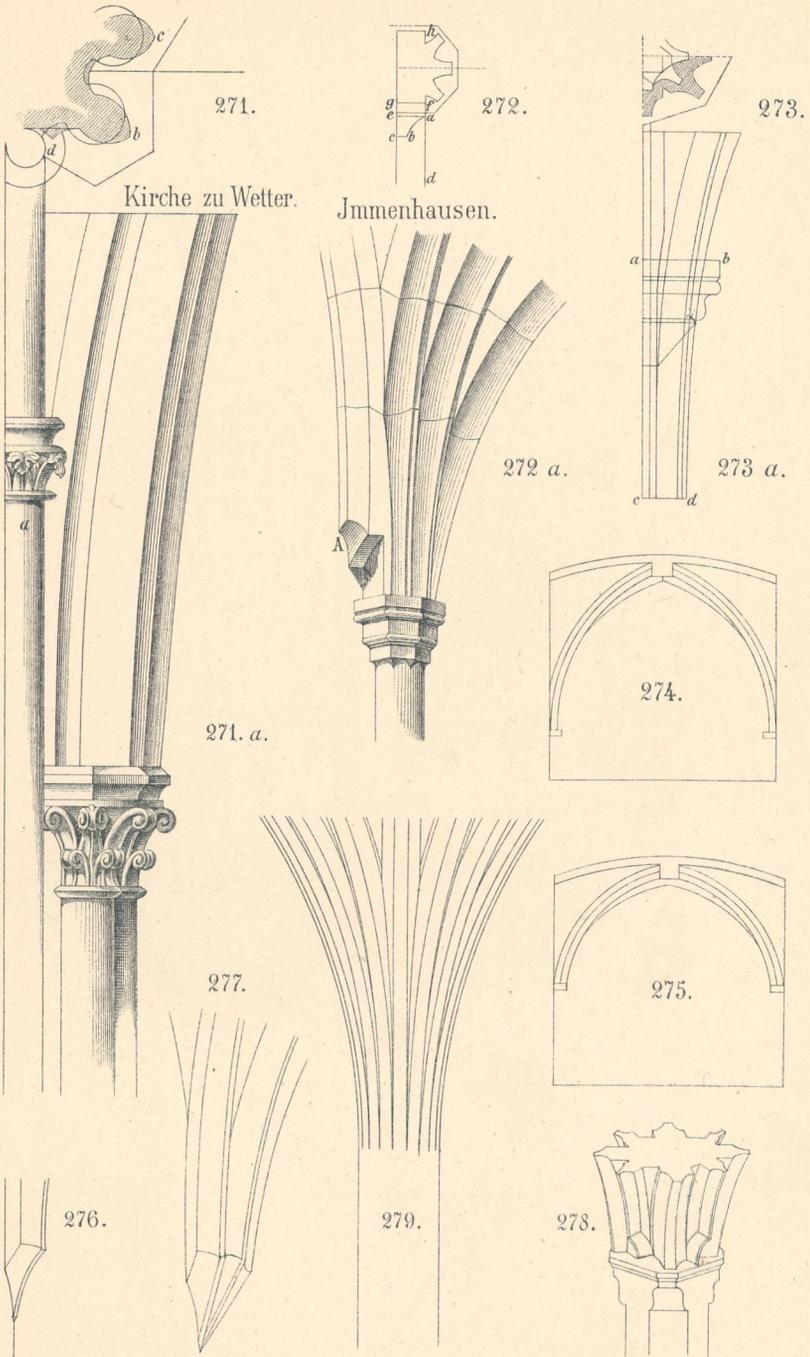
Verkürzte
Anfänge. —
Aus-
kragungen.

Streng genommen bilden alle solche zusammengedrängten Rippenanfänge, soweit sie von wagerechten Fugen geschnitten werden, doch nur Auskragungen der Fläche, auf welcher die Rippen sich aufsetzen, und würden sich daher durch wirkliche Kragsteine ersetzen lassen oder selbst deren Aufgabe übernehmen können. Aus statischen Gründen erfordern stark zusammengedrängte Anfänge keine Unterstützung, da sich der Wölbschub bereits weiter oben auf die Mauer überträgt.

Fig. 273 zeigt den Grundriss und Fig. 273a den Aufriss eines seiner Höhe nach aus zwei Werkstücken bestehenden Rippenanfanges, der schraffierte Teil des Grundrisses giebt den Horizontalschnitt in der Höhe der Fuge *ab*. Statt des unteren Werkstückes *abcd* könnte daher der in der Figur angegebene Kragstein das obere Werkstück tragen und hierdurch die Grundlinie des Gewölbes um die Strecke *ac* in die Höhe gerückt werden, was besonders in niedrigen Räumen von Vorteil sein wird.

Es wird aber durch diese Anordnung die ursprüngliche Linie des reinen Halbkreises oder Spitzbogens in ein Segment dieser Bogenformen verwandelt und so die wohlthunende Wirkung des Überganges aus der lotrechten in die gebogene Richtung gestört. Andererseits ist der durch eine vollkommene Entwicklung der Bogenlinien entstehende Höhenverlust nur dann ein Nachteil, wenn er etwa die

Beschränkung der Grundfläche.



Aufstellung irgend eines Möbels an der betreffenden Wandfläche verhindert. Wo hierauf keine Rücksicht zu nehmen ist, da kann unbeschadet der Wirkung des Ganzen der Rippenanfang nahe über dem Fussboden sitzen. So finden sich dieselben in der aus dem XV. Jahrhundert stammenden Sakristei der Kirche zu Wetter nur zwei Fuss über dem Boden. Die weite Spannung der Bogen bewirkt aber, dass sie bis auf Manneshöhe noch wenig über die Wandflucht ausladen und daher die Wohnlichkeit des Raumes nicht verkümmern. Die Fig. 274 und 275 zeigen den Gegensatz der beiden Anordnungen.

Bei kleiner Unterfläche würde ein Kragstein in konstruktiver Hinsicht nicht mehr nötig sein. Der einfache horizontale Abschluss befriedigt aber nicht, da er das Übertragen der Kraft auf die Mauer nicht kennzeichnet, er wird besser durch die in den Fig. 276 und 277 gezeigte Anordnung ersetzt. Dieselbe empfiehlt sich wegen ihrer einfachen und wohlfeilen Ausführung, und findet sich häufig in alten Werken, vorzüglich in untergeordneten Räumen. Sie kann aber auch mit Vorteil für eine einzelne Rippe eines Rippenanfanges angewandt werden, wenn nämlich der beschränkte Grundriss des Kapitales für die fragliche Rippe kein Auflager bietet, so dass dieselbe mit den übrigen vollständig hätte verwachsen und auf eine ansehnliche Höhe damit zusammenhängen müssen. Diese Höhe wird durch eine Anordnung, wie sie z. B. Fig. 278 zeigt, wesentlich verringert. An einigen Pfeilern der Elisabethkirche zu Marburg findet sich etwas Ähnliches insofern, als die äussersten Stäbe der Rippen, anstatt auf dem Kapitale aufzusetzen, sich auskragen.

War man darauf bedacht, durch derartige Mittel ein zu starkes Zusammendrängen der Glieder zu umgehen, so hat man sich in anderen Fällen auch nicht gescheut, die Profile in der Höhe des Widerlagers so weit ineinanderzuschieben, dass nur die unteren Plättchen der Profile frei bleiben. Bei den Gewölben im Kreuzgange zu Aachen bildet sich aus diesen Plättchen unmittelbar der kapitällose halbrunde Wandpfeiler. Fig. 279.

Bei den Rippenanfängen aus einer Mauerflucht oder einer Ecke können in umgekehrter Weise die Rippengrundrisse in der unteren Lagerfläche so weit zusammengedrängt sein, dass sich ihre Mittellinien aus ein und demselben in der Wandfläche liegenden Punkte heraussetzen, so dass also die aus der Wandfläche herauswachsenden Rippen nunmehr sich aus einer durch ihr Zusammentreffen gebildeten Spitze ausbreiten, wie Fig. 280 im Aufrisse und 280a im grösseren Massstabe im Grundrisse zeigen. In letzterer Figur sind die Grundrisse der einzelnen Rippen hinter der Mauerflucht in der Lage angegeben, welche sie bei freier Entfaltung am gemeinschaftlichen Punkte *a* haben würden. Es braucht kaum bemerkt zu werden, dass diese Grundrisse nicht wirklich vorhanden sind, sondern sich erst in dem Masse, als die Rippen sich voneinander trennen, entwickeln, wie dies die Horizontalprofile der verschiedenen Höhen *d* und *e* in Fig. 280 anzeigen. Die Konstruktion des Aufrisses aus dem Grundrisse ist dieselbe wie die, welche bei der Fig. 281 gezeigt werden wird. Die ganze Gestaltung bildet gewissermassen die übertriebene Konsequenz des Prinzipes aller zusammengedrängten Rippenanfänge. Ihre Erscheinung aber ist im Vergleiche zu der eines auf einem Kragsteine oder Kapitale sitzenden, in

Anfang aus
einem
Punkte.

angemessenem Verhältnisse zu der Grösse des Raumes stehenden Rippenanfanges trocken und gequält, weil sie eben dem Anfang jedes Körperliche nimmt.

Es verdient deshalb eine andere, gleichfalls der Spätgotik angehörige Anlage noch den Vorzug, nach welcher jede der drei Rippen für sich aus der Wand wächst, so dass die Punkte, in welchen sie hervorkommen, nebeneinander liegen, wie Fig. 281 im Grundrisse und Fig. 281a im Aufrisse zeigt.

Die Konstruktion ist die folgende: Alle Rippen haben gleiche Radien und Grundlinien. Man schlage nun zuerst über ab als Grundlinie die durch die verschiedenen Eckpunkte der Gurtrippe beschriebenen Bogen ac usw. und ziehe die Projektionslinien dieser Ecken, also de, fg , so wird eine jede dieser Ecken im Aufrisse sichtbar, wo ihr Bogen die Wandflucht ak schneidet, also z. B. die Ecke d in der Höhe ai , die Ecke f in der Höhe ak usw., wonach die Umrisslinie $adfl$ in Fig. 281a, mit welcher die Gurtrippe sich aus der Wandflucht schneidet, schon bestimmt ist. Um nun dieselbe Linie für die Kreuzrippen zu finden, schlage man die verschiedenen Bogen derselben über der Linie mn als Grundlinie, ziehe zugleich die Projektionslinien der zugehörigen Ecken und mache in den Punkten, in denen die letzteren die Wandflucht schneiden, Lotrisse auf mn bis an die zugehörigen Bogen, so ergibt z. B. die Länge pr die Höhe, in welcher der Punkt u aus der Wandflucht kommt, die Länge st die Höhe, in welcher der Punkt v daraus hervorkommt, usf.

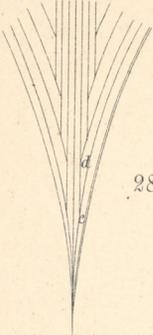
Verbinden wir nun die letztere Anlage der einzeln aus der Wandflucht herauskommenden Rippen mit der der Kragsteine, so ergibt sich, wie in den Figuren 282 und 282a aus dem südlichen Flügel des Kreuzganges am Erfurter Dom, für jede Rippe ein besonderer, in der Richtung der Rippe gestellter Kragstein. Es wird hierdurch ein breiterer Rippenanfang bei geringer Höhe ermöglicht. Freilich lässt sich auch ein derartiger mehr in die Breite gezogener Rippenanfang auf einem gemeinschaftlichen Kragsteine aufsetzen, wie das z. B. in dem südlichen Seitenschiffe von St. Blasien in Mühlhausen geschehen ist, doch lässt sich gerade an dem angeführten Orte nicht verkennen, dass die platte Form dieser Kragsteine von keiner vorteilhaften Wirkung ist und gegen die der Erfurter zurücksteht.

Überhaupt verlangt ein einheitlicher Kragstein einen lebhaften Vorsprung von mindestens der Hälfte der Grundform, nach welcher er gebildet ist, besser aber von fünf Seiten des Achteckes, vier oder fünf des Sechseckes, zwei des Dreieckes usw.

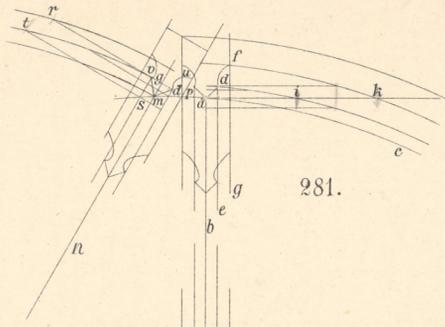
Wir haben soeben das unter Fig. 280 gezeigte Herauswachsen der Rippen aus einer Spitze als gequält bezeichnet, dennoch suchte man in manchen Werken der Spätgotik noch darüber hinauszugehen und das zwar im wörtlichen Sinne genommen. Man schob nämlich bei unverrückter Lage der Gurtrippe den Anfang der Kreuzrippe eines jeden Joches über den der Gurtrippe hinaus in das angrenzende Joch, also den Anfang der rechtsseitigen Kreuzrippe nach links und umgekehrt den der linksseitigen Kreuzrippe nach rechts, so dass diese Kreuzrippen sich mit der Gurtrippe nahe bei ihrem Entstehungspunkte kreuzen. Sehr schöne Rippenanfänge dieser Art finden sich in der jetzigen katholischen Kirche in Marburg, sowie an einem Seitenraume der Marienkirche daselbst. Die ersteren sind in Fig. 283 im Grundrisse, in Fig. 283b im Aufrisse von vorn und in Fig. 283a im Aufrisse übereck dargestellt. Es sind darin a der ausgekragte Dienst, bb die Kreuzrippen, die sich bei c kreuzen, d die Gurtrippe, die bei e die Kreuzung der ersteren durchdringt, f die Schildbogenrippen, welche sich mit den auf den Kreuzrippen stehenden Wänden bei g durchdringen. Hier ist freilich von einer schlichten Darlegung des struktiven Prinipes kaum mehr die Rede, es ist eben der Triumph des sich

Über-
schneidung
der Anfänge.

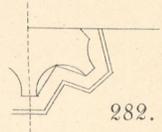
Anfang aus einem Punkt...Ueberschnittene Anfänge.



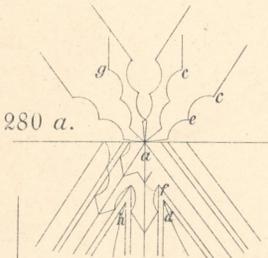
280.



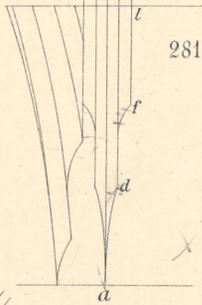
281.



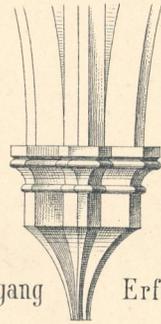
282.



280 a.

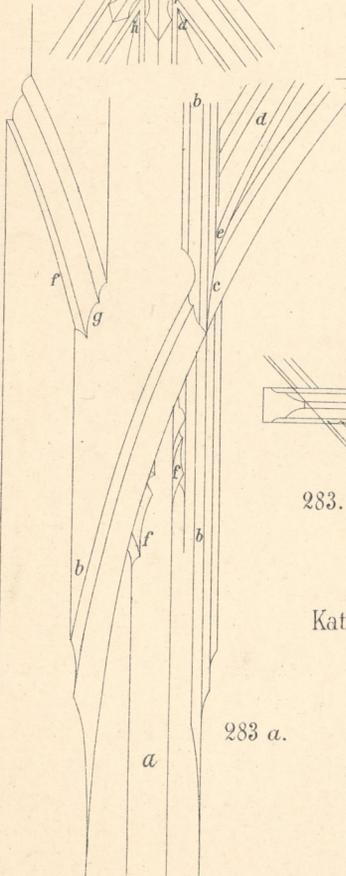


281 a.

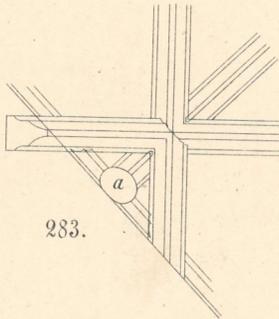


282 a.

Kreuzgang Erfurt.

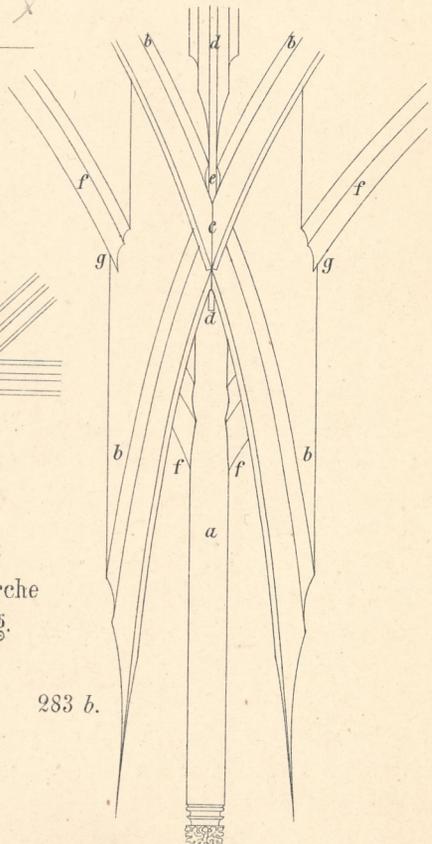


283 a.



