



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

3. Die Kirche mit erhöhtem Mittelschiff (Basilika) und ihr Strebesystem

[urn:nbn:de:hbz:466:1-76966](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-76966)

in gleiche Höhe rücken und hiernach die Basis derselben etwa um 75 cm über jener der Mittelschiffsgewölbe liegt. Hiernach rücken wir die Kapitäle unter den Scheidebögen und den Rippen des Seitenschiffes in die Höhe dieser Basis, mithin höher als die des Mittelschiffes, so dass dieselben, wie bei *c* ersichtlich, an die Kreuzrippen des Mittelschiffes anlaufen. Es werden dieselben hierdurch möglichst weit über die Köpfe der auf den Emporbühnen befindlichen Personen gehoben, und zwar liegen sie im vorliegenden Falle um etwa 2,5 m über dem Boden.

Wenn derartige Bühnen von Holz konstruiert werden müssen, — eine Notwendigkeit, welche allerdings in beschränkten Verhältnissen durch den Mangel an Höhe und an Mitteln herbeigeführt werden kann, — so muss doch die Anlage des Holzwerkes eine derartige sein, dass das Steinwerk der Pfeiler nicht durch eingesetzte Holzstücke verwundet wird. Es müssen daher entweder diejenigen Teile der Pfeiler, an welche die hölzernen Pfosten oder Balken dringen, eine dieser Beziehung entsprechende Umgestaltung erfahren, oder aber es darf gar keine Berührung zwischen beiden Teilen stattfinden. Ersterer Zweck würde zu erreichen sein durch Anlage einer Auskragung an den Pfeilern, welche dem Holzwerk das nötige Auflager zu gewähren hätte, so dass die Pfeilermasse ungeschwächt durchginge, oder aber in vollkommener Weise durch zwischen die Pfeiler gespannte steinerne Segmentbögen, denen dann das Balkenwerk aufzuliegen käme. Die Berührung aber lässt sich umgehen durch Aufstellung von besonderen, von den Pfeilern geschiedenen Pfosten zu beiden Seiten derselben. Für die Gestaltung des Holzwerkes aber, insbesondere der Pfosten, sind in den Figuren 606—623 Beispiele gegeben.

Bühnen aus Holz.

3. Die Kirche mit erhöhtem Mittelschiff (Basilika) und ihr Strebesystem.

Strebebögen über einfachen Seitenschiffen.

Wir haben bei der Hallenkirche mit ungleichen Schiffshöhen (Fig. 888) auf das Auseinanderfallen der Angriffspunkte der Schubkräfte und die daraus hervorgehende Notwendigkeit hingewiesen, dem höheren Mittelschiff einen ausreichenden Widerstand entgegenzusetzen. Diese Notwendigkeit wächst mit dem Höhenabstand der Angriffspunkte und wird daher bei einer die selbständige Beleuchtung des Mittelschiffes gewährenden Höhe der Mittelwände am stärksten hervortreten.

In der Annahme der oberen Fenster aber liegt der eigentliche materielle Grund der Erhöhung des Mittelschiffes überhaupt, gerade wie in dem Fehlen dieser Beleuchtung eine Schwäche der gleich hohen Schiffsanlagen bei „grossen Weiten“ zu finden ist. Deutlich geltend macht sich dieselbe bei dem Blick von dem Kreuzschiff, oder einem Joch der Seitenschiffe aus in diagonaler Richtung, bei welchem der Gegensatz der dunklen Schatten des Mittelschiffsgewölbes zu dem vollen Licht der Seitenschiffsgewölbe selbst in den vollendetsten Werken leicht eine üble Wirkung hervorbringt.

Bedeutung des erhöhten Mittelschiffes.

Zudem aber ist der Ausdruck, zu welchem das Ganze gelangt, klarer; jeder Teil gelangt zur angemessenen Geltung, so dass die Aufrissentwicklung gewissermassen durch die Grundrissanlage mit Seiten- und Kreuzschiffen gefordert ist, während sie bei gleichen Schiffshöhen nur als der letzteren nicht widerstrebend zu bezeichnen ist. Es ist die eigentliche Kirche in ihrer ganzen inneren Teilung, welche zur Darstellung kommt, während die verschiedenen Anlagen gleich hoher Schiffe sich mehr dem Charakter einer dem Chor angebauten Halle nähern.

Der eigentliche Triumph aber der Kunst liegt darin, dass es ihr gelungen ist, eine Vereinigung des traditionellen Basilikentypus mit den Fortschritten der Technik zu bilden und so beiden Prinzipien eine berechtigte Geltung zu gewähren.

Bei der flachen Ueberdeckung der Basilika war die Ueberhöhung des Mittelschiffes auf keine von jenen technischen Schwierigkeiten gestossen, welche aus der Ueberwölbung und dem Bedürfnis der Widerlager hervorgehen. Denke man sich nun mit einemmal das Bedürfnis der Wölbung erkannt, die dafür passende Anlage gefunden und zugleich die Achtung der Tradition entfernt, mit anderen Worten den Radikalismus zur Ausführung der neuen Anlagen berufen. Was würde dann wohl näher gelegen haben als die alten Typen zu verlassen, von vornherein eine direkte Gegeneinanderwirkung der Gewölbe auch für die kirchlichen Bauten anzustreben, mithin ohne weiteres auf das System der gleichen Schiffshöhen überzugehen, zudem dasselbe in den romanischen Werken Westfalens sowohl wie in denen einzelner französischer Provinzen in den verschiedensten Richtungen Anwendung gefunden hatte. Dadurch aber wären wir nicht um eine Phase der Entwicklung, sondern um deren höchste Stufe gekommen, die eben durch den Sieg über die entgegenstehenden Schwierigkeiten erreicht ist.

Statt dessen versuchten die Meister des XII. Jahrhunderts ein Mittel nach dem anderen und endigten damit die Aufgabe zu lösen, die Forderungen der Gegenwart mit der überkommenen Form zu verbinden, ein Gebäude zu erschaffen, welches an Tiefe des konstruktiven Gedankens, an Schärfe des Ausdrucks alles Vorangegangene übertrifft, und ein Prinzip zu begründen, dessen endlose Fruchtbarkeit auch den abweichenden Systemen zu Gute kam. Denn ohne die materiellen Vorzüge der gleich hohen, in Deutschland allerdings vorherrschenden Schiffsanlagen, den künstlerischen Wert so vieler Beispiele derselben irgend zu verkennen, darf man doch annehmen, dass aus denselben jene feinere und edlere Behandlungsweise, welche zunächst an den frühgotischen Werken dieser Art ersichtlich ist, überhaupt die reichere Entwicklung der Detailformen nicht hätte gefunden werden können. Wie wäre man z. B. auf die Anlage der Dienste, der vielgliederigen Pfeiler überhaupt gekommen, wenn nicht der Organismus des Baues den einzelnen Teilen verschiedene, in verschiedenen Höhen zu leistende Funktionen vorgeschrieben hätte?

Wir haben oben die selbständige Beleuchtung des Mittelschiffes als den zwingenden Grund der Erhöhung desselben angenommen. Selbst aber bei einer so geringen Höhe des hierdurch gebildeten Lichtgadens, wie sie etwa die Liebfrauenkirche in Worms aufweist, springt schon aus dem in Fig. 891 dargestellten Durchschnitt die Notwendigkeit eines selbständigen Widerstandes dem Mittelschiffgewölbe gegenüber in die Augen. Dieser Widerstand kann allein durch eine vollständig ausreichende Widerlagsmasse gebildet werden und es handelt sich daher nur darum, diese Masse so aufzustellen, dass sie dem Organismus des Ganzen keinen Eintrag thue, wie solches durch eine Verstärkung der Schiffspfeiler geschehen würde, dann aber die zu bekämpfenden Kräfte nach dieser Masse zu leiten. Der ersten Forderung wird entsprochen durch eine mit Rücksicht auf den Zuwachs an Schubkraft vorzunehmende Verstärkung der äusseren Strebepfeiler, der zweiten durch die nach denselben geschlagenen Strebebögen, welche daher zunächst als Spiessen aufzufassen sind.

Demnach muss der Strebebogen mit seinem Scheitel sich der Aussenmauer des Mittelschiffes in der Höhe des Angriffspunktes des Gewölbeschubes anlegen, mit seinem

Zweck der
Strebe-
bögen.

Fuss aber die Innenflucht des Strebepfeilers oberhalb des Anschlusses der Seitenschiffsgewölbe treffen. Es handelt sich ferner darum, den Bogen gegen ein Ausweichen der einzelnen Werkstücke nach oben zu sichern und das geschieht zunächst durch einen Massenzusatz an demselben sowie durch eine Vergrößerung des Halbmessers. Hiernach ergibt sich in Figur 891 nur durch jene geringe Höhe des Lichtgadens die Möglichkeit der daraus ersichtlichen Anlage, wonach nämlich die Strebebögen unterhalb des Seitenschiffsdaches frei durch den Raum desselben geschlagen sind, ohne weder die zu der Dachkonstruktion gehörigen Fellen aufzunehmen noch irgend eine Aufmauerung zu tragen. Ueberhaupt hat die ganze, im Aeusseren nicht zu Tage tretende Anlage mehr den Charakter eines unter gewissen Umständen allerdings mit Vorteil anwendbaren Auskunfts Mittels als den einer wirklichen Kunstform. Dabei sind die bedeutenden Dimensionen des Strebebogens von 60 cm Höhe und 90 cm Breite nur dazu nötig, die Unveränderlichkeit der Bogenlinie zu sichern, können aber eine wesentliche Reduktion erleiden, sobald der Rücken des Bogens durch eine Aufmauerung nach einer ansteigenden, geraden Linie ausgeglichen wird. Diese Aufmauerung kann dann entweder gleichfalls unter dem Dache liegen bleiben oder besser dasselbe durchdringen und oberhalb desselben durch eine nach beiden Seiten mit einem Traufgesims versehene Lage Deckplatten abgedeckt werden. Durch letztere Anlage würde sowohl der dem Gewölbeschub gegenüber geschaffene Widerstand auf eine grössere Höhe wirksam, als auch das System desselben im Aeusseren ausgedrückt werden. Beiden Anforderungen aber entspricht in weit vollkommenerer Masse diejenige Anordnung, nach welcher die Strebebögen oberhalb des Daches statt unterhalb desselben geschlagen sind, durch welche zugleich die der letzteren eigentümliche Beschränkung der Höhe des Lichtgadens völlig aufgehoben wird.

Sicherung
gegen Aus-
bauchen
nach oben.
Ueber-
mauerung.

Wir haben eben die Strebebögen als blosse Leiter der Schubkraft auf die nächsten Strebepfeiler, mithin gewissermassen als neutrale Körper, ähnlich einer Holzspreize, aufgefasst. In der Wirklichkeit aber verhält sich die Sache anders, insofern sie vermöge ihrer Eigenschaft als Bogen beim Anschluss an die Mittelschiffsmauer eine aktive Schubkraft ausüben, durch welche ein Teil des Gewölbeschubes neutralisiert wird. Die Intensität dieser Kraft ist abhängig von dem Gewicht und der Krümmung des Bogens sowie dessen Belastung, die Richtung der Kraft aber von der Richtung seines Anschlusses an die Mauer, mithin von der Lage seines Mittelpunktes (vgl. Fig. 402—405). Der Effekt dieser Kraft würde daher dem Gewölbeschub gegenüber am grössten sein, wenn der in möglichster Schwere konstruierte Strebebogen nach einem Flachbogen geschlagen wäre, der gegen die Mauer horizontal oder etwas steigend anfiel. Ist der Bogen stärker gekrümmt (z. B. als Viertelkreis geformt) und ist er weniger belastet, so ist sein Schub geringer. Man hat es somit in weiten Grenzen in der Hand durch Schwere, Krümmung und Steigung des Bogens seine Endkraft nach Grösse und Richtung so zu bemessen, wie es den Stabilitätsverhältnissen günstig ist (vgl. Fig. 408, 409, 410). Dabei kann der Schub des Bogens kleiner oder grösser als der Wölbschub sein.

Gegenschub
des Bogens.

Sind Strebebögen verwandt, welche über Gebühr stark schieben, so werden sie die beiden Wände gegen einander zu drängen suchen und infolgedessen die Gewölbe fest einspannen. Kreuzgewölbe können eine solche vergrösserte Querspannung durch die mehrfach erwähnte Steifigkeit ihrer Kappen oder Gurte in gebotenen Grenzen ohne Schaden ertragen (vgl. S. 168, 339). Somit sind zu schwere Strebebögen für die Ge-

wölbe bei richtiger Anfallhöhe weniger ungünstig, ja sie können sogar bei „richtig“ versteiften Gurten die Unbeweglichkeit des ganzen Werkes vorteilhaft erhöhen, sie haben aber einen anderen Nachteil im Gefolge. Denn die gleiche grosse Schubkraft, welche der Bogen oben gegen die Wand ausübt, tritt auch am unteren Ende auf, weshalb ein übermässig schwerer Strebebogen auch einen besonders starken Strebepfeiler verlangt, also durch grösseren Massenaufwand erkauft werden muss. Es folgt hieraus, dass in der Regel eine recht leichte Konstruktion des Bogens vorteilhafter sein muss. Es handelt sich daher zunächst darum, den Querschnitt des Strebebogens so weit zu verringern, als es die Verhältnisse der rückwirkenden Festigkeit den durch denselben auf die Strebepfeiler zu übertragenen Druckkräften gegenüber gestatten. Diese Druckkräfte können aber, wie weiter oben (S. 160) angeführt, bei Wind- oder Lastschwankungen sich ändern, oder mit anderen Worten, es können in dem Strebebogen zeitweise flachere und krummere Stützlinien auftreten. Um diese jederzeit aufnehmen zu können ohne zu zerbrechen, ist das nächstliegende Mittel eine versteifende Uebermauerung des Bogens. Da aber durch dieselbe dem Strebebogen eine mit der Steigung des Rückens zunehmende Belastung auferlegt wird, so ist in der Regel, wenigstens bei irgend bedeutender Steigung, jene aufgesetzte Mauer von einem grossen, zuweilen nasenbesetzten Kreis durchbrochen (s. bei *a* Fig. 892).

