



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Stabilität der Mittelpfeiler

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

Schub des Mittelschiffes. In diesem letzteren Falle sind daher die Aussenwände entsprechend stärker zu bemessen als in den beiden vorigen.

Früher war man gewöhnlich der Ansicht, dass immer der erste Fall vorläge, d. h. dass der Ueberschuss des Mittelschubes von den Pfeilern zu bewältigen sei. Man hielt die Seitenschiffgewölbe für unfähig, Seitenkräfte hinüberzutragen. Dabei konnten aber einerseits die überaus schlanken Mittelpfeiler einzelner Kirchen, andererseits die übermässigen Strebpfeilerstärken nicht genügend erklärt werden, bezüglich der letzteren warf man den alten Meistern eine gewisse Verschwendung vor. (Dieser Standpunkt findet sich auch in den früheren Auflagen dieses Lehrbuches vertreten, vgl. 2. Aufl. S. 455 und 456.)

Nun ist aber weiter oben (vgl. S. 168) schon darauf hingewiesen, dass die Kreuzgewölbe schon durch die Eigenart der Form im Gegensatz zu dünnen Tonnengewölben eine Querversteifung oder Druckübertragung zu leisten vermögen. Wo diese nicht hinlangt, führt eine Versteifung der Gurtbögen zum Ziel (vgl. S. 169).

Den Alten ist diese Eigenschaft der Gewölbe nicht entgangen; wie an anderer Stelle, so haben sie auch bei der Hallenkirche sich dieselbe oft zu Nutze gemacht, wo es sich darum handelte, die Mittelpfeiler einzuschränken. Darauf weist bei vielen Werken die Bildung der Gewölbe, noch mehr aber das gegenseitige Stärkeverhältnis von Mittelpfeiler zu Strebpfeiler hin.

Es können demnach Mittelpfeiler und Strebpfeiler in gewissem Grade für einander eintreten, man kann den einen dünner machen, wenn man den anderen entsprechend verstärkt. So zeigt die Klosterkirche zu Haina, der nur geringe äussere Wandstärken zugemessen waren, recht kräftige Mittelpfeiler, während bei vielen anderen Beispielen, Friedberg in Hessen, Wiener-Neustadt, Kuttendorf u. s. w., umgekehrt die Aussenmauern kräftig im Vergleich zu den leichten Pfeilern sind.

Die Stärke der Mittelpfeiler und Aussenwände in ein bestimmtes Verhältnis zu den lichten Schiffweiten zu setzen, muss bei den wechselnden Stabilitätsverhältnissen als widersinnig erscheinen, bei den alten Beispielen bewegt sich die Stärke der Mittelpfeiler in den weiten Grenzen von etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{12}$ der Mittelschiffweite (im Mittel $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$) und die der äusseren Strebpfeiler einschliesslich der Mauerdicke von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{1}$ der Seitenschiffbreite (im Mittel $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$).

Stabilität des Mittelpfeilers.

Wie soeben gesagt, kann der Unterschied zwischen den Schüben der Schiffe entweder von dem genügend stark zu machenden Mittelpfeiler aufgenommen oder ganz bez. teilweise der Aussenwand und ihrem Strebpfeiler zugeführt werden. In den meisten Fällen wird es sich darum handeln, den Mittelpfeiler seines Schubes tunlichst zu entledigen, es sind dazu drei Wege möglich: 1. Das Seitenschiffgewölbe wird durch flache Form oder grosses Gewicht so stark schiebend gemacht, dass es den Mittelschiffschub aufheben kann; 2. das Seitengewölbe bleibt zwar leicht, jedoch wird es steif gemacht, d. h. es erhält eine Form, die es ermöglicht, dass sich flachere Drucklinien in ihm ausbilden können (beim Kreuzgewölbe in der Scheitelgegend oder im Gurt liegend, vgl. S. 168—169); 3. oberhalb der Seitengewölbe wird, von diesen getrennt, eine Absteifung des Mittelschiffes gegen die Aussenwände vorgenommen. Diese Anlage ist nur bei ziemlich hoch gezogenen Mittelschiffen möglich und leitet zum Strebesystem der Basilika über. Die Höhenlage der Gewölbe zu einander spielt beim Auswägen der Schübe überall eine grosse Rolle.