283.

Katholische Kirche zu Marburg.



283 b.

seiner Sicherheit bewussten Handwerkes. Trotzdem können wir nicht umhin, die Präzision zu bewundern, mit welcher diese späteren Bildungen ausgeführt sind. Es bewirkt dieselbe, dass man beim Anschauen über der künstlerischen Vollendung des Handwerkes den handwerklichen Standpunkt der Kunst vergisst. Und keineswegs dürften viele heutige Künstler sich mit Recht dem Standpunkte jener Werkleute überlegen dünken, deren Arbeiten eine so überaus kluge Beechnung der Lichtwirkung, der Linienführung zeigen, dass sie vor manchen, von reiner Kunst durchdrungenen der Neuzeit noch den Vorzug haben, das Auge wirklich zu erfreuen. Wer möchte sie endlich vermissen, diese Werke der Spätgoik?

Rippenanfänge über freistehenden Pfeilern.

In derselben Weise wie die Rippenanfänge an den Wandflächen gestalten sich diejenigen auf freistehenden Pfeilern, nur dass die Verbindung des Werkstückes mit der Mauer wegfällt. Einen völlig regelmässigen, aus vier Gurtrippen und vier Kreuzrippen bestehenden Rippenanfang zeigt die Fig. 284. Bei grösseren Dimensionen würde derselbe anstatt aus einem aus mehreren aufeinander gelegten Werkstücken bestehen. Die oben gestellten Anforderungen an ein regelmässiges Auseinanderwachsen der Glieder haben ebenso wie die Regeln für das Austragen der Werkstücke auch hier ihre Gültigkeit.

Wenn bei geringer Ausdehnung der Kapitalplatte ein zu grosses Zusammendrängen der Glieder vermieden werden soll, so können nach Art der bereits erwähnten Fig. 278 Überkragungen angeordnet werden.

In den meisten Fällen jedoch hat man das Verwachsen der einzelnen Bogen nicht gescheut. Ein schönes frühgotisches Beispiel dieser Art aus dem Eingange des XIII. Jahrhunderts bietet der Rippenanfang über den Seitenschiffsäuen am Chore der Cisterzienserkirche zu Walkenried, dessen unteres Werkstück in Fig. 285 und 285a dargestellt ist. Trotz der Verschiedenheit von Gurt- und Rippenquerschnitt, die bereits in Fig. 195 und 196 mitgeteilt sind, ist ein wohlthuendes Zusammenwachsen der Glieder erzielt. Besonders geschickt schneidet sich der Diamantschnitt der Rippen an, dessen Seitenflächen *aa* unten in die volle Fläche *b* übergehen.

Verwachsen
der Bogen
über freien
Pfeilern.

Grössere Schwierigkeiten entstehen bei den Schiffspfeilern der Basiliken, wie Fig. 286 aus Notre-dame in Dijon zeigt. Hier schneidet sich, wie Fig. 286a zeigt, der obere Teil des Scheidebogens (der dem Grundrisse bei *abc* eingezeichnet ist), aus der lotrechten Seitenfläche der Kreuzrippe heraus. Die Linie, in welcher der Zusammenschchnitt erfolgt, wird wie bei Fig. 281 in nachstehender Weise ermittelt.

Man zeichnet in der Nebenfigur 286b die Seitenansicht des Scheidebogenteiles *acb* und trägt für jeden Grundrisspunkt z. B. *g* den schräg gemessenen Abstand *gh* als *g'h'* in die Nebenfigur. Das Lot in *h'* giebt den Punkt *i'*, in welchem der Eckpunkt *g* aus der Seitenfläche der Rippen herauskommt. Aus der Nebenfigur lässt sich der Schnitt *i'* leicht in die anderen Ansichten übertragen. Ebenso werden noch weitere Schnittpunkte ermittelt. Die obere Lagerfläche des Bogenanfanges ist im Grundrisse als die Umrisslinie *iklmno* eingezeichnet.

Bei späteren Werken wird das Zusammendrängen der Glieder meist noch weiter getrieben. Da wo es darauf ankommt, den Pfeilern und mithin den Rippenanfängen das geringste Stärkemass zu geben, entsteht am Anfänger durch das wechselnde Rückspringen der Profile ein merklicher Stärkeverlust. Es lässt sich

Verstärkung
der Anfänge
durch Herab-
ziehen der
Kappen.

derselbe vermeiden durch ein Ausfüllen der Zwischenräume, das sich am einfachsten durch ein Herabführen der Kappenflächen erzielen lässt. Siehe Fig. 287 und 287a. Diese Kappenstücke müssen in ihrem unteren Teile aber steiler gerichtet sein, so dass sie in der Höhe *m*, in welcher die Bogenprofile frei werden, einen Knick bekommen. Oberhalb dieser Stelle legen sich die Kappen wie immer konzentrisch auf den Rücken der Bogen. Die in der Figur wiedergegebene Anordnung findet sich an den Gewölben mehrerer Räume vom Kloster Haina, etwa aus dem Ende des XIII. Jahrhunderts. Nur die Gurtbogen dieser Gewölbe sind profilierte Rippen, während die Diagonalbogen sich als blosse Grate aussprechen.

Der Knick in der Kappenfläche und hier auch in dem Diagonalgrate würde in der Höhe *m m* in Fig. 287a liegen. Indes könnte der Diagonalbogen immerhin nach einer reinen Bogenlinie gebildet sein und nur die Anschlusslinie der Kappe an die Seite des Gurtes jenen Knick bilden. Es würde dann eine windschiefe Fläche den Übergang vermitteln. Fig. 287b.

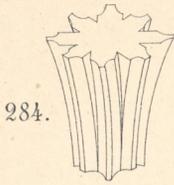
Die Masse, welche durch das Herunterführen der Kappe für den Anfänger gewonnen wird, lässt der Grundriss 287 erkennen. Die dem Kapitäl aufliegende Fläche wird durch den Umriss *kgli* begrenzt, während sie sonst der einspringenden Linie *fghi* gefolgt sein würde. Natürlich wird auch hier der untere Teil des Anfängers aus einem gemeinsamen Werkstücke gearbeitet.

Ebenso würde dieselbe Anlage möglich sein, wenn auch die Diagonalbogen durch profilierte Rippen gebildet wären, die sich dann in derselben Weise wie in Fig. 287a die Gurtruppen, aus der Masse des Rippenanfanges herausschnitten.

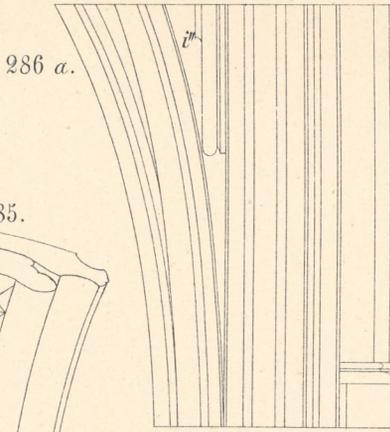
Die ganze Anlage hat neben jenen konstruktiven noch den ästhetischen Vorteil, dass sie der eigentlichen Funktion des Rippenanfanges, der Vereinigung der verschiedenen getrennten Rippen in einem Werkstücke, d. h. der verschiedenen Schubkräfte nach dem einheitlichen Pfeiler hin, Ausdruck verleiht. Sie ist der verschiedensten Abwandlungen fähig, je nach der Neigung der unteren Kappenverlängerung. Diese kann eine mässige Krümmung nach einem grösseren Halbmesser haben, sie kann schliesslich zu einer senkrecht stehenden Fläche werden. Solche senkrecht stehende Kernflächen, wie sie die Fig. 288 und 289 zeigen, finden sich von der Mitte des XIV. Jahrhunderts ab sehr häufig an freistehenden Pfeilern, wie auch an Diensten und ausgekragten Wölbanfängen. Ihre Entstehung lässt sich aus dem Streben herleiten, die Masse des Anfängers möglichst zu schonen. Der Grundriss des Rippenanfanges ist mehr oder minder genau irgend einer regelmässigen Grundform einbeschrieben, so in Fig. 288 dem Achtecke, in Fig. 289 dem Kreise. Bei der Bearbeitung musste der Unterfläche des Werkstückes zunächst diese Umrissform gegeben werden. Es lag nun nahe mit Rücksicht auf die grössere Haltbarkeit, das Einarbeiten der zwischen den Rippen entstehenden Vertiefungen zu unterlassen, vielmehr den runden oder polygonalen Kern senkrecht in die Höhe zu führen, so dass sich eine Durchdringung zwischen diesem Cylinder oder Prisma und den in ihren verschiedenartigen Bogenlinien sich bewegenden Rippenprofilen ergab. Zu demselben Resultate gelangt man auch auf anderem Wege. Gesetzt, es sei in Fig. 289 der schraffierte Teil der einem Kapitäl oder Kragsteine aufgelegte Rippenanfang; von dem Rande des Kapitäl soll aber ein Wasserschlag in die Tiefen zwischen den sich zusammenschneidenden Rippenanfängen hinauf-

Anfang aus
senkrecht
stehenden
Kernflächen.

Anfänge über Pfeilern.



284.

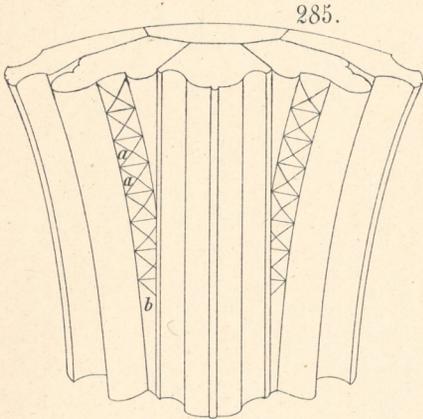


286 a.

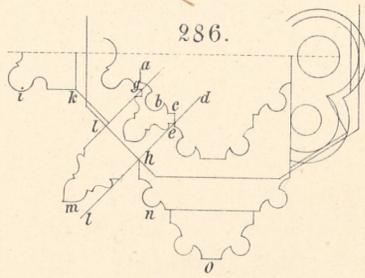


286 b.

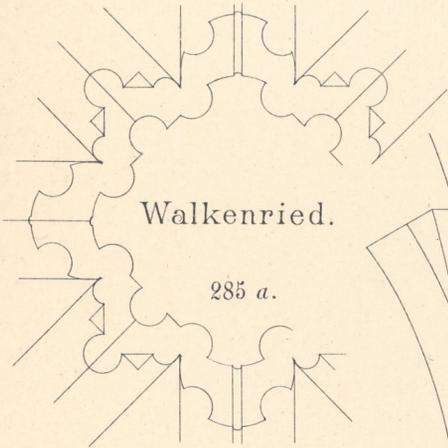
Dijon.



285.

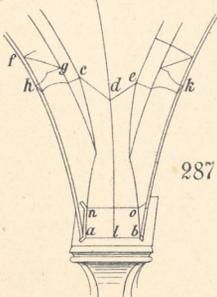


286.

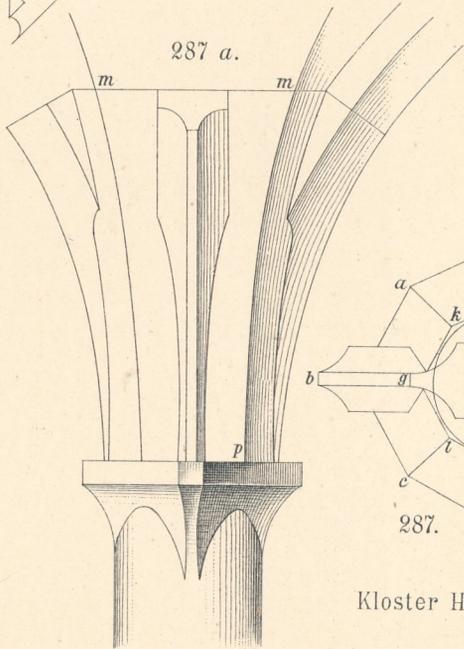


Walkenried.

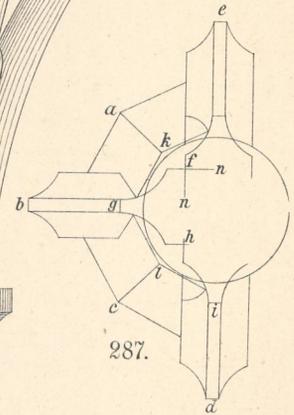
285 a.



287 b.



287 a.



287.

Kloster Haina.

wachsen. In dem Masse als dieser Wasserschlag steiler wird, muss die Gestalt der in Fig. 289a gezeigten ähnlicher werden und völlig in dieselbe übergehen, sobald der Neigungswinkel des Wasserschlages 90° hat.

Die Konstruktion der Linien, in welchen diese Durchdringung geschieht, ist bereits an der Fig. 281 gezeigt worden. Die ganze Anlage ist sehr verschiedener Gestaltungen fähig, je nach dem Verhältnisse der Rippenprofile zum Kerne. So kann durch ein grösseres Mass des Kernes jedes Zusammenschneiden der benachbarten Rippen, wie es z. B. in Fig. 289 noch stattfindet, vermieden werden, während es umgekehrt bei einem kleinen Kerne in stärkerem Grade eintritt. So können ferner die Rippen, statt wie in Fig. 288 aus den Seitenflächen, aus den „Kanten“ des Körpers herauswachsen, desgleichen können sie senkrecht oder schiefwinkelig auf den Kern treffen (letzteres ist bei den Rippen *a* in Fig. 289 angenommen). Endlich kann die Vorderkante einer jeden Rippe in dem Umfange des Kernes liegen oder auch von demselben zurückgeschoben werden, so dass die betreffende Rippe sich oberhalb der Grundlinie, also mit einem leisen Knicke aus dem Kerne heraus-schneidet. Hierin aber liegt zugleich ein Mittel, der Kappe von vornherein eine beabsichtigte Richtung zu geben.

Soll z. B. die Kappe in Fig. 289 von Anfang an die beiden Rippen *a* und *d* unter gleichem Winkel schneiden, wie dies durch den Horizontalschnitt *ef* angedeutet ist, so würde man die eine oder andere der beiden Rippen soweit in den Kern zurückschieben können, bis diese Bedingung erreicht ist.

Das ganze System der Durchdringung, welches diese Gestaltungen ermög-licht, findet sich schon an den Werken der Frühgotik, wenn es auch in den angeführten Bildungen erst der mittleren Periode angehört. So finden sich Durchdringungen von Bogengliederungen mit den Strebepfeilerflächen, aus welchen sie hervorkommen, ferner Durchdringungen der Giebelprofile mit denselben Flächen, Durchdringungen der Bogenprofile miteinander schon an den ältesten Werken. Es scheint aber, dass man auf die Linien, in welchen die Durchdringung geschah, noch kein Gewicht legte, dieselben sich von selbst gestalten liess, während man in den späteren Perioden erst auf ihre reizvolle Wirkung aufmerksam geworden, dieselbe zu suchen, zu steigern und schliesslich zu übertreiben bemüht war. In dieser Übertreibung befangen, sah man über die wirklichen konstruktiven Vorteile der in den Figuren 287 bis 289 gegebenen Gestaltungen hinweg.

Man fing zuerst an, den polygonen Kern mit konkaven Seitenflächen zu bilden, auch wohl mit masswerkartig zurückgesetzten Feldern zu versehen, so dass die Rippen wie aus einem Fenster herauskamen. Oder man ersetzte das Polygon durch eine Gliederung, welche mit der des Rippenanfanges übereinstimmend, in das Verhältnis der Übereckstellung zu derselben trat, wie Fig. 290 im Grundrisse zeigt. Statt der regelmässigen Übereckstellung begnügte man sich auch wohl damit, dass die vortretenden Teile der Rippengliederung aus den zurücktretenden des Kernes hervorkamen und umgekehrt, dass also z. B. die Rundstäbe der Rippen mit den Kehlen des Kernes und jene des Kernes mit den Kehlen der Rippen eine Durchdringung bildeten. Ein derartiges Beispiel zeigt die Fig. 291, welche den Grundriss eines Pfeilers darstellt, auf welchem zwei stärkere Scheidebogen, zwei Gurt-

Durch-
dringung der
Wölb- und
Pfeiler-
gliederung.

rippen und zwei Kreuzrippen aufsetzen. Der obere schraffierte Teil von *a* bis *b* zeigt den Grundriss des Pfeilers, der Teil von *c* bis *h* den einer Gurt- und einer Kreuzrippe, und der Teil *ef* den des Scheidebogens. Fig. 291a stellt die Vorderansicht und Fig. 291b die Seitenansicht dieser willkürlichen Bildung dar. Die Entwicklung des Aufrisses aus dem Grundrisse ist im wesentlichen in dem bei Fig. 281 gezeigten Verfahren enthalten.