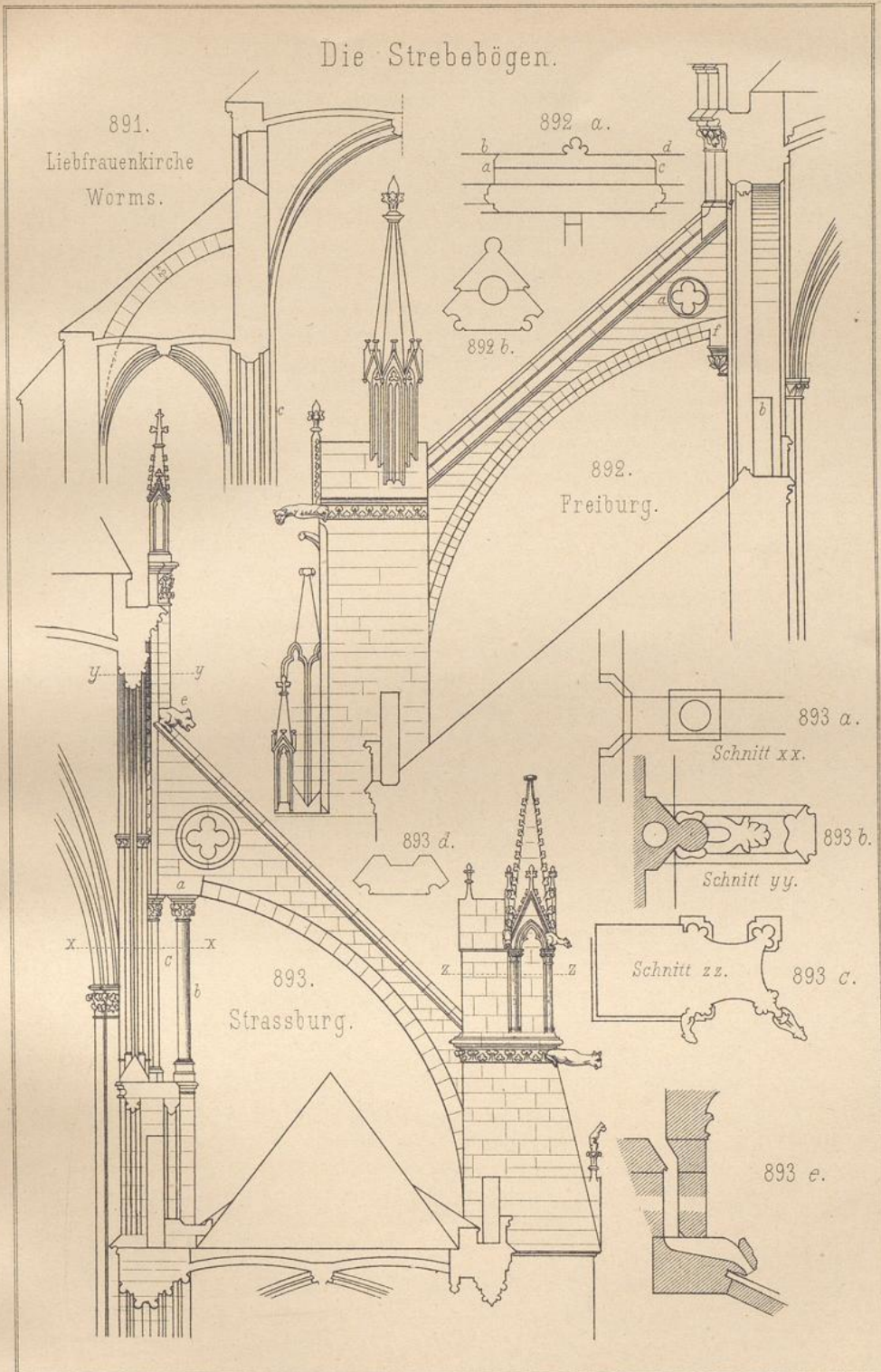
Form der
Bogenlinie.

Es wirkt bei der Gestaltung des Strebebogens nach dem Viertelkreis die Schubkraft desselben in etwa wagerechter Richtung gegen die Mittelschiffsmauer, also dem auf eine Umkantung dieser Mauer gerichteten wagerechten Teil des Gewölbeschubes direkt entgegen, so dass der senkrechte Teil dieses letzteren in seiner vollen Kraft bestehen bleibt, die Schiffs Pfeiler und die darüber befindlichen, schwächeren Konstruktionsteile belastend. Da aber gerade in Beziehung auf die letzteren eine Verringerung der Belastung wünschenswert wird, so ist es vorteilhaft, den Strebebogen so zu gestalten, dass seine Schubkraft in ansteigender Richtung an die Mauer stösst, mithin einen Teil jener senkrecht wirkenden Kraft neutralisiert. Diese ansteigende Richtung aber ergibt sich durch Annahme eines grösseren Radius für den Strebebogen, also durch Verlegung des Mittelpunktes an die innere Mauerflucht, wie in Fig. 891 bei *c*, oder weiter einwärts, hierdurch aber erhält der Strebebogen eine die des Viertelkreises übersteigende Höhe. Ist nach den gesamten Verhältnissen des Durchschnittes diese Höhe nicht vorhanden, so kann ein Einschneiden des Strebebogens in das Seitenschiffdach oder selbst ein Hinabführen auf die Anfänge der Seitenschiffgurten nötig werden. An dem Regensburger Dom ist eine mindere Höhe der Strebebögen dadurch erzielt worden, dass dieselben aus drei Mittelpunkten geschlagen sind.

Umgänge in
der Mittel-
wand
unterhalb
der Bögen.

Unterhalb des Anschlusses der Strebebögen sind bei völligem Ausgleich der Schübe (vgl. Fig. 409) für die Mauer des Mittelschiffes oder vielmehr für die dieselbe bildenden Pfeiler nur noch die Stärken nötig, welche durch das Verhältnis der rückwirkenden Festigkeit des Steines, gegenüber der gleichfalls durch die Strebebögen verringerten Belastung, erfordert werden. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, den erwähnten Pfeiler durch zwei Stützen zu ersetzen, zwischen welchen der zu einem Durchgang erforderliche Raum ausgespart ist (s. Fig. 892 bei *b*), mithin einen die Fenster des oberen Lichtgadens zugänglich machenden Umgang zu konstruieren, wie ein solcher bereits in Fig. 857 dargestellt ist. In den Werken der Bourgogne, in der Kathedrale von Toul (s. Fig. 850) und dem Freiburger Dom (892) liegt der Umgang im Inneren, die Fensterwand ist in die äussere Mauerflucht gerückt und der

Die Strebepfeiler.



Strebebogen schliesst entweder unmittelbar an dieselbe, wie in Fig. 891, oder an einen dem unteren Schiffpfeiler aufgesetzten, etwa auch ausgekragten Strebepfeiler, wie in Fig. 895, oder endlich, wie in Fig. 892, an eine bloss e Auskrägung an. Im Inneren aber greift eine jener Anordnungen Platz, welche bereits bei den Umgängen einschiffiger Kirchen erklärt worden sind. Hiernach zeigt Fig. 892 die Anlage von Tonnengewölben in der Mauerdicke und Fig. 892 a den Grundriss dieser Figur in der Höhe jenes Durchganges, welcher bei einer die volle Jochlänge ausfüllenden Fensterreihe eine etwa der Fig. 855 a entsprechende Gestaltung annehmen würde.

Auf denselben konstruktiven Prinzipien beruht die Anlage der äusseren Umgänge. Dabei wechselt die Fensterwand mit jenen inneren Pfeilern *abcd* in Fig. 892 a den Platz, rückt also in die innere Mauerflucht. Je nach der Fensterweite kommt dann der Wandpfosten dem Schildbogendienst anzuliegen, ersetzt denselben auch wohl, während jene innerhalb der Mauerdicke gelegenen Tonnengewölbe nach aussen zu Tage treten, wie an der Kathedrale von Rheims (s. Fig. 894). Wir bemerken hierbei, dass die vorhängende Durchschnittsbildung dieser Tonnengewölbe nicht willkürlich ist, sondern sich zunächst an dem Gewände aus dem Verhältnis der Dienste des Pfeilers in der Ecke am Kreuzschiff zu der Mauerstärke entwickelt (s. Fig. 894 a), wo sich allein durch die Annahme der dann auch am Bogen und vor den übrigen Jochen durchgeführten Schräge die Möglichkeit der Anlage des Pfeilers *a* ergibt.

Wo jedoch die Stärke, welche die auf den Fensterbögen ruhende Mauer durch jene Tonnengewölbe erhält, das Bedürfnis übersteigt und die durch die nötige Steifigkeit (s. S. 338), die Anlage der Rinnen und Galerien sowie die Auflage der Dachbalken geforderte obere Breite der Mauer leicht durch die Gesimsbildung und durch innere Auskrägungen gewonnen werden kann, da fallen die Tonnengewölbe oder vielmehr die ausserhalb der Fensterwand die Pfeiler verbindenden Bögen weg und es bleiben nur die Pfeiler selbst in der Dicke der Strebebögen oder einer wenig grösseren Stärke stehen. Gegen diese Pfeiler sind dann die Strebebögen geschlagen und sie sind unterhalb des Anschlusses derselben mit Durchgängen versehen, während sie nach oben entweder in den Strebebögen abschliessen, oder, sich durch dieselben fortsetzend, eine eigene Endigung erhalten. Ein Beispiel dieser Art zeigt die Kathedrale zu Soissons. VIOLLET LE DUC tom. I. pag. 63. Dem zu erfüllenden Zweck gegenüber genügt es aber, wenn die durch die äusseren Pfeiler gebildete Stärke beim Anschluss des Strebebogens vorhanden ist, d. h. es kann der Strebepfeiler auch oberhalb der durch den Durchgang geforderten Höhe ersetzt werden durch eine frei stehende Säule, deren Kapitäl dem vorderen Ende des den Strebebogen aufnehmenden Werkstückes untersteht, während das hintere Ende des letzteren in die Mauer eingelassen ist und etwa durch einen, vor der Flucht derselben vortretenden Wandpfeiler weitere Unterstützung findet. Ein Beispiel dieser Art zeigt das Strebesystem des Strassburger Münsters (s. Fig. 893). Hier ist *a* das Werkstück, welches dem Scheitel des Strebebogens entgegensteht und von der Säule *b* getragen wird, *c* der Wandpfeiler, dessen Breite über die Stärke des Strebebogens hinausgeht, wie der Grundriss Fig. 893 a darthut, so dass dieser Ueberschuss zu beiden Seiten des Strebebogens hinan bis unter das Gesims dringt.

Durch eine steilere Richtung des Strebebogenrückens lässt sich die Höhe, auf welche der Widerstand gegen den Gewölbeschub wirksam ist, in einer bei mässigeren Dimensionen ausreichenden Weise vergrössern, wobei immerhin das Mass der Belastung mittelst jener oben erwähnten Durchbrechungen zu verringern steht. Nehmen wir

Frei-
stehende
Säule unter
d. Strebe-
bogen.

nun eine vollständige Durchbrechung des zwischen dem Strebebogen und den geradlinigen Stücken befindlichen Dreieckes an, also etwa die Ausfüllung desselben durch eine Masswerk- oder Pfostenkonstruktion, deren Stärke eben hinreichend wäre, die Werkstücke der Abdeckung zu tragen (s. Fig. 899), so würde die Widerstandskraft der Höhe zwischen Bogen und Abdeckung verloren gehen und ausser dem Bogen selbst nur noch der geradlinige Rücken oder die Abdeckung eine zweite Absteifung der Mauer bilden, dabei aber immer noch genügende Sicherheit gewonnen sein, weil, selbst wenn ein Teil der Schubkraft zwischen den beiden gesicherten Punkten in Fig. 899 wirken sollte, dennoch der Abstand derselben von einander zu gering ist, als dass eine Ausbiegung der Mauer erfolgen könnte.

2 Strebe-
bögen über
einander.

Die Sicherheit der durch den Rücken gewonnenen, seitlichen Absteifung steht aber im umgekehrten Verhältnis zu der Steigung desselben und der Widerstand geht beinahe völlig verloren, wenn dieselbe noch steiler ist als der Wölbschub. Jene doppelte Absteifung aber lässt sich in vollkommener Weise gewinnen und zugleich die Höhe der dadurch gesicherten Linie nach Belieben steigern durch die Anlage doppelter Strebebögen über einander. Es erreicht dann der untere Strebebogen die Mittelschiffsmauer etwa um die Pfeilerdicke oberhalb der Kapitälhöhe, und der obere etwa auf $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$ der Gewölbhöhe, letzterem fällt ganz besonders die Aufgabe zu, den oben angreifenden Windkräften u. s. w. zu widerstehen. Die Richtungen der Abdeckung werden minder steil und demnach müssen in der Regel auch die Durchbrechungen wegfallen.

