

veranlasste Kröpfungen vermieden werden. Es kann dies in zweifacher Weise geschehen, je nachdem entweder das Gesims oder die Rinne durchbrochen werden soll. In letzterem Falle muss allerdings die Kontinuität des Wasserlaufes gewahrt bleiben, indem mit dem Gesims steinerne Becken verbunden sind, in welche das darüber befindliche Rohr das Wasser führt, und aus welchen dasselbe in das untere Rohr abläuft. Ein grosser Vorteil für die etwaige Reparatur würde ferner gewonnen, wenn die Rohrstücke einzeln abgenommen werden könnten. Zu dem Ende müssten dieselben innerhalb des ausgebogenen Randes nicht aufeinander fassen, sondern einen so grossen Spielraum lassen, dass jedes einzelne Stück gehoben, und wenn zwei gehoben, das eine herausgenommen werden könnte. Das jetzt für Rinnen und Abfallrohre fast allgemein benutzte Zink ist wegen seiner grossen Wärmedehnung, Sprödigkeit und Vergänglichkeit für Monumentalbauten nicht geeignet. Bei diesen sollte Blei oder noch besser Kupfer verwendet werden.

2. Die Hallenkirchen.

Wenn die Prinzipien der gotischen Konstruktion gerade hinsichtlich der Querschnittsbildung die verschiedenartigsten Gestaltungen zulassen, in dem Masse, dass eine reichhaltige Zusammenstellung der verschiedenen Kirchendurchschnitte an sich schon das interessanteste Studium bildet, so können doch in dieser endlosen Mannigfaltigkeit zwei Systeme unterschieden werden, die freilich durch eine grosse Zahl von Zwischengliedern ineinander übergehen.

Das erste System beruht darauf, dass die Schubkräfte der Schiffsgewölbe in den Pfeilern einander entgegenwirkend sich ganz oder teilweise neutralisieren, und umschliesst demnach die verschiedenen Anlagen von gleichen Schiffshöhen, die sog. Hallenkirchen, das zweite System, die sog. basilikale Anlage, zeigt eine Überhöhung des Mittelschiffes, sie stellt den Schubkräften der Gewölbe in verschiedener Weise erschaffene Widerstandsmittel entgegen.

Unter der Bezeichnung Hallenkirche kann man alle zwei-, drei- und mehrschiffigen Kirchen zusammenfassen, deren Gewölbe genau oder annähernd gleiche Höhe haben. Die zweiseiffigen Kirchen sind schon bei der Grundrissbildung (S. 274—279) näher besprochen, die dort nicht berührten Einzelheiten erklären sich einerseits aus dem Querschnitt der einschiffigen, andererseits dem der dreischiffigen Kirchen. Auch die Querschnitte der fünfschiffigen Kirchen (vgl. über diese S. 288) führen sich in den meisten Stücken auf die dreischiffigen zurück, von denen daher im folgenden ausschliesslich die Rede sein wird.

Vierschiffige Kirchen gehören zu den Seltenheiten, als Beispiel sei die im Chor zweiteilige, im Langhaus vierschiffige, mit einem gemeinsamen Dach überdeckte Pfarrkirche zu Schwaz in Tyrol angeführt. — Als weitere Ausnahmbildung sei der fünfschiffige Westbau der spätgotischen Barbarakirche zu Kuttenberg hier erwähnt, deren drei mittlere Schiffe sich als gemeinsame Hallenkirche in basilikaler Weise über die äusseren Seitenschiffe erheben.

Stabilitätsverhältnisse der Hallenkirche im allgemeinen.

Wenn die drei Schiffsgewölbe gleiche Spannweite, gleiche Höhenlage und überhaupt gleiche Gestaltung aufweisen, so stellen sich die schon bei den zweiseiffigen Anlagen entwickelten Verhältnisse der Stabilität heraus, d. h. die Stärke der freistehenden Pfeiler bedingt sich vorwiegend durch die senkrechte

Belastung und diejenige der äusseren Mauer und Strebepfeiler durch die Schubkraft der äusseren Schiffsgewölbe, ganz unabhängig von jener des Mittelschiffes. Die Aussenwand ist daher gerade so herzustellen, wie bei der einschiffigen Kirche von gleicher Wölbspannung (vgl. S. 336). Höchstens kann das breitere Dach durch seine abweichende Konstruktion und den grösseren Winddruck weitere Bedingungen hinzufügen, die unter Umständen etwas grössere Stärken der Aussenwände und deren Strebepfeiler fordern. Die Untersuchung wird sich so vollziehen, wie bei den Beispielen auf S. 336 und 337.

Erhalten die Mittelpfeiler keine Dachlast und werden sie bei genügender Standfähigkeit der vom Winde getroffenen Aussenwände auch von den Winderschütterungen nicht merklich beeinflusst, so wird ihre Stärke, wie gesagt, sich nur nach der auf ihnen ruhenden, senkrechten Last zu bemessen brauchen (s. S. 276), sie können dann recht dünn ausfallen. Sind dagegen die Pfeiler durch Dachlast oder Wind in Anspruch genommen, so müssen sie entweder entsprechend verstärkt werden, oder es muss über ihnen den Gewölben oder deren Gurten eine hinlängliche Steifigkeit innewohnen, um alle Seitenkräfte den starken Aussenwänden sicher zuleiten zu können (vgl. Fig. 412, 413).

Ein schönes Beispiel einer Hallenkirche mit drei gleichen Schiffen bietet die Marienkirche zu Herford. (XIV. J.)

Bei verschiedener Breite der Schiffe wird, eine gleichartige Beschaffenheit der Gewölbe vorausgesetzt, der Schub des breiteren, also gewöhnlich des Mittelschiffes, den des schmälern Schiffes überwiegen, es kommt daher über dem Pfeiler nur ein teilweiser Ausgleich der Schübe zu stande, der verbleibende, gegen das Seitenschiff gekehrte Überschuss muss aufgenommen werden, wozu drei Möglichkeiten gegeben sind.

Verschiedene Schiffsbreite.

1. Die Mittelpfeiler sind so standfähig, dass sie den Überschuss allein aufnehmen können, auf die Aussenwände kommt dann nur der Schub der Seitenschiffe.
2. Der Überschuss des Schubes wird zum Teil von den Mittelpfeilern, zum Teil von den Aussenwänden aufgenommen.
3. Dem Mittelpfeiler wird dieser wie jeder andere Seitenschub durch geeignete Mittel möglichst ganz fern gehalten. Der Schub auf die Aussenwände wird dann so gross wie der Schub des Mittelschiffes. Im ersten Falle sind die Aussenwände nebst Strebepfeilern so stark zu machen, wie bei einer einschiffigen Kirche von der Weite des Seitenschiffes, im letzten Falle wie bei einer einschiffigen Kirche von der Weite des Mittelschiffes. Im zweiten Falle erfordern sie eine dazwischen liegende Stärke.

Früher war man gewöhnlich der Ansicht, dass immer der erste Fall vorläge, d. h. dass der Überschuss des Mittelschubes von den Pfeilern zu bewältigen sei. Man hielt die Seitenschiffsgewölbe für unfähig, Seitenkräfte hinüberzutragen. Dabei konnten aber einerseits die überaus schlanken Mittelpfeiler einzelner Kirchen, andererseits die übermässigen Strebepfeilerstärken 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. 174) 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 Gurtbogen zum Ziel (vgl. S. 175).

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 Stärke der Mittelpfeiler einzuschränken. Darauf weist bei vielen Werken die Bildung der Gewölbe, noch mehr aber das gegenseitige Stärkeverhältnis von Mittelpfeiler zu Strebepfeiler hin.

Es können demnach Mittelpfeiler und Strebepfeiler 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 usw., 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 Strebepfeiler 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 bzw. teilweise der Aussenwand und ihrem Strebepfeiler zugeführt werden. In den meisten Fällen wird es sich darum handeln, den Mittelpfeiler seines Schubes thunlichst 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. 174—175); 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 aufgehöhht 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. 130), 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 Mittelgewölben 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 Mittelgewölbes erhalten müsste.

Sehr
schlanke
Gewölbe im
Seitenschiff.

Ein Schubausgleich und eine obere Schubüberführung auf die Aussenmauern ist hier auch nur unvollkommen zu ermöglichen, denn eine Beschwerung 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 Mittelgewölbes abfangen und daher nicht verhüten, dass das Mittelgewölbe immer noch einen ansehnlichen Teil seines Schubes in der Höhe des Anfängers absetzt.