Durchdringungen dieser Art, nämlich der Rippen- und Bogengliederungen mit lotrecht ansteigenden Gliederungen, finden sich in den Werken der Spätgotik hauptsächlich in der Weise, dass die letztere Gliederung in ihrer Fortführung nach unten die Pfeiler bildet und dann auf einem Sockel aufläuft. Ein sehr reiches Beispiel bietet die Kirche St. Columba in Köln. Einfach ausgekragte Rippenanfänge wie Fig. 289 dagegen lassen sich nicht wohl in dieser Weise gestalten, weil die komplizierte Gliederung des Kernes sich auf eine gewisse Länge erstrecken muss, um verständlich zu werden.

So wie die Gestaltungen der Figuren 287 bis 289 zunächst durch die Benutzung der Masse des Werkstückes ermöglicht sind, so führt dasselbe Prinzip an manchen frühgotischen Werken auf mehr dekorative, aber im höchsten Grade reizvolle Bildungen. Um z. B. den Rippenanfang (Fig. 288a) nach den darin angegebenen Fugen *f*, *f'* auszuführen, wird das Werkstück *abf'f''* erfordert, von welchem der Teil *cf'f''* weggearbeitet werden muss. Es ladet aber diese Masse förmlich dazu ein, irgend welche Ornamente daraus zu bilden, und so die ursprüngliche Form des Werkstückes nochmals anklingen zu lassen. Sehr schöne Beispiele dieser Art zeigen die Rippenanfänge vom Chore der Stiftskirche in Wetter, an welchen oberhalb der Dienstkäpfele die Symbole der Evangelisten in der in Fig. 292 angegebenen Weise vor den Rippengliederungen vorspringen. Eine entsprechende Gestaltung liesse sich auch sehr wohl mit dem in Fig. 288a gezeigten Rippenanfang in Verbindung bringen, wie z. B. Fig. 293 zeigt. Statt der hier angebrachten Laubbossen kann auch ein fortlaufendes Laubwerk auftreten, wodurch die Wirkung noch reicher wird. Ein überaus schönes Beispiel dieser Art zeigen die Pfeiler an dem Chorumgange der Kathedrale von Auxerre vor der Frauenkapelle (vergl. Figur bei VIOLLET-LE-DUC, Bd. IV, S. 149).

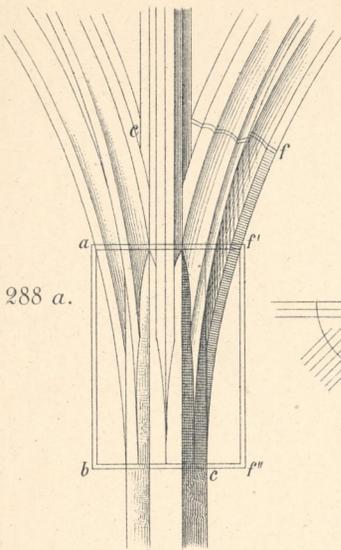
Der hier zu erwähnende wunderbare Kranz von Baldachinen und Figuren, welcher die Mittelschiffpfeiler des Mailänder Domes umzieht, trägt weniger den Charakter eines Wölbanges als den eines eingeschalteten selbständigen Vermittelungsgliedes.

9. Das Kappengewölbe.

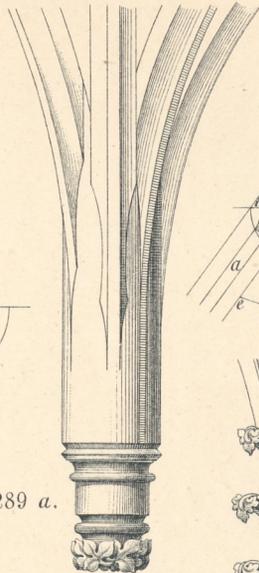
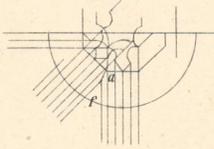
Material.

Die Kappen werden entweder aus natürlichen oder aus künstlichen Steinen aufgeführt, erstere wechseln wesentlich nach den jeweiligen geognostischen Erzeugnissen der Gegend, die schweren und harten Massengesteine sind jedoch stets möglichst gemieden, ab und zu sind die verschiedenen Schiefer, besonders oft aber

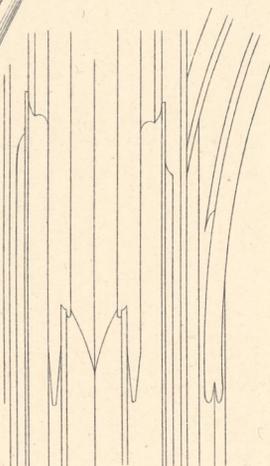
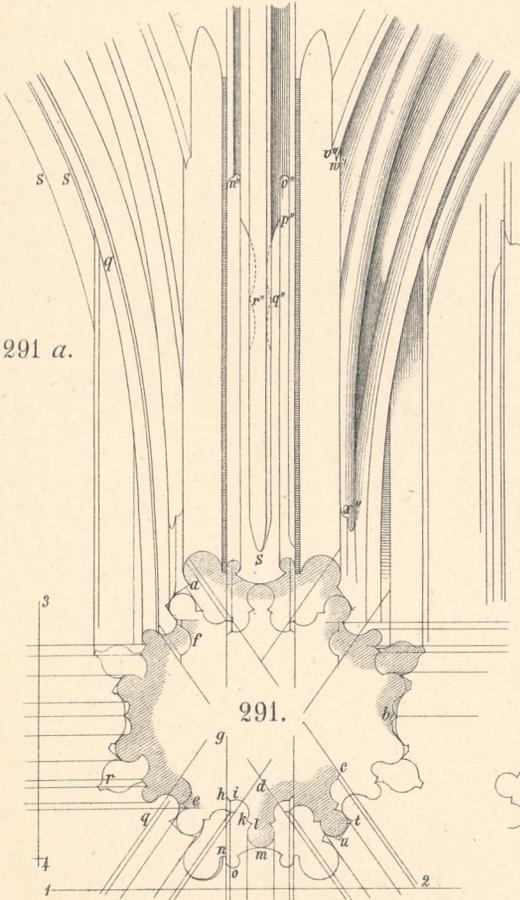
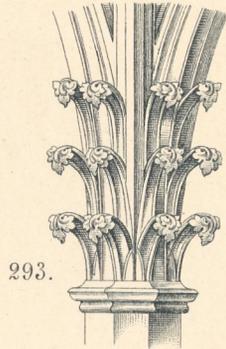
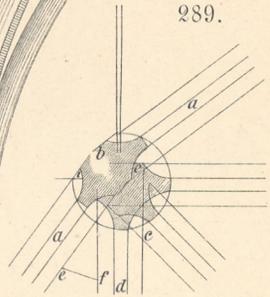
Anfänge über Pfeilern.



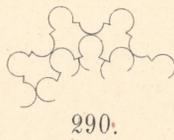
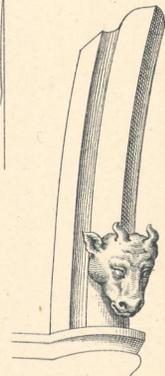
288.



289.



292.



der Kalk- und Sandstein verwendet. Ein ausnehmend hochgeschätztes Wölbmaterial bilden die leichten Tuffe, der Travertin Italiens, der Duckstein (Trass) vom Rhein und der weit verbreitete Kalktuff, der unter anderem bei Göttingen, Mühlhausen, in Franken, Oberbayern und bei Paris vorkommt. Gute Wölbsteine holte man im Mittelalter oft auf grosse Entfernung herbei. Mit dem Tuffsteine aus der Nähe von Andernach wurde auf dem Wasserwege ein förmlicher Handel nach Holland, Schleswig und Jütland betrieben. Der Tuff hat neben seinem geringen Gewichte die beachtenswerten Eigenschaften, dass an seiner rauhen Oberfläche der Mörtel gut haftet und dass der sehr poröse Stein die Räume warm und die Gewölbe trocken hält.

Jetzt ist das herrschende Wölbmaterial der Ziegelstein, der sich schon im Mittelalter für Wölbzwecke über seine engere Heimat hinaus Geltung verschaffte. Er ist leicht, porös und hat den Vorzug des gleichmässigen für Wölbzwecke gut geeigneten Formates; er begünstigt das freihändige Mauern und gestattet eine geringe Wölbstärke bei grossen Spannungen. Die übliche Dicke von ein halb Stein oder 12—15 cm kann für unbelastete Wölbungen bis 10 und mehr Meter Spannung verwendet werden, vorausgesetzt, dass Kappen und Rippen richtig geformt sind. Bei natürlichem Stein beträgt die Kappenstärke meist nicht unter 20 cm, nur bei besonders geeignetem Materiale ging man auf 9—15 cm herab. Eine wichtige Eigenschaft eines guten Wölbsteines ist immer ein geringes Gewicht, man hat aus diesem Grunde mit gutem Erfolge poröse Ziegelsteine dadurch gewonnen, dass man dem Thon in grosser Menge Sägespäne oder ähnliche brennbare Stoffe zusetzte, die nach dem Brennen, das sie erfolgreich unterstützen, entsprechende Hohlräume zurücklassen. Es ist in dieser Weise möglich, das Gewicht selbst bis auf die Hälfte herabzudrücken, ohne die Festigkeit in bedenklicher Weise zu mindern. Zu den Rippen, nötigenfalls auch zu den Kappenzwickeln, werden andere hartgebrannte Ziegel verwendet. Die neuerdings immer mehr beliebten durchlocherten Steine sind mit einer gewissen Vorsicht anzuwenden, jedenfalls sollte man es mit Rücksicht auf zu fürchtende Mörtelversackungen meiden, die Lochrichtung mit der Hauptdruckrichtung gleichlaufen zu lassen. Ein gutes Wölbmaterial sind bei mässig starker Beanspruchung auch die in der Nähe von Andernach am Rhein in 25×12×10 cm Grösse gefertigten leichten und porösen Schwemmsteine, die aber für Rippen nicht verwendet werden können.

Künstliche
Steine.

Das durchgängige Bindemittel ist ein guter steifer Kalkmörtel; Zement, der jedenfalls nicht zu rasch binden darf, ist für die Kappen weniger angezeigt, er kann aber sehr wohl an stark gepressten Gewölbeanfängen, besonders bei solchen aus zugehauenen Ziegelsteinen gute Dienste leisten. Mit Rücksicht auf das verschiedene Setzen der beiden Mörtelarten sollte es gemieden werden, den Zementmörtel auf eine zu grosse Höhe auszudehnen, während seine Ausbreitung in seitlicher Richtung eine Druckübertragung auf grosse Grundfläche begünstigt. Sonst können für stark gepresste Teile, unter anderen für die Fugen der Werksteinrippen, Bleiplatten gute Verwendung finden. Weiteres siehe unten unter Ausführung.

Mörtel.

Herstellungsweise.

Wird von Ausnahmebildungen als Topfgewölben und dergl. abgesehen, so sind drei verschiedene Herstellungsarten auseinander zu halten:

1. das Gussgewölbe auf Unterschalung,
2. schichtenweises Mauerwerk auf Schalung,
3. schichtenweises Mauerwerk ohne Schalung — das ist freihändige Mauerung.

Wenngleich alle drei Arten zeitweise nebeneinander vorkommen, so zeigt sich doch im allgemeinen ein Übergang von der ersten zur zweiten und von dieser wieder zur dritten.

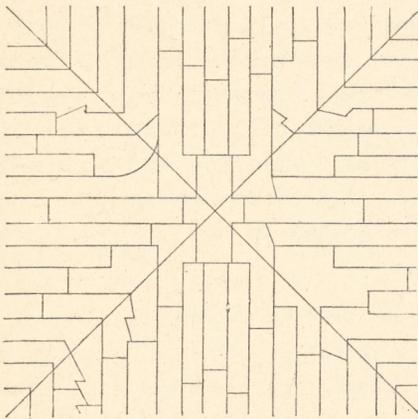
Gusswerk.

Das aus Steinbrocken und Mörtel gebildete Gusswerk lehnt sich an die römischen Überlieferungen an, es verliert aber für die Gewölbe an Bedeutung, sobald man mit Ernst darauf ausgeht, die Wölbstärke um jeden Preis einzuschränken. Für das Innere dicker Mauern behält das Mörtelwerk noch längere Zeit seine alte Beliebtheit.

Schichtenweises Wölben auf Lehrgerüst.

Das schichtenweis hergestellte Mauerwerk auf festem Lehrgerüste zeigt den grössten Wechsel in der Sorgfalt und Vollkommenheit der Ausführung. Man kann drei Abstufungen unterscheiden, zunächst ein unregelmässiges Mauerwerk in vollem Mörtel. Die Steine werden in roher Form mehr oder weniger schichtenweise auf die Schalung gepackt, entweder in ein volles Mörtelbett oder auch trocken mit nachherigem Vergiessen von oben. Auf einer vollkommeneren Stufe steht das regelmässige Bruchsteingewölbe, bei welchem mehr oder weniger ebenflächige und gleichartige Steine mit gleichmässigen Mörtelfiguren

294.



Theoderichgrab-Ravenna

schichtenweise aufgemauert werden. Als höchste Stufe ist das Werksteingewölbe aus scharfkantig zugerichteten Steinen mit regelmässigen Fugen zu betrachten. Je unvollkommener das Verfahren ist, um so mehr hängt die Festigkeit von der Güte des Mörtels ab, je entwickelter dagegen die Ausführung ist, um so mehr kann die Wölbstärke vermindert werden. Aus letzterem Grunde erkennt man auch hier wieder im ganzen eine Steigerung in der Güte der Technik; in romanischer Zeit finden wir rohere Bruchsteingewölbe von grosser Stärke, in gotischer Zeit besser gefügte und zugleich weit dünnere Kappen. Damit soll nicht gesagt sein, dass

nicht auch die frühromanischen und altchristlichen Abschnitte reich an besonders schön durchgeführten Werksteinwölbungen seien, als Beispiele sollen nur die Kuppeln der Kirchen im westlichen Frankreich, Périgueux usw. und das Kreuzgewölbe im unteren Raume des Theodorichgrabes zu Ravenna angeführt werden. Vom letzteren zeigt die Fig. 294 ein dem Scheitel benachbartes Stück,

das sehr schön die zur Anwendung gebrachte hakenartige Verzahnung der einzelnen Steine hervortreten lässt.

Als höchster Ausdruck einer vollendeten wenn auch uralten Technik (vergl. Freihändiges
Wölben. vorn S. 4) erscheint die freihändige Wölbung, die aber an ein geeignetes Material gebunden ist, entweder an den Ziegelstein oder an kleine, leicht zurichtbare Werksteine, seien sie Kalk-, Sand- oder Tuffstein. Sie entwickelte sich daher zunächst in den Ziegelgebieten und Gegenden mit geeignetem Werksteine, unter letzteren ist Isle de France zu nennen, wo die Wölbstärke nach VIOLLET-LE-DUC in der Regel nur 10—12 cm betrug. Der Transport leichter Wölbmaterialien (s. oben S. 103) wurde in angemessenen Grenzen auch mit Rücksicht auf das freihändige Wölben getrieben. Die beim freihändigen Wölben zu wählende Lage der einzelnen Schichten wird weiter unten noch eine ausführlichere Besprechung erfahren.