Der Anschluss des oberen Strebebogens geschieht dann an den grösseren Werken, so an den Kathedralen von Köln, Amiens und Beauvais, ganz in derselben Weise, wie jener des unteren, an den durch eine Säule gestützten Sturz, so dass die obere Säule gerade über der unteren zu stehen kommt. Da aber der Zweck des Durchganges unter dem oberen Strebebogen wegfällt, so findet sich zuweilen (so an der Kathedrale von Chalons, s. Fig. 898) jene frei stehende Säule durch einen äusseren Strebepfeiler ersetzt, dem die den Strebebogen aufnehmende Säule gleichsam als Dienst anliegt. Dieser obere Strebepfeiler ruht dann auf dem unteren Sturz und seine Vorderflucht bleibt hinter jener der unteren Säule zurück. Jener äussere Strebepfeiler gewährt zugleich eine sehr nützliche Verstärkung der einwärts drängenden Kraft des oberen Strebebogens gegenüber, welche die Mauer an einer Stelle trifft, wo der eigentliche Gewölbeschub nur mittelbar wirksam ist. Noch grössere Sicherung würde sich jener einwärts drängenden Kraft gegenüber ergeben durch Aufführung von transversalen, nach oben wagerecht ausgeglichenen Mauern auf den Gurtbögen, wie an der Kathedrale von Reims, welche dann, um die übermässige Belastung der Bogenschenkel zu vermeiden, in den Ecken von Kreisen durchbrochen sein können.

Einzelne Werke, so die Kathedrale von Bourges, zeigen sogar drei Strebebögen über einander, die dann um so zuverlässiger den jeweiligen Schwankungen der Schübe nach ihrer Stärke und Angriffshöhe begegnen können. Nötig ist eine solche grosse Zahl von Bögen jedoch nie, sie dürfte ihr Dasein auch nur dem Umstande danken, dass der Meister die Kraftwirkung anfangs nicht klar genug durchschaut hatte. Auch die Einführung des zweiten, oberen Bogens dürfte zunächst der Beobachtung entsprungen sein, dass ein tief und überdies mit kurzer Basis anfallender Bogen die oberen Mauerteile zu wenig absteifte, was sich nach den ersten stärkeren Stürmen, die das Bauwerk trafen, zeigen musste.

Eine eigentümliche, formell an das System der doppelten Strebebögen erinnernde, dem Wesen nach aber auf völlig verschiedenen Prinzipien beruhende Konstruktion

zeigen die Strebebögen der Kathedrale von Chartres. Hier sind die unteren, oder vielmehr die wirklichen Strebebögen durch eine konzentrische, nach beiden Seiten ein Traufsims bildende Schicht abgedeckt, auf welcher in radianter Stellung kleine mit Rundbögen verbundene Säulen stehen. Auf den nach oben zu einer den Strebebögen konzentrischen Bogenlinie ausgeglichenen Rundbögen liegt eine niedrige Schicht grösserer Werkstücke und auf letzterer ein dem unteren konzentrischer, und überhaupt an Stärke entsprechender Bogen, der nach oben durch eine Aufmauerung nach ansteigenden geraden Linien ausgeglichen und mit einer nach beiden Seiten profilierten Abdeckung versehen ist. Es sind also wirklich, die niedrigen Abdeckungsschichten und die Arkaden ungerechnet, zwei Strebebögen vorhanden, aber eben die Verbindung beider durch die Arkaden, welche den oberen Bogen stützen und die ganze Last auf den unteren übertragen, benimmt dem oberen für gewöhnlich seine Schubkraft, während sie diejenige des unteren verstärkt, so dass der obere Bogen nun mehr eine passive Absteifung bildet, wie sie eine geradlinig ansteigende Abdeckungsschicht in gleicher Weise bilden würde.

Doppelbogen von Chartres.

Dieser, seinen Feinheiten nach bisher viel zu wenig beachtete Doppelbogen zu Chartres giebt ebenso wie die von Durchbrechungen getragenen Abdeckungen (Fig. 897, 899) den unverkennbaren Beweis, dass die alten Meister die Bedeutung der Oberbögen bez. der steifen Gesimse über einfachen Bögen als zeitweis in Wirksamkeit tretender Steifen gegen Windschwankungen mit grösster Schärfe erkannt und in musterhafter Weise nach ihrem Gefüge und architektonischem Ausdruck zur Durchbildung gebracht haben.

Jene Belastung des unteren Bogens aber verhindert zugleich eine Ausweichung der Werkstücke desselben und sichert so seine Kurve.

Belastung des Bogenrückens.

Eine derartige Sicherung durch Belastung findet sich in verschiedener Weise bewirkt; so am Dom zu Köln durch eine dem Rücken des Strebebogens aufgesetzte Masswerk-galerie, an anderen Werken aber durch gewisse, die Abdeckung bez. Wasserleitung tragende Pfosten und Bogenstellungen, von denen weiter unten die Rede sein wird.

In weitaus einfacherer Weise wird jene Unveränderlichkeit der Kurve gesichert durch die Gestaltung der Abdeckung nach einem scheidrechten oder aber nach einem flachen Bogen im entgegengesetzten Sinne, wie in St. Benigne zu Dijon (s. Fig. 895). Hiernach sichern die beiden Bögen einander gegenseitig und beide verspannen sich in gleicher Weise zwischen die Strebepfeiler und die Mittelschiffsmauer. Die formale Wirkung aber der oberen Kurve ist bei diesem Beispiel keine günstige, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass die Kurve an dem Strebepfeiler wieder in eine steilere Richtung umbiegt.

Gegenkurve der Abdeckung.

Die Anlage der Strebebögen über doppelten Seitenschiffen.

Wir haben bereits S. 289 ausgeführt, dass dieselbe nach zwei verschiedenen Prinzipien geschehen kann, je nachdem die Strebebögen entweder die beiden Schiffe überfliegend nach einem, die Gesamtbreite derselben übersteigenden Radius konstruiert sind, wie an der Kathedrale von Paris und dem Ulmer Münster, oder aber nach der gewöhnlicheren Weise in doppelten Spannungen geschlagen werden. In letzterem Falle setzen auf den die Schiffe scheidenden Säulen sich Pfeiler auf, welche das Seitenschiffsdach durchdringen und an welche der untere Strebebogen anschliesst, sowie der obere auf denselben aufsetzt. Der untere Strebebogen soll dabei die dem Zwischenpfeiler durch den oberen zugeführte Schubkraft auf den äusseren Strebepfeiler

Einfacher und doppelter Bogenflug.

übertragen, so dass der Zwischenpfeiler, lediglich unter dem Eindrucke einer lotrecht wirkenden Belastung stehend, keiner bedeutenden Stärke bedarf. Die einfachste Beziehung, in welche beide Bögen zu einander treten, wird dann darin liegen, dass dieselben völlig gleiche, oder bei ungleichen Weiten der Seitenschiffe entsprechend verschiedene Gestaltung erhalten und dass der Rücken des unteren die Richtung desjenigen des oberen Bogens fortsetzt. Wenn hiernach, wie Fig. 896 zeigt, die Schubkraft des letzteren etwa bei *a* die Linie desselben verlassend auf den Zwischenpfeiler stösst, so steht derselben hier zwar nicht die Schubkraft des unteren Bogens, sondern die Masse der Aufmauerung entgegen und leitet sie auf den äusseren Strebepfeiler. Die Schubkraft aber des unteren Bogens trifft den Zwischenpfeiler bei *b*, wird also von keiner Kraft in unmittelbarer Gegenwirkung bekämpft. Wenn nun auch wegen der geringen Intensität der bei *b* wirkenden Kraft der auf *a* stossenden gegenüber und ferner wegen der geringen Entfernung der Angriffspunkte eine wirkliche Gefahr hieraus nicht hervorgeht, so ist doch jene in Fig. 896 a angegebene Anordnung die konsequentere, wonach, wie an dem Chor von St. Ouen in Rouen, der Anschluss des unteren Strebebogens an dem Zwischenpfeiler etwas höher gerückt ist, so dass die Schubkraft desselben der des oberen direkt entgegenwirkt, und hiernach die Kontinuität der Richtungen der Abdeckungen aufhört.

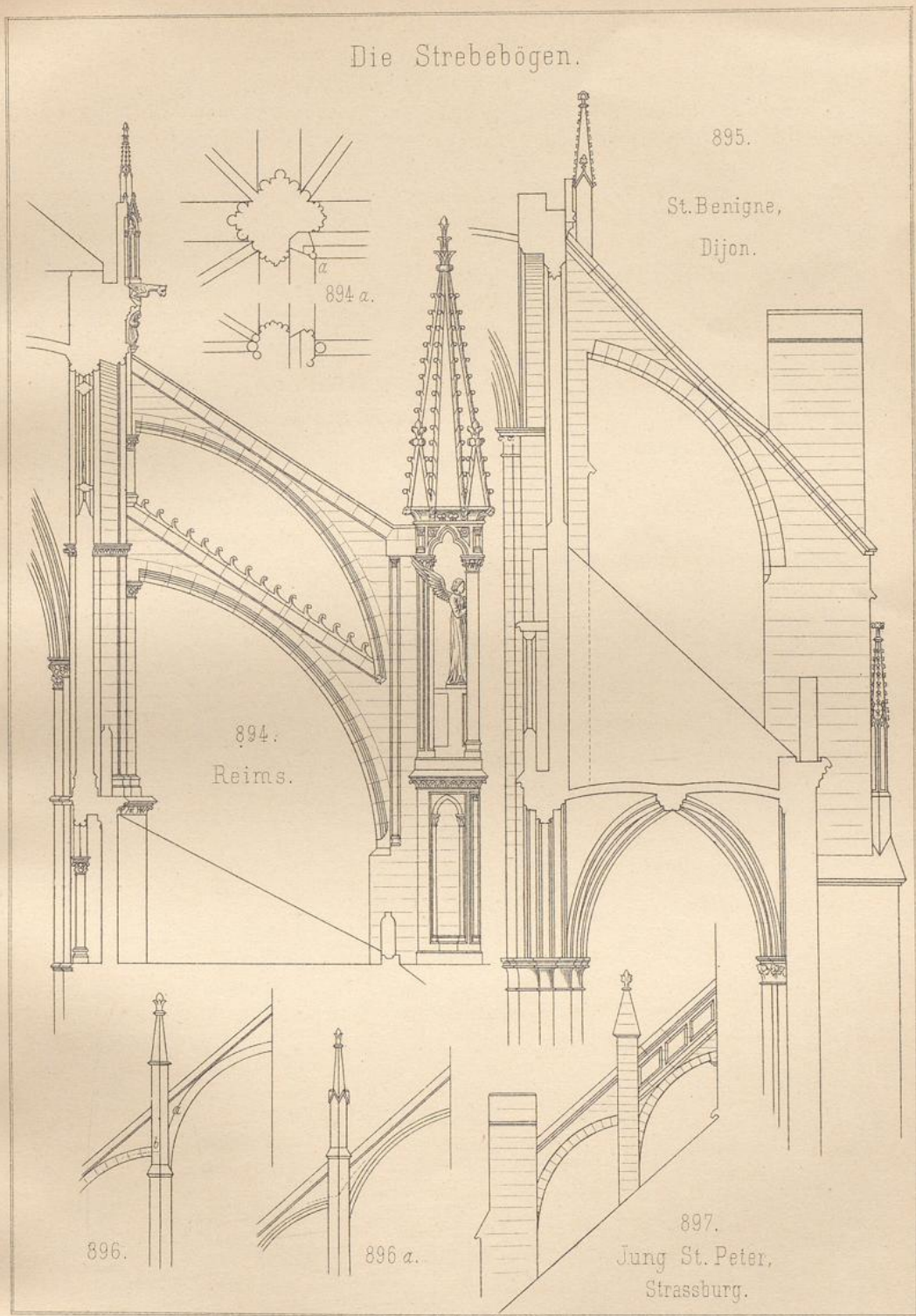
Anschluss
an den
Zwischen-
pfeiler.