Das Seitenschiffgewölbe kann mit dem Mittelgewölbe in gleicher Höhe beginnen (vgl. Fig. 350, 351), es kann gegen dasselbe aufgehöhhet oder aufgestellt sein (Fig. 352)

oder es kann tiefer gerückt sein als dieses (Fig. 354). Diese verschiedenen Höhenlagen der Gewölbe, in etwaiger Verbindung mit einer der drei soeben angegebenen Schubübertragungen, liefern die verschiedenen Beanspruchungsfälle der Mittelpfeiler. Die wichtigsten derselben sind schon früher in den Figuren 350—355 dargestellt (siehe auch den zugehörigen Text, S. 127), sie lassen sich zusammenfassen, wie folgt.

a) Die Gewölbe im Mittelschiff und Seitenschiff beginnen in gleicher Höhe. Der ungünstigste Fall liegt vor, wenn die schmalen Seitengewölbe durch eine schlanke lanzettliche Form zu gleicher Scheitelhöhe mit den breiten Mittengewölben gebracht werden (Fig. 350), und zwar steigert sich die Schwierigkeit mit dem Breitenunterschied der Gewölbe. Aus der Skizze 350 ist zu sehen, dass der Schnittpunkt der Gewölbschübe nicht in der Mitte des Pfeilers liegt, sondern in ungünstiger Weise gegen das Seitenschiff gerückt ist. Die Resultierende aus den Schüben verläuft überdies sehr schräg, so dass der Pfeiler eine grosse Stärke erhalten muss, um sie bis unten hin sicher zu beherbergen. Ist das Seitenschiff recht schmal, so erfordert der Pfeiler fast die Stärke, die er bei alleinigem Vorhandensein des Mittengewölbes erhalten müsste.

Sehr
schlanke
Gewölbe im
Seitenschiff.

Eine obere Schubüberführung auf die Aussenmauern ist hier auch nur unvollkommen zu ermöglichen, denn eine Erschwerung des Seitengewölbes wäre nur durch sehr ansehnliche und bei der schlanken Form nur mit Vorsicht ausführbare (vgl. Fig. 127 D) Massenaufpackungen auf das sonst ziemlich leicht ausführbare Gewölbe oder dessen Gurt zu erreichen; und eine Absteifung, sei es durch den Wölbscheitel oder den Gurt, kann bei der grossen Scheitelhöhe des Seitenschiffes nur die oberen Teile des Mittengewölbes abfangen und daher nicht verhindern, dass das Mittengewölbe immer noch einen ansehnlichen Teil seines Schubes in der Höhe des Anfängers absetzt.

Viel günstiger verhalten sich die Seitengewölbe, wenn ihr Pfeilverhältnis geringer genommen wird, etwa so, dass es dem der grossen Gewölbe entspricht ($f:b = F:B$ in Fig. 351). Die Schübe verhalten sich bei sonst gleicher Wölbstärke dann etwa so wie die Spannweiten. Der Schnittpunkt der Schübe rückt weniger weit aus der Mitte fort und die Mittelkraft ist steiler nach unten gerichtet. Immerhin wird bei einem grossen Unterschied zwischen den Schiffweiten der Pfeiler eine ansehnliche Stärke erhalten müssen, wenn er in sich allein den Ueberschuss des Mittelschubes aufnehmen soll.

Ähnliche
Pfeilverhält-
nisse in den
Schiffen.

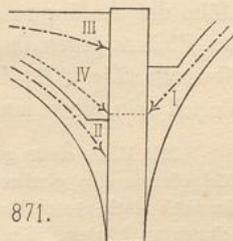
Eine Konstruktion der Stützlinie oder eine Berechnung, bei der zur Vereinfachung die Wölbschübe aus Tabelle I, S. 135 entnommen werden können, wird darüber Aufschluss geben. Auf S. 154 ist ein Beispiel einer solchen Berechnung gegeben. (Lies dort Zeile 20 v. u.: 6 m Jochlänge statt 9 m, ebenso S. 155, Zeile 21 v. o.: jeden qcm statt qm.)