Viel günstiger wirken 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 Wölbdicke 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 Überschuss des Mittelschubes aufnehmen soll.

Ähnliche
Pfeilverhält-
nisse in den
Schiffen.

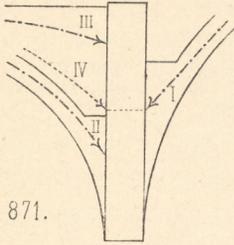
Eine Konstruktion der Stützlinie oder eine Berechnung, bei der zur Vereinfachung die Wölbschübe aus Tabelle I, S. 139 entnommen werden können, wird darüber Aufschluss geben, Auf S. 159 ist ein Beispiel einer solchen Berechnung gegeben. (Lies dort Zeile 5 v. u.: 6 m Jochlänge statt 9 m).

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. 162 ist an dem gleichen Beispiel dargethan, wie durch Übermauerung 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 Übertragung flacherer Stützlinien zuverlässig ermöglichen könnte. Am besten ist meist eine Zwischenstufe, nämlich eine Übermauerung, die bei besonderen Beanspruchungen als Versteifung, für gewöhnlich dagegen mehr als mässige Belastung wirkt.

Welche von den vielen möglichen Stützlinien in einer Übermauerung wirklich eintreten wird, hängt wieder von der Art der Ausführung usw. 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 vorliegenden 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



871.

zieht und als Folge davon die Ausbildung der Stützlinie *III* in ihr. Diese Stützlinie 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 Stützlinie *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 Übermauerung *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.

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 übertragen werden können, bezw. durch den Pfeiler selbst aufgenommen werden müssen.

Bei jeder Veränderung in den Schüben wird sich die Stützlinie *III* derart hinauf oder hinunter bewegen, bezw. mehr oder weniger stark krümmen, dass immer ein möglicher Ausgleich stattfindet, auf diese Art bleibt besonders bei Windschwankungen das Gleichgewicht gewahrt (s. S. 378).

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 Österreich-Ungarn die Benediktinerkirche zu Ödenburg (Anf. des XIV. Jahrh.), die Georgkirche zu Wiener-Neustadt und die Piaristenkirche zu Krems Erwähnung finden.

Die Seitenschiffgewölbe setzen sich gewöhnlich mit denen des Mittelschiffes auf das gleiche Kapitäl, selten ist oberhalb des letzteren die Aufstellung durch ein kleines Gesimglied gekennzeichnet (Einbeck), bisweilen ist auch das Kapitäl des Seitenschiffdienstes in die Höhe oder das des Mittelschiffdienstes herabgerückt (Fig. 889), schliesslich zeigen die späten Beispiele eine kapitällose 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 Überleiten auf die Aussenmauer ist über ein aufgestelztes Gewölbe hinweg ebenso schwiesig, 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- bzw. 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 aufgestelzten 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: $H_1 : H_2 = h_2 : h_1$.

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. 341) 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

Herab-
gerückte
Seiten-
gewölbe.

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. 174) 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. 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 genügend sicher aufgenommen werden können (siehe vorn S. 341).

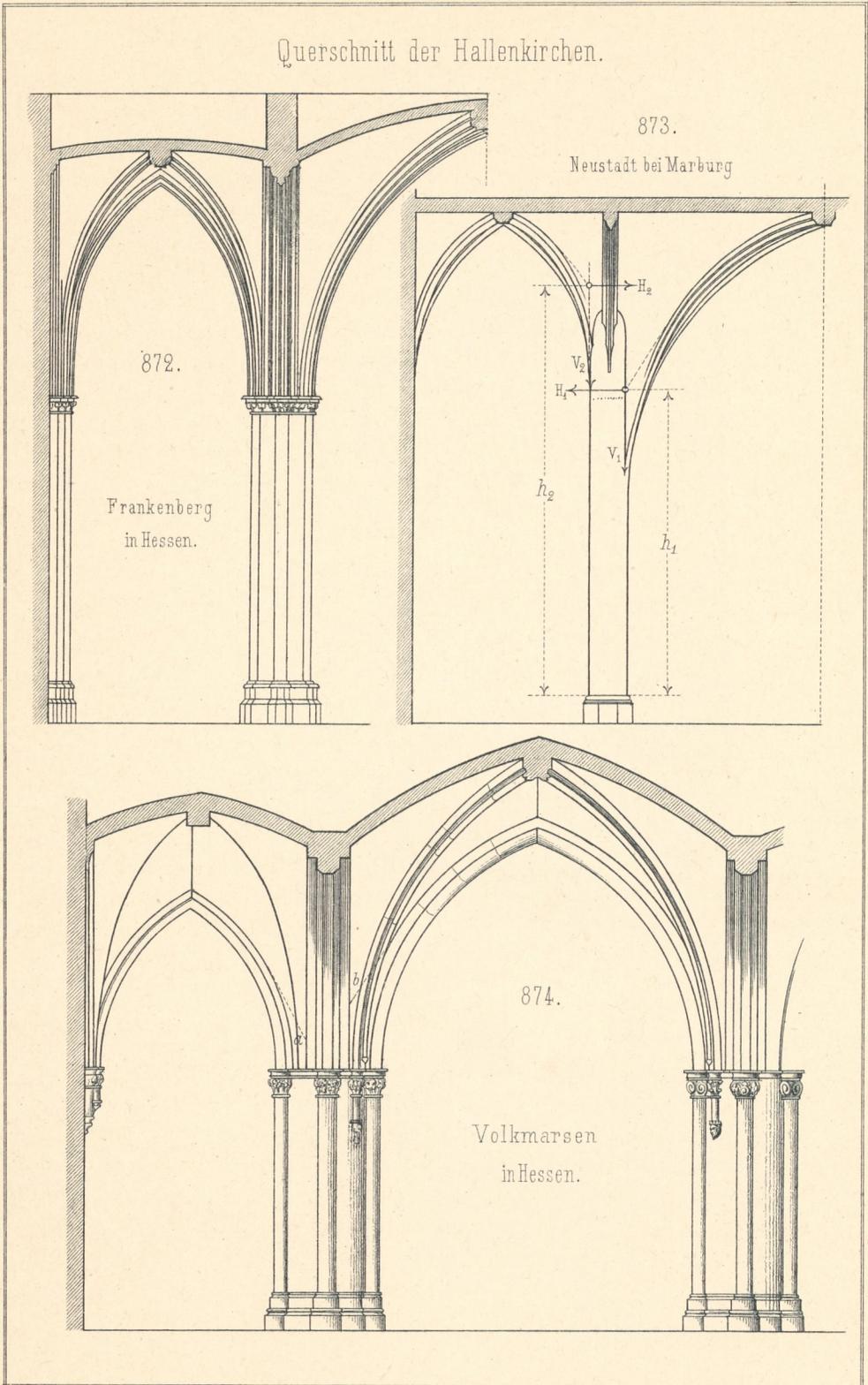
Will man sich auf die Steifigkeit des Gewölbes allein nicht verlassen, so bleibt wieder eine beschwerende oder versteifende Übermauerung des Gurtcs übrig (Fig. 353, 354).

Die Beschwerung des Gurtcs 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 angängig, eine volle Querwand auf den Gurt zu setzen, die bis zum Scheitel oder darüber hinausgeführt 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 Überkragen 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 usf. (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 Strebebogen.

Querschnitt der Hallenkirchen.



Stabilität der Aussenwände, Einwirkung von Dachlast und Wind.

Die Standfähigkeit der Wand mit ihren Strebepfeilern muss zunächst genügen bei alleiniger Wirkung der Wölbchübe und sodann auch bei gleichzeitigem Hinzutreten von Dachlast und Wind. Zunächst sei der Wölbchub 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 Wölbchübe 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. 376), während er bei tief ansetzenden Seitengewölben den Schub des Mittelschiffes übertreffen kann (siehe oben S. 376).

Weiter oben war für die in Fig. 394—395 dargestellte Hallenkirche für zwei verschiedene Fälle der Mittelpfeiler berechnet, der nach den dortigen Annahmen keine Dachlast, sondern nur Scheidebogen und Gewölbe zu tragen hatte. Im ersten Falle (Beispiel I, S. 159) war der Pfeiler gerade stark genug, den Unterschied der beiden Wölbchübe zu tragen, es würde daher für die Aussenwand nur der Schub des Seitenschiffes in Rechnung zu stellen sein. Im zweiten Fall (Beispiel II, S. 162), wo es sich darum handelte, den Mittelpfeiler auf ein minimales Mass zu bringen, erhielt die Aussenwand einen Schub ($H_2 + H_3 = 2160 + 1186$), der fast genau dem Schub des Mittelschiffes entsprach ($H_1 = 3240$). Für diese Schübe würde die Aussenwand genau so zu berechnen sein, wie die Aussenwand der einschiffigen Kirche (vgl. Beispiel S. 337).

