



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

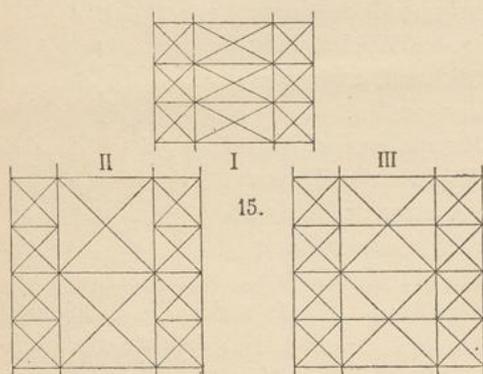
Leipzig, 1890-

Umgestaltung des Kreuzgewölbes bei rechteckigem Grundriss

[urn:nbn:de:hbz:466:1-80225](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-80225)

von der Beschaffenheit des Materials und der Technik erforderte ein nach römischer Art hergestelltes Kreuzgewölbe in dieser Höhe und Spannung 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 bez. 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 vor 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 Strebesystem 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 rechteckige Felder, sei es in der Mitte oder an der Seite. Das römische Kreuzgewölbe war aber nicht geeignet, ein rechteckiges 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 2

Jochen im Seitenschiff ein grösseres im Mittelschiff entspricht. Diese Grundrissbildung wurde typisch für die gewölbte romanische Basilika in Deutschland. Es wechselten stark belastete Hauptpfeiler mit schwächer belasteten Zwischenpfeilern. 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 Anfang des XIII. Jahrhunderts wieder aufgegeben wurde. In Deutschland ist das sechsteilige Gewölbe besonders am Rhein, dann zu Bremen, Maulbronn, Limburg a. d. Lahn ausgeführt, im Allgemeinen aber weniger aufgenommen, hier ging man, sobald die Fortentwicklung des Kreuzgewölbes eine Ueberdeckung rechteckiger Felder gestattete, wieder allgemein zu der natürlichsten Lösung I über, die alsbald zur allgemeinen Regel für den gotischen Kirchengrundriss wurde.

Umgestaltung des Kreuzgewölbes bei rechteckigem Grundriss.

Versuche mit der nun einmal günstigsten rechteckigen Jochteilung des Mittelschiffes haben überhaupt nie geruht. Da man überdies bei der Ueberdeckung 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 Ueberlieferungen an, musste dieselben aber notgedrungen immer mehr verlassen.

Nachfolgend mögen alle wesentlichen Lösungen nebeneinander gestellt werden, welche überhaupt die alte Bauweise für die Ueberwölbung eines Mittelschiffes mit rechteckiger 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 Verständniss 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 Längstonne herstellten (Fig. 16) und dann erst oben auf diese die Schalung für die einzelnen Quertonnen legten, genau so wie noch heutzutage beim Einwölben kleiner Stiehkappen in Kellergewölben verfahren wird.

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

Es sei nun angenommen, dass das Mittelschiff einer Basilika mit rechteckiger Grundrisseintheilung einzuwölben ist. Die mittleren Längswände seien bereits hochgeführt und an ihnen die halbkreisförmigen Schildbögen 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 niedere Stiehkappen bilden, aber keine Kreuzgewölbe.

Längstonne
mit
seitlichen
Stiehkappen.

Es war zu natürlich, dass man versuchte, die Stiehkappen höher hinaufzutreiben durch eine ansteigende Lage der Bretter. Der höchste Punkt m des Schnittes schob sich dadurch weiter in die Höhe, er konnte aber nie bis zur Wölbmitte gelangen, sondern höchstens bis zum Berührungspunkt n der Tangente $g h$ (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 Stiehkappen, niemals aber ein Kreuzgewölbe erzielt werden. Es mussten Aenderungen 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 Seitenschiff zum Ausgleich der Scheitelhöhen häufiger 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 beachtenswerther 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 Stiehkappen vereinigt, lässt über einem Rechteck einen kreuzförmigen Gewölbschnitt 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
Gewölbitte.

Der halbkreisförmige Schildbogen liess sich am einfachsten dadurch ändern, dass man ihn aufhöhet, bis sein Scheitel gleiche Höhe mit der Tonne bekam (Fig. 20 I). Legte man von diesen Schildbögen die Schalbretter senkrecht hinüber 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 Zusammenschnitt 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 Lehrbögen aufzustellen und die alte Art der Einschalung zu verlassen. Soweit mochte man aber nicht gleich gehen, 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.