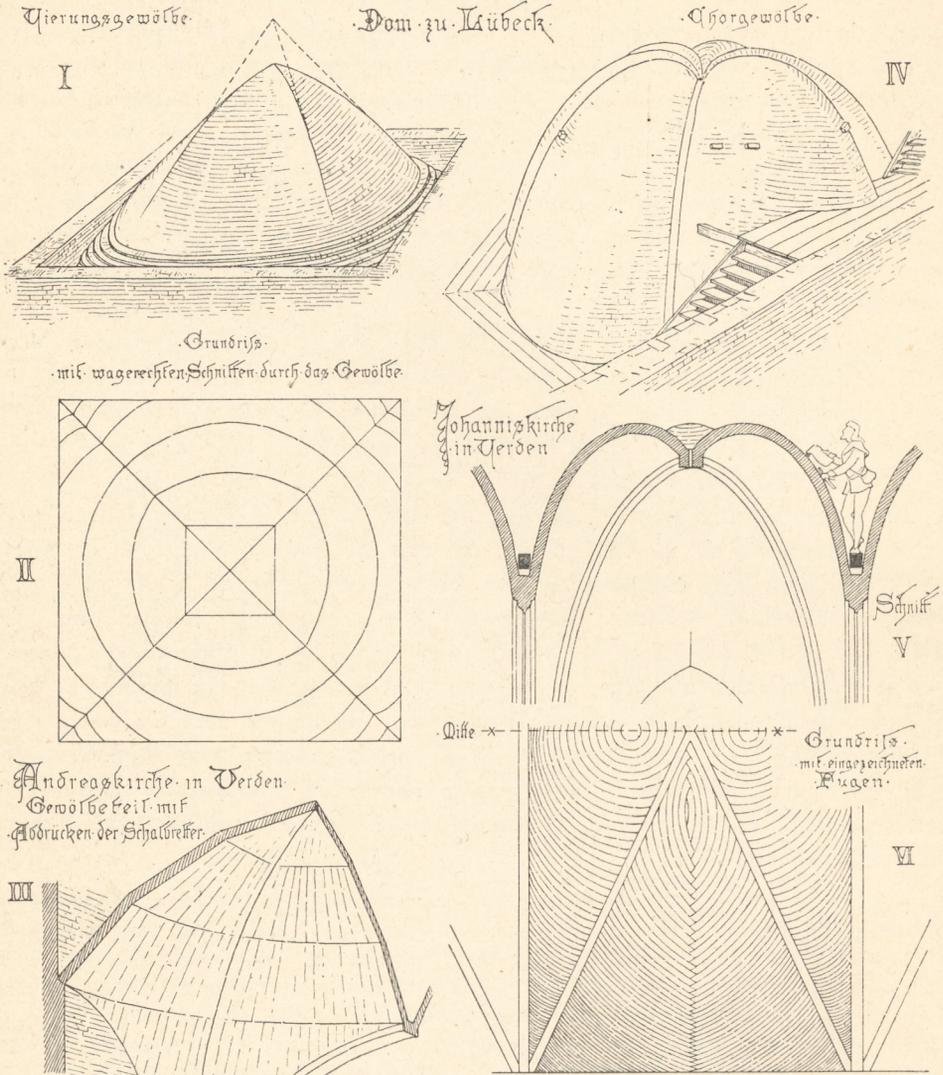
Die Ziegelgewölbe waren bis etwa zur Mitte des XIII. Jahrhunderts einen Stein dick, sodann wurde fast allgemein eine Kappenstärke von $\frac{1}{2}$ Stein oder 12—15 cm angenommen, man pflegte dieselbe für unbelastete Gewölbe bis 10 m noch als auskömmlich anzusehen, während für Gewölbe von 10—14 m eine durch besondere Ziegel erreichbare Kappenstärke von $\frac{3}{4}$ Stein oder 18—22 cm angemessen ist. In der Gotik benutzte man im Ziegelgebiete sehr oft Steine von der Grösse eines Dreiviertelstückes z. B. $22 \times 14 \times 8$ cm, die man im unteren Wölbdrittel als Köpfe bei dreiviertelsteiniger Kappenstärke, im oberen Teile aber als Läufer bei halbssteiniger Wölbstärke benutzte. Kleine stark busige unbelastete Kappen kann man noch weit dünner ausführen, mit 10 cm oder selbst ein $\frac{1}{4}$ Stein Dicke. Vorausgesetzt, dass Kappen und Rippen statisch richtig in der Weise gebildet sind, dass die Kappen nur sich selbst haltende Füllflächen, die Rippen aber die eigentlichen Kraftträger sind, so würde nichts im Wege stehen, engmaschige Rippengewölbe von beliebiger Grösse mit $\frac{1}{4}$ Stein starken Kappen zu schliessen. Eine Grenze der Spannweite würde durch die Haltbarkeit der Rippen, nicht diejenige der Kappen vorgezeichnet sein.

Es bietet ein ganz besonderes Interesse, den Übergang vom Wölben auf Schalung zum freihändigen Wölben im Gebiete des Ziegelbaues zu verfolgen. Wenn es auch nicht möglich ist, hier die einzelnen Entwicklungsstufen darzulegen, so sollen doch die Unterschiede, die sich in Wölbform und Wölbstärke aussprechen, an einigen Beispielen in den Skizzen 295 I bis V gezeigt werden. Fig. I zeigt die noch auf Schalung hergestellten überhöhten Gewölbe des Domes zu Lübeck, welche aus mehreren Schalen übereinander in ringförmigen und ansteigenden Schichten mindestens $1\frac{1}{2}$ Stein dick gemauert sind. In Fig. II ist durch das Eintragen der Grundrisse in verschiedenen Höhen veranschaulicht, wie die unten vorspringenden Grate oben zu Kehlen werden, während der obere Teil des Gewölbes fast einer Pyramide ähnelt. Fig. III zeigt den Schnitt durch ähnliche Gewölbe in der Andreaskirche zu Verden, bei welchen die Schalbretter in der Richtung der Scheitellinie gelegt waren, jedoch einen gebogenen Linienzug machten, damit eine gekrümmte Scheitellinie erreicht würde.

Im Gegensatz dazu sind der Fig. I in Fig. IV gotische, freihändig hergestellte Chorgewölbe aus demselben Lübecker Dome und der Fig. III in Fig. V gotische Schiffgewölbe aus der Johanniskirche in Verden gegenübergestellt. Diese $\frac{1}{2}$ Stein starken Gewölbe zeigen bei starker Überhöhung ringförmige Schichten. Da die Gewölbe der Johanniskirche in Verden weit länger als breit sind, ergibt sich im Grundrisse (Fig. VI) eine verschiedene Schichtenrichtung in den Kappen.

Bei Fig. V hat man trotz der starken Busung und Überhöhung die Gurte so tief liegen lassen, dass die Hauptbinderbalken durchgeführt werden konnten. Fig. IV und V können als Typen für die gotischen Ziegelgewölbe gelten.

•295•



Kappenform und Wölbdruck.

Es ist schon weiter oben (Seite 48) ausgeführt, dass die Übertragung des Wölbdruckes in den Kappen, abgesehen von Zufälligkeiten, sich nach der allgemeinen Kappenform, weniger nach den Kappenschichten richtet. Es konnte daher eine allgemeine Betrachtung über die zweckmässige Wölbform angestellt werden, ohne Rücksicht auf die Ausführung, die dabei gewonnenen Resultate gelten im gewissen Sinne selbst für Gussgewölbe aus zugfestem Mörtel.

Die viel verbreiteten Annahmen, dass Gussgewölbe jede beliebige Gestalt annehmen könnten, und dass von ihnen kein Widerlagsdruck ausgeübt würde, sind nur bedingungsweise zutreffend. Wenn das Gusswerk starke Zugkräfte völlig zuverlässig aufnehmen kann, aber auch nur in diesem Falle, dann gestattet es allerdings eine gewisse willkürliche Entfernung von der günstigsten Drucklinie. Je erheblicher aber die Abweichung wird, um so grösser werden auch die Zugkräfte, um so ausgedehnter muss aber auch der widerstehende Querschnitt werden, d. h. starke Abweichungen von der Drucklinie erfordern grössere Wölbstärke. Den geringsten Materialverbrauch wird ein Gussgewölbe stets aufzuweisen haben, wenn es der Form der Stützzlinie folgt. Ausserdem wird es dann durch zufällige Beeinträchtigung der Zugfestigkeit, wie durch Temperaturrisse, Setzungen, nicht im Bestande gefährdet.

Gewölbe
mit Zug-
spannungen.

Sehr bedenklich ist die Voraussetzung, dass Gussgewölbe keinen Schub liefern. Natürlich lassen sich gerade oder wölbartig gebogene Platten aus Gussmasse bilden und einem Balken gleich auflagern; sie sind zwar weniger zuverlässig als eine Steinplatte, können aber immerhin bei guter Ausführung als Ersatz dienen. Solche Platten sind dann aber auf Biegung als Balken zu berechnen, wobei sich eine entsprechend grössere Dicke ergibt, ganz besonders bei starker Belastung.

Man verwechselt gar zu gern Balken und Gewölbe. Der Balken (ebenso die gebogene Platte) ist an den Enden nicht gespannt, liefert keinen Seitenschub und wird auf Biegung (Druck und „Zug“) beansprucht. Das Gewölbe hat eingespannte Enden, liefert Seitenschub, wird dafür aber nicht auf Biegung, sondern auf Druck beansprucht und kann bedeutend dünner sein.

Würde man eine gebogene Platte genügender Stärke einer grossen Schale gleich fertigmachen und nachher behutsam auf die Widerlager setzen, so wäre kein Schub zu erwarten, sonst aber kommen schon, solange der Mörtel noch weich ist, trotz der Lehrgerüste grosse Seitenpressungen auf die Widerlager, im vollen Umfange aber tritt der Schub auf, wenn aus irgend einem Grunde die so leicht eintretenden Risse das Gewölbe teilen. Da das Gusswerk meist sehr massig ist, überdies ein grosses spezifisches Gewicht zu haben pflegt, so werden die auftretenden Schubkräfte sogar ganz besonders gross; nicht ohne Grund haben die praktischen Römer ihre schweren Wölbungen durch ganz gewaltige Widerlager gestützt. Besonders zu warnen ist vor einer zu vertrauensseligen Verwendung weiter flacher Betondecken.

Bei den wenig elastischen Eigenschaften aller Stein- und Mörtelmaterialien ist es immer gewagt, mit ihrer ununterbrochenen Zugfestigkeit zu rechnen, will man sich nicht verhängnisvollen Zufälligkeiten aussetzen, so verzichtet man ganz darauf, sie auf Zug zu beanspruchen. Letzterer Standpunkt soll auch hier gewahrt bleiben und das um so mehr, als es sich darum handelt, Konstruktionen monumentaler Art auszuführen. Wer mit Aufmerksamkeit viele Hochbauten beobachtet, welche durch Jahrhunderte den Schwankungen der Stürme ausgesetzt waren, der wird wissen, wie übel der Baumeister beraten ist, der den Bestand eines Monumentalbaues von der Zugfestigkeit des Mörtels abhängig macht. Es wird ferner die Forderung aufzustellen sein, dass die Druckkräfte stets eine gesicherte Lage im Innern der Kappe haben, dass an keiner Stelle die Beanspruchung auf Druck das zulässige Mass überschreitet und dass unter der Einwirkung des Druckes kein Gleiten der einzelnen Teile aufeinander zu befürchten ist.

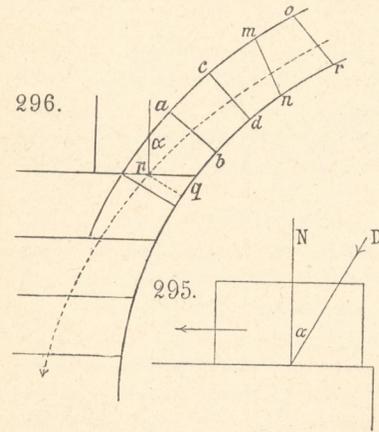
Gewölbe
allein mit
Druck-
spannungen.

Über die günstigste Form der Kappen nach Massgabe der Druckkurven ist Seite 52 und folgende ausführlich gehandelt, bezüglich der Druckbeanspruchung kann noch nachgefügt werden, dass in den meisten Fällen der in unbelasteten Kappen auftretende Druck bei richtiger Form der Kappen weit unter der zulässigen Grenze bleibt. Als letztere kann man etwa annehmen für gewöhnliche gut gebrannte Ziegelsteine in Kalkmörtel 7 kg auf 1 qcm, für poröse Steine 3—5 kg, für die rheinischen Schwemmsteine 2—3 kg. Harten Ziegelsteinen oder Klinkern

in Zementmörtel kann man 11 oder auch wohl 14 kg Druck auf 1 qcm zumuten, natürlichen Steinen je nach ihrer Härte und dem verwendeten Mörtel 7 bis 20 kg und mehr.

Das Gleiten der Steine bedarf noch einer Erörterung. Wenn ein Stein auf seine Unterlage einen schräg gerichteten Druck D (Fig. 295) ausübt, so wird er unter Umständen auf dieser Unterlage fortgleiten und zwar um so leichter, je schräger der Druck wirkt, oder mit andern Worten je grösser der Winkel α zwischen Druckrichtung und dem auf

die Unterfläche gefällten Lote N ist. Den Winkel α nennt man den Reibungswinkel, er ist sehr verschieden nach der Oberflächenbeschaffenheit der sich berührenden Körper. Während zwei polierte Steine vielleicht schon bei einem Neigungswinkel von etwa 10° zum Gleiten gebracht werden, kann der Druck zweier rauher Steine einen Winkel von $60-80^\circ$ zu der Senkrechten einnehmen, bevor ein Verschieben eintritt. Für die Gewölbe kommt selten ein Gleiten von Stein auf Stein in Frage, vielmehr handelt es sich hier um die Reibung zwischen Mörtel und Stein oder wohl ebenso häufig um die Verschiebung der Mörtelteile gegen-



einander. Neben der rauhen Oberfläche der Steine kommt es also ganz besonders auf die Beschaffenheit des Mörtels an, dessen Reibungswiderstand sich nach der Art seiner Bestandteile, seiner Mischung und Güte in den weitesten Grenzen bewegt. Nach stattgehabter Erhärtung wird bei mässig gutem Mörtel und mässig rauher Steinfläche der Reibungswinkel selten unter 60 oder 70° liegen. Sobald der Mörtel nur etwas angebunden hat, wird der Reibungswinkel über 45° betragen. Dagegen kann man bei dem noch weichen, breiartigen Mörtel von einem bestimmten Reibungswinkel überhaupt kaum sprechen; wenn er sehr dünnflüssig und beweglich ist, so kann schon bei weniger als 20° Neigung ein Gleiten eintreten, andererseits ermöglicht es ein guter, steifer Kalkmörtel, einen Ziegelstein an eine senkrechte Wand zu kleben.

Bei freihändig eingewölbten Kappen, deren Herstellung an die Verwendung eines steifen Mörtels gebunden ist, kann man gewöhnlich mit einem Reibungswinkel von etwa 45° rechnen. Andererseits sind Fälle vorgekommen, dass noch nicht geschlossene freihändige Kappenwölbungen durch ein sogleich nach dem Mauern vorgenommenes Hintergiessen mit dünnem Zemente zum Einsturze gebracht sind. Durch das Aufweichen der Mörtelfugen wird der Reibungswiderstand minimal geworden sein, eine statisch ungünstige Form der Kappen dürfte gleichzeitig vorgelegen haben.

Es empfiehlt sich, von den Maurern ein Wölben mit vollen Fugen zu verlangen, ohne dass auf der oberen Fläche des Gewölbes ein Übergiessen oder Überschlemmen mit Mörtel überhaupt gestattet wird. Ein solches kann nachträglich nach 8 oder 14 Tagen, soweit es überhaupt erforderlich ist, nachgeholt werden.

Die Gefahr des Gleitens erfordert eine Beachtung der Fugenrichtung im Durchschnitte und im Grundrisse. Stellt Fig. 296 den Durchschnitt durch eine Kappe oder irgend einen Bogen mit eingezeichneter Drucklinie dar, so darf zunächst der Winkel α am Anfänger nicht grösser werden als der zulässige Reibungs-

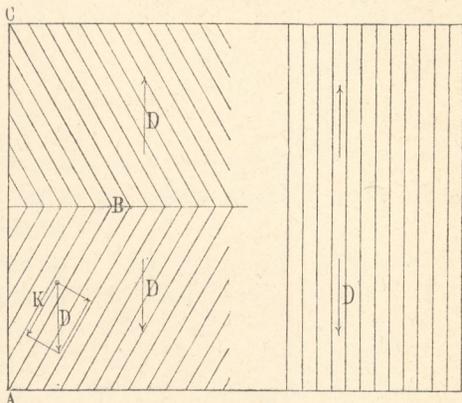
Gleiten der
Teile
aufeinander.

Lage der
Fugen mit
Rücksicht auf
das Gleiten.

winkel (weicher Mörtel vorausgesetzt). Sollte dieser Fall eintreten, so muss man die betreffende Fuge ganz oder wenigstens im vorderen Teile noch radial richten, wie es die punktierte Linie $p q$ andeutet. Es dürfen ferner die Wölbungen $a b, c d$ usw. nicht unter zu flachem Winkel von der Drucklinie getroffen werden. Diese Möglichkeit ist bei radialer Lage der Fugen in den uns angehenden Gewölben kaum zu fürchten, nach Massgabe des Reibungswinkels würden sogar Fugen zulässig sein, die nach oben etwas konvergieren wie $m n$ und $o r$. Natürlich wird man derartige Unregelmässigkeiten meiden, da ein einzelner Stein durch Zufall ohne Spannung und ohne Mörtelbindung sein und herabstürzen könnte.

297.

Die gleiche Beachtung verdient die Reibung der im Grundrisse in Erscheinung tretenden Lagerfugen — die kurzen Stossfugen kommen weniger in Frage. Die Gefahr einer Verschiebung tritt am wenigsten ein, wenn die Schichten senkrecht zur Druckrichtung laufen, ihre Lage bleibt aber immer noch gesichert, wenn sie von dieser günstigsten Richtung um weniger als den Reibungswinkel abweichen.



Man darf annehmen, dass der Wölbdruck nicht beeinflusst wird, so lange die Schichtenrichtung um weniger als den Reibungswinkel vom Lote zur Druckrichtung abweicht. (Das heisst mit anderen Worten, solange der Winkel zwischen Druck- und Schichtenrichtung nicht flacher ist als 90° weniger den Reibungswinkel.) In diesen Grenzen ist es ganz gleichgültig, wie auch immer die Schichten laufen mögen (vergl. darüber die Ausführungen S. 52 usw.).

Würde bei einer tonnenförmigen Kappe der Mörtel beim Mauern oder wenigstens beim Ausrüsten so steif sein, dass der Reibungswinkel 45° wäre, so dürfte demnach der Winkel zwischen den Schichten und der Wölbachse höchstens diesen Wert haben. Läge nun wie in Fig. 297 aber ein grösserer Winkel, z. B. 60° vor, so würde eine Bewegung der Schichten gegeneinander oder soweit diese verhindert ist, wenigstens eine Druckänderung bezüglich der Widerlager eintreten. Der Teil ABC der Schichten würde z. B. die Stirnmauer belasten und zwar mit einer aus dem Drucke D abgeleiteten Seitenkraft K , vermindert um den Reibungswiderstand. Die Kraft würde allerdings nicht sehr gross ausfallen, der Hauptschub bliebe immer den eigentlichen Widerlagern. Wenn das Gewölbe noch weiter erhärtet wäre, derart, dass der Reibungswinkel über 60° betrüge, so würden die Stirnmauern nun sogar sich durch Setzen oder Ausweichen entlasten können, worauf der ganze Schub wieder allein durch die unteren Widerlager aufgenommen werden müsste.