Wenn die Anlage der doppelten Strebebögen über einander aus der Absicht hervorging, die ganze, den verschiedenen Schüben ausgesetzte Höhenlinie der Mauer durch eine Sicherung ihrer Endpunkte abzusteifen, so kann dasselbe Prinzip in umgekehrtem Sinne auch bei doppelten Spannungen der Strebebögen Anwendung finden, in der Weise, dass der durch zwei obere Absteifungen dem Zwischenpfeiler zugeführten Schubkraft nur eine untere entgegenwirkt. Ein einfaches Beispiel dieser Art zeigt das Strebesystem von Jung St. Peter in Strassburg (s. Fig. 897). Hier sind nämlich dem Rücken des eigentlichen Strebebogens Pfeiler aufgesetzt, welche die nach einer ansteigenden Linie gelegten Werkstücke tragen. Durch diese letzteren wird also eine zweite Steife gerade wie bei einer vorübergehenden Abstützung mit Holz gebildet, so dass die Schubkraft des Mittelschiffsgewölbes dem Zwischenpfeiler in zwei über einander liegenden Punkten zugeführt und nur durch den einfachen unteren Strebebogen, welcher mit seiner ganzen Masse jenen doppelten Angriffspunkten entgegenwirkt und zwischen dieselben stösst, auf den äusseren Strebepfeiler hinüber geleitet wird. Entschiedener ist die in Rede stehende Absicht ausgesprochen, wenn zwei oberen Strebebögen ein unterer entgegenwirkt. Eine derartige Anlage findet sich z. B. in dem ursprünglichen Strebesystem von Notre-dame in Paris, wo der untere Strebebogen der zweiten Spannung den in verschiedenen Höhen an ein und denselben Zwischenpfeiler stossenden Schubkräften des Galeriegewölbes und der unter dem Dach dieses letzteren verborgenen und dasselbe tragenden Strebebögen entgegenwirkt.

Doppelte
Bögen über
doppelten
Seiten-
schiffen.

Doppelte Spannungen von Strebebögen finden sich an den Chorumgängen einzelner französischen Kathedralen durch die S. 304 angeführte Grundrissanlage der die Kapellen scheidenden Pfeiler bedingt, so dass die äusseren Strebebögen eine weitaus geringere Spannung erhalten, mithin ihre aktive Wirkung nahezu verschwindet. Deshalb ist z. B. in Amiens ganz auf diese Kraft verzichtet und der letztere Strebebogen nur als Leiter der Schubkraft auf die äusseren Pfeiler aufgefasst, daher durch einen vollen Spitzbogen ersetzt worden.

Die Strebebögen.



895.

St. Benigne,
Dijon.

894.
Reims.

896.

896 a.

897.
Jung St. Peter,
Strassburg.

Die Anordnung des Wasserablaufes beim Strebesystem.

Die früheste, noch im XIII. Jahrhundert an der Kathedrale zu Rheims angenommene Anordnung unterscheidet sich in keiner Weise von der bereits erklärten, der Rinnen und Ausgüsse. Durch die letzteren wird das von dem Mittelschiffsdach kommende Wasser aus der Rinne in die Luft hinausgeworfen, in welcher es sich bei der geringsten Bewegung derselben zerstreut und so die Seitenschiffsdächer trifft, ohne in diesem zerteilten Zustand zu grossen Schaden anzurichten. Wenn sich die Ausgüsse nun gerade über den Strebebögen angebracht finden, so mag die Ursache davon eher in einem formellen Bedürfnis als in der Absicht gefunden werden, die Rücken der Strebebögen zur Brechung des Wasserstrahles zu benutzen, welcher dieselben bei dem geringsten Winde gar nicht erreichen dürfte.

Rinnen und
Wasserspei-
er.

Aber es liegt ein nicht zu entfernender Widerspruch darin, dass das von dem einen Dach herabfliessende Wasser erst in der Rinne gesammelt, dann wieder in der Luft zerteilt auf ein zweites Dach fällt, an dessen Fusse die Vereinigung sich wiederholt. Es handelt sich demnach darum, entweder einen Schritt zurück oder einen solchen vorwärts zu thun, d. h. entweder die Vereinigung des Wassers in der Rinne des Mittelschiffsdaches, mithin diese selbst, wegzulassen, oder aber das in derselben gesammelte Wasser in besonderen Leitungen den dasselbe völlig von dem Gebäude entfernenden Ausgüssen zuzuführen. Die erste Anordnung ist die an den romanischen Werken übliche, die indes noch mehrfach in der gotischen Periode vorkommt, u. a. an Notre-dame zu Dijon. Freilich fehlen derselben auch die unteren Rinnen, doch würde deren Hinzufügung eine mit dem freien Abfluss von dem oberen Dache sehr wohl vereinbare Verbesserung sein und sich dadurch rechtfertigen, dass das Wasser von dem unteren Dache auf die wagerechte Bodenfläche statt wie von dem oberen auf die geneigte Dachfläche fällt, eben deshalb aber leichter an die Mauern zurückgetrieben wird, wenn es nicht, wie durch die Ausgüsse geschieht, auf eine grössere Entfernung über dieselben hinausgeworfen wird.

Was nun die zweite Anordnung betrifft, so sind zur Anlage einer besonderen Leitung die Rücken der Strebebögen ganz besonders geeignet und es handelt sich daher nur darum, erstlich den Querschnitt der letzteren aus dem Umriss des Wimperges in den der Rinne hinüberzuführen, dann aber die so gebildete Rinne mit dem von der Rinne des Mittelschiffsdaches ausgehenden Strahl zu erreichen. Die Erfüllung dieser letzteren Bedingung wird aber in dem Masse schwieriger, als der Abstand von dem Anschluss des Strebebogens bis zur Dachrinne wächst, wie das besonders bei einfachem Strebebogen stattfindet, und wodurch die Notwendigkeit einer vertikalen Leitung sich herausstellt.

Leitung auf
dem Bogen-
rücken.

An dem Strassburger Münster sind, wie die Figuren 893—893 b zeigen, den oberen Mauern des Mittelschiffes Wandpfeiler vorgelegt, an welche die Strebebögen anschliessen und welche oberhalb dieses Anschlusses noch durch auf dem Rücken der Strebebögen aufsitzende Säulchen verstärkt sind. Die Kapitäle der letzteren sind dann wie Fig. 893 zeigt, aus der Höhe der Dachgalerie genommen und tragen die über letztere emporragenden Fialen. Innerhalb der solcherweise gebildeten Vorlage findet sich dann, wie der Grundriss Fig. 893 b zeigt, ein senkrechttes Rohr ausgespart, durch welches das aus der Dachrinne kommende Wasser dem Wasserspeier zugeführt wird, der dasselbe in die den Rücken des Strebebogens bildende Rinne auswirft. Das

Wasserrohr liegt demnach vor, nicht in der Mauer, und kann noch durch eine bleierne Ausfütterung gesichert werden. Fig. 893 e zeigt den Durchschnitt der betreffenden Anordnung.

Ganz ähnlicher Art ist die zu Freiburg angenommene Leitung. Hier liegen, wie Fig. 892 zeigt, der Mittelschiffsmauer die nach fünf Achtecksseiten gebildeten, auf dem Rücken der Strebebögen aufsetzenden Wandpfeiler vor, welche unterhalb der Dachrinne mit weit ausladenden Kapitälern versehen sind, so dass hierdurch die Grundfläche gewonnen wird zu einem gleichfalls von der Dachgalerie umzogenen Becken, aus welchem das Wasser durch das von jenem Wandpfeiler umschlossene Rohr hinabläuft und dem den Rücken des Strebebogens bildenden, gleichfalls geschlossenen Rohr zugeführt wird. Die Figur 892 b zeigt das Profil dieses letzteren.

Der wesentliche Unterschied dieser Anlage von der vorigen liegt also eben in dem vollständigeren Verschluss, in dem Ersatz der offenen Rinne durch ein geschlossenes Rohr. Ein Vorzug kann hierin um so weniger gefunden werden, als dadurch die Beseitigung einer etwaigen Verstopfung erschwert wird.

Von den oben erwähnten Anordnungen unterscheidet sich die bei VIOLETT LE DUC ersichtliche der Kathedrale von Séez dadurch, dass der das Rohr einschliessende Pfeiler statt auf dem Rücken des Strebebogens aufzusetzen, etwa um die Höhe einer Schicht oberhalb des Anschlusses des letzteren an die Mauern ausgekragt ist, und diese Auskragung durch einen grossen, mit dem offenen Rachen nach unten gekehrten, also das Wasser offen in die Rinne auswerfenden Löwenkopf gebildet wird.

Wenn nun in der Annahme einer offenen Leitung überhaupt ein Vorzug zu finden ist, so wird derselbe noch zu steigern sein durch die Beseitigung der Vorderwand jenes das Wasser aus der Rinne hinabführenden Rohres, wonach dasselbe gewissermassen die Gestalt einer lotrechten Rinne annimmt. Ein derartiges Beispiel bietet der Dom in Regensburg. Hier wird nämlich jener vorliegende Pfeiler, in welchem in den vorerwähnten Beispielen das Rohr hinabgeführt ist, durch ein dreiseitiges, nach zwei Seiten offenes Gehäuse ersetzt, so dass zwei der dasselbe begrenzenden Säulchen der Mauer anliegen und das dritte frei steht und die ganze Gestaltung dem Rücken eines Wasserspeiers aufsetzt, der das Wasser in die auf dem Strebebogen befindliche Rinne auswirft. Eine Verbesserung dieser Anordnung würde etwa durch die Verbindung derselben mit dem eigentümlichen Ausguss von Séez zu erzielen sein, so dass auch der Punkt, in welchem das senkrecht herabstürzende Wasser in die schräge Richtung umwenden muss, geöffnet wäre.

Die Oeffnung der zwei Seiten des Dreieckes bringt den Nachteil mit sich, dass das innerhalb desselben herabstürzende Wasser, durch den Wind seitwärts getrieben, sich über die Seitenschiffsdächer verbreiten kann, ohne die auf dem Strebebogen befindliche Rinne zu erreichen. Durch eine rechteckige Grundform der Leitung mit geschlossenen Seitenwänden könnte diesem Nachteil begegnet werden, noch besser aber dadurch, dass die Rinne aus der senkrechten in eine geneigte Lage überginge, mit anderen Worten, dass die auf dem Rücken des Strebebogens befindliche Rinne kurz vor ihrem Anlauf an die Mittelschiffsmauer in eine steilere Richtung umkehrt und hierdurch dicht unter der eigentlichen Dachrinne die Mittelschiffsmauer erreicht. Ein derartiges Beispiel findet sich an dem Chor der Kathedrale von Auxerre (s. die in Fig. 899 dargestellte perspektivische Ansicht).

Die erwähnte Anordnung ist daselbst mit einer anderen verbunden, welche im

Wesentlichen denselben Zweck hat und sich an vielen mittelalterlichen Werken in der verschiedensten Gestaltung ausgeführt findet. Wir meinen eine Erhöhung der Rinne über den Rücken des Strebebogens, also die Bildung einer förmlichen, auf dem letzteren fussenden Wasserleitung. Dabei werden die die Rinne bildenden Werkstücke in ähnlicher Weise wie der Handlauf eines Treppengeländers getragen, entweder durch ein System lotrecht gestellter, durch gerade Ueberdeckung oder durch verschieden gestaltige Bogen verbundener Pfosten, wie in den Chören von Amiens und Auxerre (s. Fig. 899), oder durch eine zur Richtung der Rinne winkelrecht angeordnete Masswerk-galerie, wie an dem Dom zu Köln. Eine einfachere Gestaltung dieser Art würde sich nach den oberen Strebebögen von Jung St. Peter in Strassburg bilden lassen. Bei Anordnung eines Pfostensystems muss der eigentliche Strebebogen durch eine entweder konzentrische oder in ansteigender Richtung der Rinne parallel gelegte Schicht abgedeckt werden (s. Fig. 897), an welcher dann die Ansätze für die Pfosten angearbeitet sind. Dadurch nun, dass die Werkstücke dieser Schicht so gross genommen werden, dass jedes derselben mindestens von einem Pfosten getroffen wird, erhält ein jeder Wölbstein des Bogens seine Belastung und wird derselbe vor jedem Ausweichen nach oben gesichert. Dass in vielen, wenn auch nicht allen Fällen die obere Abdeckung neben der Wasserführung einer Absteifung zu dienen hatte, ist an anderer Stelle erwähnt.

Weitere Ausführung der Strebebögen in ihren einzelnen Teilen.

Was zunächst die Bogenlinie selbst betrifft, so haben wir schon oben die grösseren Vorteile eines grösseren Radius, mithin der Annahme des Mittelpunktes innerhalb der inneren Mauerflucht ausgeführt. Nach Feststellung des Mittelpunktes aber findet sich der Radius unmittelbar aus der Entfernung desselben von der inneren Strebepfeilerflucht oder von dem hier aufgestellten, den Strebebogen aufnehmenden Dienst, welcher etwa über dem Gurtrippendienst des Seitenschiffes stehen kann. Hiernach ergibt sich dann eine in ihrem Anfang lotrecht beginnende Bogenlinie. Die Bogenlinie entspricht demnach der Hälfte eines Spitzbogens, ist derselbe sehr steil, so wird seine obere Endkraft mehr oder weniger schräg nach oben gerichtet sein (Fig. 405), ist er niedrig, also von wenig über Halbkreishöhe, so wird die obere Gegenlagskraft ganz oder nahezu horizontal wirken (Fig. 402, 404). Je steiler der Bogen ist, um so geringer wird bei sonst gleichbleibender Schwere sein wagerechter Gegendruck sein und um so tiefer wird derselbe nach dem Strebepfeiler unten geleitet. Ausserdem wird der steile Bogen dazu dienen können, einen Teil der „senkrechten“ Mauerlast der Mittelwand abzufangen.

Eine Beschränkung der Bogenhöhe aber kann durch die allgemeinen Verhältnisse gefordert erscheinen und wird sich durch Hinabrückung des Mittelpunktes und Vergrösserung des Radius ergeben, so dass hiernach der Strebebogen nur als Segment eines halben Spitzbogens erscheint. Hierdurch wird das Verhältnis der Schubkraft insoweit beeinflusst, als der Schub des Bogens höher zum Angriff auf den Strebepfeiler kommt und bei sonst gleichbleibendem Bogengewicht vergrössert wird.