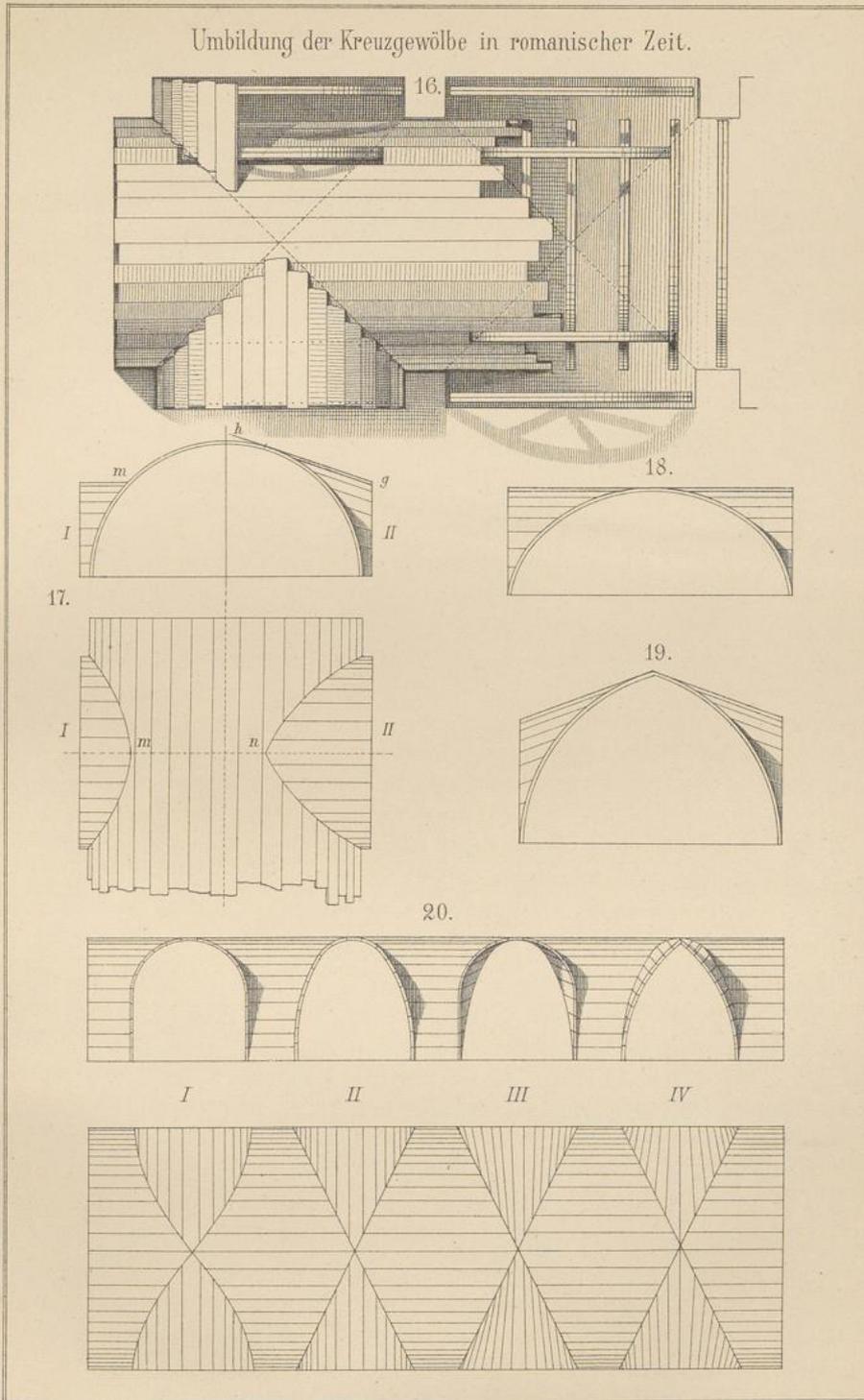
Wenn man von der so aufgerissenen Kreuzlinie Schalbretter senkrecht gegen die Stirnfläche legt, so ergeben sich hier Schildbögen von der Form einer aufrecht stehenden halben Ellipse (Fig. 20 II). Die Anwendung solcher elliptischer Bogenlinien ist insofern zu beachten, als sie bereits ein Loslösen von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

