

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 Zusammenschnitt 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.

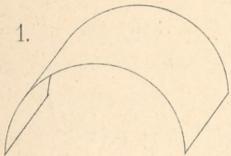
Für die weitgespannten Überdeckungen grosser Räume konnte natürlich ein einfaches Verfahren wie das vorstehende nicht ausreichen, hier bekundet sich der praktische Sinn der Römer in der Einführung sorgsam durchgebildeter Ausführungsmethoden. Dahin gehören die vereinzelt auftretenden Topfgewölbe, besonders 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.

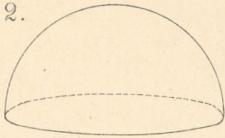
Tafel I.

Die Gewölbe der Römer.

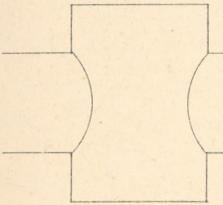
1.



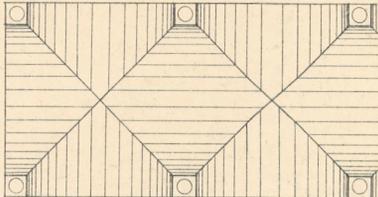
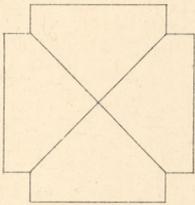
2.



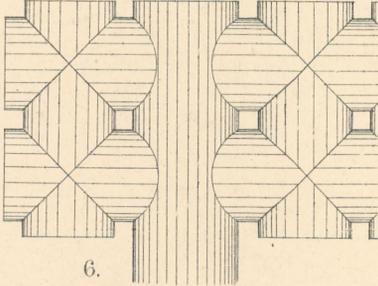
3.



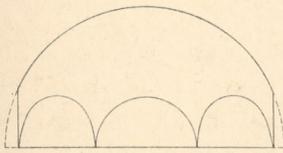
4.



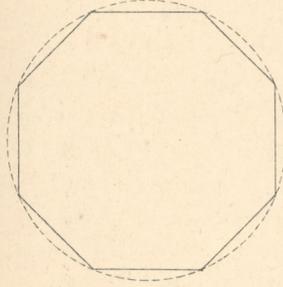
5.



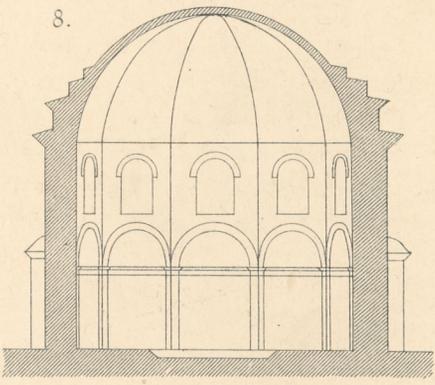
6.



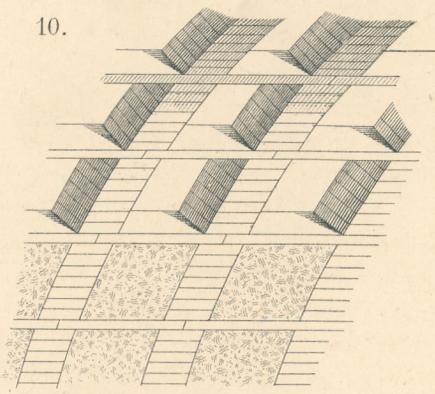
7.



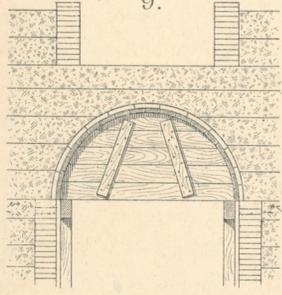
8.



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.

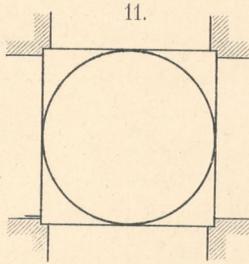
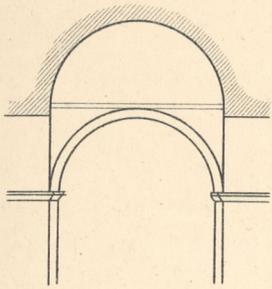
Letztere Bereicherung des Chores war seit dem elften Jahrhundert hervorgetreten und gelangte bald für die meisten grossen Anlagen, besonders für die Dome, in Aufnahme.