Die Bedingungen, von welchen die notwendige Stärke des Strebebogens abhängig ist, haben wir bereits oben untersucht und stellen in Bezug auf das dort Gesagte hier nur die Stärkenverhältnisse von zwei verschiedenen Werken einander gegenüber. Es beträgt nämlich an dem Freiburger Münster, wo die Unveränderlichkeit der

Bogenlinie.

Querschnitt
des Bogens.

Bogenlinie durch die auf derselben befindliche Aufmauerung gesichert ist, die Stärke der Bogenschicht 45 cm, bei einer Dicke von 40 cm und einer Spannung von 8 m, während an den nicht abgedeckten Strebebögen der Liebfrauenkirche zu Worms sich eine Stärke von 60 cm, bei einer Dicke von 90 cm und einer Spannung von etwa 4 1/2 m findet.

An den älteren Werken ist der Durchschnitt der Strebebögen einfach rechteckig oder gefast. Reichere Profilierung zeigen diejenigen von St. Quen in Rouen (s. Fig. 900), noch zierlichere die des Kölner Domes und der Katharinenkirche in Oppenheim (s. Fig. 901 b). Eine Konstruktion aus zwei auf einander liegenden Schichten wie an den Scheidebögen ist der Funktion des Strebebogens nach eben so überflüssig als nach dem geringen Dickenmass unpassend. Dagegen finden sich an einzelnen späteren Werken nach der Analogie des Fenstermasswerkes eingefügte, hängende, einfache oder nasenbesetzte Bögen der unteren Fläche angesetzt.

Neben der Sparsamkeit der älteren Behandlungsweise ist derselben eine feinere Unterscheidung, eine schärfere Charakteristik eigen, insofern sie die reicheren Gliederungen für die inneren Räume, für diejenigen Bögen, unter denen Menschen einhergehen, aufspart, an den über den Dächern gespannten Strebebögen aber vermeidet. Dazu wirken solche feine Glieder dem mächtigen Schwung der Bogenlinie, den grossen Dimensionen der angrenzenden Bauteile gegenüber doch nur in beschränktem Masse.

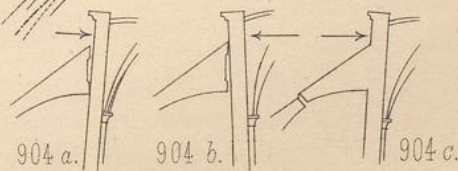
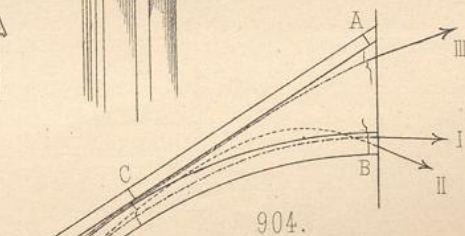
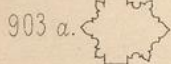
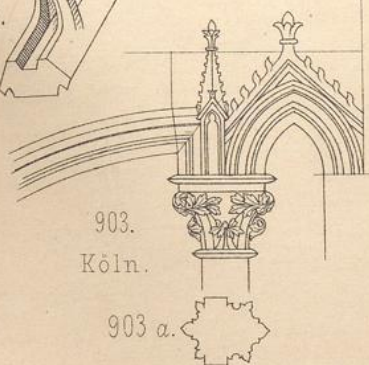
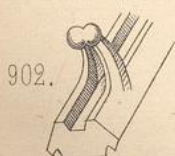
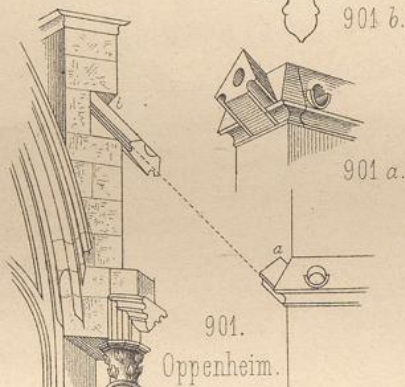
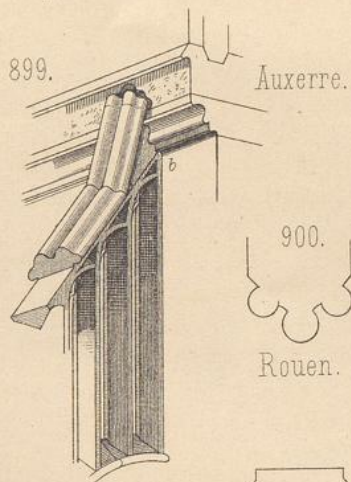
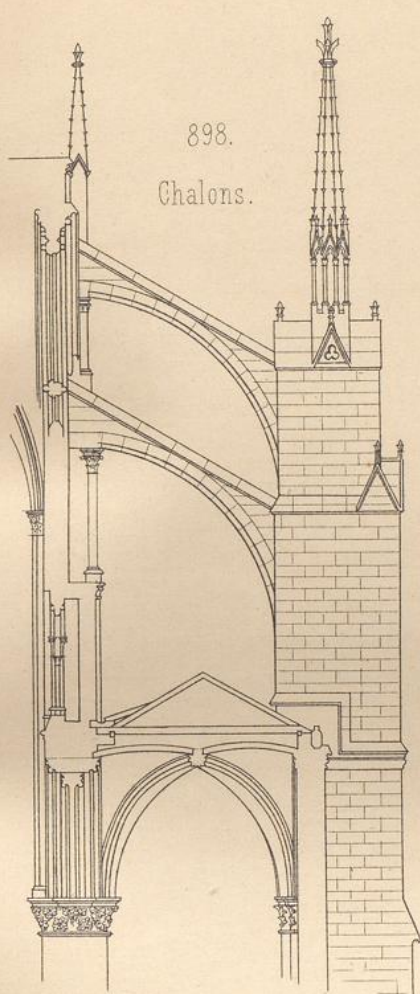
Ueber die den Rücken der Strebebögen abdeckende Gesimsschicht gilt, wenn dieselbe keine Rinne einschliessen soll, das weiter hinten über die Wimpergestaltungen Gesagte, nur mit dem Unterschied, dass wegen der minderen Steigung die wagerechte Fugenrichtung gegen die zur Steigungslinie senkrechte vertauscht werden muss.

Wenig oder gar nicht ändert sich die Gestaltung durch die Anlage eines geschlossenen Rohres in der Abdeckung, wie solche sich an dem Freiburger Münster und der Katharinenkirche in Oppenheim findet. An dem letzt-erwähnten Werke ist freilich nur die Absicht einer solchen Anlage aus dem in Fig. 901 dargestellten Werkstücke *a* des äusseren Strebepfeilers ersichtlich, an welches die Abdeckung des Strebebogens anschliessen sollte. Fig. 901 a zeigt dasselbe von vorn. An dem der oberen Mauer des Mittelschiffes eingebundenen Endstücke dieser Abdeckung *b* in Fig. 901 findet sich dagegen eine offene Rinne, welche freilich mit der an dem Strebepfeiler angenommenen Anlage in Widerspruch steht, so dass entweder eine Veränderung der ursprünglich beabsichtigten Anordnung oder die nachträglich vorzunehmende Hinzufügung der oberen Hälfte des Rohres anzunehmen ist. Die Fig. 892 b zeigt sodann das Profil der auf dem Rücken der Freiburger Strebebögen befindlichen, aus zwei Schichten bestehenden, geschlossenen Rohre. Eine ähnliche Anordnung findet sich an St. Barbara zu Kuttenberg.

Prinzipiell ist die Anlage der geschlossenen Rohre an dieser Stelle überhaupt zu verwerfen, indes stammt dieselbe in Freiburg doch noch aus der frühgotischen Periode und scheint auch keinerlei Nachteile im Laufe der Zeiten herbeigeführt zu haben.

Die Vorzüge einer offenen Rinne auf den Strebebögen bestehen in der Leichtigkeit, womit jedes zufällige Hindernis des Wasserablaufes hinweggeräumt werden kann, und in der Beförderung des Austrocknens. Da indes die Zugänglichkeit derselben über den Seitenschiffsdächern doch eine schwierigere bleibt, so könnte hiernach die Wage wieder etwas zu Gunsten der geschlossenen Anlage sich neigen, durch welche

Strebebögen.
Wasserleitung und Ausbildung einzelner Teile.



jede Verstopfung verhütet werden soll, wenn nicht dadurch wieder die Austrocknung wesentlich gehindert würde.

Die einfachste Gestaltung einer offenen Rinne ist in der Fig. 893 d enthalten. Reichere Gliederungen derselben finden sich an dem Strassburger Münster (s. Fig. 893 b) und der Kathedrale zu Auxerre (s. Fig. 899). Wenn mit einer offenen Rinne Laubbossen verbunden sein sollen, so müssen dieselben mit Durchlässen versehen sein, d. h. es müssen die Hörner oder Stengel aus den Rändern der Rinne sich empor-schwingen und oben zu einer einzigen Blatt- oder Knospengestaltung sich vereinigen (s. Fig. 902), oder es müssen die Blätter nach beiden Seiten sichtbar sein und mit ihren Dicken oberhalb des Durchlasses zusammenwachsen. Solche Gestaltungen finden sich an den Domen von Köln und Regensburg. An den französischen Kathedralen dagegen fehlen die Laubbossen häufig in diesem Falle und zwar selbst dann, wenn bei doppelten Strebebögen sie den Rücken der unteren, keine Rinne einschliessenden bekrönen.

Der Anschluss der Strebebögen an die obere Mittelschiffsmauer geschieht, wie oben bemerkt, entweder unmittelbar oder an einen von Grund aufgeführten oder von Säulchen getragenen Strebepfeiler, dessen Stärke in der Regel mit jener des Strebebogens übereinstimmt, also zunächst an den von der Mauer nach jenen Säulchen übergelegten Sturz, so dass die letzte radiale Bogenfuge ausserhalb des Unterstützungspunktes zu liegen kommt (s. Fig. 893 bei a). Dass dieser Sturz eine bedeutende Höhe haben oder durch darauf liegende Werkstücke verstärkt sein muss, ergibt sich aus der darauf lastenden Mauer-masse. Er bleibt dann in der Regel einfach viereckig, so dass die Strebebogengliederung daran totläuft oder sich durch eine Umkehrung in die lotrechte Richtung auf das Säulenkapital hinabsetzt, kann indes auch reichere Gestaltung annehmen. So sind in Amiens auf den Säulenkapitälern aufsetzende Blendbögen in die Seitenflächen gearbeitet, wodurch sich ein der verschiedenartigsten Ausführung fähiges Motiv ergibt, während in Köln das vollständige System der Wimpergen und Fialen sich daran durchgeführt findet, so dass, wie die Figuren 903 und 903 a darstellen, die Strebebogengliederung sich zwischen den Ecksäulen auf das Säulenkapital hinabsetzt, zugleich aber die den Durchgang überspannenden, durch den Sturz gearbeiteten Bögen begleitet.

Anschluss
an das
Mittelschiff.

Der Anschluss der Abdeckung des Rückens geschieht in derselben Weise, so dass die Anfänge der betreffenden Gliederung einem eingebundenen Werkstück angearbeitet sind, wie die Fig. 901 bei b zeigt. Bei Anlage einer Rinne ist entweder der Anfang derselben mit dem Ausguss oder Wasserspeier aus einem Stück genommen, wie in Strassburg (s. Fig. 893 bei e), oder es muss eine vollständige Trennung stattfinden, wie sie sich z. B. nach der S. 392 erklärten Anlage von Séz ergibt, oder wenigstens der Wasserspeier auf einem Postament liegen, durch welches die Fuge hindurchgehen kann.

Die Gesamtmasse des auf dem Sturz lastenden Mauerteiles, gegen dessen Stirn der Strebebogen gespannt ist, bildet dann eine der Mittelschiffsmauer anliegende Strebemauer und kann entweder unter der Abdeckung des Strebebogens abschliessen, oder den verschiedenartigsten, die obere Mittelschiffsmauer und die Dachgalerie verstärkenden Pfeiler- und Fialengestaltungen zur Basis dienen. So können entweder Pfeiler aufgesetzt werden, auf denen oberhalb des umgekröpften Dachgesimses die Fialen stehen, oder die letzteren in unmittelbarer Weise, so dass nur die Riesen in die Höhe der Dach-

galerie zu stehen kommen, oder es können die Riesen ohne Leiber auf die Strebebögen oder endlich die Fialen erst oberhalb der Dachgalerie aufsetzen, wie in Strassburg (s. Fig. 893). Eine sehr schöne Auflösung findet sich an dem Chor der Kollegiatkirche zu St. Quentin, wo die Abdeckungen beim Anschluss an die Mittelschiffsmauer sich umrollen und auf die in solcher Weise gebildete Volute Figuren zu stehen kommen, welche der Mauerflucht anliegen.

Wie sich denn überhaupt die erwähnten Strebemauern den wirklichen Strebe Pfeilern analog verhalten, so finden die Fensterbögen, Wimpergen u. s. w. in derselben Weise daran ihren Anschluss wie an den letzteren (s. Fig. 901).