Bei einem solchen Pfeilverhältnis (vgl. Fig. 351 und auch Fig. 394) ist es aber unschwer möglich, durch Belastung der Seitengewölbe oder durch ihre Steifigkeit einen Ausgleich der Schübe zu erzielen.

Auf S. 157 ist an dem gleichen Beispiel dargethan, wie durch Uebermauerung des Gurttes der Ausgleich zu ermöglichen und die Stärke des Mittelpfeilers auf ein Minimum zu bringen ist. Es waren bei jenem Beispiel 3 cbm Bruchstein nötig, die nicht als Absteifung, sondern nur als ruhende Last zu dienen hatten und daher regellos aufgeschichtet werden konnten. Wollte man statt dessen auf eine „Versteifung“ durch den Gurt rechnen, so hätte man über ihm eine geringere Masse aufzuführen, die aber derart in festen Verband zu bringen wäre, dass sie die Uebertragung flacherer Stützlinien zuverlässig ermöglichen könnte. Am besten ist meist eine Zwischenstufe, nämlich eine Uebermauerung, die bei besonderen Beanspruchungen als Versteifung, für gewöhnlich dagegen mehr als mässige Belastung wirkt.

Welche von den vielen möglichen Stützlinien in einer Uebermauerung wirklich eintreten wird, hängt wieder von der Art der Ausführung u. s. w. ab. Da man bei einem guten Mauerkörper mit einer gewissen Elastizität oder auch Plastizität rechnen kann, so muss man voraussetzen, dass sich Kraft und Gegenkraft immer so unmittelbar auszugleichen suchen, wie möglich. Im vor-

liegenden Falle wirkt von der einen Seite das Mittelschiff mit der Kraft *I* in Fig. 871 ein. Von der anderen Seite wirkt der Druck des Seitengewölbes *II*, der aber wegen seiner geringen Grösse und tieferen Lage die Kraft *I* nicht ausgleichen kann. Der mittlere Mauerkörper wird oben nach links hinübergeneigt werden, was ein Gegenstemmen der Gurtübermauerung nach sich zieht und als Folge davon die Ausbildung der Stützzlinie *III* in ihr. Diese Stützzlinie wird nach Lage und Kraftgrösse sich so bilden, dass sie mit *II* zusammengesetzt eine resultierende Linie *IV* liefern würde, die gerade die Kraft *I* auszugleichen vermag. Solange die Gurtübermauerung so beschaffen ist, dass sie eine zwanglose Ausbildung einer solchen Stützzlinie *III* ermöglicht, kann sich der Schubausgleich oberhalb des Pfeilers vollziehen, letzterer wird einen senkrechten oder doch nur sehr wenig geneigten Druck erhalten. Ist eine den Anforderungen entsprechende Druckführung in der Uebermauerung *III* nicht möglich, so ist deren Masse oder Form zu ändern, was an der Hand einer graphischen oder rechnerischen Untersuchung geschehen kann. Ist der Schubausgleich oben nur teilweise zu erreichen, so muss der Rest durch die entsprechend stark anzulegenden Mittelpfeiler bewältigt werden.



871.

Treten über dem Pfeiler noch Dachlasten oder Windschwankungen hinzu, so ist die senkrechte Teilkraft derselben gewöhnlich nicht unbequem, sondern erwünscht, bezüglich der horizontalen Kraftäusserungen muss aber gleichfalls untersucht werden, ob und inwieweit sie oben aufgenommen werden können bez. durch den Pfeiler selbst getragen werden müssen.