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.

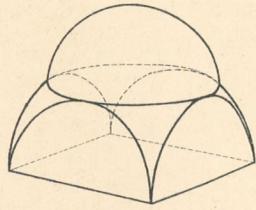
Überwöl-
bung
des Mittel-
schiffes —
verschiedene
Versuche.

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-

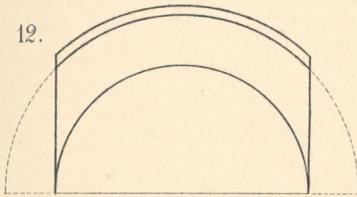
Die Gewölbe der Byzantiner.



Kuppel auf Zwickeln.



12.

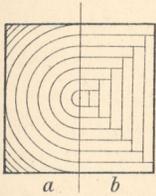
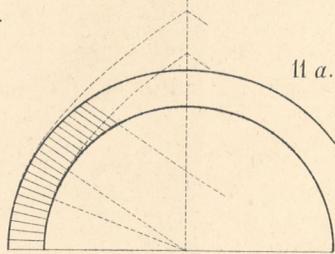


Stutzkuppel.

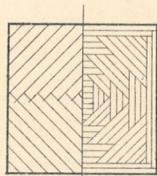
12 e.



11 a.

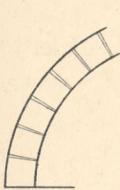


a b

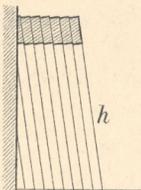


c d

12. a-e. Schichtenlage bei der Stutzkuppel



g

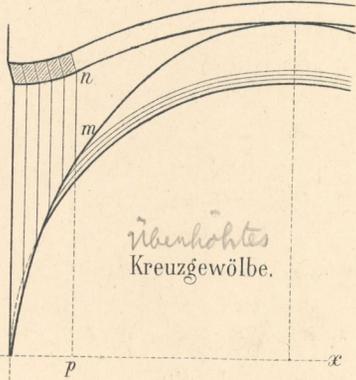


h

12. f-k. Schichtenlage beim Tonnengewölbe.

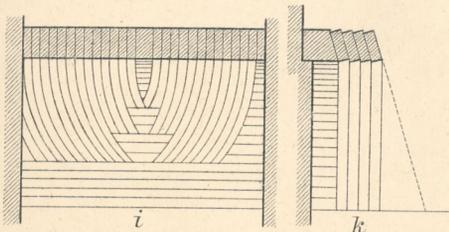


13 a



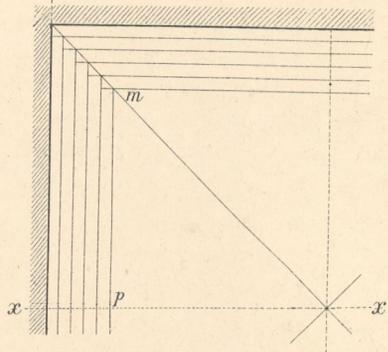
überhöhtes Kreuzgewölbe.

13.



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.

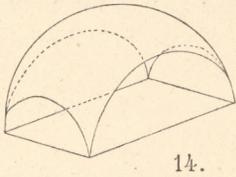
Die Übertragung der stets einen Mittelpunkt bedeutenden Kuppel auf Langkirchen unter fortschreitender Wiederholung war trotz der sonstigen Schönheiten erzwungen, sagte daher auf die Dauer ebensowenig zu wie das Tonnengewölbe.

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

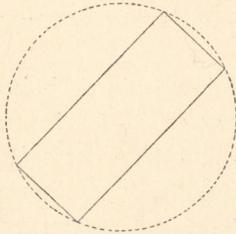
c. Stutzkuppel oder Kuppelausschnitt.

* 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



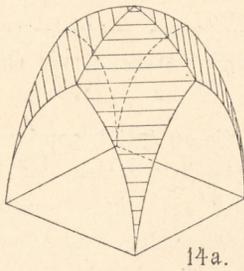
14.



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 Klosträumen 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.



14a.

d. Aneinanderreihung quergelegter Tonnengewölbe.

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 Tonnengewölbe, 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 Kreuzgewölbe über dem Mittelschiff.