Bezüglich des Anschlusses des Bogens an die Mittelwand weist VIOLLET LE DUC (dict. rais. de l'arch. Bd. I, S. 64) darauf hin, dass es wichtig sei, den Bogen oben nicht einbinden zu lassen, sondern eine senkrechte Anschlussfuge zu bilden, um durch die Möglichkeit des Gleitens bei verschiedenem Setzen der Mauerkörper ein Brechen des Bogens zu verhüten. Er behauptet, dass ein Fehlen dieser freien Anschlussfuge sich fast immer verhängnisvoll erwiesen habe.

Dazu ist zu bemerken, dass ein Gleiten bei einem eingespannten Bogen als unwahrscheinlich zu bezeichnen ist, dass dagegen die offene Fuge bei Bewegungen, besonders bei Windschwankungen, sich in anderem Sinne als günstig erweisen kann. Wenn in Fig. 904 die gewöhnliche Drucklinie durch *I* bezeichnet wird, so wird sich dieselbe bei Wind von links nach Art der Linie *II* verschieben, bei Wind von rechts wird sich dagegen die straffere Linie *III* bilden. Dabei kann sich unter Umständen der Druck so weit gegen die obere oder untere Kante schieben, dass ein jeweiliges Klaffen der Fuge (vgl. S. 144) an der entgegengesetzten Seite eintreten kann. Ist eine durchgehende Fuge vorhanden, so kann diese sich ungehindert etwas öffnen; fehlt dieselbe, so kann dagegen bei fest verzahntem Werkstein ein Zerreißen an den Stellen *A* oder *B* eintreten, oder aber, wenn die Festigkeit des Materiales dem widersteht, also eine feste Einspannung des Endes anzunehmen ist, ein Brechen des Bogens bei *C*.

Der Vorgang führt sich dem Verständnis noch klarer vor, wenn man ihn nicht statisch, sondern dynamisch betrachtet, wie es die Skizzen 904 a, b, c darthun. Fig. 904 a zeigt die Fuge oben geöffnet bei linksseitigem Wind, Fig. 409 b dagegen unten bei Wind von rechts und Fig. 409 c veranschaulicht das Brechen des Bogens an seiner schwächsten Stelle, wenn er oben fest eingespannt war.

Die Höhenverhältnisse der Basilika.

Es stehen dieselben in einer gewissen Beziehung zu dem seither entwickelten konstruktiven System, wenn schon die dadurch gezogenen Grenzen sehr weite sind. Setzen wir z. B. die Weite der Seitenschiffe = 1, die des Mittelschiffes = 2, die Höhe des Seitenschiffes = 2, die Höhe des Triforiums = 1, so dass das Dach etwa die Richtung von 45° erhält und die Höhe des Fensterstockes = 2, so ergibt sich für das Mittelschiff das Höhenverhältnis von 2 : 5, welches schon als ein Maximalverhältnis anzusehen ist, wonach die Fenstersohlen weit unter die Dienstkapitäle zu liegen kommen, so dass in gewöhnlichen Fällen eine Reduktion erforderlich wird. Eine solche würde zunächst die Höhe des Fensterstockes oder Lichtgadens nach dem alten besseren Ausdruck betreffen. Als Grenze derselben kann, wenn die Fensterbreiten die volle Jochlänge zwischen den Diensten einnehmen, eine Erhöhung der Sohlbank bis an die Dienstkapitäle betrachtet werden, wonach die Höhe des Lichtgadens, durch die Gewölbehöhe bedingt, etwa $1\frac{1}{4}$ betragen wird. Reduzieren wir dann weiter auch die Höhe des Triforiums auf $\frac{3}{4}$, so wird das Höhenverhältnis des Mittelschiffes jenem der Seitenschiffe entsprechen und 1 : 2 betragen, und etwa durch Verringerung der Seitenschiffshöhen noch herabgemindert werden können.

Noch geringere Höhen können sich durch geringere Fensterbreiten ergeben, wofür wir die Reimser Kirche (Fig. 921) als Beispiel anführen, in welcher die Kapitäle der

gespannten Bogen gegenüber erhalten muss und der schon durch die Bedingung des Widerstandes erforderlich wird, sich von beiden Seiten durch Pultdächer dem Strebebogen anlegt. Auch hier sind sehr verschiedene Gestaltungen möglich (s. Fig. 906 und 907).

Wenn dann auf dem Rücken des Strebebogens sich eine Rinne befindet, so kann der Wasserspeier entweder wagerecht auf das Pfeilerdach zu liegen kommen (Fig. 908) oder auf der oberen Pfeilerfläche ein Becken sich bilden, aus welchem das Wasser durch den tiefer gelegenen Ausguss abfließt (s. Fig. 909), oder es kann schliesslich das Wasser durch das Strebepfeilerdach nach unten hindurch gehen. Es handelt sich im Wesentlichen bei allen diesen verschiedenen Anordnungen nur um das S. 362 ff. Gesagte. Wir bemerken jedoch, dass die Anlage des Ausgusses auf dem Strebepfeiler wie Fig. 908 sehr lange Stücke fordert, daher eine tiefere Lage desselben, welche durch die Belastung gesichert wird, eine wesentliche Erleichterung gewährt.

Fialenauf-
sätze.

Eine Steigerung der Widerstandskraft des Strebepfeilers durch grössere Belastung führt in einfachster Gestalt auf eine Erhöhung des Pfeilerdaches über den Anschluss der Strebebogenabdeckung hinaus (Fig. 912), in reicherer aber auf einen wagerechten oder aus mehreren Giebeln bestehenden Aufsatz darüber, oder auch einen Fialenriesen bez. eine völlige Fiale. Dieser Aufsatz steht dann entweder über der hinteren oder der vorderen Strebepfeilerflucht oder über der Mitte der Länge. Erstere Anordnung ist wohl als die in statischer Hinsicht vorteilhafteste anzusehen, da sie den Schwerpunkt der ganzen Pfeilermasse weiter nach innen rückt, mithin den Hebelsarm des Widerstandes vergrössert. Sie findet sich z. B. am Freiburger Münster (s. Fig. 892). Andererseits aber bringt neben dem sonst genügend schweren Aufsatz die Zufügung einer leichteren Fiale über der Vorderflucht, wie sie sich an vielen französischen Werken findet, für den Standpunkt des Beschauers die Wirkung einer grösseren Entschiedenheit hervor und macht gewissermassen das Prinzip der Belastung anschaulicher. Zudem ist der wirkliche Verlust an statischem Effekt nur ein sehr geringer.

Die Aufsetzung der Fiale über der Mitte der Strebepfeilerlänge findet sich in einfachster Weise an der Kathedrale von Chalons (s. Fig. 898), in reicherer an jener von Beauvais. Die Fiale des letzteren Werkes, deren Leib aus vier bogenverbundenen Ecksäulchen besteht, also ein Gehäuse bildet, welches jedoch nicht wie sonst gewöhnlich eine Figur, sondern einen zwischen jenen Säulchen dem Strebepfeilerdach aufgesetzten Fialenriesen überdacht, eine Anordnung, welche sodann auch auf die ursprüngliche Gestaltung der Strebepfeiler des Kölner Domes übergegangen ist*), bringt eben durch die darin enthaltene Darlegung des höchsten Reichtumes eine eigentümlich überraschende Wirkung hervor. Wir möchten indes jener älteren Anordnung, wonach die Schlussfiale eine unsymmetrische Stellung erhält, den Vorzug geben. Zwar erhält dadurch der ganze Strebepfeiler eine minder selbständige Gestaltung, eben dadurch aber wird seine Zugehörigkeit zum Ganzen deutlich ausgesprochen.

An den Strebepfeilern des Strassburger Münsters besteht jener Aufsatz aus einem unteren geböschten Körper, der den Schwerpunkt nach hinten schiebt und darüber aus einem Pfeilerkörper von oblonger Grundform, dessen vorderer Teil eine Fiale bildet (Fig. 893 und 893 c). Dabei stehen die Ecksäulchen der Fiale in der Flucht des Pfeilerkörpers und mit den Sockeln auf dem Gesimsvorsprung auf, so dass also auch

*) Bei der Restauration verwischt, s. REICHENSPERGER verm. Schr. S. 320.

in den Bögen und Giebeln der Fialen sich ein Vorsprung ergibt und das Giebeldach jenes Pfeilerteiles unter dem Fialengiebel abschliesst. Der Strassburger Aufsatz muss als besonders glücklich bezeichnet werden, da er eine gute Lage des Schwerpunktes mit klarer architektonischer Wirkung vereinigt. Eine verwandte Anordnung findet sich an den älteren Strebepfeilern der Kathedrale zu Amiens, wo dem vorderen Teil der oberen Höhenabteilung des Strebepfeilers, an welche der obere Strebebogen anschliesst, vier in's Quadrat gestellte, bogenverbundene, mithin drei Blenden umschliessende Säulchen vorgesetzt sind, welche auf dem Vorsprung des unteren Pfeilerteiles aufsetzen und die Basis für die darüber aufgestellte Schlussfiale abgeben. Durch eine derartige immer noch einfache Anordnung wird ein näherer Zusammenhang der Fiale mit dem Strebepfeiler vermittelt, die dekorative Wirkung gesteigert und zugleich durch die Reproduktion der unteren Pfeilerstärke in der Fiale gewissermassen ein konstruktiver Gedanke ausgesprochen, der den späteren oft überreichen Lösungen abgeht, oder doch minder klar daraus hervortritt.

Sobald überhaupt das System der Fialenauflösung eine völlige Ausbildung gefunden hat, tritt das Bestreben hervor, dasselbe auf die oblonge Grundform jenes Aufsatzes, überhaupt diejenige des ganzen Pfeilers, in einer künstlicheren Weise anzuwenden. Die einfache Abdachung des Strebepfeilers hört völlig auf und auch die neben oder vor der Schlussfiale liegenden bleibenden Flächen werden in der verschiedenartigsten Weise in Fialen aufgelöst.

Bei den Strebesystemen doppelter Spannung, also über fünfschiffigen Anlagen kommen dann auch Pfeiler über den Zwischenpfeilern der Seitenschiffe zu stehen, welche als eigentliche Strebepfeiler nicht gelten können, an welchen die oberen Strebebögen aufsetzen und die unteren anschliessen. Einfachsten Falles würden dieselben die Gestaltung gewöhnlicher Gewölbepfeiler oder starker Säulen erhalten können. Indes liegt es auch hier nahe, der Stabilität durch Belastung zu Hülfe zu kommen, d. h. also jenen Pfeilern einen selbständigen, über den Anschluss der Strebebögen hinaus sich erhebenden Abschluss zu geben, anstatt sie unter der Strebebogenabdeckung liegen zu lassen. Durch den Grundriss der Schiffspfeiler sowohl wie durch ihre Funktion wird diesen Zwischenpfeilern mehr eine konzentrische Grundform im Gegensatz zu der oblongen der äusseren Strebepfeiler vorgeschrieben, also die Gestaltung eines Polygons oder des griechischen Kreuzes wie in Köln, dessen vier Flügelquadrate in Fialen aufgelöst sind, deren Riesen die über dem Mittelquadrat stehende Schlussfiale umwachsen. Dasselbe Gestaltungsmotiv ist denn in Köln auch auf die äusseren Strebepfeiler ausgedehnt und nur gemäss der Funktion dieser letzteren dahin umgewandelt, dass der nach aussen gekehrte Kreuzarm eine bedeutende Verlängerung erhält, welcher in der Vorderflucht eine besondere Schlussfiale auf- oder vielmehr vorgesetzt ist, so dass nunmehr der die Strebebögen aufnehmende Strebepfeiler statt der einfach oblongen Grundform die in Figur 910 gezeigte kreuzförmige erhält.

Aehnliche Gestaltungen ergeben sich an den Chorstrebepfeilern einzelner Werke, wie der Kathedralen von Köln und Amiens, aus dem Anschluss der Kapellenwände an die Strebepfeiler, so dass nämlich, wie Fig. 911 zeigt, diesen Wänden noch die den Strebepfeiler verstärkenden Flügel α aufgesetzt sind. Indes hat diese Anordnung den Nachteil, dass die Strebepfeiler ein übermässiges Breitenmass erhalten und hierdurch den Anblick des hohen Chores beeinträchtigen, wie dies der Vergleich der genannten Choranlagen mit jener zu Beauvais darthut. An letzterer nämlich haben die Strebe-

Zwischenpfeiler bei doppeltem Bogenflug.

Flügel der Strebepfeiler.

pfeiler die rechteckige Grundform behalten, und eben dadurch bleibt der Wirkung des Oberbaues eine grössere Geltung gesichert, welche dadurch noch gesteigert wird, dass dieselbe, anstatt nach dem Polygon, nach dem Halbkreis angelegt ist, mithin das abschliessende Dachgesims durch seine grosse Kurve eine völlige Einheitlichkeit darstellt.

Der Anschluss des Strebebogenrückens führt auf eine wagerechte Teilung oder den Abschluss des Strebepfeilers, ebenso bestimmt sich in der Regel eine zweite Teilung durch den Anschluss des Bogens selbst, also die Höhe der Grundlinie desselben. Dieses Prinzip einer durch die Strebebögen beherrschten wagerechten Teilung der Strebepfeiler findet sich, zwar in freier Behandlung, selbst an denen des Kölner Domes, an welchem doch sonst der Vertikalismus in so entschiedener Weise vorherrscht.