Bezüglich der Dachlast und auch des Windschubes, der innig mit jener zusammenhängt, ist zunächst die Auflagerung der Dachbalken von grossem Wert. Am klarsten liegen die Verhältnisse, wenn das Dachgerüst nur auf den Aussenwänden ruht, während die Pfeiler, bezw. die Scheidebogen ganz leer ausgehen. Man kann dann zwar auch nicht völlig bestimmt angeben, wie sich der horizontale Winddruck auf die beiden Auflager verteilt, immerhin ist aber das Gesamtbild viel durchsichtiger, als wenn eine grössere Zahl von Auflagerpunkten vorliegt.

Wenn das Dach gleichzeitig auf den Aussenwänden und den Mittelpfeilern ruht, so würde der ungünstigste Fall entstehen, wenn ein durchgehender, das ganze Dachgerüst tragender Balken fehlt und ausserdem keine versteifende Verbindung zwischen den Pfeilern, bezw. deren Scheidebogen untereinander und den Aussenmauern vorhanden ist. Es hängt dann ganz von der Eigenart des Dachwerkes und den beim Richten hineingetragenen Spannungen ab, wie sich die Kräfte auf die einzelnen Punkte verteilen.

Es kann sich fügen, dass in solchen Fällen ein unvorteilhaftes Dachwerk schon an sich Schübe ausübt, ganz abgesehen von der Windwirkung, die bei ihrer grossen Höhe einen Stützpunkt, sei es die Wand oder den Pfeiler, sehr ungünstig beanspruchen können; es ist gar nicht sehr unwahrscheinlich, dass dann bei Eintritt von Wind der gleiche, schon stark überbürdete Stützpunkt auch noch den grössten Teil des gegen die (bei Hallenkirchen meist grosse) Dachfläche

Standfähigkeit gegen Wölbdruck.

Einfluss des Dachwerkes.

stossenden Windes aufzunehmen hat. Handelt es sich um die Aussenwand, so wird sie bei unzulänglicher Stärke bald Risse und Verdrückungen zeigen, die sich besonders nach grösseren Stürmen erweitern; handelt es sich um einen seiner Inanspruchnahme nicht gewachsenen Pfeiler, so wird er sich verdrücken und die Gewölbe, soweit dieses möglich ist, in Querspannung versetzen, um somit einen Teil der Überlastung den benachbarten Stützen zu übertragen, die ihrerseits natürlich genügend stark sein müssen. Es ist dann von grossem Nutzen, wenn wenigstens starke Scheidebogenübermauerungen vorhanden sind, damit sie, ohne auszubauchen, die Seitenkräfte den Wölbscheiteln überweisen können, die sie so gut wie möglich weitertragen werden. Mässige Seitenkräfte können in dieser Weise sehr wohl durch die Wölbscheitel übertragen werden, sehr grosse Windkräfte aber erfordern dabei ein jedesmaliges bedeutendes Umsetzen der Spannungen, was bei so empfindlichen Mauerteilen wie den Wölbungen zu nachteiligen Lockerungen des Gefüges führen kann. Besser greift man auch hier wieder, wie wir sehen werden, zu versteiften Gurten.

Versteifung durch die Dachbalken. Dachgerüste auf durchgehenden unteren Balken, die bei gleich hohen Schiffen meist anwendbar sind (Fig. 876), beseitigen die beregten Übelstände fast vollständig. Sie heben die Schübe der Dachhölzer auf und machen es auch unmöglich, dass der Winddruck gegen das Dach direkt einzelnen Stützpunkten zugeführt wird. Die ganze Windwirkung wird auf den Balken getragen und sucht diesen als Ganzes in seiner Längsrichtung zu verschieben. Der Balken seinerseits sucht alle unter ihm befindlichen Stützen umzudrängen, und zwar werden die schwächeren Stützen dabei geringeren Schub erhalten, da sie rascher geneigt sind zu weichen (vgl. Fig. 838a), die kräftigen Stützen werden sich dagegen der Verschiebung nachhaltiger widersetzen und demzufolge den grössten Anteil des Schubes auf sich nehmen. Das ist aber äusserst günstig: man kann bei durchgehenden Balken darauf rechnen, dass der Windschub gegen das Dach sich auf die Stützen (Pfeiler und Wände) ungefähr proportional zu deren Standfähigkeit verteilt. Der Wind gegen das Dach kann dem Bauwerk nicht schaden, wenn die Standfähigkeit der Stützen in Summe mit genügender Sicherheit gewahrt ist.

Der Klarheit wegen ist soeben nur von dem Winde gegen das Dach und noch nicht von dem auf die Aussenwand kommenden Winddruck gesprochen, letzterer erzeugt gleichfalls ein Umsturmmoment (Druck mal mittlere Angriffshöhe), das auch noch mit Sicherheit aufgenommen werden muss. Dieser Winddruck, der dem Wölbschub entgegengerichtet ist, kann meist schon von der getroffenen Wand aufgenommen werden; wo solches aber nicht möglich ist, muss ein Teil auf den nächsten Mittelpfeiler oder auch über alle 3 Schiffe hinweg auf die entgegengesetzte Aussenwand geführt werden, was durch die Wölbscheitel oder steifen Gurtbogen, weniger gut auch durch die Dachbalken zu erreichen ist.

Versteifung durch die Gurtbogen. Eine versteifende Übermauerung der Gurten ist das zuverlässigste und monumentalste Mittel, eine beliebige Schubübertragung zu ermöglichen, sie ist besonders da am Platze, wo durchgehende Dachbalken fehlen; von den Alten ist sie sehr oft zur Verwendung gebracht. Braucht nur die Wand mit den benachbarten Mittelpfeilern verstrebt zu werden, so genügt eine alleinige Übermauerung der Seitengurten; soll sich dagegen ein wesentlicher Schubaussgleich über die ganze Breite ermöglichen lassen, so sind auch die Mittelschiffgurte zu versteifen. Auf letzteren sind die Übermauerungen möglichst leicht zu machen, um den Schub des Mittelschiffes nicht unnötig zu vermehren, sie können daher schräg gegen den

Scheitel ansteigen (Fig. 875a) oder durchbrochen werden (Fig. 875b, 413). Die Wandstärke der Übermauerung genügt mit $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{30}$ der Spannweite, bei Ziegelstein braucht sie selten über 1 oder $1\frac{1}{2}$ Stein hinauszugehen.

Solche Versteifungen, die mannigfaltig verschiedene Drucklinien in sich aufnehmen können, werden noch besser wie durchgehende Dachbalken erwirken, dass sich die Seitenkräfte auf die Stützen etwa proportional zu deren Leistungsfähigkeit verteilen. Ganz besonders kann man sie bei richtiger Massenverteilung dazu verwenden, die Mittelpfeiler gänzlich von Seitenschüben frei zu halten, so dass sie nur mit Hilfe ihrer Druck- bzw. Knickfestigkeit die senkrechten Lasten zu tragen brauchen und daher auch bei ungleichen Schiffsbreiten recht dünn gemacht werden können.

Man würde sie sogar durch Eisenstützen ersetzen können, welche oben und unten in Gelenken stehen (Fig. 875), oder, was etwa auf dasselbe hinausläuft, durch schlanke Granitpfosten, die oben und unten so versetzt sind, dass die Kanten keine Pressung erhalten können.