Bei jeder Veränderung in den Schüben wird sich die Stützzlinie *III* derart hinauf oder hinunter bewegen, bez. mehr oder weniger stark krümmen, dass immer ein möglichstster Ausgleich stattfindet, auf diese Art bleibt besonders bei Windschwankungen das Gleichgewicht immer gewahrt (s. S. 375).

b) Die Gewölbe des Seitenschiffes sind aufgestellt (vgl. Fig. 352). Die Aufhöhung der Seitengewölbe ist bei zahlreichen Hallenkirchen der frühen und der späteren Gotik angewandt, als Beispiele seien die frühgotischen Kirchen Hessens zu Wetter und Haina, die Elisabethkirche zu Marburg, die Kirchen zu Friedberg und Frankenberg (Fig. 872) sowie die spätere Kirche zu Neustadt bei Marburg (Fig. 873) aufgeführt, aus den vielen westfälisch-niedersächsischen Beispielen seien der Dom zu Minden und die Alexandrikerkirche zu Einbeck herausgegriffen, und schliesslich mögen aus Oesterreich-Ungarn die Benediktinerkirche zu Oedenburg (Anf. des XIV. Jahrh.), die Georgkirche zu Wiener-Neustadt und die Piaristenkirche zu Krems Erwähnung finden.

Aufgestelzte
seitliche Ge-
wölbe.

Die Seitenschiffgewölbe setzen sich gewöhnlich mit denen des Mittelschiffes auf das gleiche Kapital, selten ist oberhalb des letzteren die Aufstellung durch ein kleines Gesimsmitglied gekennzeichnet (Einbeck), bisweilen ist auch das Kapital des Seitenschiffdienstes in die Höhe oder das des Mittelschiffdienstes herabgerückt (Fig. 889), schliesslich zeigen die späten Beispiele eine kapitallose Entwicklung der Wölbglieder in verschiedener Höhe (Fig. 873).

Die Aufstellung hat zunächst den Zweck, die Scheitel der schmälere Seiten- gewölbe so hoch zu heben, dass sie sich gegen den Scheidebogen in gleicher Höhe mit dem Mittelgewölbe setzen können, daneben hat sie aber auch den konstruktiven Vorteil, dass sie die Stabilität des Mittelpfeilers günstiger gestaltet. Ganz besonders zeigt sich das bei einem Vergleich der Figuren 350 und 352. Eine kleine Aufstellung um etwa $\frac{1}{4}$ der Differenz beider Spannweiten bietet schon den Vorteil, dass die Horizontalschübe (vgl. H_1 und H_2 in Fig. 394) in gleiche Höhe gelangen; dadurch wird erreicht, dass der Gesamtdruck auf den oberen Pfeilerteil etwa in der Mitte des letzteren beginnt. Wird die Aufstellung noch höher, so rückt, wie Fig. 352 zeigt, der Schnittpunkt der schrägen Wölbkräfte nach der Seite des Mittelschiffes, der Pfeilerdruck, der sich von da schräg abwärts bewegt, wird deshalb unten nicht so leicht an die äussere

Kante gegen das Seitenschiff hin gelangen können. Daraus folgt, dass bei der Aufstellung in Fig. 352 der Pfeiler bedeutend dünner sein kann als bei dem Lanzettbogen von Fig. 350. Zu hoch darf die Stelzung nicht getrieben werden, weil sonst der Pfeilerdruck oben gar zu dicht nach der Innenkante geschoben würde, was in der Höhe des Anfängers am Mittelschiff ein Zerdrücken der Steine oder ein Ausbauchen des Pfeilers gegen das Seitenschiff hin herbeiführen könnte, wie es bei der Kirche zu Neustadt (Fig. 873) in der That beobachtet ist. Es kann in solchen Fällen von Vorteil sein, oben am Mittelschiff einen verstärkenden Dienst auszukragen.

Mit Hilfe einer geeigneten Aufstellung lässt sich demnach eine günstige Druckführung und infolgedessen eine gewisse Einschränkung der Pfeilermasse erzielen, dabei muss aber der Pfeiler immerhin noch stark genug bleiben, um grösstenteils die Schubdifferenz der Gewölbe in sich selbst aufnehmen zu können. Ein Ueberleiten auf die Aussenmauer ist über ein aufgestelltes Gewölbe hinweg ebenso schwierig wie bei einem lanzettlichen (siehe oben). Ist es nötig, eine solche Leitung zu erwirken, weil man die Mittelpfeiler noch dünner machen will oder weil Dach- bez. Windlasten abzufangen sind, so kommt man besser zum Ziel, wenn man die Gewölbe in gleicher Höhe beginnen lässt (Fig. 351, 353, 874), oder wenn man selbst die Seitengewölbe hinabschiebt (Fig. 354, 355).