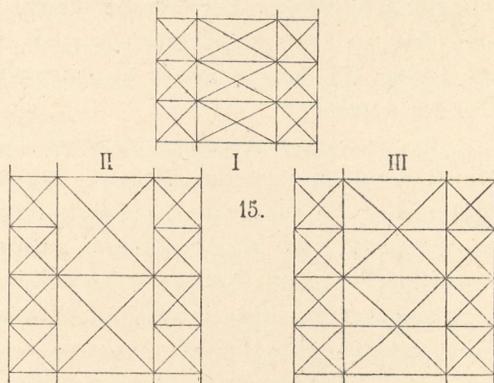
Die einzige nun noch verbleibende Lösung war das Kreuzgewölbe. Fast erscheint es befremdlich, dass diese sonst so oft verwendete Form für das Mittelschiff so lange gemieden wurde; doch das hatte seine gewichtigen Gründe.

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.

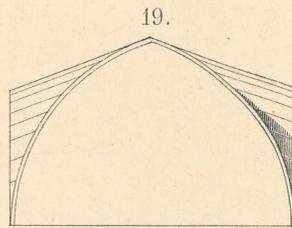
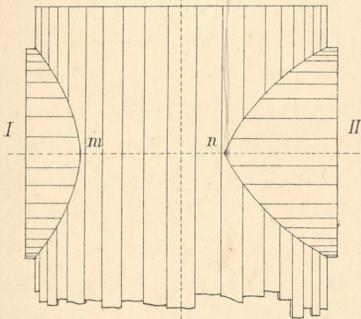
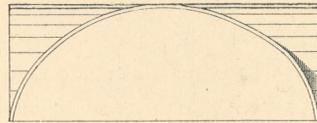
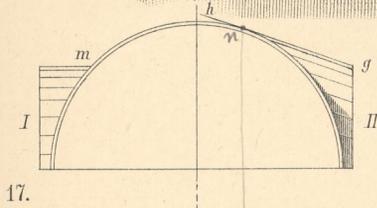
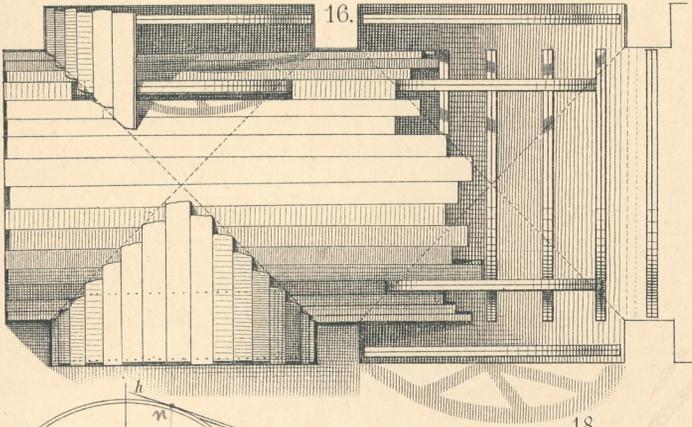
Das halbcylindrische Längsgewölbe in eine niedere, elliptische Wölbung zu verwandeln, wie es beim Seitenschiffe zum Ausgleich der Scheitelhöhen wohl geschah (Fig. 18), konnte für das Mittelschiff nicht ernstlich in Frage kommen; man würde dadurch den Schub vergrößert haben, dessen Bekämpfung hier gerade 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.

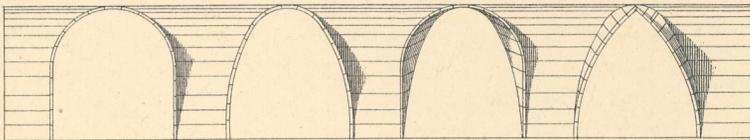
Erhöhung
der
Schildbogen-
scheitel bis
zur Höhe der
Gewölbe-
mitte.

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.



20.

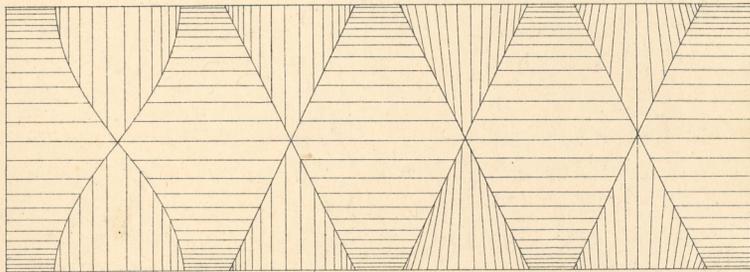


I

II

III

IV



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 übergang, 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.