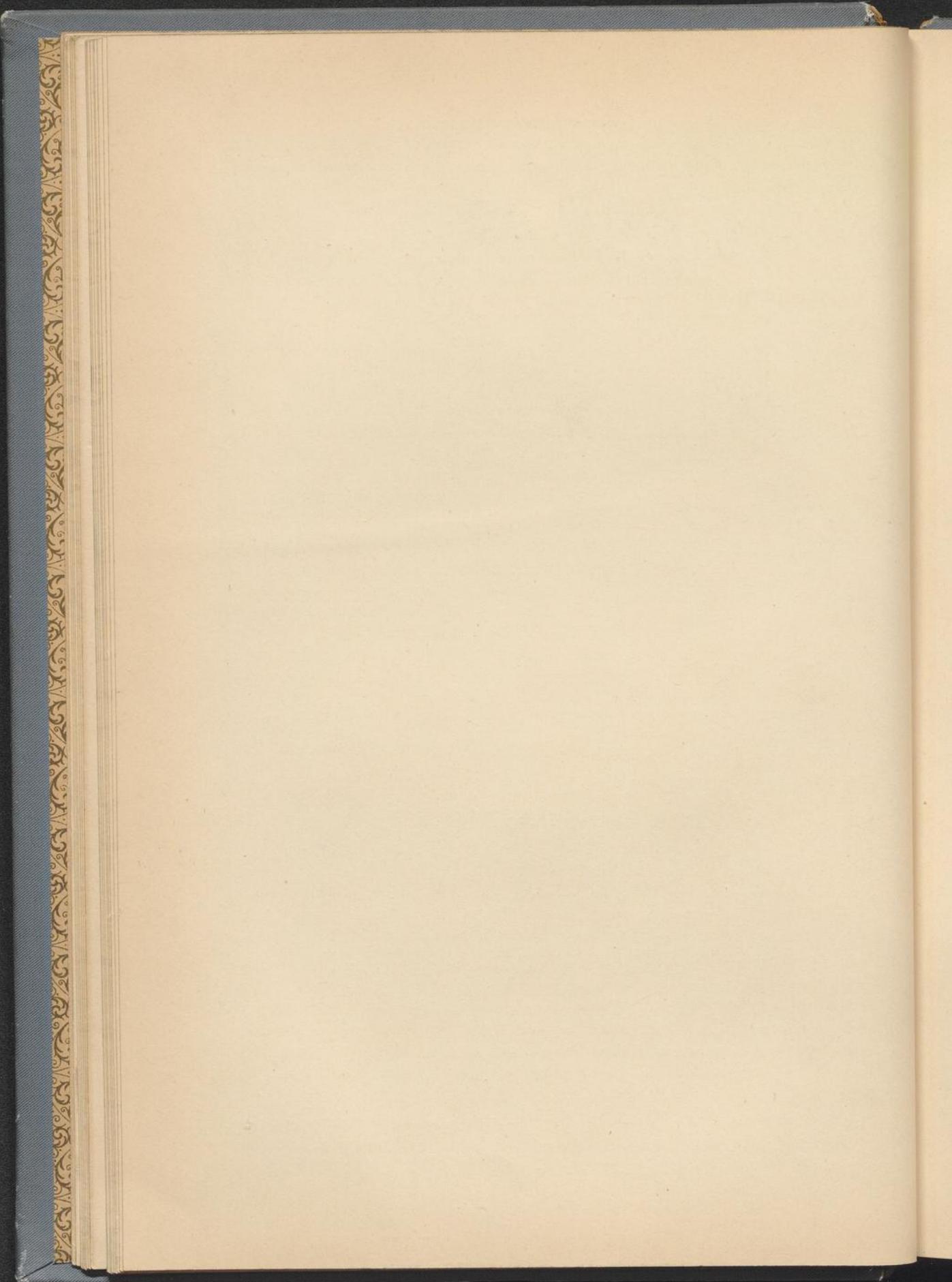
Elliptische Bogenformen, die übrigens selten mathematisch genau ausgetragen sind, trifft man bei einiger Aufmerksamkeit an romanischen Werken sehr oft, meist sind liegende Ellipsen verwandt, daneben aber vielfach auch stehende; im Seitenschiff von St. Marien zu Dortmund treten beide gleichzeitig auf, 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 überhöheten Halbkreis beibehalten (der vielleicht schon in den vorher aufgemauerten Wänden angelegt war), so konnte man auch von diesem 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

Tafel III.