Die Untersuchung der Windbeanspruchung kann, gleichviel ob nur gedrückte oder auch geschobene Pfeiler angenommen sind, graphisch, einfacher aber noch durch Rechnung erfolgen. Nach der letzten Spalte der Tabelle auf S. 169 findet man die Grösse des auf das Dach wirkenden Windschubes auf alle Auflager zusammen, diese multipliziert man mit der Höhe über der zu untersuchenden Grundfläche und hat damit das Umsturmmoment, dem zu begegnen ist. Dazu kommt das Umsturmmoment, das der Winddruck gegen die Wand erzeugt. Man hat nun zu berechnen, welches Umsturmmoment jede einzelne Stütze (Pfeiler oder Wand) noch aufnehmen kann. Zu diesem Zweck berechnet man die Lage des Druckes in der Grundfläche bei alleinigem Vorhandensein der Wölbenschübe und senkrechten Lasten (vgl. S. 160 u. 337) und sieht nun zu, um welches Stück sich der Druck noch in der Richtung des Windes bewegen darf, ohne zu nahe an die Aussenkante zu kommen. Dieses Stück, multipliziert mit der ganzen senkrechten Last, welche auf der Grundfläche ruht, giebt dasjenige Umsturmmoment, welches die Stütze noch aufnehmen kann. Die Summe dieser von den einzelnen Stützen noch aufnehmbaren Momente muss grösser sein, als das thatsächlich wirkende Umsturmmoment.

Beispiel I. Für die in Fig. 394 dargestellte Hallenkirche, deren Pfeiler nach Ausweis der Rechnung auf S. 160 stark genug sind, die Schubdifferenz der Gewölbe aufzunehmen, soll die Standfähigkeit der Aussenwände mit und ohne Winddruck untersucht werden.

Beispiel der
Berechnung.

Die 20 m hohe, glatte Aussenwand von 1,70 m Stärke mit einem 30 qm grossen Fenster in jedem Joch soll aus lagerhaftem Sandbruchstein von 2300 kg Gewicht auf 1 cbm errichtet sein; ein Wandfeld hat demnach $(20,0 \cdot 6,0 - 30) \cdot 1,70 = 153$ cbm Inhalt und wiegt $153 \cdot 2300 = 351\,900$ kg oder abgerundet: $Q = 352\,000$ kg.

Die Schübe der (ohne Gurtversteifung hergestellten) Gewölbe sind S. 160 angegeben, es kommt für die Aussenwand als senkrechte Kraft $V_2 = 6840$ oder rund $= 7000$ kg und als Schubkraft $H_2 = 2160$, die aber mit Rücksicht auf die nicht ausgeschlossene Kraftübertragung vom Mittelschiff her auf 2500 kg erhöht werden soll; sie liege 13,2 m über dem Boden.

Das Dach hat bei 55° Neigung eine 20 m lange Schräge, also über jedem Joch $2 \cdot 20,0 \cdot 6,0 = 240$ qm Fläche, welche mit Einschluss der Binder bei leichter Schieferdeckung etwa 100 kg auf 1 qm (vgl. S. 168) also im ganzen $240 \cdot 100 = 24\,000$ kg wiegt.

Der Wind gegen die Wand giebt bei 125 kg auf 1 qm eine Seitenkraft von $20,0 \cdot 6,0 \cdot 125 = 15\,000$ kg, mit einer mittleren Angriffshöhe von 10,0 m. Der Wind gegen das Dach erzeugt nach S. 169 auf jedes qm getroffene Fläche 59 kg senkrechten und 84 kg wagerechten Druck, im ganzen also auf die 120 qm grosse Dachfläche $59 \cdot 120 = 7080$ kg senkrechten Druck auf alle Auflager zusammen und $84 \cdot 120 = 10\,080$ kg wagerechten Windschub, der 20 m hoch über dem Boden auf die Auflager wirkt.

A. Lage des Druckes in der Wand ohne Dachlast und Wind. Die Lage des Druckes in der Grundfläche des Mittelpfeilers ist bereits S. 160 berechnet, er liegt 20 cm von der Mitte nach aussen gerückt.

Den Druck auf die Grundfläche der Aussenwand findet man nach S. 144 (Fig. 371) durch Aufstellung der Momentengleichung für den x-Meter von der Innenkante entfernten unbekanntem Druckpunkt:

$$V_2 \cdot x + Q \left(x - \frac{1,70}{2} \right) = H \cdot 13,2$$

$$\text{oder:} \quad 7000 \cdot x + 352\,000 (x - 0,85) = 2500 \cdot 13,2;$$

$$\text{folglich:} \quad x = 0,93 \text{ m.}$$

Der Druck trifft demnach die Grundfläche in einem Abstand von 93 cm von der Innenkante oder 77 cm von der Aussenkante, er ist also nur um 8 cm vor der Mitte fortgerückt nach aussen. Die grösste Kantenpressung aussen lässt sich angenähert nach der Tabelle auf S. 149, genauer nach der Formel 5 auf S. 148 bestimmen, sie berechnet sich nach dieser zu:

$$P_1 = \frac{352\,000 + 7000}{600 \cdot 170} + \frac{(352\,000 + 7000) \cdot 8 \cdot 85}{12 \cdot 600 \cdot 170 \cdot 170} = 4,5 \text{ kg auf 1 qcm.}$$

Somit liegt der Druck für gewöhnlich an sehr günstiger Stelle und erzeugt nur eine mässige Kantenpressung, die auch dann, wenn man mit Rücksicht auf die Fensterdurchbrechung nicht die volle Wandlänge von 600 cm als tragend in Rechnung stellen würde, sehr gering bliebe. Das Hinzutreten des Dachgewichtes ohne Wind ändert das Ergebnis kaum merklich.

B. Lage des Druckes bei heftiger Windwirkung (125 kg auf 1 qm). Der Wind gegen die Wand liefert ein Umsturzmoment $15\,000 \cdot 10$, dem sich ein Stabilitätsmoment $y \cdot (352\,000 + 7000)$ entgegenstellen muss, woraus sich berechnet: $y \cdot 359\,000 = 150\,000$, also: $y = 0,42$ m.

D. h. der Druck rückt um 42 cm in der Richtung des Windes weiter, so dass er statt 93 cm nur noch 51 cm von der Innenkante entfernt ist. Es wird jetzt die Innenkante die grössere Pressung bekommen, und zwar, da der Druck ausserhalb des Kernes liegt, nach Formel 6 auf S. 149:

$$d_1 = \frac{2(352\,000 + 7000)}{3 \cdot 600 \cdot 51} = 7,8 \text{ kg auf 1 qcm.}$$

Die Wand kann somit den auf sie fallenden Wind sehr gut allein bewältigen, sie kann sogar noch einen Teil des Windschubes vom Dach übernehmen.

Der Wind gegen das Dach erzeugt das gewaltige Umsturzmoment von $10\,080 \cdot 20 = 201\,600$. Dasselbe kann aufgenommen werden durch die Aussenwände und den Mittelpfeiler an der Windseite, da bei diesem Wind und Wölbschub einander entgegenwirken. Für den Mittelpfeiler, der bei mässigem Zuschlag für die Dachlast 75 000 kg wiegt, möge nur eine Druckverschiebung um 35 cm angenommen werden, er kann dann $75\,000 \cdot 0,35 = 26\,250$ vom Umsturzmoment aufnehmen, das in seinem Rest von 175 350 Meterkilogramm von den Aussenwänden zu tragen ist. Wird jedem Wandgewicht ein durchschnittlicher, aber knapper Zuschlag für die Dachlast von 5000 kg zugefügt, so ist seine Gesamtlast: $352\,000 + 7000 + 5000 = 364\,000$ kg. Die von den Wänden noch zu leistenden Stabilitätsmomente müssen gleich dem Umsturzmoment sein, also: $364\,000 \cdot y_1 + 364\,000 \cdot y_2 = 175\,350$. Daraus ergibt sich: $y_1 + y_2 = 0,49$.

In beiden Wänden muss sich also der Druck um 49 cm in der Windrichtung verschieben; wird davon auf die getroffene Wand 11, auf die andere 38 gerechnet, so ist erreicht, dass in

beiden der Druck gleich dicht an die Kante rückt, nämlich bis auf (77--38) oder (51--11) = rd 40 cm. Die Kantenpressung würde dann nach Formel 6 auf S. 149 sein:

$$d_1 = \frac{2 \cdot 364\,000}{3 \cdot 600 \cdot 40} = 10 \text{ kg auf } 1 \text{ qcm.}$$

Diese Beanspruchung erscheint für gutes lagerhaftes Bruchsteinmauerwerk nicht zu gross, wenn man bedenkt, dass eine derartige Windwirkung äusserst selten, vielleicht während des Bestandes des Bauwerkes überhaupt nicht eintreffen wird*). Die geringe Entfernung des Druckes aus dem Kern ist unter diesen Umständen gleichfalls durchaus unbedenklich. Auch eine weniger gleichmässige Schubverteilung auf die Wände würde nicht viel ausmachen.