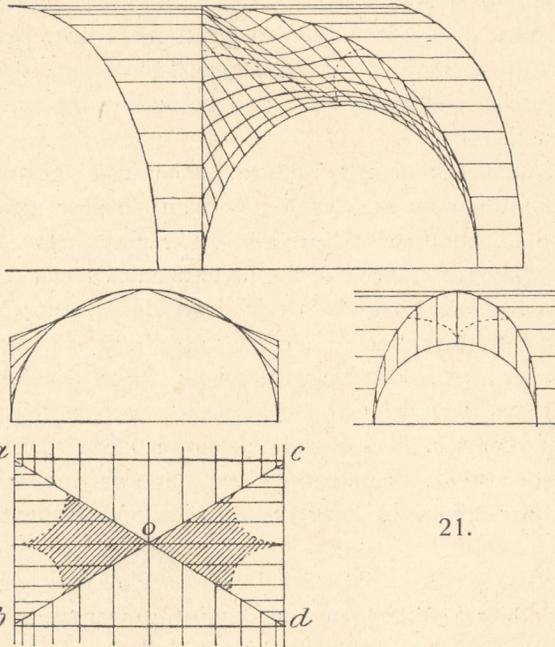
Wenn man von der so aufgerissenen Kreuzlinie Schalbretter senkrecht gegen die Stirnfläche legt, so ergeben sich hier Schildbogen von der Form einer aufrecht stehenden halben Ellipse (Fig. 20 II). Die Anwendung solcher elliptischer Bogenlinien ist insofern zu beachten, als sie bereits ein Loslösen von 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
Querkap-
penbusung.



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 Gratabogen konnten in der Längsrichtung ebenso unabhängig von einander sein, wie es Schildbogen und Grat in der Querrichtung bereits waren, d. h. man konnte den Gratabogen 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
Kreuz-
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:

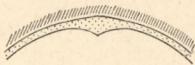
1. die Kappen sind so stark gebust, dass sie ausserhalb der Kugelfläche liegen, es entsteht ein richtiges Kreuzgewölbe mit nach unten vorspringenden Gratkanten. Im Schnitte xx der in Fig. 23a dargestellten Diagonalansicht ergibt sich die in Fig. 23c grösser gezeichnete Kappenbiegung I ; im Punkte n zeigt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

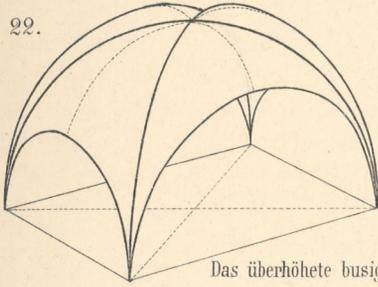
Wie oben bereits erwähnt, bot das Mittelschiff die erste, der Chorumgang aber die zweite grössere Aufgabe bei Überwölbung der Basilika. Der Chorumgang ist aufzufassen als das verlängerte und umgeschwungene Seitenschiff, er verlangte daher dieselbe Überwölbung, die das Seitenschiff erhielt. Aus seiner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

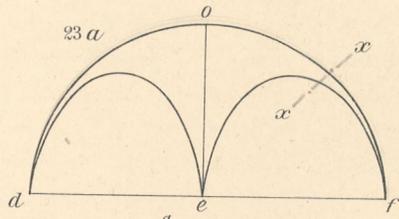
Überwölbung der trapezförmigen Felder des Chorumganges.

Entwicklung des Kreuzgewölbes.

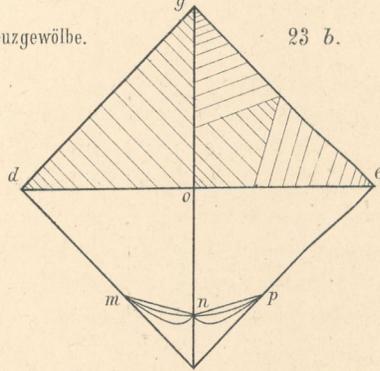
22.



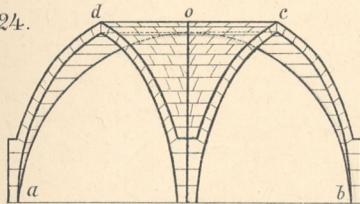
Das überhöhte busige Kreuzgewölbe.