Umbildung der Kreuzgewölbe in romanischer Zeit.

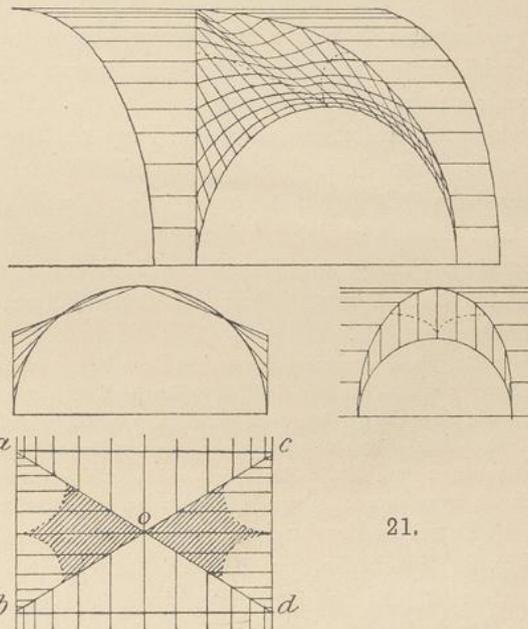




kein regelmässiger Cylinder mehr. Man hatte sich also von der Cylinderfläche freigemacht, war dies aber einmal geschehen, dann stand nichts mehr im Wege, dem Schildbogen jede beliebige andere Form, z. B. diejenige des aus anderen Gründen weit vorteilhafteren Spitzbogens zu geben (Fig. 20 IV).

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

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



Rechteckiges
Kreuz-
gewölbe mit
niedrigen,
runden
Schildbögen.
Steigende
Querkappen-
Busung.

21.

bei den Fig. 17 I und II gezeigt. Die Bretter stossen gegen die Längstonne, 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 Haupttonne 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 konstruktiv 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.) Dieser Auftrag kann beliebig hoch hügelartig hinaufgeführt werden, was sogar bis zu einem gewissen Grade nöthig wird, wenn sich die Kreuzlinie überall als ein nach unten vorspringender Grat kennzeichnen soll. Es bildet sich auf diese Art eine kuppelartig gebauchte

oder busige Kappenfläche. Hatte man die Busung einmal für die beiden steigenden Querkappen ab und cd angewandt, so war es natürlich, dass man sie der Gleichartigkeit wegen auch auf die beiden anderen ac und bd übertrug.

Unabhängig-
keit der
Kreuzgrate.
Uebergang
von der
Ellipse zum
Halbkreis.

Es war bei dem letzten Gewölbe zunächst vorausgesetzt, dass in der Längsrichtung 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 Lehrbögen aufgestellt, die Schalbretter legten sich von den letzteren nach den nun immer vorhandenen Gurtbögen 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 Gratbogen konnten in der Längsrichtung ebenso unabhängig von einander sein, wie es Schildbogen und Grat in der Querrichtung bereits waren. D. h. man konnte den Gratbogen 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 Uebergang zum Halbkreis 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 Augenschein nach sehr schlecht auf das Austragen elliptischer Lehrbögen verstand und schon aus diesem Grunde abweichende Formen zu Tage förderte. Oft mochte man an Stelle der Ellipse selbst zu einem unten abgestützten Halbkreis gegriffen haben, den die Byzantiner zu ihren überhöhten Kreuzgewölben durchweg verwandten.

Das
romanische
Kreuz-
gewölbe mit
Ueberhöhung
und Busung.

Damit ist das busige, in beiden Richtungen überhöhte Kreuzgewölbe (Fig. 22) geschaffen, das als das Endergebnis der romanischen Wölbbildung anzusehen ist. Es hat für das quadratische Feld die gleichen konstruktiven Vorzüge wie für das rechteckige und wird daher für beide verwandt. Bei seiner Ausbildung wirkten 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. In wie weit das Vorbild der weit älteren aber wesentlich abweichenden überhöhten Gewölbe der Byzantiner fördernd mitgewirkt haben mag, möge eine offene Frage bleiben.