Die Möglichkeit, dass die Schichtenlage eine abweichende Druckverteilung erzeugt, wird am leichtesten vorliegen, solange der Mörtel noch weich ist, will man daher sicher gehen, dass die Druckübertragung wirklich nach der Wölbform vor sich geht, so ist es gut die Schichten von ihrer günstigsten Richtung senkrecht zum Drucke nicht um mehr als 45° abweichen zu lassen (bei der Forderung grösster Sicherheit event. auch nur 30°). Bei kuppelartigen Wölbungen, welche Druck in der Meridian- und der Ringrichtung bekommen, ist die Schichtenrichtung noch viel weniger, meist gar nicht beschränkt.

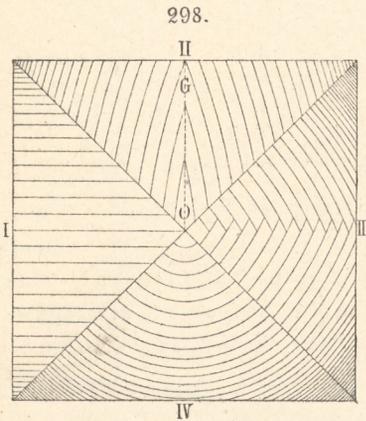
Eine Schichtenlage bedarf noch besonderer Erwähnung, es ist das die bei den Byzantinern, aber auch im weiteren Mittelalter geübte, neuerdings wieder durch MOLLER zu Ehren gebrachte Lage senkrecht zum Scheitel (Fig. 297 rechts). Sie erleichtert unter manchen Bedingungen das freihändige Mauern. Bei ihr fällt die Richtung von Schicht und Druck zusammen, es überträgt jede Schicht ihren Druckanteil für sich auf das Widerlager, hier kann natürlich auch keine Abweichung von der richtigen Druckverteilung auftreten.

Bei den meisten in der Praxis üblichen Schichtenlagen ist eine Beeinflussung der Druckrichtung durch die Richtung der Schichten nicht vor auszusetzen.

Anordnung der Schichten.

Schichten-
lage bei den
Alten.

Dürfen wir annehmen, dass die Schichtenanordnung für die Druckübertragung meist ohne Einfluss bleibt, so ist sie desto wichtiger für die Bequemlichkeit der Ausführung. Es sind daher in dieser Richtung in früher und neuerer Zeit mannigfache Versuche gemacht. Sofern die Alten ihre Gewölbe auf voller Schalung herstellten, war für sie die Schichtenlage von geringerem Werte, wölbte man aber freihändig, so gelangte sie sofort zu besonderer Bedeutung.

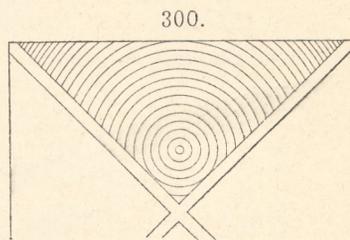
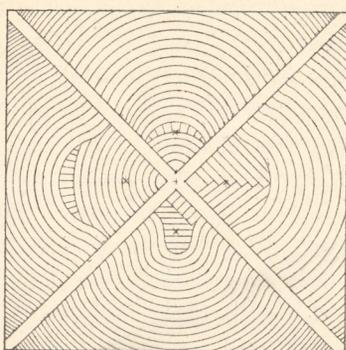


Gewöhnlich bildeten die Fugen bei den Tonnengewölben sowohl wie bei den aus Tonnen zusammengesetzten Kreuzgewölben gerade Linien, die bei den frühromanischen Gewölben sowohl „wagerecht“, als auch „gleichlaufend mit der Tonnenrichtung“ waren. (Kappe I in Fig. 298.) Als

man zu überhöhten Wölbungen überging, konnten die Fugen nicht mehr beide Eigenschaften zugleich haben. Blieben sie gleichlaufend mit der Tonnenachse, so stiegen sie nach der Mitte zu an; blieben sie dagegen wagerecht, so nahmen sie eine andere Richtung im Grundrisse ein. (II in Fig. 298.) Die erste Art, also die gleiche Richtung mit der Kappenachse, wurde in vielen Gebieten von Deutschland und im östlichen Frankreich gepflegt, während man in dem derzeit englischen Westfrankreich — jedenfalls im Anschlusse an die dort üblichen in horizontalen Ringen gewölbten Kuppelgewölbe — den zweiten Weg einschlug. Denselben verfolgt man auch in der Normandie und in England, er führt hier zu der Aufnahme der Scheitelrippe und bildet die Grundlage für die bei den späteren Netz- und Fächergewölben übliche Herstellungsart. Die mehr oder weniger wagerechten Schichten träten aber auch früh in andere Gegenden über. Von besonderem Einflusse auf die Richtung der Schichten wurde das freihändige Mauern, das in den Gebieten mit leicht zu bearbeitenden kleinen Werksteinen, am allgemeinsten aber in den Backsteingegenden zur Herrschaft gelangte. Das freihändige Aufmauern erforderte krumme und kurze Schichten, die man zu erreichen suchte, so gut es ging.

Dass man sich beim freihändigen Mauern nicht gar zu sehr an eine vorher ersonnene Schablone hielt, sondern sich zu helfen suchte, wie es am besten möglich war, zeigen in interessanter Weise die Gewölbe am Domkreuzgange zu Riga, die dem XIII. Jahrhundert angehören.

Es finden sich unmittelbar nebeneinander die in Fig. 299 skizzierten Anordnungen. Die Kappen sind, wiewohl Stirn- und Kreuzbogen spitz sind, kuppelartige Flächen, deren Gipfel-punkte seitwärts von der Wölbmitte an der durch ein Kreuz bezeichneten Stelle liegen. Die ringförmigen Schichten liegen unge-



fähr horizontal, der Schluss der Kappen hat fast in jedem Felde eine andere Lösung gefunden, da die in der Fig. 300 gezeichnete regelrechte Ringanordnung sich am Kappengipfel schlecht durchführen lässt.

Es mögen nun die wichtigsten Schichtenlagen etwas näher besprochen werden.

1. Schichten gleichlaufend mit der Firstlinie blieben in den Gegenden, wo man auf grössere Bruchsteine angewiesen war, bis in unser Jahrhundert üblich, sie waren fast typisch für die Gewölbe ohne Busung auf Schalung. Am liebsten benutzte man die leichten Tuffsteine; an der Alexandrikirche zu Einbeck sind solche bis 60 cm Länge und 20 oder 30 cm Dicke verwendet.

1. Schichten
gleichlaufend
mit der
Firstlinie

Ein freihändiges Mauern solcher Gewölbe würde nur ausführbar sein für sehr geringe Abmessungen, denn die oberen Schichten würden gleich scheinrechten Bogen sich halten müssen, was bei ihrer grossen Länge nicht wohl möglich ist. Bei hohen, spitzbogigen Kappen wird diese Schwierigkeit geringer, immerhin wird man aber für die oberen Schichten eine sichere Unterstützung durch Latten oder Schalbretter kaum entbehren können, meist wird man die ganze Kappe einschalen.

Der einfachste Fall liegt vor, wenn das Gewölbe weder eine Überhöhung noch eine Busung hat, die Fugen laufen parallel dem Firste und sind geradlinig wie beim einfachen Tonnengewölbe, es ist dabei ohne Einfluss, ob die Kappen nach einem runden oder spitzen Querschnitte geformt sind.

Kappen ohne
Busung und
Über-
höhung.

Bei der Ausführung

301.

in Ziegel- oder Bruch-

stein wird man in der

Regel vorher keine Ein-

teilung in Schichten vornehmen, der

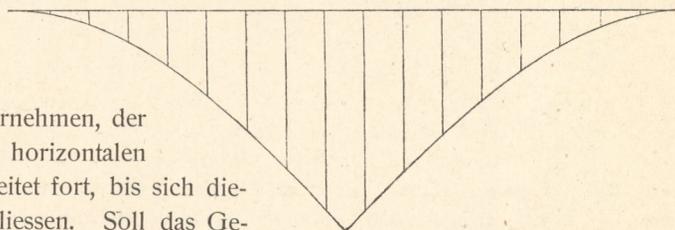
Maurer fängt unten mit horizontalen

Schichten an und schreitet fort, bis sich dieselben am Scheitel schliessen. Soll das Ge-

wölbe dagegen sauber in Werkstein ausgeführt werden, so kann man die Fläche abwickeln und in der Abwicklung die Einteilung vornehmen, Fig. 301. Jede Schicht

läuft geradlinig und in gleichmässiger Breite vom Schildbogen herüber. In Fig. 302 I

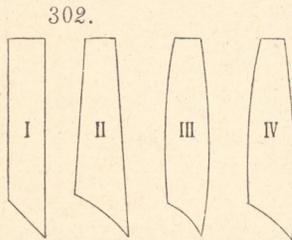
ist eine Schicht ausgetragen. Unbedeutende Abweichungen entstehen nur insoweit,



als die Projektion des Kreuzbogens von dem Schildbogen abweicht, z. B. bei spitzem Schildbogen und halbkreisförmigen Grate.

Kappen mit
Busung und
Über-
höhung.

Wenn ein überhöhtes Gewölbe vorliegt mit geradlinig steigendem Scheitel, so bekommt eine ausgetragene Schicht 302 II keine gleichmässige Breite mehr, sie erweitert sich vielmehr nach dem Grate zu. Bei busigen nicht überhöhten Gewölben wird die Schicht in der Mitte bauchig erbreitert (Fig. 302 III), eine Abwicklung der allseits gekrümmten Fläche ist nun nicht mehr möglich; ist die Kappe aber gleichzeitig überhöht und busig, so wird eine Schicht in der Mitte bauchig und zugleich nach dem einen Ende erbreitert. Fig. 302 IV.



Wenn die Überhöhung oder Busung unbedeutend ist, so sind auch diese Abweichungen für die einzelne Schicht so gering, dass sie sich durch die Fuge leicht ausgleichen lassen. Treten sie stärker hervor, so muss man bei Ziegelverwendung einen Teil der Steine etwas behauen oder von Zeit zu Zeit durch eine keilartige Schicht einen Ausgleich vornehmen. Bruchsteine wird man nach der nötigen Dicke aussuchen können. Werksteine müssen bei sauberer Ausführung entsprechend zugerichtet werden, was der Einfachheit wegen durch Einpassen oben auf der Rüstung geschieht.

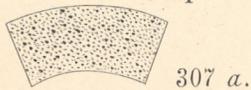
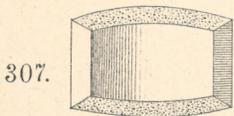
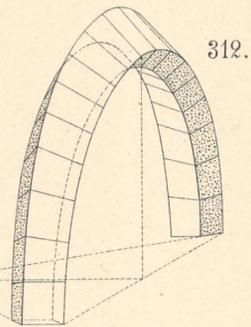
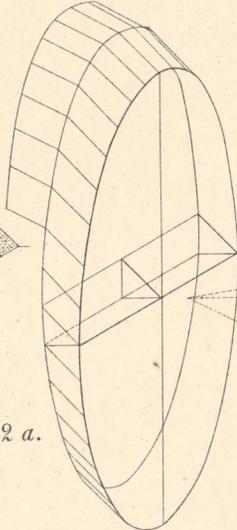
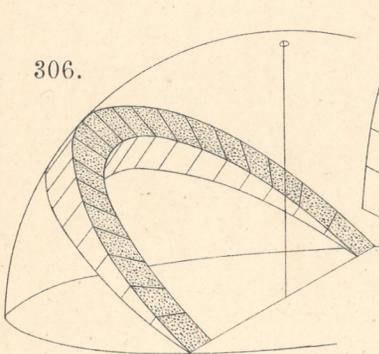
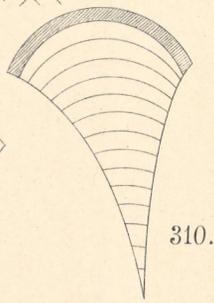
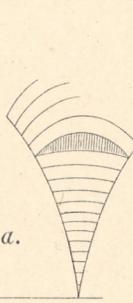
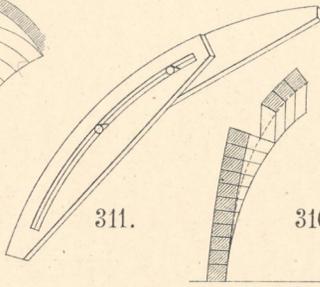
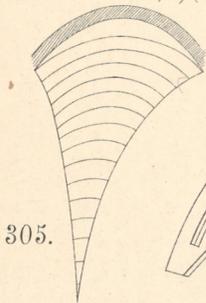
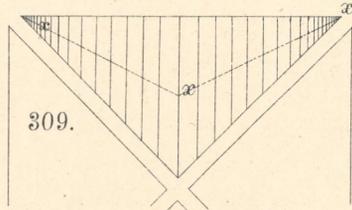
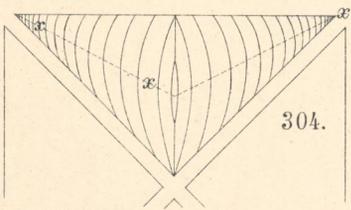
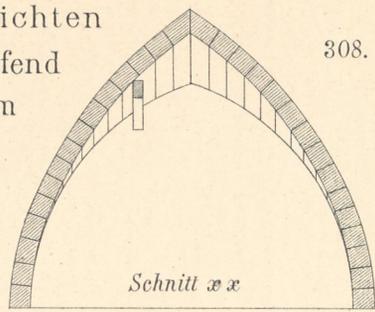
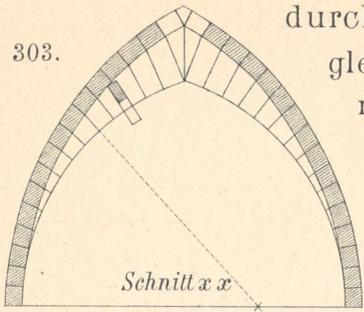
Spitze busige
Kappen.

Eine besondere Unregelmässigkeit ergibt sich bei spitzen busigen Kappen oben am Scheitel. Werden die Schichten radial zum Bogen gesetzt, so bleibt, wie Fig. 303 im Schnitte und Fig. 304 im Grundrisse zeigt, oben ein linsenförmiger Spalt, der durch zugehauene Steine auszufüllen ist. Seine Schliessung ist an älteren Gewölben zuweilen in ziemlich unregelmässiger Weise bewirkt; mit Ziegelsteinen ist sie immer noch leichter zu vollführen als mit Bruchsteinen. Bei dieser Wölbart mit radialen Fugen, die meist freihändig bewirkt wird, zeigen sich die Fugen im Grundrisse als gekrümmte Linien, siehe Fig. 304. Fig. 305 zeigt die innere Ansicht einer Kappe und in Fig. 306 ist die Gestalt einer ergänzten Schicht dargestellt, dabei ist zum leichteren Verständnisse angenommen, dass die Kappe ein Stück einer Kugelfläche bildet.

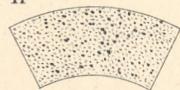
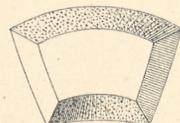
Ein wesentlich anderes Verfahren giebt VIOLLET-LE-DUC an in seinem *dictionnaire raisonné de l'architecture* etc. Bd. IV. S. 105. Danach erscheinen die Fugen im Grundrisse als Gerade parallel der Scheitellinie. Die Lagerfugen sind nicht wie vorher radial gerichtete Ebenen, sondern gebogene kegelartige Flächen. Zum Vergleich ist diese Wölbart in den Figuren 308 bis 312 der vorigen gegenübergestellt.

Wird jede Schicht bis zu ihrem Schluss durch einen verschieblichen Lehrbogen unterstützt, der am besten jedesmal unter der oberen Kante der zu setzenden Schicht aufgestellt wird, so wird dieser Lehrbogen bei dem ersteren Verfahren radial gerichtet sein (Fig. 303), bei dem Verfahren nach VIOLLET dagegen jedesmal senkrecht (Fig. 308). Da die Schichtlänge von unten nach oben beständig wächst, empfiehlt VIOLLET-LE-DUC zur Unterstützung zwei nebeneinander mittels Nut und Zapfen verschiebliche Bogenbretter, die sich durch Ausziehen beliebig verlängern lassen (Fig. 311). Wenn der Maurer nur darauf achtet, dass die Seitenfläche dieser Lehre jedesmal genau senkrecht steht, so wird ihm durch dieselbe die Fuge genau vorgezeichnet, er wird in jeder Schicht einen kleinen Ausgleich vornehmen, da die Enden um ein geringes schmaler sind, als die Mitte. So wird der Maurer ohne sein Zuthun veranlasst, jeder Schicht eine ihr zukommende Form zu geben,

Einwölbung spitzer busiger Kappen
 durch Schichten
 gleichlaufend
 mit dem
 First.