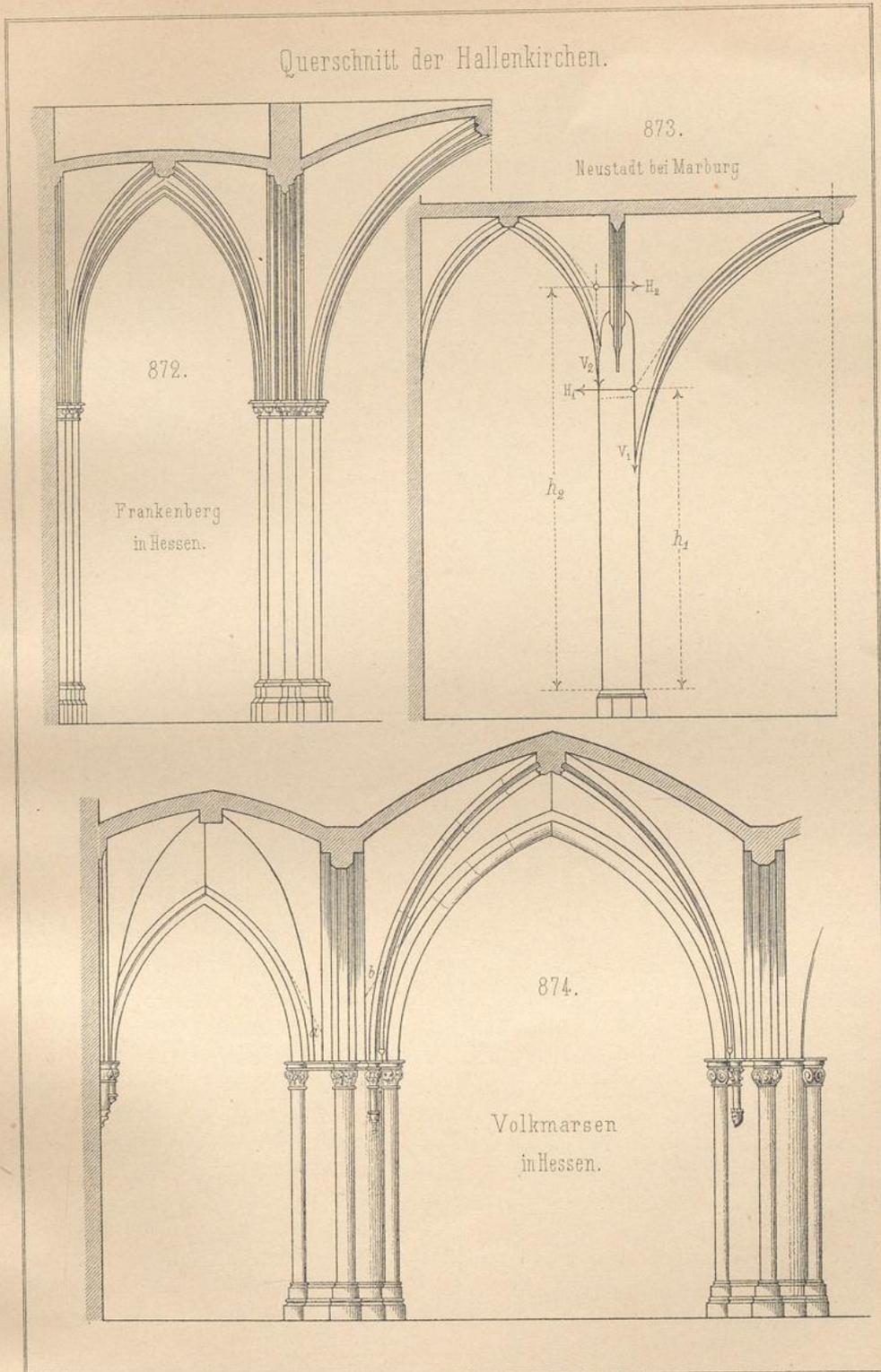
Beim graphischen oder rechnerischen Verfolg der Drucklinie im Pfeiler wird man erkennen, dass der Schub des aufgestellten Gewölbes (eingerechnet alle Aufmauerungen u. dgl.) immer kleiner bleiben muss als der Gesamtschub des Mittelgewölbes, er darf höchstens etwa so weit wachsen, dass sich die Horizontalschübe umgekehrt verhalten wie ihre Höhen über dem Sockel, also in Fig. 873: $H_1 : H_2 = h_2 : h_1$.