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 Uebergang von dem elliptischen Grat zum rundbogigen. Der Weg ist richtig, aber zu unvermittelt, er enthält eine Kluft, die erst überbrückt wird, sobald man das notgedrungene Vorgehen bei Ueberwölbung 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 auf einander in Rücksicht ziehen. Bis die für die Konstruktions- und Kunstgeschichte gleich wichtige Frage der mittelalterlichen Gewölbentwicklung 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 Gewölbboegen, ihre Halbmesser und Mittelpunkte, ebenso die Gestalt der Kappen und alle Einzelkonstruktionen vom Widerlager bis zum Gewölbschluss genau anzumessen und, soweit sie von Wert sind, der Oeffentlichkeit zu übergeben.

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

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

1. Die Kappen sind so stark gebust, dass sie ausserhalb der Kugelfläche liegen, es entsteht ein richtiges Kreuzgewölbe mit nach unten vorspringenden Gratkanten. Im Schnitt *xx* der in Fig. 23a dargestellten Diagonalansicht ergibt sich die in Fig. 23c grösser gezeichnete Kappenbiegung *I*; im Punkt *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 Diagonalbögen 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 Uebergangsstiles gar nicht selten, besonders oft findet man solche, bei denen die Kreuzbögen im unteren Teil als Grate und im oberen Teil als Kehlen erscheinen, z. B. in der grossen Marienkirche zu Lippstadt und an den interessanten stark überhöheten 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 unbemerkt zu machen, weshalb das selbst an gotischen Gewölben auftretende Vorkommen von Kehlen meist unbeachtet bleibt.

Wollte man bei halbkreisförmigen Grat und Stirnbögen überhaupt ein Kreuzgewölbe mit vortretenden Gratkanten erzielen, so musste man notgedrungen zu einer starken Busung greifen. Letzere 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, so lange man die Kappen auf vollem Lehrgerüst herstellte.

Wenn die Form der Busung, wie man für Bruchsteinkappen meist annimmt, durch einen Erdauftrag auf den Schalbrettern vorgerichtet wurde, so musste eine beträchtliche Erdmenge hinaufgeschafft werden. Sie wurde besonders gross, wenn man die Bretter so legte, wie es in dem Dreieck *dog* der Fig. 23b gezeichnet ist. Man konnte den Auftrag etwas verringern, wenn man den Brettern die im Dreieck *goc* angegebene Lage gab, 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 mindestens 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 Material vorlag, dürfte auch in romanischer Zeit das freihändige Wölben bereits weiter in Gebrauch gewesen sein als man gewöhnlich glaubt.

Gotische
Kreuz-
gewölbe mit
freihändig
ausgeführten
busigen
Kappen.

Immer blieb die Unterschalung eines busigen Gewölbes eine grosse Schwierigkeit; man musste es daher als grosse Errungenschaft ansehen, als man allgemein 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
Bruchstein-
gewölbe auf
Schalung —
Vermeiden
der Busung.
Spitze Stirn
und Kreuz-
bögen.

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 Tufstein das Wölbmaterial bildeten. Gewölbe aus ungefügten schweren Bruchsteinen sind bis ins XV. Jahrhundert auf Schalung hergestellt. Für diese verliess man die Busung wegen ihrer schwierigen Herstellung wieder, das war aber nur durch Aenderung der Wölbformen möglich. Die Busung war aus der starken Ueberhöhung erwachsen, letztere musste man beseitigen. Zu diesem Zwecke die Grate wieder abzufachen, wäre ein Rückschritt gewesen, es wurden daher die Stirnbögen gehoben durch Ueberhöhung 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.

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 *ab*, so sind vorspringende Grate zu erwarten; 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 „überhöhetes“ Kreuzgewölbe ohne busigen Scheitel herzustellen (Fig. 25 rechts).