I



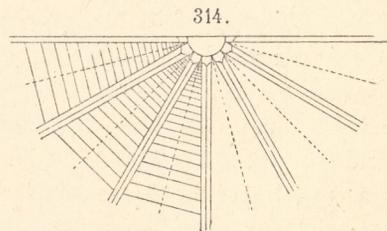
II

bis er in der Mitte ankommt, wo sich ein regelrechter Schluss des Scheitels von selbst ergibt. Es braucht dem Maurer nichts weiter gegeben zu werden, als die Pfeilhöhe für die längste Schicht im Scheitel oder richtiger der Halbmesser seiner Lehre, alles andere ergibt sich dann von selbst. Es wird am angegebenen Orte empfohlen, das untere Drittel wie eine gewöhnliche Mauer ohne Lehre aufzuführen, wobei der Maurer sich den jeder Schicht gebührenden Stich auf der Lehre entnimmt, indem er einen Faden von Schichtlänge als Sehne auf den Bogen legt. Es ist dieser Erklärung eine Skizze beigegeben, welche die Schichten im unteren Drittel zeigt, dieselben haben keine Biegung nach oben, scheinen vielmehr ihren Stich seitwärts zu haben. VIOLLET begeht hier eine kleine Ungenauigkeit; wenn in der von ihm angegebenen Weise das untere Drittel gemauert würde, so entstände da, wo die Verwendung des Lehrbogens beginnt, eine linsenartige Öffnung und ein Knick in der Kappenrichtung, wie Fig. 310 a in Schnitt und Ansicht zeigt. Um diesen Mangel auszugleichen, würden hier kleine unregelmässige Übergänge nötig werden, die lästig und hässlich werden können. Es dürfte deshalb richtiger sein, auch die unteren Schichten, selbst wenn sie ohne Lehrbogen gewölbt werden, schon etwas nach oben zu krümmen, wie es auch in der Ansicht 310 angenommen ist.

Vergleicht man die beiden Wölbverfahren, so ist unverkennbar beim zweiten ein Vorteil darin zu sehen, dass die richtige Stellung des Lehrbogens sich leicht überwachen lässt, und dass sich eine regelmässige Lösung für den Scheitel ergibt. Ungünstiger ist dagegen die Gestaltung der Lagerfuge, die beim ersten Verfahren in einer Ebene liegt, hier aber eine komplizierte, kegelförmig gebogene Fläche ist. Die Mantelflächen der Kappen sind auch voneinander abweichend, bei der ersten Konstruktion ergibt sich eine am Fuss und Scheitel etwa gleich gekrümmte kugelförmige Fläche. Die Mantel- oder Leibungsfläche einer jeden einzelnen Schicht hat im zweiten Falle annähernd die Gestalt eines schräg steigenden Cylinders (Fig. 312 a). Es stellt sich eine Schicht nach Fig. 312 dar. Würde man genau hergestellte Werksteine verwenden, so entstände beim ersten Verfahren eine einfachere Form (Fig. 307), beim zweiten die unbequemere Form Fig. 313. Der Werkstein 307 hat nur zwei gekrümmte Flächen, nämlich die Leibungen, die Lager- und Stossflächen sind eben; der Werkstein 313 hat nur ebene Stossflächen, während Leibungen und Lager gebogen sind. Wenngleich keine genau zugerichteten Steine verwendet zu werden pflegen, wird die letztere kompliziertere Form sich auch beim Bruchsteine und selbst dem Ziegelsteine immer noch in der Schwierigkeit aussprechen, dem Steine seine richtige Lage anzuweisen.

2. Horizontal laufende Kappenschichten treten besonders auf an den freihändig aufgeführten Gewölben. Die parallel mit dem First laufenden Schichten haben den Mangel, dass die recht langen Scheitelschichten ein freihändiges Mauern etwas erschweren. Günstiger sind schräg laufende Schichten, wie sie der Grundriss 298 III zeigt, sie können eine verschiedene Richtung erhalten. Besondere Beachtung erfordert die Lage, welche sich bildet, wenn alle Schichten horizontal laufen, oder richtiger wenn bei jeder Schicht die Endpunkte in gleicher Höhe liegen. Auf gewöhnliche Kreuzgewölbe ohne Überhöhung hat diese Änderung gar keinen Einfluss, da die Schichten dem Scheitel bei horizontaler Lage gleichlaufend sind (siehe 298 Kappe I), bei geringer Überhöhung ist auch kein grosser Vorteil erreicht, (Kappe II), die Schichten sind oben nur wenig kürzer, verlangen aber in der Scheitellinie *OG* eine lästige spitzwinkelige Verschränkung. Erst bei starker Überhöhung werden die horizontalen Schichten für ein einfaches Kreuzgewölbe

günstiger, die Verschränkung wird mehr rechtwinkelig, III in Fig. 288. Es lässt sich sogar eine Verschränkung nach Kappe IV ganz vermeiden, wie es die Gewölbe zu Riga — Fig. 299 zeigen. Trotzdem hier Schild und Gratabogen spitz



2. Horizontal laufende Kappenschichten.

sind, ist keine Scheitelkante vorhanden, die Schichten laufen gleich den horizontalen Ringen einer Kuppel in stetiger Krümmung über den Scheitel fort, eine Anordnung, die beim Fehlen der Scheitelrippe als besonders günstig zu bezeichnen und auch für Neuausführungen stark überhöhter Gewölbe sehr zu empfehlen ist. Ist die Busung mässig, so werden die Ringe etwa konzentrisch um die Wölbmitte laufen, ist dieselbe aber sehr hoch gezogen, so wird man in der Nähe ihres Wipfels von der horizontalen Schichtführung etwas abweichen können, wie es die Rigaer Gewölbe bereits zeigen.

Die Überhöhung der norddeutschen Ziegelgewölbe ist oft ganz überraschend gross, Fig. 295 IV zeigt eine Aufsicht auf die Gewölbe des Domes zu Lübeck.

Noch mehr als für die einfachen Kreuzgewölbe haben die Horizontalschichten Wert für die reichen Fächer und Netzgewölbe, besonders wenn deren Bogen sämtlich mit gleichem Halbmesser geschlagen sind. In diesem Falle stehen im Grundrisse die Schichten senkrecht zu der Winkelhalbierenden; im Grundrisse und Aufrisse ergibt sich eine gleich regelmässige Bildung (vergl. 314), weshalb diese Schichtenlage für derartige Wölbformen allgemein üblich wurde.

Bei der meist geringen Entfernung zwischen den Rippen der Fächergewölbe können selbst Kappen ohne busige Schichten freihändig eingemauert werden. Die unteren Schichten liegen bei ihrer geringen Neigung sicher aufeinander, die oberen nehmen immer mehr die Eigenschaft von scheinrechten Bogen an. Sind die oberen Schichten sehr kurz, so werden sie sich zuverlässig zwischen den Rippen halten, werden sie aber länger, so empfiehlt es sich, von Zeit zu Zeit eine unterstützende Latte unter einer Schicht zu lassen, bis das Feld geschlossen ist. Solche Latten verringern einstweilen den Schub und können im Notfall als Spreizen wirken, wenn der vor Wölbabschluss bedeutende Schub der scheinrechten Schichten sich nicht genügend im Gleichgewichte halten sollte. Die letzten Schichten sind recht fest zwischen die vorhergehenden einzusetzen, so dass sie auf alle anderen Schichten eine seitliche Verspannung übertragen können. Werden nun die unterstützenden Latten und die Lehrbogen unter den Rippen fortgenommen, so werden, falls der Mörtel noch eine geringe Dehnbarkeit besitzt, die Druckspannungen sich umsetzen, die Wirkung der scheinrechten Bogen tritt mehr zurück, dafür verspannt sich die Kappe von Schicht zu Schicht. Sie hat die Form eines Ausschnittes aus einem Tonnengewölbe und wirkt auch dem entsprechend. Ein geringes Durchschlagen der scheinrechten Schicht nach unten ist zu erwarten.

Natürlich haben auch hier busige Schichten ihre Vorzüge vor allen Dingen in den oberen Teilen der Kappen, sie bewirken eine andere Druckübertragung auf die Rippen, verringern aber ganz besonders während des Einwölbens den soeben besprochenen Seitenschub der Einzelschichten gegen die Rippen. Für eine saubere Ausführung wird auch hier der ausziehbare Lehrbogen gute Dienste leisten können, meist wird man aber von seiner Verwendung absehen und die Schichten völlig frei hinsetzen.

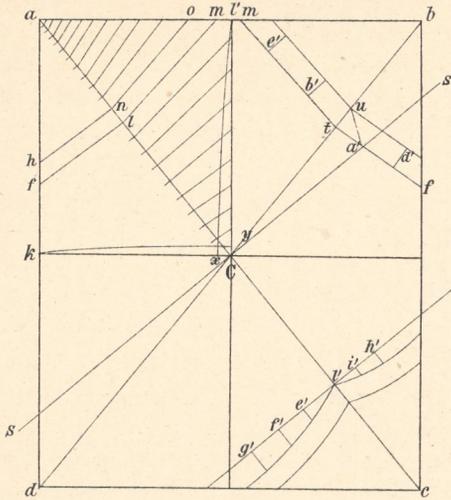
3. Schichten
senkrecht
zum
Kreuzgrate.

3. Schichten, deren Fugenebene senkrecht zum Diagonalebogen steht (Fig. 315), sind für gewöhnliche quadratische oder nahezu quadratische Gewölbe günstig. Sie haben für die Ausführung den doppelten Vorteil, dass ihre Lagerfugen in einer Ebene über den Graten fortlaufen und dass sie sich in dem Scheitel unter 90 Grad verschränken, letzteres allerdings nur bei quadratischen Feldern. Die Ebene der Fugen steht senkrecht zu der Vertikalebene des Kreuzgrates und geht durch den Mittelpunkt des letzteren. Im Diagonalschnitte (Fig. 315a) erscheint daher die Fugenebene als eine gerade radial gerichtete Linie. Die einzelne Schicht kann geradlinig sein oder busig.

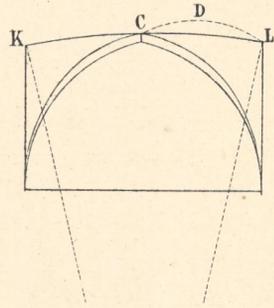
In Deutschland ist diese Schichtlage in der letzten Zeit ziemlich verbreitet gewesen, wir wollen daher in Fig. 315 bis 316 die graphische Darstellung der-

Schichten senkrecht zum Gratbogen.

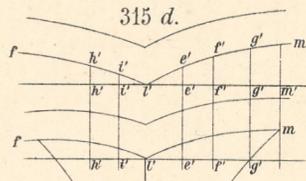
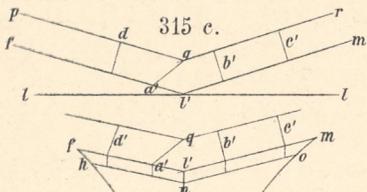
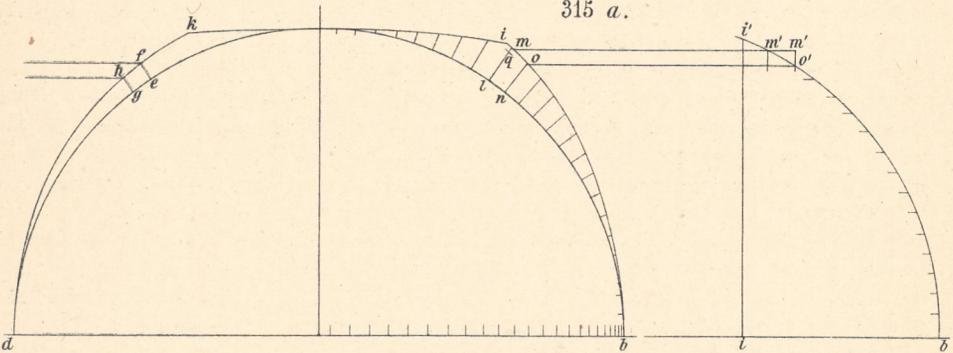
315.



316.



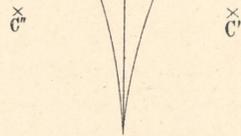
315 a.



315 b.



315 e.



\times

\times

selben zeigen. Obwohl die Ausführung nicht nach einer derartigen Zeichnung, sondern nach dem Auge eines geübten Maurers geschieht und daher immer einige Abweichungen und Unregelmässigkeiten zeigt, so folgt sie doch dem daraus ersichtlichen Prinzip.

In Fig. 315 ist der Grundriss eines rippenlosen rechteckigen Kreuzgewölbes, in Fig. 315a der Diagonalschnitt gezeichnet, der den hier halbkreisförmigen Kreuzgrat in wirklicher Ansicht, die beiden Stirnbogen aber in Projektion zeigt, die wirkliche Gestalt einer Stirnbogenhälfte ist seitwärts angegeben. Fig. 316 stellt den Querschnitt in kleinerem Massstabe dar, die Scheitelpunkte der Seitenbogen K und L können gleiche oder verschiedene Höhenlage mit dem Schlusspunkte C haben, die verbindenden Scheitellinien KC und CL können geradlinig oder gebust sein. Liegt die Wölbmitte höher als die Stirnbogenscheitel, so legt man am einfachsten durch die drei Punkte KCL ein Kreisstück als Firstlinie. Bei sehr stark busigen Schichten nimmt man auch die Scheitellinie stärker busig an (siehe CDL), damit sie die Last der hier zu einem Grate zusammenschneidenden Schichten sicher übertragen kann. Bei entsprechenden Verhältnissen zwischen Busung und Überhöhung kann die Scheitellinie als Grat oder Kehle stärker hervortreten. In solchen Fällen ist die Verwendung einer besonderen Scheitelrippe unter Umständen für die Ausführung bequem und aus statischen Gründen geboten, sie verdankt ihre Entstehung überhaupt der Anwendung von Schrägschichten.

Handelt es sich darum, die Wölbungen zu zeichnen, so wird auf dem Diagonalbogen die Schichtenteilung vorgenommen (z. B. nach Ziegelschichten), durch die Teilpunkte l, n usw. werden Radien nach dem Mittelpunkte gelegt. Die Verlängerung lm und no dieser Radien bezeichnet die Ansicht der Fugen, die auch, wenn sie busig sind, als gerade Linien erscheinen. Die Teilpunkte auf dem nebengezeichneten (wirklichen) Schildbogen sind leicht durch wagerechtes Hinüberziehen der Punkte mo usw. nach m_1, o_1 zu finden.

Die Teilpunkte der beiden Bogen können leicht in den Grundriss getragen werden (siehe n, om usw. in Fig. 315). Werden nun je zwei entsprechende Punkte verbunden, so entstehen die Grundrisse der Fugen lm, no usw. Sind die Fugen in Wirklichkeit gerade Linien, so sind sie es auch im Grundrisse, sind sie gebust, so werden sie auch im Grundrisse eine schwache Krümmung erhalten, die man durch Projektion einzelner Punkte ermitteln kann. Das Einzeichnen solcher gekrümmter Fugen soll nicht weiter behandelt werden, da es auf einfache Aufgaben der darstellenden Geometrie hinausläuft und für die Praxis wertlos ist.

Wenn erforderlich, so lässt sich auch unschwer die Projektion des Gewölbeanfanges auf eine Ebene senkrecht zur Diagonale zeichnen, was in Fig. 315b geschehen ist. Aus dieser findet man den niedergeschlagenen Grundriss einer Schicht Fig. 315c, welcher den Winkel an dem Grate zeigt und das Einzeichnen der Stossfugen gestattet. Sind die Schichten busig, so wird die Krümmung in diesen niedergeschlagenen Grundriss eingetragen, Fig. 315d, von hier kann sie in die Ansicht 315e zurückprojiziert werden.

Ganz in derselben Weise würde sich der Verlauf der Lager und Stossfugen in einem Kreuzgewölbe mit Rippen finden lassen, wobei nur statt der Gratkante die beiden Aufsatzlinien der Rippen zu Grunde zu legen wären.

Für die praktische Ausführung sind, falls nicht zugerichtete Werksteine in Frage kommen, derartige Projektionen der Schichten meist überflüssig. Wenn die Lehrbogen für die Grat- und Scheitelkanten aufgestellt, oder bei Rippengewölben die Rippen eingewölbt sind, so braucht man einem bewanderten Maurer nur anzugeben, dass die Schichten senkrecht zum Kreuzbogen laufen sollen und ihm ausserdem mitzuteilen, ob und nach welchem Stiche oder Halbmesser die Schichten gebust werden sollen, er wird dann imstande sein, die Kappen richtig einzuwölben. Gebuste Schichten sind natürlich dem freihändigen Mauern immer viel günstiger als gerade.

Ungleiche
Breite der
Schicht.