Beispiel II. Bei derselben Hallenkirche sollen nach den Ausführungen von S. 163 sehr dünne Mittelpfeiler und übermauerte Gurte angewandt werden.

Die Rechnung, welche hier nicht weiter Platz finden soll, ist der vorigen ganz entsprechend, nur ist der Wölbschub auf die Aussenwand grösser, und der Wind ist allein von den Aussenmauern ohne Mithilfe der Pfeiler aufzunehmen. Es erweisen sich die vorhin angenommenen Mauerdicken auch für diesen Fall noch als ausreichend. Wenn das Dachwerk auf 4 Stützpunkten (Pfeilern und Wänden) ruht, von denen nur 2, die Wände, den Windschub aufnehmen sollen, so kann eine leichte Verankerung mit letzteren am Platze sein, besonders bei sehr steilen Dächern.

Der Einfachheit wegen ist aussen eine glatte Wand bei diesen Beispielen vorausgesetzt; würde eine Mauer mit Absätzen und Strebepfeilern vorliegen, so würde die Untersuchung im ganzen die gleiche sein, wie ein Einblick in die entsprechenden Berechnungen einer einschiffigen Kirche (S. 336) darthut.

Das Dach der Hallenkirchen.

Sowie die Anlage der Gewölbe für das Innere, so ist diejenige des Daches für das Äussere der Hallenkirche entscheidend. Beide Anlagen stehen aber zu einander in Beziehung und üben eine gewisse Wechselwirkung aufeinander aus.

Nehmen wir eine wenigstens annäherungsweise gleiche Höhe der verschiedenen Gewölbescheitel an, so würde die in Fig. 876 dargestellte Anlage der Kirche zu Immenhausen, welche ein die drei Schiffe überspannendes Dach mit durchgehenden Binderbalken aufweist, die zunächst liegende sein. Dabei stehen die Zwischengespärre in Stichbalken und bildet die den Scheidebogen aufgesetzte Mauer eine weitere Unterstützung des Dachwerks. Hierbei kann die Schwierigkeit, die zu den Binderbalken ausreichenden Holzlängen zu finden, darauf führen, dieselben nur über dem Mittelschiff durchzulegen, und die über den Seitenschiffen erforderlichen Balken den der wagerechten Ausgleichung der Scheidebogen aufliegenden und durch die Mittelbalken verankerten Schwellen aufzukämmen. Diese Verbindung kann in verschiedener Weise gewonnen und so auch die Anlage eines gemeinschaftlichen Daches über drei Schiffen von ungleichen Scheitelhöhen gebildet werden. Hierbei nehmen dann die über den Seitenschiffen angebrachten Durchzüge entweder eine schräge Richtung an, wie in der

Gemein-
sames Dach
über den drei
Schiffen.

*) Die statischen Nachweise, wie sie die Polizeibehörden für Hochbaukonstruktionen verlangen, pflegten bisher bei Mauerwerk die Windwirkung, wie überhaupt exzentrische Druckwirkungen meist zu vernachlässigen, es wäre daher am Platze, wo diese Momente genau berücksichtigt sind, die Grenzen für die zulässige Beanspruchung zu erweitern. Vielleicht könnte es sich empfehlen, zwei Grenzen zu setzen, die eine für dauernde Lasten, die andere für selten eintretende und vielleicht auch für erst nach völliger Erhärtung des Mörtels zu erwartende Inanspruchnahmen.

linken Hälfte von Fig. 877, oder es findet die aus der rechten Hälfte von Fig. 877 ersichtliche Konstruktion statt, in welcher die Balken *a* die Pfosten *b*, letztere die Schwellen *c*, und diese wieder die Balken *d*, und mittelst derselben die Mauerlatten verankern. Hiernach kommt also der Mauerabschluss des Seitenschiffs niedriger zu liegen als die Scheitel des Mittelschiffgewölbes, und letzteres ragt in den Dachraum hinein.

Wenn die Anlage eines gemeinschaftlichen Daches über den drei Schiffen die einfachste ist und hinsichtlich des Wasserablaufs gewisse Vorteile bietet, so ist sie für die äussere Wirkung wegen der überwiegenden Geltung der Dachflächen die ungünstigste und zugleich die dem eigentlichen Charakter des Durchschnitts am wenigsten entsprechende. Dieser Mangel an Ausdruck spricht sich schon in der Verhüllung der dreischiffigen Anlage, noch mehr aber in dem nicht einfach zu erzielenden Anschluss des Chordaches an dasjenige des Langhauses aus.

Dieser Anschluss des Chordaches wird zunächst eine den Dachraum des Langhauses nach Osten abschliessende Giebelmauer verlangen, welcher das Chordach entweder in gleicher Höhe, wie in Fig. 878, oder in gleicher Steigung sich anschliesst. In beiden Fällen ist zur Aufsetzung des Mauerdreiecks *abc* oder der entsprechenden Rautenflächen entweder eine Verstärkung des Triumphbogens oder ein unterhalb des Chordaches geschlagener, in Fig. 878 punktierter Bogen erforderlich. Zur Vermeidung des letzteren findet sich vereinzelt nur das Dreieck *abd* durch eine Mauer, das Dreieck *abc* aber durch eine geschieferte Holzwand abgeschlossen, so dass Mauer und Holzwand unter dem Giebelrand liegen bleiben. Weiter ist dann zuweilen auch das Mauerdreieck *abd* weggelassen und das ganze Dreieck *dac* durch eine Holzwand geschlossen.

Dann ist es aber richtiger, den östlichen Abschluss des Langhausdaches durch eine Walmdfläche zu bilden, in welche das Chordach einschneidet (s. Fig. 879). Letztere Anlage wird beinahe gefordert durch hochgeführte Nebenchöre. Bleibt dann zwischen letzteren und dem hohen Chor, wie in Fig. 880, ein einspringender Winkel *acb* stehen, so wird die Überspannung der Weite *ab* durch einen Bogen nötig, auf welchem die gerade durchlaufende Dachtraufe aufsitzt (s. Fig. 881). Bei gleicher Längenausdehnung sämtlicher Chöre ist durch solche Bogen ein besonders an den Backsteinkirchen der Ostseeländer gebräuchliches Mittel gegeben, zur weiteren Vereinfachung der Dachform und selbst zur Anlage eines östlichen, der ganzen Langhausbreite entsprechenden Giebels (Marienkirche in Prenzlau).

Ebenso führt der Anschluss des Daches der einschiffigen Kreuzflügel an dasjenige des dreischiffigen Langhauses auf die verschiedensten Anlagen, je nachdem die Höhe oder die Neigung beider Dächer die gleiche ist. Im ersten Fall, also bei gleicher Dachhöhe, läuft das Dach des Langhauses an die westliche und das Chordach an die östliche Dachfläche des Kreuzflügels (s. Fig. 882). Wenn auch das Chordach nach Art der Figur 878 bis zur Firsthöhe des Hauptdaches gehoben wird, so ändert sich Figur 882 in der Weise, dass sich die Firste in der Längsrichtung und Querrichtung gleichmässig durchdringen. Wenn die Dächer gleiche Neigung und daher verschiedene Höhe haben, dann kann sich die östliche Dachfläche des Kreuzflügels in einer Abwalmung des Langhausdaches fortsetzen (siehe

Fig. 883) oder letzteres das Kreuzflügeldach durchdringen und mit dem Chordach eine der eben angeführten Verbindungen eingehen.

Eine den Charakter des Notbehelfs tragende Dachbildung findet sich an der Kirche zu Wetter (s. Fig. 884), wo das Langhausdach mit dem Chordach gleiche Höhe und mit jenem des Kreuzflügels gleiche Neigung hat, so dass jenseits des letzteren die windschiefen Flächen *abcd* sich anlegen. (Es ist diese Anordnung aus einer späteren Veränderung hervorgegangen.)