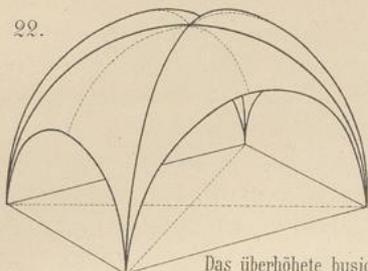
In der Figur 25 zeigt die linke Hälfte einen rundbogigen Grat, es ist eine Busung für den steigenden Scheitel hier nicht zu vermeiden. Rechts ist ein spitzer Diagonalbogen verwandt, der einen geraden steigenden Scheitel *og* zulässt. Das mögliche Mass der Steigung bekommt man, wenn man an die Projektion 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. Eine genauere 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 Kreuzbögen. Die Scheitel der Kappen haben eine steile bis auf eine Verdrückung in der Mitte geradlinige Steigung. Skizze 26 stellt das Gewölbe dar.

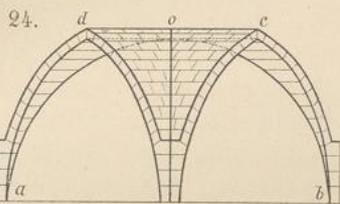
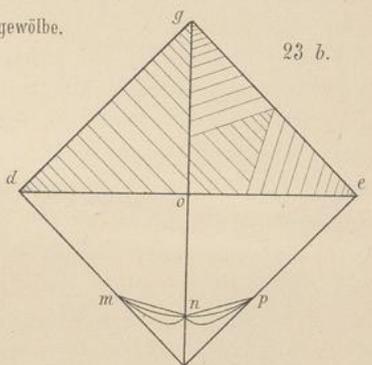
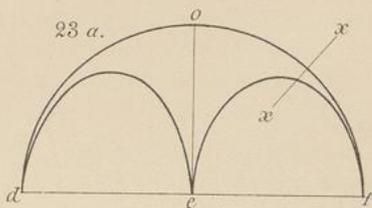
Gleich in Paderborn findet man noch weitere Gewölbe mit spitzen Graten und geradesteigenden Scheiteln, so im Kreuzgang und im Turm des Domes. Letzteres auch wegen seiner Widerlagsanordnung interessante Gewölbe befindet sich weit oben im Turm, und ist — jedenfalls zur Verkleinerung des Schubes — so stark überhöhet, dass der Winkel am Scheitel nur etwa 110° betragen mag. (Fig. 27.)

Es zeigt sich beim Verfolg der Gewölbentwicklung des XII. und XIII. Jahr-

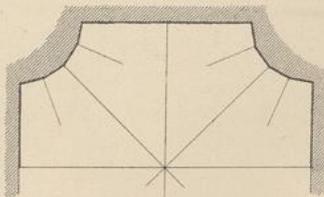
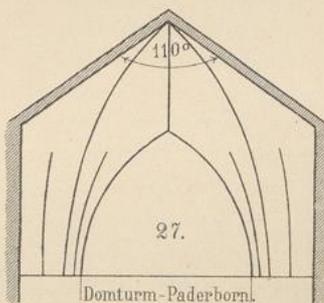
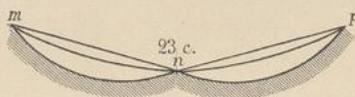
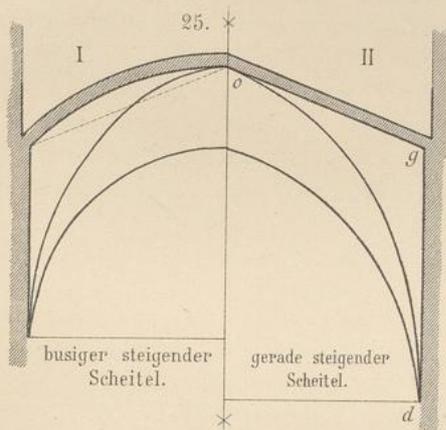
Entwicklung des Kreuzgewölbes.