Die Figuren 315 und 315a zeigen, wie die Fugenlinien in Grund- und Aufriss vom Diagonalbogen aus divergieren, mithin die einzelnen Schichten nach dem Schildbogen und der Scheitellinie zu an Stärke zunehmen. Bei kleineren Spannungen des Gewölbes ist diese Zunahme indes nicht bedeutend und lässt sich in der Praxis gewinnen, teils indem man die einzelnen Ziegel, die niemals eine völlig gleiche Stärke haben, nach ihrer Stärke sortiert, teils aber auch durch eine blosser Verstärkung der Mörtelfugen nach den Gurtbogen zu. Wird der Breitenunterschied grösser, so kann man in einzelnen Schichten die Steine nach dem einen Ende zu etwas dünner hauen, oder es kann ab und zu eine keilförmige Schicht eingeschaltet werden. Das Zuhauen der Steine muss aber sehr sauber ausgeführt werden, ein durchgängiges Hauen meidet man bei Gewölben mit Rücksicht auf die Festigkeit lieber ganz.

Wird bei ausgedehntem Gewölbe die Breitenverschiedenheit in den einzelnen Schichten so gross, dass sie sich mit den gewöhnlichen Mitteln beim Mauern nicht mehr ausgleichen lässt, dann geht man besser von der konsequenten Durchführung der Fugenlage senkrecht zum Grate ab. Es können zwei nachstehend unter 4 und 5 noch aufzuführende Abarten der vorgeschriebenen Konstruktion gewählt werden.

Es ist aber durchaus nicht gesagt, dass sich „stets“ die Schichten vom Kreuzgrate nach dem Schildbogen verbreitern, es kann sogar der umgekehrte Fall eintreten. Wenn der Schlussstein sehr hoch, die Spitze des Schildbogens aber sehr tief liegt, so kann die Projektion der letzteren in Fig. 317 nach dem Punkte n_1 , statt nach n fallen, d. h. sie kann unterhalb des Kreuzgrates liegen. Das würde aber, wie ein weiterer Verfolg der Zeichnung bald ausweist, zu Schichten führen, die gerade entgegengesetzt sich vom Grate nach dem Schildbogen verschmälern.

4. Geneigte
Parallel-
schichten.

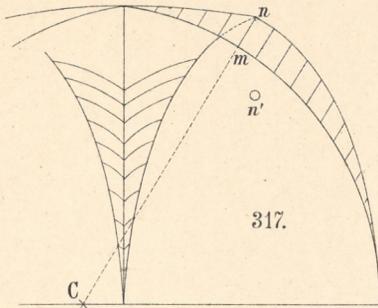
4. Nur die längste Schicht liegt in einer Ebene senkrecht zum Gratbogen, die übrigen Schichten laufen in parallelen Ebenen. Im Diagonalschnitt Fig. 317 legt man die längste Fuge mn radial nach dem Zirkelpunkte C . Auf dem Kreuzbogen teilt man dann die Schichtbreiten auf und legt durch die Teilpunkte parallele Linien zu mn . Damit ist die Projektion der Schichten ermittelt, die man in den Grundriss oder andere Ansichten übertragen kann. Die unteren Schichten steigen von der Diagonale zum Schildbogen schräg an. Wenn man die Stärke der Steigung dem Maurer für die unteren Schichten angiebt, so wird beim gleichmässigen Weitermauern schon von selbst für die langen Schichten etwa die gewünschte Richtung entstehen. Für einfache Fälle wird man ein Austragen der Fugenrichtung nach der Zeichnung nicht nötig haben, man lässt nach ungefährender Schätzung die unteren Schichten etwas schräg vom Kreuzgrate aus steigen und mauert die Kappe mit gleich breiten Schichten bis zur Mitte auf, den Schichten giebt man eine angemessene Busung.

5. Senkrecht
stehende
Parallel-
schichten.

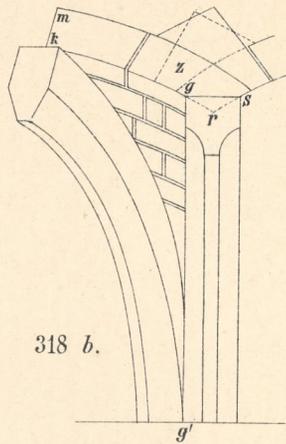
5. Alle Schichten sind im „Grundrisse“ einander parallel und senkrecht zur Diagonale gerichtet. Im Diagonalschnitte liegt keine der Fugen mehr radial, vielmehr stellen sich dieselben sämtlich als parallele senkrechte Linien dar. In den Figuren 318 bis 318b ist diese Schichtenlage gezeichnet, auf deren nähere Erklärung verzichtet werden kann.

Man wird auch bei dieser Schichtenrichtung jeder Schicht eine Busung geben. Eine geringe Busung würde selbst dann entstehen, wenn jede horizontale Linie auf der Kappe eine gerade sein sollte, beispielsweise bei einem Einwölben auf horizontalen Schalbrettern.

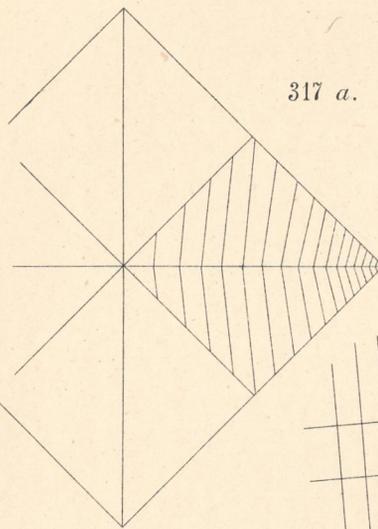
Richtung der Schichten.



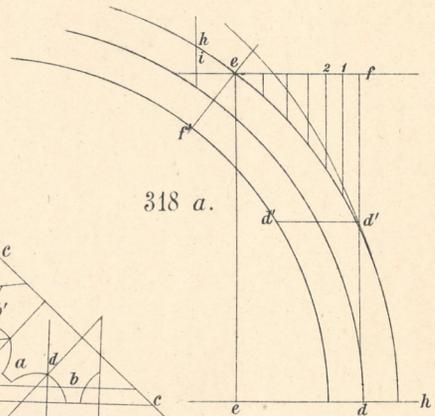
317.



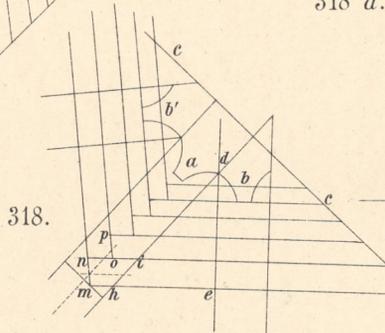
318 b.



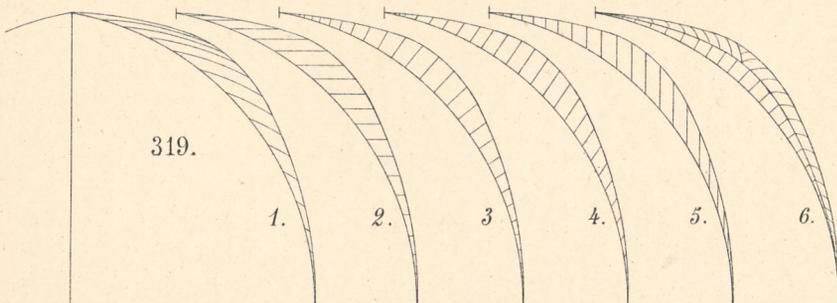
317 a.



318 a.



318.



319.

1. 2. 3. 4. 5. 6.

Die verschiedenen Schichtenlager im Diagonalschnitt.

Wollte man die Kappenschichten gerade machen, was immerhin ausführbar wäre, dann würden die horizontalen Linien auf der Kappe eine kleine, unschöne Krümmung nach innen aufweisen. Bei Verwendung von Kappen mit einer stärkeren Busung würde diese am besten senkrecht nach oben abgesetzt, wobei nach dem von VIOLLET-LE-DUC empfohlenen Verfahren ein senkrecht gestellter verschieblicher Lehrbogen benutzt werden könnte.

Es sind im vorstehenden fünf verschiedene Schichtenanordnungen beschrieben, die sämtlich ihre Berechtigung haben. Um die Unterschiede der fünf Konstruktionen klar hervortreten zu lassen, sind sie in Fig. 319 im Diagonalschnitte vergleichsweise nebeneinander gestellt, 1. zeigt Schichten fortlaufend mit dem Kappenfirste, 2. Horizontalschichten, 3. Radialschichten senkrecht zum Grate, 4. Parallelschichten in schräger und 5. solche in senkrechter Richtung. Der Vollständigkeit wegen ist noch eine Anordnung 6 beigefügt, bei der die Schichten senkrecht zum Grate, zum Gurte und zum Firste liegen und sich in der Mitte der Kappe zusammenschneiden bzw. verschränken.

Zusammenstellung der Schichtlagen.

Welche Schichtenlage zu wählen ist, wird von Fall zu Fall zu entscheiden sein. Für das freihändige Wölben möge jedoch die Aufmerksamkeit wieder den neuerdings viel zu sehr vernachlässigten horizontalen Schichten bei kräftiger Busung zugelenkt sein.

Zuschnittenschnitte der Kappenschichten.

Bei Gewölben mit vortretenden Gurt- und Rippenbogen, deren Profile mit einem Rückenansatz in die Kappen einbinden, treten die Schichten überhaupt nicht zusammen, sondern schneiden sich in einfacher Weise gegen den Rücken, (Fig. 320). Die Wölbsteine sind hier so zu behauen, dass sie sich gut anschliessen. Die Richtung der Schichten ist ziemlich gleichgültig, es hat wenig Wert, sie senkrecht gegen die Diagonale zu führen, man hat höchstens den Zusammenschnitt an den Scheitellinien zu beachten, der beim Vorhandensein einer Scheitelrippe aber auch fortfällt.

Anders verhält es sich bei Bogen, deren Profil ohne Rückenansatz sich unter die Kappen legt, hier schneiden die Schichten über den Bogen zusammen, ihre gegenseitige Richtung ist daher von Bedeutung. Liegt die oben besprochene jetzt viel verwendete Lösung vor, bei welcher die Schichten den Diagonalbogen überkreuzen, so geht hier die eine Schicht direkt in die andere über, auf den Gurten findet dagegen eine Verschränkung statt, die bei rechtwinkeligem Schnitte sich regelmässig nach Fig. 321 oder 322 bildet, bei spitzem Schnitte ist ein Verhauen der Steine nötig, während sich bei unsymmetrischem Zusammentreffen nach Fig. 323 ein Versetzen der Verschränkung bildet. Eine Verschränkung erhalten auch die Kappenschichten in den Scheitellinien, wie die perspektivische Ansicht Fig. 325 zeigt.

Ver-schränkung.

Auf dem Rücken des Diagonalbogens verspannen sich also die zu den verschiedenen Jochen gehörigen beiden Bogen der Kappenschicht einfachsten Falles nach Fig. 324a, es müssen daher die Anfänge beider Bogen eigens zugehauen und hierdurch geschwächt werden. Es ist daher besonders bei grossen Spannungen ratsam, eine Verstärkung des Verbandes an dieser Stelle zu suchen, welche am

leichtesten nach der in der perspektivischen Ansicht Fig. 324 bei g' gezeigten Weise bewirkt wird, so dass die beiden Bogen abwechselnd mit einem Läufer k schliessen und mit einem Binder l anfangen. Auf dem Rücken der Kreuzrippe müssen die einzelnen Ziegel verhauen werden. Es kann dieses Verhauen beschränkt werden, wenn die Rücken der Rippen die in Fig. 324 b gezeigte Gestaltung erhalten.

Gerade umgekehrt wird die Verbindung der Schichten, wenn dieselben gleichlaufend mit dem Gewölbescheitel sind, sie werden dann die Gurtbogen überkreuzen und sich auf den Kreuzbogen verschränken; die Scheitelverschränkung fällt ganz fort.

Rippenlose
Gewölbe.

Die Ausführung der rippenlosen Gewölbe geschieht in derselben Weise wie diejenige der Rippengewölbe, nur erfordert hier die Herstellung der Gratkanten noch mehr Beachtung. Bei den Bruchsteingewölben des früheren Mittelalters war die Herstellung des Grates immer ein etwas wunder Punkt. Bei sorgfältiger Ausführung verwandte man am Grate mehr oder weniger zugerichtete Werkstücke. Oft begnügte man sich damit, nur einzelne Eckbinder einzuschalten, sonst aber die Steine mit einer Fuge an der Kante zusammentreten zu lassen. Die Vernachlässigung gerade der tragenden Kanten war aber bedenklich, ihre schwere Herstellung trug zum guten Teile zur Einführung der stützenden vorspringenden Rippenbogen bei. Immerhin sind aber im ganzen Mittelalter, besonders in der Profankunst, auch viele rippenlose Gewölbe ausgeführt, wie sie ja auch bei modernen Bauten wieder weitgehende Verwendung finden.

Bei ihnen wird aber die in Fig. 324 gezeigte Verstärkung des Diagonalebogens zur Notwendigkeit. Der Verband wird ebenso bewirkt und unterscheidet sich von dieser Abbildung nur in der Weise, dass das Rippenprofil wegfällt, dagegen an dem Ziegel bei g' das weggeschlagene Dreieck sitzen bleibt. Meist behält dieser Ziegel seine rechtwinkelige Gestaltung jedoch nicht, sondern er muss, je näher dem Scheitel des Gewölbes, desto stumpfwinkliger verhauen werden.

Zellen-
gewölbe.

Indes auch dieses Verhauen lässt sich vermeiden, es entstehen hierdurch jene in den Ostseeländern vorzüglich heimischen, in der Regel jedoch nicht nach dem Kreuzgewölbe, sondern nach komplizierteren Systemen angelegten zellenartigen Gewölbe, die so gebildet sind, dass die Gratkante in jedem senkrecht zu ihr geführten Schnitte einen rechten Winkel zeigt. Fig. 326 b.

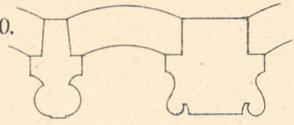
Zwischen den Gratkanten, die meist reiche Stern- oder Netzformen darstellen, erheben sich die Kappen ähnlich kleinen Pyramiden oder hochgezogenen Mulden. Die Lagerfugen liegen in einer senkrecht zum Bogen (radial) gerichteten Ebene und bilden an der Kante einen rechten Winkel, der einen einfachen Steinverband ermöglicht Fig. 326 c. Gewöhnlich liegen die Fugen zu einer durch den Grat gelegten senkrechten Ebene symmetrisch, so dass sie jederseits mit dieser Ebene einen Winkel von 45° bilden.

Auf letztere Annahme stützt sich die an Fig. 326 und 326 a gezeigte Konstruktion der Fugen. Es ist der Einfachheit wegen ein gewöhnliches Kreuzgewölbe und eine geradlinige Fugenrichtung angenommen, da es sich nur um eine Projektionsaufgabe handelt, welche für die Praxis wenig Bedeutung hat.

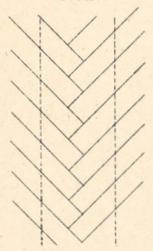
Man mache zunächst auf den niedergeschlagenen Bogen eine Einteilung für die darauf zu setzenden Ziegel. Aus den verschiedenen Teilpunkten des Bogens über ab ziehe man Radien in beliebiger Länge, schneide diese durch einen konzentrischen Bogen in beliebigem Abstände ab, ziehe die Linie ll parallel ab in demselben Abstände und projiziere dann die Teilpunkte des

Zuschnitt der Schichten.

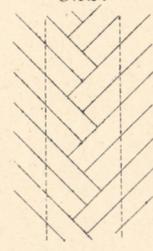
320.



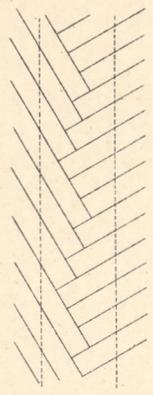
321.



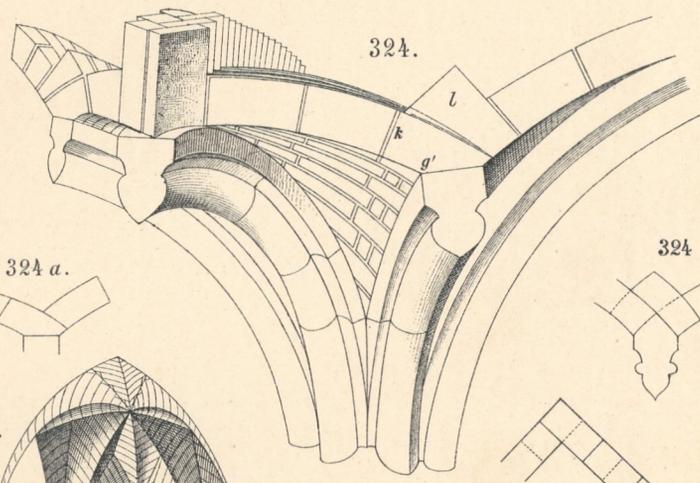
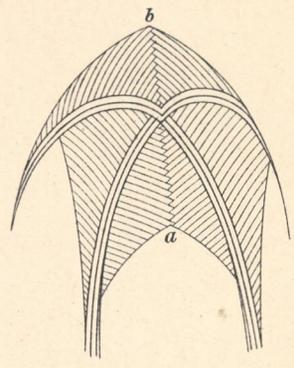
322.