Herab-
gerückte
Seiten-
gewölbe.

c) Das Seitenschiffgewölbe beginnt tiefer als das mittlere. Schon bei gleich hohem Ansatz der beiden Gewölbe kann es vorkommen, dass eine Höhendifferenz neben dem Scheidebogen sich geltend macht, vgl. St. Laurentius zu Ahrweiler, Fig. 890. Dieselbe wird stärker, wenn das Seitengewölbe tiefer beginnt (vgl. Fig. 888). Die Höhe zwischen den beiden Wölbscheiteln wird durch eine Schildwand oder Scheidewand geschlossen, die vom Scheidebogen getragen wird und so stark sein muss, dass sie alle durch das Gewölbe, durch Dach und Wind erzeugten Schübe ohne umzukanten oder auszubauchen (vgl. S. 340) sicher aufnehmen kann. Ist sie durch ihre eigene Stärke nicht hinreichend standfähig, so muss sie in mehr oder weniger grosser Höhe abgesteift werden, sei es unterhalb oder oberhalb der Dachfläche.

Ist die obere Schildmauer sicher genug, so handelt es sich noch um die Standfähigkeit des Pfeilers. Der ungünstigste Fall liegt vor, wenn das schmale niedrigere Seitenschiff durch ein leichtes, nicht versteiftes Gewölbe, z. B. ein fortlaufendes Tonnengewölbe überdeckt wird, dasselbe wird dem grossen, höher angreifenden Schub des Mittelschiffes so wenig entgegentreten können, dass die Pfeiler jene gewaltigen Abmessungen erfordern, welche sie bei derartigen romanischen Werken in der That aufweisen. Würde man die Pfeiler zu dünn gemacht haben, so würden zunächst die seitlichen Tonnen im Scheitel gehoben und gebrochen sein, worauf die Pfeiler selbst zusammengestürzt wären. Man suchte durch steigende Halbtonnen eine höher angreifende, besser wirksame Absteifung zu erzielen, hatte aber erst den Schlüssel gefunden, als man über den Seitenschiffen Kreuzgewölbe verwandte. Die Kreuzgewölbe ermöglichen, in den flachen oberen Teilen eine bedeutende Querversteifung zu leisten (vgl. Fig. 412 und S. 168) und dadurch den grösseren Schub des Mittelschiffes ganz oder teilweise auszugleichen, also den Mittelpfeiler so sehr seines Schubes zu entheben, dass er bedeutend dünner gemacht werden kann. Kreuzgewölbe mit flachen Scheitelformen sind zu dieser Versteifung besser geeignet als busige oder gar melonenartige Wölbungen.

Querschnitt der Hallenkirchen.



Der Schub, der in solcher Art durch die oberen Teile der Seitengewölbe übertragen wird, trifft die oberen Teile der Aussenwand und muss durch deren Standfähigkeit u. s. w. genügend sicher aufgenommen werden können (siehe vorn S. 340).

Will man sich auf die Steifigkeit des Gewölbes allein nicht verlassen, so bleibt wieder eine beschwerende oder versteifende Uebermauerung des Gurtes übrig (Fig. 353, 354).