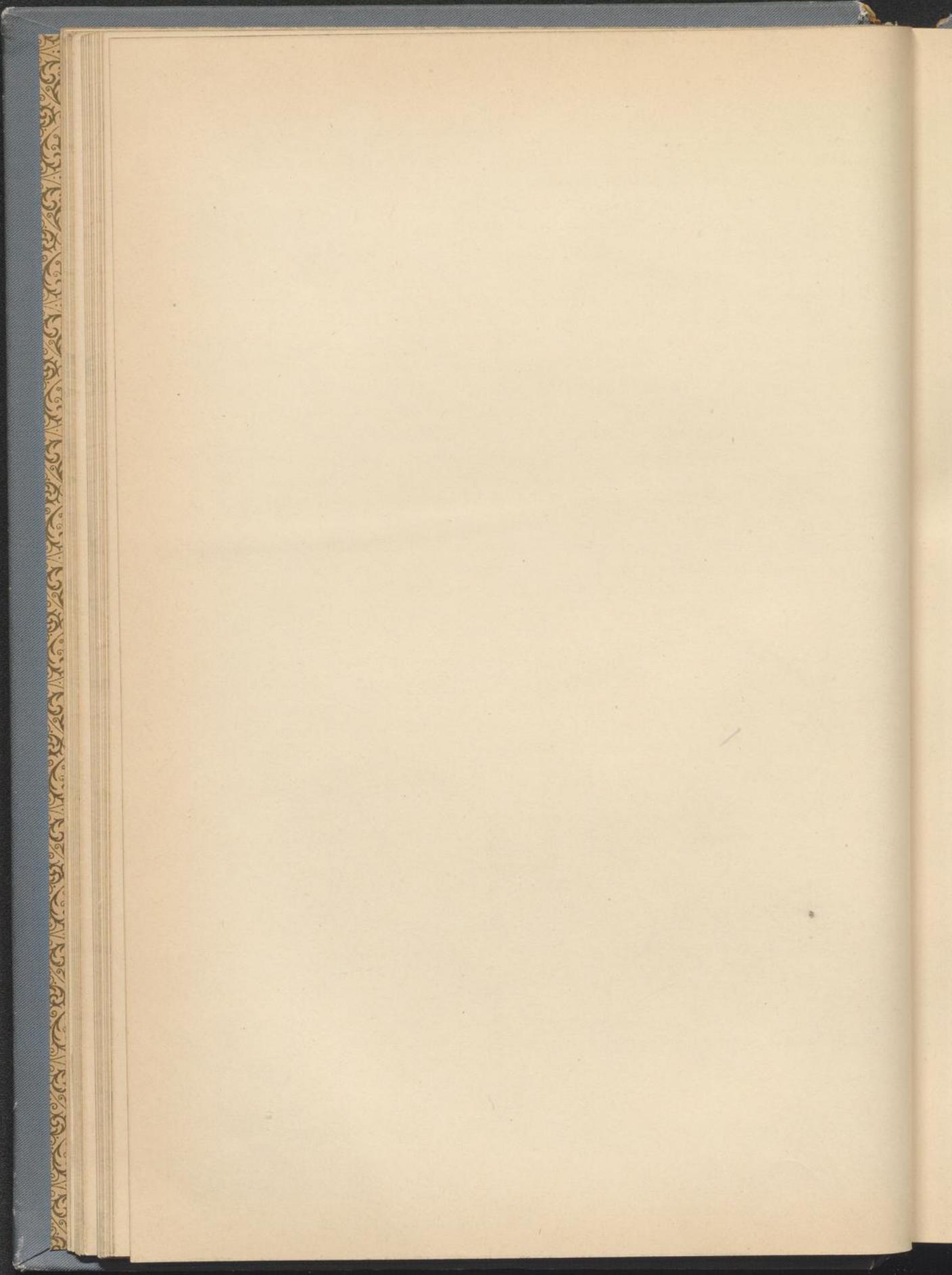


Das überhöhetete busige Kreuzgewölbe.



Gewölbe ohne Ueberhöhung u. Busung.





hundreds, 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 inneren 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 Lichteinlass und geringem Schub aufzuführen, die sich überdies einer rechteckigen Feldertheilung 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 Ueberkommnisse klar zu legen.

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

Ueberwölbung der trapezförmigen Felder des Chorumganges.

War das Seitenschiff mit der Längstonne überdeckt, so war es leicht, dieselbe in Ringform um die Absis herzuführen, sobald aber Stiehkappen hinzutraten, entstand schon der Uebelstand, dass diejenigen am äusseren Umkreis grösser wurden als die inneren. Vergl. Fig. 28.

Sollte aber gar das Kreuzgewölbe (oder auch die quer gelegte 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 Halbzylinder, sondern sie hatte die Form eines sich nach aussen erweiternden halben