Die Grösse der Dachflächen lässt eine dekorative Behandlung derselben wünschenswert erscheinen, welche entweder durch Zahl und Gestaltung der Dachluken, oder, wenn es das Material gestattet, durch mehrfarbige Muster gebildet werden kann. Zu dergleichen Anordnungen eignen sich alle irgend zur Dachdeckung gebräuchlichen Materialien, sofern die Verhältnisse es gestatten, sie in verschiedenen Farben zu beziehen, ganz besonders aber glasierte Ziegel. Besonders reiche Beispiele dieser Art finden sich an St. Stephan in Wien und an verschiedenen Kirchen der Bourgogne, wofür wir in Fig. 887 ein Beispiel von St. Benigne in Dijon nach einer flüchtigen Skizze mitteilen, für dessen Ursprünglichkeit wir freilich nicht einstehen können. (Es bezeichnet darin Weiss: Gelb, Hellgrau: Rot, Dunkelgrau: Grün, Grauschwarz: Schwarz.) Am wenigsten geeignet zu einer derartigen Behandlung sind die verschiedenen Metalldeckungen. Doch lassen sich auch hier durch teilweise Vergoldungen, durch die Lage der einzelnen Platten, durch die Gestaltung der Dachluken, durch Anordnung der den First krönenden Kämme gar reiche Wirkungen erzielen. Es ist mit Bestimmtheit anzunehmen, dass man die einförmige grosse Fläche der Bleidächer oft durch Farben belebt hat. Auch selbst bei Kupferdächern scheint man zuweilen Farbe und Vergoldung angewendet zu haben, wie aus Farbspuren an einigen allerdings späteren Zeiten angehörigen Kupferdächern des Strassburger Münsters zu schliessen ist.

Immer leidet die Anordnung eines gemeinschaftlichen Daches an dem Grundfehler, dass dieselbe mit der Gestaltung des Ganzen nur verbunden, nicht daraus hervorgegangen ist. Letzteres Verhältnis findet aber entschieden statt bei Überdeckung der verschiedenen Schiffe mit drei parallelen Längsdächern (Fig. 885), zwischen denen Rinnen zu liegen kommen, aus welchen das Wasser entweder in der Längsrichtung nur nach Westen und Osten durch Ausgüsse oder nach den beiden Seiten durch besondere Querleitungen unter den Seitenschiffsdächern abgeführt wird, eine Anlage, welche alle jene oben erwähnten Auskunftsmittel hinsichtlich des Anschlusses der Chor- und Kreuzflügeldächer entbehrlich macht. Parallele Längsdächer, für welche die Marienkirche in Danzig ein grosses Beispiel bietet, sind allerdings wegen der schwierigen Dichthaltung nicht sehr oft ausgeführt.

Jene verdeckten Wasserableitungen unter den Seitenschiffsdächern lassen sich in offene verwandeln durch die Anlage von isolierten Querdächern über den einzelnen Seitenschiffsjochen mit Rinnen über den die letzteren scheidenden Gurtbogen, welche entweder das Mittelschiffsdach als Zeltäcker umwachsen oder in dasselbe einschneiden können (Fig. 886). Allerdings ist besondere Sorgfalt auf die Bewahrung der Rinnen zu verwenden. Es müssen dieselben möglichst breit, von dem Mittelschiffsdach aus zugänglich, von starkem Blei gemacht sein

Dekorative
Behandlung
der
Dachfläche.

Längsdach
über jedem
Schiff.

Querdächer
über
den Seitenschiffen.

und mindestens 20 cm unter die Dachdeckung hinauf fassen; in dem hiermit verbundenen Aufwand liegt aber auch der einzige Nachteil der ganzen Anlage, welche in jeder sonstigen Hinsicht als die vollkommenste zu bezeichnen ist, wie sie denn an den vorzüglichsten Werken mit gleich hohen Schiffen sich angenommen findet. Wir führen hierfür die Elisabethkirche zu Marburg an, ferner die Kreuzkirche zu Breslau, St. Blasien in Mühlhausen und die Kirche zu Friedberg. Vorhanden war sie bei St. Alexander zu Einbeck und ursprünglich beabsichtigt war sie ferner, wie sich deutlich erkennen lässt, an der Klosterkirche zu Hamm und St. Marien zu Mühlhausen, sie wurde in letzteren Fällen, etwa nur der Wohlfeilheit halber, in die Anlage eines gemeinschaftlich alle Schiffe überspannenden Daches herübergeführt, deren einziger Vorteil also in der damit verbundenen Kostenersparnis zu suchen ist. Die vordere Endigung der Querdächer kann durch Dachwalme oder gemauerte Giebel geschlossen sein.

Mittelschiff von grösserer Höhe.

Wenn die eben besprochene Dachanlage aus dem Profil der Gewölbe hervorgegangen ist, so würde umgekehrt die Gestaltung der Gewölbe nach dem gemeinsamen Dache, wie sie die Fig. 888 im Durchschnitt zeigt, auf die Annahme von völlig verschiedenen Gewölbehöhen in den 3 Schiffen führen. Dabei liegen die Scheidebogen in Höhe der Seitenschiffsgewölbe, auf denselben aber sind geschlossene oder nach den Dachräumen sich öffnende Mauern bis zur Höhe *a* aufgeführt, denen die Schildbogen der Mittelschiffsgewölbe sich anlegen.

Die ganze Anordnung ist vorzugsweise in beschränkten Verhältnissen angemessen. Bei grösseren Dimensionen ist die mangelhafte Beleuchtung des Mittelschiffgewölbes doch nachteilig, obwohl der Gegensatz gegen das hellere Licht des Chores malerisch wirkt.

Die Höhenunterschiede der Schiffe können dadurch verringert werden, dass die Seitenschiffsdächer eine flachere Neigung als das Mittelschiffsdach erhalten, also gegen letzteres einen Winkel bilden (s. die rechte Hälfte von Fig. 888). Sowie nun hierdurch die Einheit des Daches doch aufgehoben ist, so führt die Ungleichheit der Schiffshöhen darauf, die Obermauer des Mittelschiffs über den Anschluss der Seitenschiffsdächer hinaus in der Gestaltung eines beide Dächer scheidenden Frieses emporzuführen (Fig. 888a). Eine weitere Erhöhung des Mittelschiffes führt dann auf die Durchbrechung dieses Mauerteiles mit Fenstern, mithin auf das völlig ausgesprochene System der Basilika, so dass die in Fig. 888 enthaltene Anlage gewissermassen eine mittlere Stellung einnimmt zwischen der Hallenkirche und der Basilika.

Noch entschiedener spricht sich diese Zwischenstellung aus in den konstruktiven Verhältnissen der Gewölbe und Pfeiler. Die ganze Anlage des Durchschnittes bringt es, wie gezeigt, mit sich, dass eine direkte Gegeneinanderwirkung der Schubkräfte nicht stattfinden kann, mithin dem Schube des Mittelschiffes gegenüber ein Widerstand zu bilden ist, entweder durch eine Verstärkung der Schiffspfeiler oder durch irgend eine andere Anordnung. Dahin gehört die Aufführung von Strebemauern auf den die einzelnen Seitenschiffsjoche abteilenden Gurtbogen.