Die Beschwerung des Gurtes kann sehr weit getrieben werden, da es für die Stabilität des Pfeilers günstig ist, dass der Schub des tiefer liegenden Seitenschiffes grösser ist als der des höheren Mittelschiffes; je tiefer das Seitengewölbe herabrückt, um so grösser ist sein Schub zu machen. Es ist in den meisten Fällen sehr wohl angingig, eine volle Querwand auf den Gurt zu setzen, die bis zum Scheitel oder darüber hinaus geführt wird, sie kann horizontal abgeglichen sein oder sich schräg gegen das Mittelschiff erheben. Wird sie zu schwer, so ist sie zu durchbrechen (Fig. 888 u. 355).

Der Verlauf des Druckes ist etwa derselbe, wie er in Fig. 401 für eine einfache Basilika angegeben ist. Wäre der Gesamtschub des Seitenschiffes gerade gleich dem des Mittelschiffes, so würde der Druck im Pfeiler in der Höhe zwischen *I* und *II* senkrecht herablaufen; würde der Seitenschub kleiner sein, so würde der Druck sich nach aussen schieben; würde er grösser sein, so würde der Druck, wie in der Zeichnung, nach innen gelenkt werden. Letzteres führt zu einer mehr zentralen Lage des Druckes unten im Pfeiler und ist daher gewöhnlich am günstigsten. Die Gurtübermauerung wird sich als zu gross erweisen, wenn selbst bei Annahme einer steilen Druckkurve in ihr (vgl. *II* in Fig. 871) der Pfeilerdruck unten zu sehr gegen das Mittelschiff rückt; sie wird zu leicht sein, wenn selbst bei flacher Lage der Drucklinie (vgl. *III* in Fig. 871) der Pfeilerdruck zu sehr gegen das Seitenschiff sich bewegt. Als ungefähren Anhalt kann man annehmen, dass die Grösse der Schübe sich umgekehrt verhalten soll, wie ihr Höhenabstand über dem Sockel. Diese Regel trifft etwa zu, wenn sich die Lasten alle möglichst zentral über dem Pfeiler aufbauen, durch ein Ueberkragen der Lasten nach rechts oder links wird die Stabilität wesentlich beeinflusst, und zwar im günstigsten Sinne, wenn die Massen sich möglichst dem Druckverlauf anschmiegen.

Bei Schubschwankungen durch Wind u. s. f. (s. Näheres nachstehend) muss für die Grenzfälle immer noch Gleichgewicht möglich sein, es ist dieses noch als vorhanden zu betrachten, wenn irgend eine, je nach Bedürfnis flachere oder steilere Drucklinie einen ungezwungenen Ausgleich der Kräfte oberhalb des Mittelpfeilers in soweit ermöglicht, dass letzterer nicht über Gebühr in Mitleidenschaft gezogen wird; gerade für diese Fälle bewähren sich nicht zu schwere aber steife Gurtübermauerungen oder bei grösseren Höhen Strebebögen.

Stabilität der Aussenwände, Einwirkung von Dachlast und Wind.

Die Standfähigkeit der Wand mit ihren Strebepfeilern muss zunächst genügen bei alleiniger Wirkung der Wölbschübe und sodann auch bei gleichzeitigem Hinzutreten von Dachlast und Wind. Zunächst sei der Wölbschub in Betracht gezogen.

Es ist vorhin gezeigt, wie die Stärken von Mittelpfeiler und Aussenwand in gewissen Grenzen für einander eintreten können. Ist der Mittelpfeiler so stark, dass er den Unterschied der Wölbschübe selbst aufnehmen kann, so wird der Aussenwand nur der Schub des Seitenschiffes zufallen; übernimmt der Mittelpfeiler einen Teil der Schubdifferenz, so wird der Rest der Aussenwand zugeführt werden, deren Schub dann zwischen dem des Seitenschiffes und dem des Mittelschiffes steht. Wird dagegen der Mittelpfeiler ganz von Schüben frei gehalten, so wird bei richtiger Konstruktion die Wand einen Schub zu erwarten haben, der etwa dem des Mittelschiffes entspricht, und zwar wird er bei gestelzten Seitengewölben im allgemeinen etwas geringer ausfallen (s. S. 372), während er bei tief ansetzenden Seitengewölben den Schub des Mittelschiffes übertreffen kann (s. oben S. 373).

Standfähigkeit gegen Wölldruck.