323.



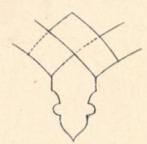
325.



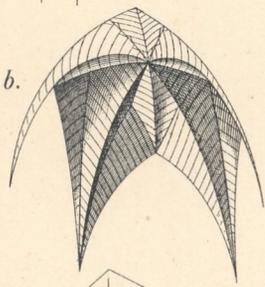
324 a.



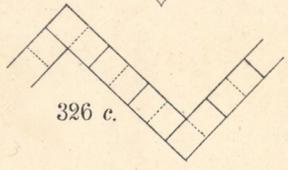
324 b.



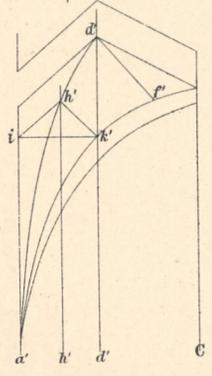
326 b.



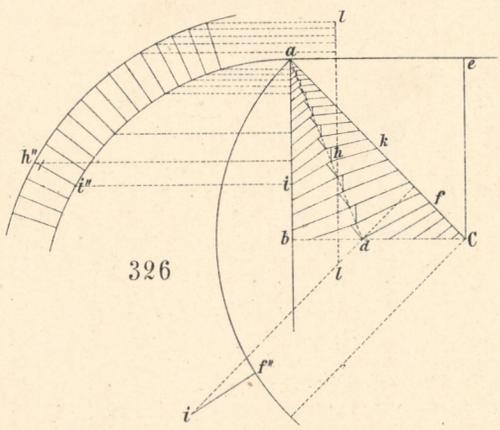
326 c.



326 a.



326



Bogens herab auf ab , die auf dem konzentrischen durch die Radien abgeschnittenen auf ll und verbinde die entsprechend auf ab und ll gefundenen Punkte miteinander, so sind die Grundrissprojektionen der Fugen eines Kappenteiles gefunden. Ebenso ermitteln sie sich für den daran stossenden Kappenteil, wodurch sich zugleich die Verschränkungen über ad ergeben.

Die Fig. 326a zeigt dann den Durchschnitt zu Fig. 326. Es handelt sich nun darum, in diesem Durchschnitte die Höhe des Punktes d , sowie die Lage der Fuge df zu bestimmen. Der Punkt f liegt im Durchschnitte in f' und entspricht dem Punkte f'' des Diagonalbogens in Fig. 326. Man lege durch letzteren den Radius und trage darauf den Abstand des Grundrisspunktes d von der Linie aC ab als $f''i$. Den Abstand des Punktes d von C trage man in Fig. 326a von C nach d' , errichte in letzterem ein Perpendikel und trage darauf die Höhe des Punktes i über aC ab, so ist die Höhe des Punktes d und die Lage der Fuge df in $d'f'$ gefunden. Ebenso wird auch die der übrigen Fugen ermittelt, z. B. die der Fuge ihk als $i'h'k'$. Die ermittelten Fugen bestimmen dann von selbst die Bogenlinien der Kehle und die Verschränkung in derselben.

Über das Austragen eines in Krakau befindlichen Zellengewölbes siehe die Studie von G. BISANZ in der Allgemeinen Bauzeitung, Wien 1888.

Die Fig. 326a zeigt, wie der Punkt d sich hoch über den Scheitel der Diagonalbogen erhebt, mithin ein ansehnlicher Höhengewand entsteht. Es wird derselbe verringert, wenn die Kappenfluchten vom Diagonalbogen aus statt nach geraden Linien sich nach Bogenlinien erheben. Ein derartiges Gewölbe unterscheidet sich dann von den oben gezeigten mit flachen Busen versehenen Kreuzgewölben nur noch dadurch, dass das Segment des Busens hier durch einen gebrochenen Spitzbogen ersetzt wird, der auch in einen Viertelkreis übergehen kann.

Wo geringe Konstruktionshöhe vorhanden ist, wird bei irgend beträchtlicher Spannweite indes die Einführung dieser Bogenlinien den Höhenverlust immer noch nicht ausreichend verringern können und nur in einer Verkleinerung der Felder ein wirksames Mittel zu finden sein. Es bedingt sich also hierdurch der Übergang von dem Grundrisse des Kreuzgewölbes zu jenem des Stern- oder Netzgewölbes. Aber selbst mit Beibehaltung des Kreuzgewölbes lassen sich, wie die perspektivische Ansicht Fig. 326b zeigt, die Felder verkleinern und die Höhen verringern, sobald auch die Scheitellinie als Gratbogen sich gestaltet, der dann ebenso gemauert ist, wie die übrigen, mithin durch eine rechtwinkelige Kante gebildet wird, wobei sich die ganze Grundfläche nunmehr in 8 Felder zerlegt.

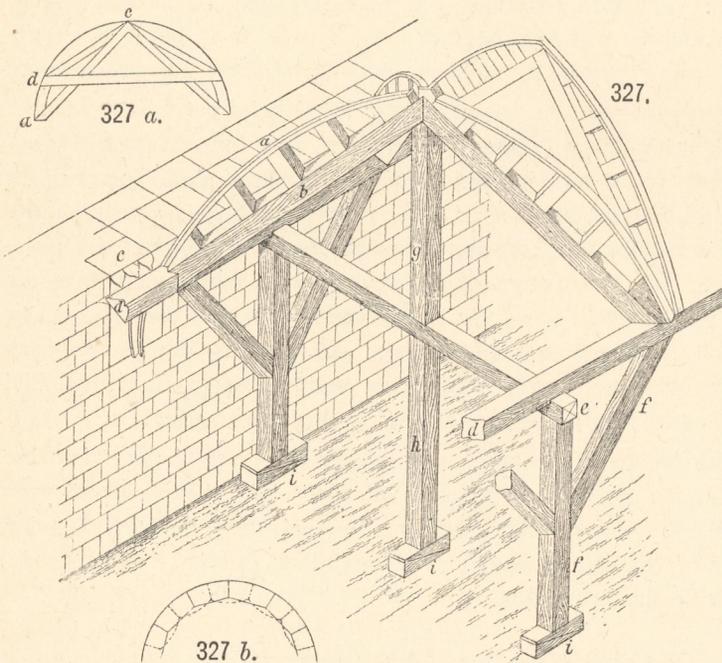
Die Bevorzugung kleiner Kappenteilungen erklärt sich auch daraus, dass bei grossen Kappen die Fugen zu sehr divergieren würden. Wo stärkere Gurtbogen nicht aus statischen Rücksichten gefordert werden, können ohne Schwierigkeit bei den Zellengewölben auch die Gurte durch Grate gebildet werden, in denen die Kappen regelrecht aneinander schneiden.

10. Lehrbogen und Ausführung.

Lehrbogen nennt man die gezimmerten Gebinde, deren Rücken bestimmt ist, die Gewölbebogen während der Ausführung zu tragen. Die einfachen Lehrgerüste fertigt sich der Maurer selbst an, kleine Bogen schneidet er aus einem breiten Brett oder einer mit Leisten benagelten aus mehreren Brettern zusammengesetzten Tafel aus. Für die grösseren Bogen giebt es sehr verschiedene Ausführungsarten, von denen hier nur einige der gebräuchlichsten kurz angegeben werden sollen. Herrichtung
der
Lehrbogen.

1. Die Lehrbogen können nach Art eines Dachstuhlgebälkes durch ein Sparrenpaar, eine dasselbe verbindende Zange und die sich von den Sparren an die Zange setzenden Aufschieblinge *ad* und *dc* in Fig. 327a gebildet werden, an deren Rücken die Kurve entweder angeschnitten oder aufgefüttert wird. Einfacher ist die in Oberhessen gebräuchliche Konstruktion, welche die Fig. 327 zeigt, wonach auf die Sparren kurze Hölzer *ab* von verschiedener, jedesmal den Ordinaten des Bogens entsprechender Länge aufgenagelt oder aufgezapft sind. Diese Hölzer werden nach der Bogenlinie genau abgeschnitten und dann mit einer aufgenagelten Latte überspannt, auf deren Rücken die Rippen hingemauert oder versetzt werden. Wenn die Spannung der Bogen über etwa 8 m hinausgeht, so müssen die Sparren weiter verbunden werden durch eine zweite Zange, oder bei noch grösseren Weiten durch einen Mittelpfosten, eine Zange und zwei Streben.

2. Es können die Lehrbogen auch nach Art der Bohlenbogen aus doppelt oder je nach der Weite dreifach zusammengenagelten Brettstücken bestehen, deren Rücken die erforderliche Kurve angeschnitten ist, Fig. 327b. Bei solchen Bogen streben unter starker Last die unteren Enden (trotz gegenteiliger Annahmen) immer danach, sich in einem gewissen Grade voneinander zu entfernen. Dadurch kann



ein unter Umständen erwünschtes elastisches Setzen der Mitte beim Einwölben hervorgerufen werden. Will man aber ein festes Lehrgerüst haben, so sind die unteren Enden durch starke Zuglatten zu halten, ausserdem empfiehlt sich eine genügende Abspreizung, um seitliche Ausbauchung zu verhindern.

Welche Konstruktion die vorteilhaftere ist, darüber

müssen die Umstände entscheiden. Ist an der letzteren der Wert des Materials ein geringerer, so steigen dagegen die Kosten des Arbeitslohnes, und die vernagelten Bretter sind nachher nur noch zu den untergeordnetsten Zwecken brauchbar, während das nach Fig. 327 verzimmerte Holz immer noch leicht wieder verwendet werden kann.

Aufstellen
der
Lehrbogen.

Das Aufstellen der Lehrbogen geschieht erst, wenn das Gewölbe geschlossen werden soll, also nach Aufführung der Mauern. Da wo die Rippen-

anfänge bis auf eine gewisse Höhe zugleich mit der Mauer heraufgenommen oder aber, wenn sie aus einem oder mehreren Werkstücken bestehen, versetzt werden, bedarf man der Lehrbogen nur von der oberen Lagerfuge dieses der Mauer eingebundenen Rippenanfangs, also von c in Fig. 327 an. Wo ferner die Schildbogen und die Gurtbogen, wenn sie oberes Mauerwerk zu tragen haben, gleichfalls bereits mit der Mauer aufgeführt werden, bedarf man bei dem eigentlichen Gewölbe der Lehrbogen nur für die Kreuzbogen und diejenigen Bogen überhaupt, die in ausschliesslicher Beziehung zum Gewölbe stehen. Die Aufstellung geschieht auf an der Basis durchlaufenden Pfetten d , welche von den darunter liegenden Querbalken e nach der Breite zusammengeankert werden. Diese Balken werden von Ständern f getragen, von denen aus Kopfbänder f die Pfetten d unterstützen können. Die Querbalken können unter den Mittellinien der Joche angebracht werden, damit die Kreuzlehrbogen mit ihrem oberen Ende sich in einen auf diesen Balken stehenden Ständer g setzen können, der wieder von einem auf dem Boden aufstehenden Stiele h getragen wird.

Sämtliche Ständer sind, wie Fig. 327 bei ii zeigt, unterkeilt, damit beim Ausrüsten nur die Keile herausgeschlagen zu werden brauchen, um die Lehrbogen sich senken zu lassen und so jede Erschütterung des frisch gemauerten Gewölbes zu vermeiden.

Ausser durch die in Fig. 327a angegebenen, in Fig. 327 aber weggelassenen Zangen können die einzelnen Gebinde noch weiter verbunden werden durch pfettenartige Längenhölzer, welche mit Ausschnitten für die Sparren versehen sind, und die etwa durch Bänder nach den Ständern g oder den Balken e zu stützen sind.

Für die häufig unter die Rippenflucht herabreichenden Schlusssteine muss der nötige Platz gelassen werden. Bei der Konstruktion von Fig. 327 kann die Auffütterung entsprechend oben ausgespart werden, während Bohlenbogen oben entsprechend auszuschneiden sind. Wird dadurch die Spitze der letzteren zu sehr geschwächt, so kann man etwas tiefer verstärkende Querbohlen annageln.

Anders konstruiert sich das Lehrgerüst bei Anwendung eines feststehenden Mönches. Da wo in Fig. 327 die Mittelstützen g (bezw. h) auf Keile gesetzt sind, wird ein „durchgehender“ fest aufgestützter und verspreizter Stiel, der „Mönch“, aufgerichtet. Derselbe reicht nicht ganz bis unter den Schlussstein, damit sich dieser nicht beim Ausrüsten auf ihm aufhängen kann. Die Lehrbogen laufen oben nicht durch, sondern bestehen für jeden Rippenast aus einem besonderen Lehrsparren, dessen oberes Ende so befestigt sein muss, dass es beim Ausrüsten an dem Mönche herabgleiten kann. Je zwei gegenüberliegende Sparren können oben und unten durch ein Paar den Mönch umfassender Zangen verbunden werden. Die unteren Sparrenenden werden am einfachsten direkt auf Keile gesetzt, während die Unterrüstung, also die Holme d nebst deren Stielen, fest aufgebaut wird und sich gut mit zur Unterstützung des Maurergerüsts benutzen lässt.

Besser als Keile, die selbst bei vorsichtigem Ausrüsten leicht Erschütterungen geben, sind hier wie bei anderen Lehrgerüsten untergebrachte Sandtöpfe oder Sandsäcke, die bei dem entsprechend zu regelnden Sandabflusse ein gleichmässiges ruhiges Senken der Gerüste ermöglichen.

Das Einwölben wird neuerdings erst vorgenommen, nachdem das Gebäude unter Dach gebracht ist, nur die Anfänge pflegt man schon früher gleichzeitig mit den Mauern aufzuführen. Bestehen dieselben aus vorher ausgetragenen Werkstücken, so verursacht ihre Aufführung keine Umstände. Bei Anfängen aus Ziegelstein werden entsprechende Lehrbogenstücke vorher hingesezt, nicht zur Unterstützung, sondern als Lehre. Unter Umständen kann es sich empfehlen, gleich die endgültigen Lehrgerüste aufzustellen, die bis zum späteren Einwölben am Platze bleiben.

Wenn Anfänge aus irgend einem Grunde nicht anfangs mit hochgenommen sind, so würde es bedenklich sein, dieselben später ohne namhaften Verband von einer geringen Basis aus der glatten Mauer vorzublenzen. Es muss dann vielmehr oberhalb des Schildbogens ein Rücksprung der Mauer (s. Fig. 255a) oder mindestens für den Wölbanfang eine entsprechend grosse Aussparung im Mauerwerk hergestellt sein. Ähnliches gilt für die nachträgliche Einfügung von Kreuzgewölben in alte Gebäude.

Einwölben
der Rippen.

Es sind bei der Ausführung bei Ziegelstein mindestens drei, bei Bruchstein noch mehr (wenn möglich alle) benachbarten Felder gleichzeitig einzurüsten, die Wölbung der Felder ist in stetiger Abstufung zugleich zu fördern, das Gerüst eines fertigen Feldes wird wieder für ein zu beginnendes verwendet. Nach erfolgter Einrüstung handelt es sich zunächst um die Aufführung der Rippen. Bestehen sie aus Werkstein, so wird zunächst der Schlussstein oben in seine richtige Lage durch Abloten gebracht, er ruht am besten mit seinen Rippenansätzen auf den entsprechenden Endigungen der Lehrbogen. Damit die Rippe im Grundrisse geradlinig wird, spannt man mitten über ihr eine Schnur aus und lotet von dieser so viel Punkte herab, dass man auf dem Rücken des Lehrbogens die Mittellinie genau aufreissen kann. Auch empfiehlt es sich, an einer Seite der Rippe eine Schnur auszuspannen, die vom Schlusssteine schräg zum Anfang herabläuft. Nach dieser Schnur wird die Seitenfläche der Rippe abgelotet, wobei zugleich darauf Obacht gegeben wird, dass die Rippe nicht seitwärts kantet. Die Werkstücke der Rippe haben eine Länge von $\frac{1}{2}$ bis 1 Meter, sie werden mit Zement, Gips oder Blei vergossen oder mit Bleiplatten versetzt, bisweilen werden sie noch besonders durch Dollen oder Dübell verbunden. Letztere können aus Eisen, besser aber aus Kupfer, Bronze oder Messing sein. Von den letzteren Stoffen genügen Stifte von Fingerlänge und Dicke, gut geeignet dürften auch Messingröhren von 2—3 cm Durchmesser bei 6—9 cm Länge sein. Die Dollen werden jedesmal im oberen Rippenstücke vorher festgegossen und in das untere Werkstück beim Versetzen eingeschoben. Soll der letzte Rippenstein einer Verdollung mit dem Schlusssteine nicht ermangeln, so bedarf es eines kleinen Kunstgriffes; der in der Mitte mit einem Faden umwickelte Dollen wird ganz in den Schlussstein hineingeschoben und nach dem Versetzen der Rippe durch Anziehen des Fadens zur Hälfte herausgezogen.

Rippen aus Ziegelstein können wie die Werksteinrippen zunächst allein einwölbt werden, meist jedoch wird es vorgezogen, die Ziegelrippen mit den Kappen gleichzeitig hochzunehmen. Selbst bei leichteren Werksteinrippen ist gegen die gleichzeitige Ausführung nichts einzuwenden.