Einem wesentlich verschiedenen System begegnen wir dagegen an der Kathedrale zu Reims (s. Fig. 894), wo der eigentliche Strebepfeiler, an welchen der Strebebogen anschliesst, sich an ein mächtiges Türmchen setzt, welches aus einem vollen, mit Blenden und auf den Ecken eingesetzten Säulchen geschmückten Untersatz und einem kolossalen, von vier Säulen getragenen, mit hohem achteckigen Helm und vier Eckriesen schliessenden Figurengehäuse besteht. Dabei entspricht die Höhenteilung des Türmchens weder jener des daran lehnenen Pfeilers, noch der durch den Anschluss der Strebebögen bestimmten Höhe. Dieses System der Aneinanderlehnung von zwei verschiedenen Pfeilerteilen, also einer mehr vertikalen Teilung, findet sich ferner, wenn schon in milderer Entschiedenheit an den Chorstrebepfeilern von St. Ouen zu Rouen (s. Fig. 1083), wo der obere Strebebogen auf dem unteren Gesims aufsetzt, und die Abdeckung desselben in der Höhe des Bogenanfanges des hinteren Pfeilerteiles anschliesst.

Es darf aber die Ungleichheit der Höhenteilung der beiden aneinander Lehnenen Pfeilerteile nicht zur völligen Regellosigkeit werden, vielmehr ist immer eine gewisse Beziehung derselben aufeinander zu wahren. So schliesst an den Reimser Pfeilern die Strebebogenabdeckung an das Giebeldach des Pfeilers, und letzteres oberhalb der Kapitäle an die Figurengehäuse in der Weise, dass der Dachfirst mit der Oberkante des wagerechten Gesimses abschliesst, und die Kapitäle der Säulen des Gehäuses mit denen der die hinteren Kanten des Pfeilers fasenden Säulchen aus ein und derselben Schicht genommen sind. Ueberhaupt ist es schon die Anlage durchgehender Lagerfugen, welche auf solche Uebereinstimmungen der Höhen führt und den vertikalen Tendenzen die Grenzen steckt.

Der Wasserablauf aus der Strebebogenrinne, von der wir bereits oben gesprochen haben, muss bei einem Aufsätze entweder durch diesen hindurch, oder um denselben herum nach den über der Mitte oder den Ecken der Strebebögen ausladenden Ausgüssen geleitet werden.

Nur an der Katharinenkirche in Oppenheim teilt sich der in die Pfeiler gehende Kanal im Innern derselben nach beiden Seiten und mündet in den Seitenflächen der Pfeiler, in den in Fig. 901 bei *a* angegebenen Löchern, so dass das Wasser über Wassersschlag und Traufgesims nach den Rinnen der Seitenschiffdächer abtropft.

Bei den Herstellungsarbeiten in den Jahren 1878—1889 wurden nach Angabe des Herrn Prof. Freih. von Schmidt zu München die alten Wasserläufe in allen ihren Teilen wieder hergestellt und ausgebaut, das Wasser selbst aber in Abfallröhren geleitet, um die Gefahr des Undichtwerdens metallener, in geschlossene Steinrinnen gebetteter Rohre vom Bau fern zu halten.

Berechnung der Standfähigkeit des Strebewerkes.

Wenngleich die Bedingungen der Standfähigkeit in dem Abschnitt über Widerlager bereits dargelegt sind, so soll es auch bezüglich der Basilika nicht unterlassen

werden, den Gang der Rechnung durch ein einfaches Beispiel dem Verständnis noch näher zu führen.

Beispiel: Der gleiche Grundriss (s. Fig. 394), welcher der Berechnung einer Hallenkirche auf S. 154 und 376 zu Grunde gelegt war, möge nun als einer in Ziegelstein zu erbauenden Basilika angehörig betrachtet werden. Die Gewölbe mögen die auf S. 154 angegebenen Schübe und Lasten ausüben, die Aussenwände des Seitenschiffes seien bei nur $2\frac{1}{2}$ Stein = 65 cm Dicke 11 m hoch, die von Pfeilern aus Sandstein getragenen Mittelwände, welche vom Fussboden bis zur Traufe eine Höhe von 22 m haben, sollen dagegen eine Stärke von 3 Stein = 78 cm erhalten, die bereits in den Scheidebögen vorhanden ist. Die Seitengewölbe sollen ohne, die Mitteltgewölbe jedoch mit einer Gurtübermauerung versehen sein, welche in Gemeinschaft mit den Strebebögen eine feste Querversteifung bildet. Ein ebm Mauerwerk aus ziemlich schweren Maschinensteinen möge 1800 kgr wiegen. Das Weitere geht aus dem Schnitt Fig. 912 hervor.

Beispiel:
Berechnung
des Schubes
der Strebe-
bögen.

Es soll zunächst berechnet werden, wie gross der Gegenschub des in 18 m Höhe anfallenden Strebebogens sein muss unter der Voraussetzung, dass der Druck unten durch den Mittelpunkt der Grundfläche des Mittelpfeilers geht.

Für letzteren Punkt wird die Momentengleichung aufgestellt für alle Kräfte, welche oberhalb der Grundfläche auf den Mittelpfeiler bez. die darüber lastende Wand wirken. Die Kräfte sind folgende:

Der gesuchte Horizontalschub B des Strebebogens, der mit 18,0 m Hebelsarm nach rechts dreht. — Der gleichfalls rechts drehende Schub des Seitengewölbes $H_2 = 2160$ (s. S. 154), er greift in rd 8,0 m Höhe über dem Fussboden an. — Der Vertikaldruck des halben Seitengewölbes $V_2 = 6840$, welcher in der Scheidebogenflucht, also um 0,39 m links von dem Momentenpunkt angreift. — Der links drehende Schub des Mitteltgewölbes $H_1 = 3240$ (s. S. 154), welcher in rd 17,5 m Höhe über dem Boden in die Wandflucht übergeht. — Der Vertikaldruck des halben Mitteltgewölbes $V_1 = 10260$, mit einem Hebel von 0,39 m rechts drehend. — Dazu kommt die horizontale und vertikale Widerlagskraft der Gurtübermauerung. Letztere wirkt mit einem Hebel von 0,39 m rechts drehend und ist gleich dem Gewicht der Hälfte der Uebermauerung, welches bei 25 cm Dicke und 7 qm Ansichtsfläche $V_g = 7,0 \cdot 0,25 \cdot 1800 = 3150$ kgr beträgt. Der links drehende Horizontalschub des übermauerten Gurtes wechselt bei Windschwankungen u. s. w., er kann im günstigsten Falle etwa so tief wie der Gewölbschub, also 17,5 m über Boden wirken und dann etwa ein Drittel der senkrechten Kraft V_g also rund $H_g = 1000$ betragen. — Das Gewicht des Pfeilers und der darauf ruhenden Mittelmauer, das nach Abzug von Fenstern, Blenden u. s. w. etwa 110000 kgr beträgt, entfällt aus der Rechnung, da bei symmetrischer Verteilung sein Schwerpunkt über der Pfeilermittle liegt, also einen Hebel = 0 hat.

Nach alledem lautet die Gleichung aus den rechts und links drehenden Kraftmomenten:

$$B \cdot 18,0 + H_2 \cdot 8,0 + V_1 \cdot 0,39 + V_g \cdot 0,39 = V_2 \cdot 0,39 + H_1 \cdot 17,5 + H_g \cdot 17,5$$

Nach Einsetzen der obigen Werte berechnet man:

$$B = 3020 \text{ kgr.}$$

Hat man den erforderlichen Schub des Strebebogens, so kann man das erforderliche Gewicht G desselben berechnen, indem man für den voraussichtlichen unteren Druckpunkt M die Momentengleichung aufstellt, sie lautet unter der Annahme, dass im vorliegenden Fall der Schwerpunkt des Bogens bez. die Kraft G um 3,0 m rechts von M und der obere Anfallpunkt N um 5,0 m oberhalb M liegt:

$$G \cdot 3,0 = 3020 \cdot 5,0$$

Das Gewicht des Strebebogens muss also sein: $G = 5033$ kgr. Das heisst der Bogen nebst der ihn belastenden Abdeckung muss $5033 : 1800 = 2,80$ cbm Inhalt oder bei $1\frac{1}{2}$ Stein = 0,38 m Dicke eine seitliche Ansichtsfläche von rd 7,40 qm erhalten.

Es ist gerade noch möglich einen durchbrochenen Bogen, wie ihn Fig. 912 zeigt, mit dieser geringen Fläche herzustellen. Würden praktische Gründe für einen etwas grösseren Massenaufwand

sprechen, so würde dem in gebotenen Grenzen bei sonst richtiger Verteilung nichts im Wege stehen, da ja die angenommene Gurtübermauerung durch ihre Steifigkeit (Vergrößerung von Hg) Widerstand leisten würde, natürlich würde dann aber auch der Widerlagspfeiler eine etwas grössere Stärke verlangen.

Es soll nun untersucht werden, wie sich der Strebebogen, dessen Abdeckung $1-1\frac{1}{2}$ m unterhalb der Traufe anfällt, bei einem die gegenüberliegende Wand treffenden starken Sturm von 120 kgr auf 1 qm verhält.

Berechnung
des Schubes
bei Wind-
wirkung.

Kann man annehmen, dass der Wind gegen Dach und Wand des Seitenschiffes von der Standfähigkeit dieser Aussenwand allein aufgenommen werden kann, so bleibt der Wind gegen die herausragende Mittelwand und das Mitteldach übrig.

Der Wind gegen ein 7 m hohes und 6 m breites Feld der Mittelwand beträgt: $6,0 \cdot 7,0 \cdot 120 = 5040$ kgr und hat eine mittlere Angriffshöhe von 18,5 m.

Der Wind gegen eine Jochlänge des Daches, welche bei 60° Neigung und 10 m schräger Länge $10,0 \cdot 6,0 = 60$ qm Dachfläche aufweist, beträgt nach S. 163: $60 \cdot 92 = 5520$ kgr, er greift in Höhe der Balken, also 22 m über dem Fussboden an.

Die Gesamtwirkung des Windes gegen Wand und Dach berechnet sich somit auf 10560 kgr mit etwa $20\frac{1}{2}$ m durchschnittlicher Angriffshöhe. Davon werden einige hundert Kilogramm entfallen infolge einer kleinen Schubverminderung der Strebebögen an der Windseite, ausserdem werden die beiden Mittelpfeiler zusammen etwa 2000 kgr aufnehmen können (was in jedem eine Druckverschiebung von $1000 \cdot 20,5 : 110\,000 = 0,19$ m nach sich ziehen würde, die ohne zu grosse Kantenpressung, welche hier nicht näher verfolgt werden soll, wohl noch zugänglich ist, s. S. 145 u. S. 155). Es würde dann noch ein Winddruck von etwa 8000 kg verbleiben, der teils durch den steifen Gurt, teils durch das Dachwerk und den Schildbogen (s. S. 341) dem Strebebogen zugeführt wird.

Diese horizontale Kraft ist viel grösser als der gewöhnliche Gegenschub des Strebebogens, sie würde einen einfachen Bogen nach oben in die Höhe drängen und zerbrechen, sie kann nur aufgenommen werden durch die schräg ansteigende obere Abdeckung, welche überdies durch ihren hohen Anfall gegen die oberen Mauerteile den Wind da abfängt, wo er zur Geltung kommt, also dem Pfeiler erschütternde Drehmomente fernhält.

Der Winddruck $W = 8000$ kgr zerlegt sich in zwei Seitenkräfte (s. Fig. 912 a), die eine Seitenkraft fällt in die Richtung der Strebe und beläuft sich bei 45° Steigung derselben auf $8000 \cdot \sqrt{2} = 11\,314$ kgr, die andere ist senkrecht nach oben gerichtet und ergibt sich zu 8000 kgr, ihr setzt sich die Last des oberen Mauerstückes nebst Dachgewicht und senkrechter Windlast (s. Tabelle S. 163) entgegen und verhindert ein Hochdrängen dieser Teile. Die grössere in die Richtung der Bogenabdeckung fallende Kraft von 11314 kgr muss von dieser Abdeckung sicher nach unten geleitet werden können. Wird vorausgesetzt, dass die Gefahr des Knickens oder Ausbauchens im vorliegenden Falle noch nicht zu fürchten ist, so kommt nur die Druckfestigkeit des Querschnittes $x \cdot x$ in Frage. Würde man bei einer Ausführung in Ziegel und Kalkmörtel 7 kgr Druck auf 1 qm zulassen, so müsste der Querschnitt $11\,314 : 7 = 1616$ qm sein, also bei 38 cm durchschnittlicher Breite eine Höhe von $42\frac{1}{2}$ cm haben müssen. Bei Ausführung dieser Teile mit Zementmörtel oder bei Verwendung von Werkstein könnten die Abmessungen noch etwas eingeschränkt werden.

Nunmehr ist noch die Standfähigkeit des aus Ziegelstein aufzuführenden, den Strebebogen aufnehmenden Strebepfeilers zu prüfen, der bei einer vermittelten Höhe von 18 m und Breite von 1 m eine untere Länge von 3,2 m und eine obere Länge von 2,4 m haben möge.