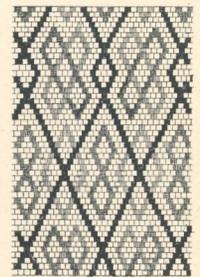
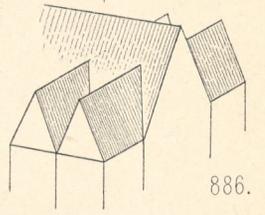
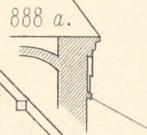
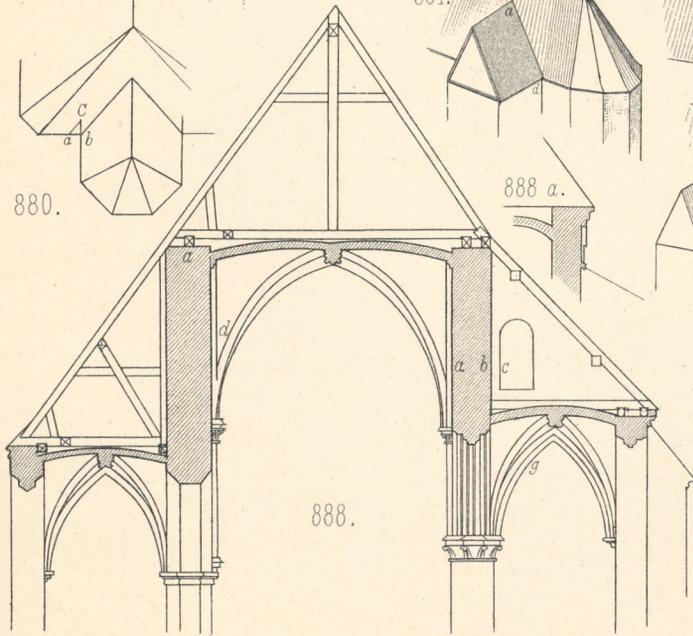
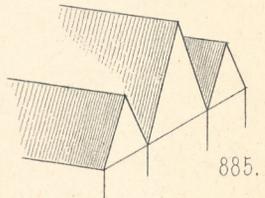
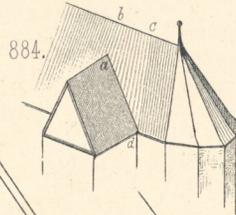
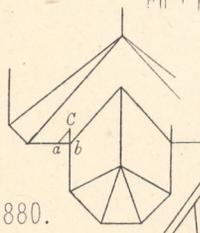
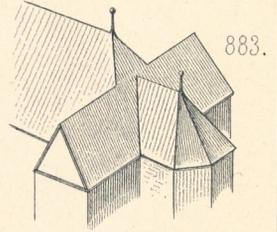
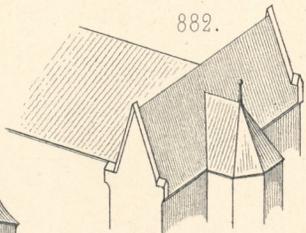
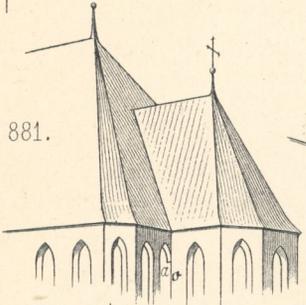
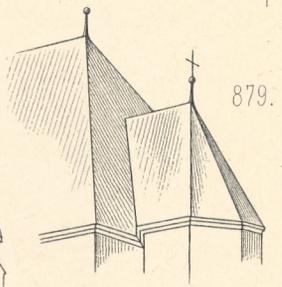
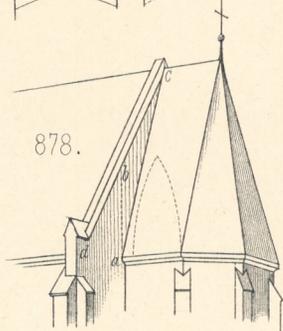
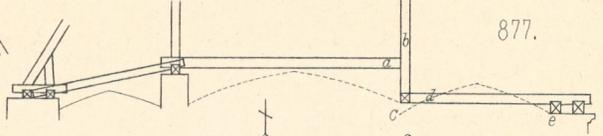
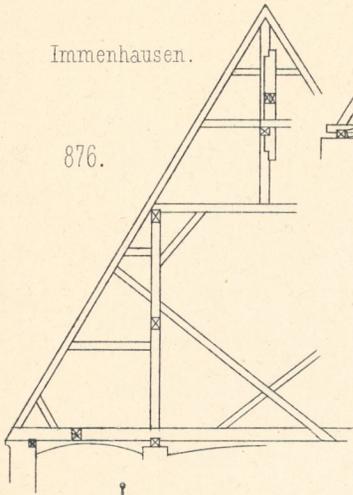
Mittel-
schiff bleibt
i. Dachraum

Mittel-
schiff tritt
über das
Dach.

Abstre-
bung
des Mittel-
schiffes.

Das Dach der Hallenkirche.

Immenhausen.



887.

Letztere bedürfen dann einer Verstärkung, während jene Mauern bis unter die Seitenschiffsdächer geführt werden und in die Konstruktion derselben eintreten, d. h. die Fette aufnehmen können. Der notwendige Verkehr in den Dachräumen oder die aus statischen Gründen nötige Massenausparung (s. S. 131) bedingt dann eine Durchbrechung jener Strebemauern, die jedoch so zu treffen ist, dass in der Höhe der Angriffspunkte der Schubkraft der Mittelschiffsgewölbe die gesamte Stärke $ab + bc$ in Fig. 888 genügend gross bleibt oder aber die Durchbrechung nur eine mässige Höhe, bezw. die Gestalt eines Kreises bekommt. Diese Mauern können dann einen doppelten Zweck erfüllen, indem sie erstlich durch ihre Last die Schubkräfte der Gurtbogen vermehren und dadurch ein Umkanten der Schiffspfeiler nach aussen verhindern, dann aber die Schubkraft der Mittelschiffsgewölbe z. T. den in der Aussenmauer stehenden Strebepfeilern zuführen und gewissermassen eine Abstützung der jener Schubkraft ausgesetzten Mauerteile bilden. Die Last der Gurtbogen darf aber nicht zu gross werden, da sie sonst die Pfeiler zu stark nach innen schieben würden. (Ausführliches darüber s. vorn S. 376.)

Es folgt hieraus, dass jene Mauern den eben angedeuteten Nutzen eines Abstrebens der Schiffspfeiler wohl unter gewissen Verhältnissen gewähren können, dass aber dieselben, sobald sie zu schwer werden, besser durch eine Konstruktion ersetzt werden, welche die Belastung der Gurtbogen vermeidet, und das ist der unter oder über Dach liegende Strebobogen, auf welchen wir weiter unten zurückkommen werden.

Höhenverhältnis zwischen Chor und Mittelschiff.

Der Chor hat mit dem Mittelschiff der Regel nach gleiche Höhe. Abweichungen finden sich freilich nicht selten und gehen dann teils aus dem ganzen System hervor, teils sind sie als Veränderungen des ursprünglichen Planes, als Folgen einer Unterbrechung des Baues anzusehen. So kann eine grössere Höhe des Längsschiffes, je nach der Anordnung des Gewölbesystems, aus der Anlage der zweischiffigen Kirchen hervorgehen und findet sich z. B. in besonders auffallender Weise an der Kirche von Niederasphe bei Wetter in Oberhessen. Hier sitzt nämlich der Anfang der von der mittleren Pfeilerreihe ausgehenden Bogen und der nach demselben Punkt gespannten Kreuzrippen dem Schlussstein des Triumphbogens an, so dass die Scheitel dieses Bogens und der Chorgewölbe in die Höhe der Basis der Schiffsgewölbe hinabrücken.

Ebenso kann bei einschiffigen Kirchen mit schmalerem Chor die ungleiche Spannweite von Chor und Schiffsgewölben bei gemeinschaftlicher Basis auf eine mindere Höhe der ersteren führen, wie der in Fig. 735a dargestellte Durchschnitt der Minoritenkirche von Duisburg zeigt.

Umgekehrt findet sich eine grössere Höhe des Chores an der Kirche in Frankenberg zwar in Verbindung mit einer Erweiterung desselben, aber doch in einem solchen Masse, dass auch das Höhenverhältnis dasjenige des Schiffs übersteigt.

Indes ist, wie gesagt, die Gleichheit der Höhen zwischen Chor und Mittelschiff die Regel.

Emporen der Hallenkirchen.

Bei gleichen Schiffshöhen ergibt sich für die schmälere Seitenschiffe ein weitaus bedeutenderes Höhenverhältnis als für das Mittelschiff, und zwar bei einem Breitenverhältnisse von 1:2 das doppelte. Es liegt daher nahe, die Höhe der Seitenschiffe durch zwischen die Pfeiler und Mauern gespannte Zwischengewölbe, also durch die Anlage von sog. Emporbühnen, zur Erweiterung des inneren Raumes der Kirche zu verwenden.

Emporen
aus Stein.

Beispiele solcher gewölbter Emporbühnen finden sich besonders häufig in den späteren Werken der Rheinlande, so in den Stadtkirchen zu Kiderich und St. Goar, in St. Leonhard in Frankfurt und in St. Laurentius zu Ahrweiler. Die Anordnung der letzteren zeigt die Fig. 890 im Durchschnitt. Ursprünglich hat man diese Emporen wohl als besondere Schiffe betrachtet und mit Nebenaltären versehen, welche z. B. in Kiderich noch erhalten sind. Dagegen fand sich bis in die letzten Jahre in dem dem Kreuzschiffe vorhergehenden Joche des südlichen Seitenschiffes der Kirche zu Wetter eine nachträglich erst zu Anfang des 16. Jahrhunderts eingebaute Emporbühne, welche ursprünglich zur Aufnahme der Orgel bestimmt, späterhin als sog. Kirchenstand bevorzugter Kirchenbesucher benutzt wurde. Die Anlage dieser Bühne gewährte dadurch besonderes Interesse, dass deren Gewölbe sehr niedrig gelegt und Gurt- wie Kreuzrippen nach einem ziemlich flachen Segment gebildet waren, so dass die Profilierungen derselben an die runden Pfeiler sich anschnitten.