23 b.

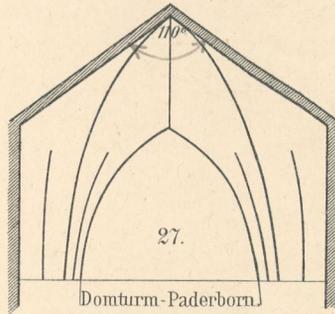
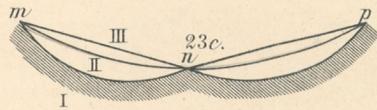
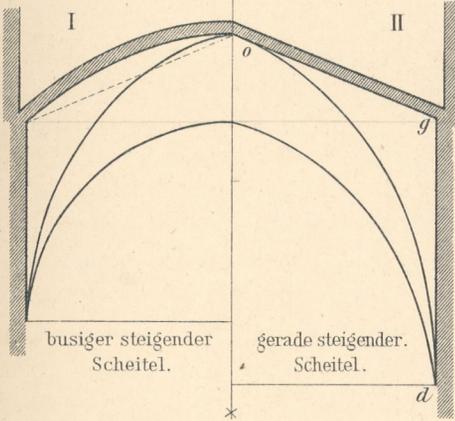


24.



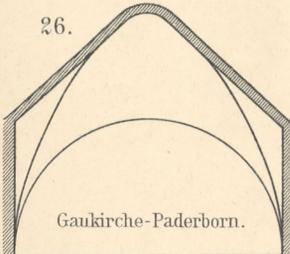
Gewölbe ohne Ueberhöhung u. Busung.

25. *

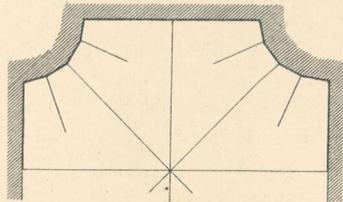


Domturm-Paderborn.

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.

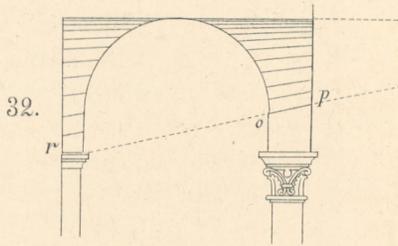
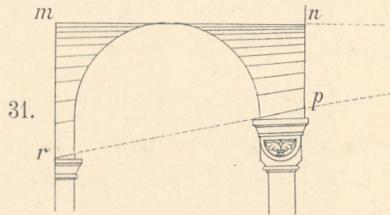
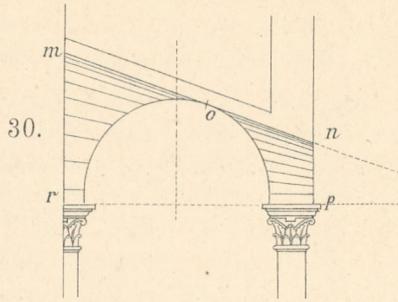
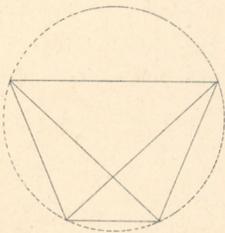
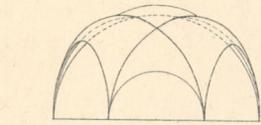
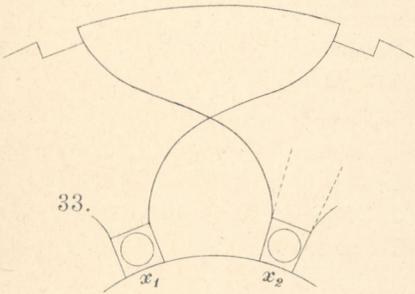
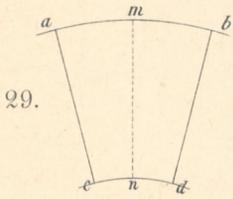
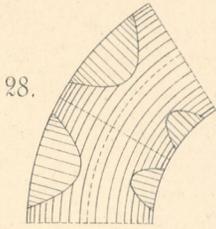
Der Barockstil verschmäht beide Fesseln er löst sich von strenger Form und Konstruktion, an deren Stelle setzt er in den Vordergrund die künstlerische Laune.

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.