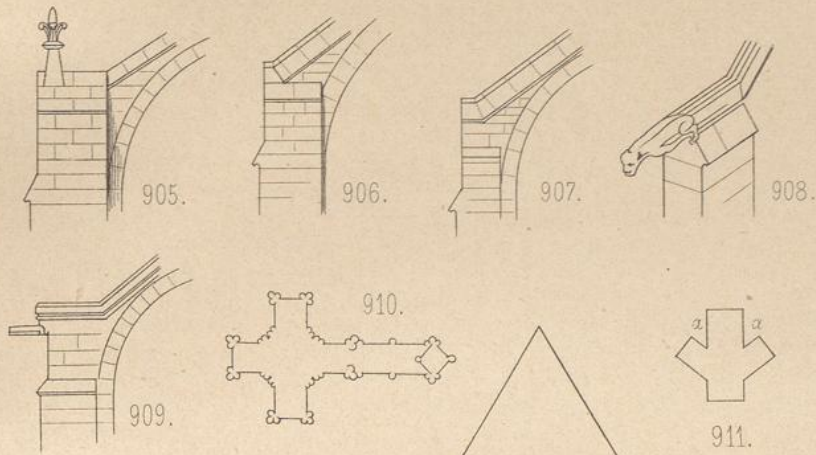
Berechnung
der Strebe-
pfeiler.

Auf den Strebepfeiler wirken der Wölbschub H_2 des Seitenschiffes, der Schub B des Strebebogens und der 8000 kgr betragende horizontale Schub W, den die Abdeckung des Strebebogens bei Wind ausübt (Fig. 912 b), als umstürzende Kräfte, sie liefern bezüglich der Pfeilergrundfläche in Fussbodenhöhe folgende Momente:

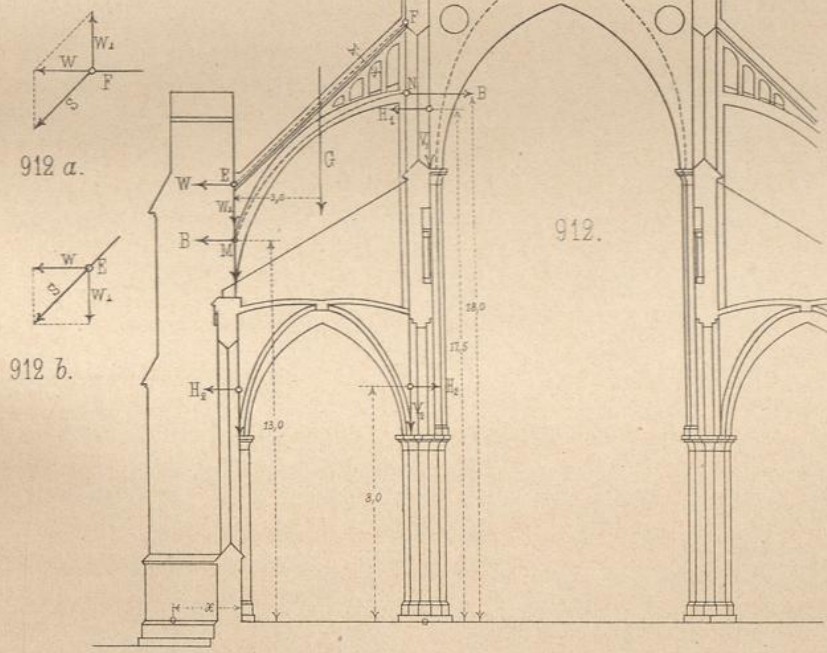
Seitenschiff	$2160 \cdot 8,0 = 17\,280$
Strebebogen	$3020 \cdot 13,0 = 39\,260$
Abdeckung des Strebebogens bei Wind $8000 \cdot 15,0 = 120\,000$	

Gesamtumstürzmoment : 176540

Die Widerlagspfeiler der Strebebögen.



Berechnung eines Strebesystems.



Für den noch unbekanntem Druckpunkt in der Grundfläche, der X Meter vor der Hinterkante liegen möge, wird die Momentengleichung aufgestellt, indem das soeben ermittelte Umsturzmoment gleich den günstigen Momenten der senkrechten Kräfte gesetzt wird. Die senkrechten Kräfte sind die folgenden: 1. das Gewicht des Strebepfeilers, der bei 18,0 m Höhe, 1,0 m Dicke und 3,2 m unterer bez. 2,4 m oberer, also 2,8 m mittlerer Länge $18,0 \cdot 1,0 \cdot 2,8 = 50,4$ cbm Inhalt hat, also $50,4 \cdot 1800 = 90720$ kgr wiegt, während sein Schwerpunkt 1,4 m vor der Innenkante liegt. — 2. Das Gewicht der an den Strebepfeiler anschliessenden Stücke der Aussenwand, welche bei rund 20 cbm Inhalt 36000 kgr wiegen, während der Schwerpunkt 0,32 m vor der Hinterkante liegt. — 3. Die in der inneren Mauerflucht angreifende Vertikalkraft des Seitenschiffgewölbes, die wie oben bemerkt 6840 kgr beträgt. — 4. Das in der Hinterflucht des Strebepfeilers angreifende Gewicht des Strebebogens von 5033 kgr. — 5. Die senkrechte Seitenkraft des von der Abdeckung übertragenen Druckes (Fig. 912b), sie beträgt 8000 kgr und kann als in der Hinterflucht angreifend betrachtet werden. Die Momentengleichung heisst somit:

$$90720 \cdot (X - 1,40) + 36000 \cdot (X - 0,32) + (6840 + 5033 + 8000) \cdot X = 176540.$$

Daraus berechnet sich der Abstand des Druckes von der Hinterkante zu:

$$X = 2,15 \text{ m.}$$

Der Druck liegt schon etwas ausserhalb des Kernes, er bleibt aber immerhin noch 1,05 m von der Aussenkante entfernt. Die Summe aller auf der Pfeilergrundfläche ruhenden senkrechten Lasten berechnet sich zu rd 150000 kgr und die Durchschnittspressung beläuft sich bei rd 4,0 qm tragender Grundfläche des Pfeilers und der anstossenden Wand auf $\frac{150000}{40000}$ also 3,75 kgr. Die Kantenpressung

ist etwas mehr als die doppelte Durchschnittspressung, sie wird also etwa 8 oder 9 kgr auf 1 qm betragen. Diese Beanspruchung kann als nur ausnahmsweis vorkommend für gutes Ziegelmauerwerk allenfalls noch zugelassen werden; glaubt man das Mauerwerk nicht so stark beanspruchen zu dürfen, so würde der Pfeiler etwas verlängert und dann von Neuem berechnet werden müssen. Es ist in unseren Rechnungen der Winddruck in der hergebrachten Grösse von 120 kgr auf den qm senkrecht getroffener Fläche angesetzt; hält man es in Rücksicht auf bessere Untersuchungen oder örtliche Verhältnisse für angezeigt, grössere oder kleinere Werte zu Grunde zu legen, so wird das Schlussergebnis sich entsprechend etwas ändern, das Wesen der Sache wird aber das gleiche bleiben. Zu gering sollte man aber den Wind gegen das Mittelschiff der Basilika nie annehmen, da dasselbe gewöhnlich alle Nachbarbauten überragt und sich überdies der Wind von den Seitendächern gegen die Mittelwand hinaufschiebt. Wenn kein Wind wirkt, liegt der Druck nach Ausweis der ebenso wie vorhin aufzustellenden Momentengleichung in grösster Nähe des Schwerpunktes der Grundfläche, so dass eine fast gleichmässige Verteilung des Druckes erfolgt, der sich an keiner Stelle weit von der Durchschnittspressung, welche etwa 4 kgr beträgt, entfernt. Würden die Mittelpfeiler sehr schlank gemacht, so dass sie nicht imstande wären, einen Teil des Windes (wie oben angenommen) aufzunehmen, so würde ihr Anteil dem Strebepfeiler noch mit zufallen, auf den dann oben eine Seitenkraft von etwa 10000 statt 8000 wirken würde, was eine Verstärkung des Strebepfeilers nötig machen würde. Es kann bei der Basilika also ebenso wie bei der Hallenkirche (s. S. 375) der äussere Strebepfeiler für den Mittelpfeiler eintreten, sobald für eine richtige Querversteifung durch Mittelgewölbe und Strebebögen gesorgt ist. Umgekehrt würde auch ein sehr starker Mittelpfeiler für einen zu schwachen äusseren Strebepfeiler eintreten können. Man kann allgemein bei richtiger Querversteifung annehmen, dass die Basilika standfähig ist, wenn die beiden Mittelpfeiler und der dem Winde abgekehrte Strebepfeiler in Summe standfähig genug sind.

Es steht nichts im Wege die Rechnung, die hier wegen des knappen Raumes in möglichst abgerundeter Form nur für die Hauptteile durchgeführt ist, mit gesteigerter Genauigkeit auf weitere Einzelheiten auszudehnen, besonders den ganzen Druckverlauf in den Mittelpfeilern bez. Mittelwänden mit Einschluss des Dachwerkes, der Schildbögen, Umgänge u. s. f. zu verfolgen, das Verhalten der Strebebögen und der Gurtübermauerung bei wechselnder Windstärke zu prüfen, die wichtigen Sockel und Fundamenterbereitungen an der Hand der Rechnung festzustellen u. dgl. mehr. Es dürfte die vorliegende Auflage des Lehrbuches die Fingerzeige dafür an den verschiedenen Stellen geboten haben, so dass es dem Entwerfenden bei einiger Umsicht unschwer gelingen

Allgemeines
über Rechnungen.

dürfte, sich mit Einzelheiten und Sonderheiten, die erst bei einem durcharbeiteten Entwurf in Erscheinung treten, in angemessener Weise abzufinden.

Hier kam es uns darauf an, die Scheu vor allem, was irgendwie an Theorie zu streifen scheint, etwas zu bannen, leicht begehbbare Wege sowohl für genauere als angenäherte Rechnungen aufzusuchen und darauf hinzuweisen, dass wir bislang die statischen Verhältnisse derartiger Bauwerke nicht immer mit richtigen Augen angesehen haben, dass wir uns z. B. im Gegensatz zu den alten Meistern viel zu sehr daran gewöhnt haben, nur den ruhenden Kräften, Wölbschüben u. s. f. Rechnung zu tragen, während es gerade in ganz besonderem Masse die schwankenden Beanspruchungen durch Wind u. dgl. sind, denen mit besonderer Aufmerksamkeit begegnet werden muss. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass beim Fehlen von Windschüben zur Not unsere grössten Basiliken ohne Strebebögen ausführbar gewesen wären, da sich dann durch Ueberkragen und Auswägen der Massen immer eine Gleichgewichtslage hätte erreichen lassen.

Manche unserer Ausführungen sind, wie nicht geleugnet werden soll, erste Versuche, die hoffentlich weitere Vervollkommnung erfahren werden. Bei dieser Gelegenheit können wir leider die Bemerkung nicht unterdrücken, dass viele Grundfaktoren, auf welche sich unsere Rechnungen stützen müssen, noch weitgehender Klärungen bedürfen, dahin gehört die zulässige Beanspruchungsgrenze, die Elastizität und Knickfestigkeit der Stein- und Mörtelarten, die Stärke des Windes, seine Stosswirkung, seine Ablenkung und sein Gleiten auf schrägen Flächen und manches andere. Neuerdings scheinen erfreulicherweise sich Theoretiker und Praktiker etwas mehr diesen Gebieten zuzuwenden.

4. Die Entwicklung der Triforien.

Durchschnitt der Triforien.

Es stelle Fig. 913 den Durchschnitt einer Kirche mit Strebesystem dar, wie dasselbe sich aus dem Vorhergehenden ergibt, es sei darin a der vor den Mittelschiffsfenstern angelegte Umgang, das Dreieck abc das Seitenschiffdach, und e das den Strebebogen aufnehmende Säulchen, welches auf einem durch das Innere jenes Daches geführten Pfeiler aufsetzt. Legen wir nun bestimmte Dimensionen zu Grunde und rechnen etwa bei Weiten von Mittel- und Seitenschiff von 9 m bez. $5\frac{1}{2}$ m und einer Pfeilerstärke von 1,35, für den Vorsprung der Dienste oberhalb der Pfeilerkapitäl, also fg , 30 cm, die Fensterwand hi 45—50 cm, die Weite des Umganges a 40 cm und die Säulen e 30 cm, so ergibt sich für die Gesamtstärke ex das Mass von zirka 1,50 m, mithin die Notwendigkeit jene die Säulen e tragenden Pfeiler entweder auszukragen, oder dem Gewölbeanfang des Seitenschiffes aufzusetzen und zwar um eine Weite, welche mit der Abnahme der Schiffweiten und der dadurch bedingten der unteren Pfeilerstärken zunimmt, da die Weite des Umganges eine konstante sein muss.

Hiernach würde sich, wie unsere Figur zeigt, auf die Höhe zwischen dem Scheidbogenseitel und der Sohle des Umganges eine Mauerstärke von wenigstens 90 cm und über den Schiffspfeilern bei fk , da die Säulen e doch auch mit Sockeln versehen sind, eine solche von zirka 1,7 m ergeben.

Wenn nun schon oberhalb des Umganges eine solche Pfeilerstärke eben durch das Strebesystem überflüssig wurde, so ist sie es mindestens in gleichem Masse auf der