Aber auch in vielen frühgotischen Werken mit überhöhtem Mittelschiff in Frankreich, an der Kollegiatkirche zu Mantes, den Kathedralen von Noyon und Paris finden sich solche unterwölbte Emporbühnen über den Seitenschiffen, an welchen die eben erwähnte selbständige Stellung noch dadurch besonders betont sich findet, dass die sich nach dem Mittelschiff öffnenden Bogenweiten durch bogenverbundene Säulchen geteilt werden. Die Gewölbe über diesen Emporbühnen in der Kathedrale zu Paris zeigen dabei noch die für neuere Zwecke, wie wir gleich sehen werden, wesentliche Eigentümlichkeit einer Erhebung der äusseren Kappen von dem Schlussstein nach der Fensterwand.

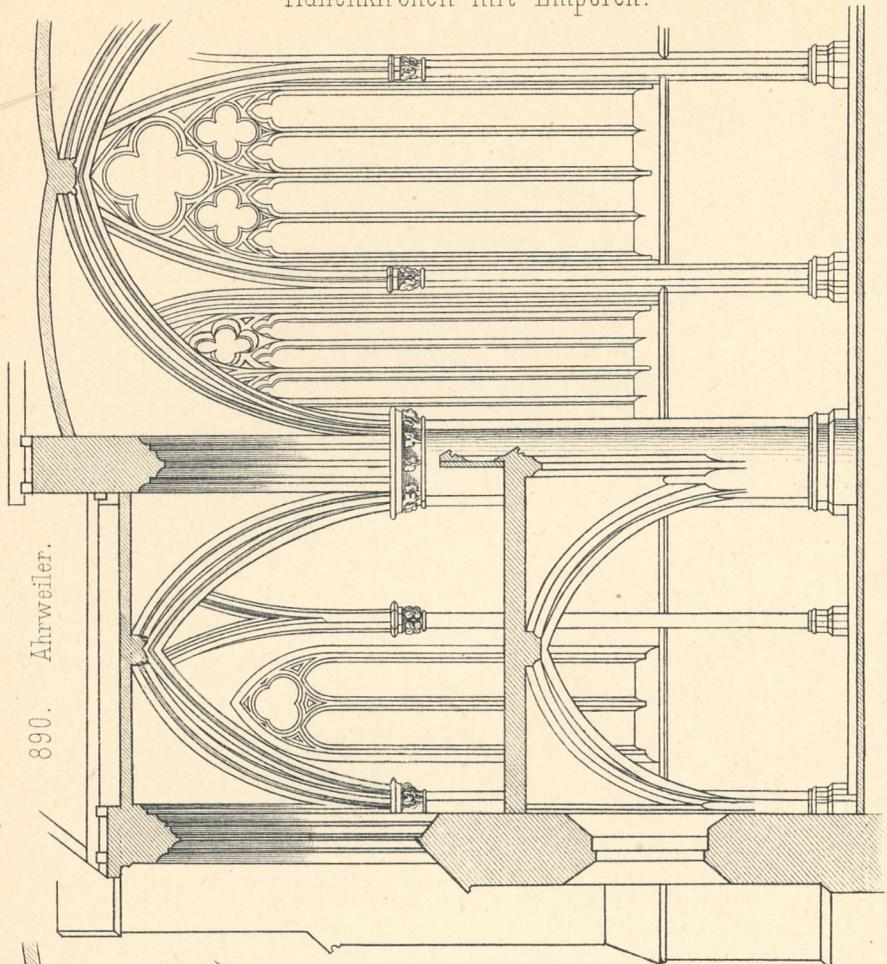
Seit dem 16. Jahrhundert nun hat man diese Emporbühnen immer häufiger, anfangs in den protestantischen, später aber, wenigstens in einzelnen Gegenden, auch in den katholischen Kirchen annehmen zu müssen geglaubt und denselben eine von der ursprünglichen wesentlich abweichende Bestimmung zugeteilt, indem jede Scheidung von dem sonstigen Raum der Kirche mit der Aufstellung von besonderen Altären darin wegfiel. Dabei hat man die Sichtbarkeit der Kanzel und wo möglich des Altars bis in die hintersten Sitzreihen als Notwendigkeit anzusehen sich gewöhnt und, hierdurch gedrungen, eine amphitheatralische Erhöhung des Fussbodens nach aussen hin vornehmen müssen.

Wenn es nun schon als feststehend anzunehmen ist, dass, vor allem in beschränkten Dimensionen, der Wirkung des Innern durch diese Einbauten Eintrag geschieht, so steht nicht minder fest, dass in manchen Fällen das Missverhältnis zwischen dem wirklichen Raumbedürfnis und den vorhandenen Mitteln zu dieser wohlfeilsten Art der Raumgewinnung zwingt. Noch gewisser ist, dass die gotische Architektur mehr als jede andere geeignet ist, einem jeden selbst ungünstigen Programm zu genügen.

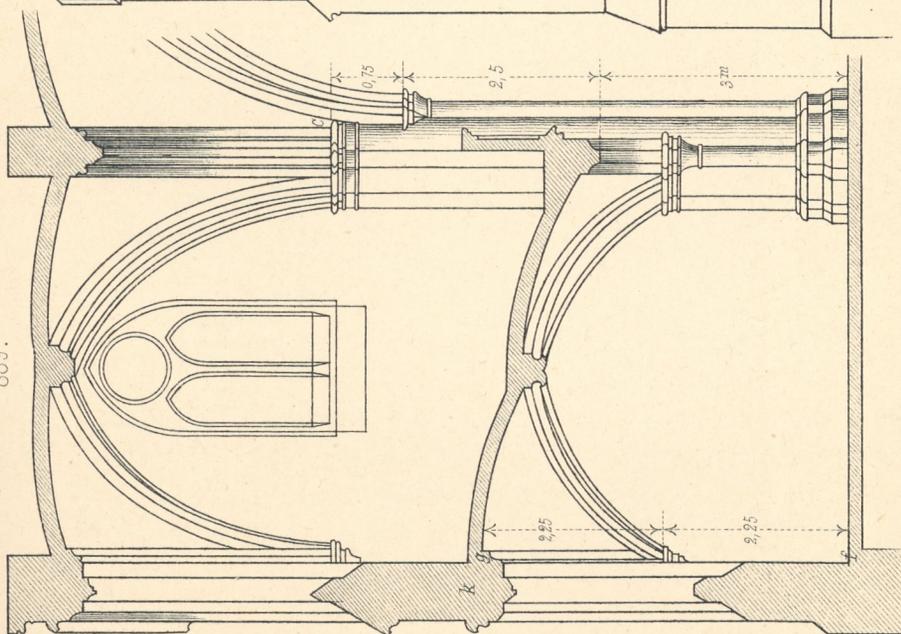
Unter allen möglichen Gestaltungsweisen ist für den vorliegenden Zweck eine dem ganzen Baukörper innigst verwobene, also zwischen die Pfeiler und Aussenmauern eingewölbte Empor-

Hallenkirchen mit Emporen.

890. Ahrweiler.



889.



bühne die vorzüglichere. Wir versuchen daher in Fig. 889 die Durchführung derselben mit dem mindesten Höhenmass, indem wir für die Mittelschiffs- und Seitenschiffsgewölbe Spannungen von 7 m und 4 m im Lichten der Vorlagen annehmen und die Grundlinie der ersten auf die Höhe von 5,50 m setzen. Als Minimum der Scheitelhöhe der zwischen die Pfeiler gespannten Gurtbogen der Emporen nehmen wir 3 m an und geben denselben, unter Voraussetzung eines lichten Pfeilerabstandes von 4 m, eine Pfeilhöhe von 75 cm. Nehmen wir nun für den Boden der Emporbühnen oben eine Neigung von 90 cm an, so werden die Kreuzrippen der denselben bildenden Gewölbe bei der in der Figur angenommenen Gestalt eine Pfeilhöhe von 1,50 m und diejenigen der an der Aussenmauer liegenden Schildbogen eine solche von 2,25 m erhalten. Die ganze lichte Höhe unten an der Wand ergibt sich danach zu 4,50 m.

Unter den angenommenen Grundrissverhältnissen bedürfen bei halbzirkelförmiger Gestaltung die Kreuzrippen im Mittelschiff einer Höhe von etwa 5 m. Hiernach konstruieren wir die Gewölbe des Seitenschiffes nach den S. 374 gegebenen Bestimmungen so, dass die Angriffspunkte der Schubkräfte in gleiche Höhe rücken und hiernach die Basis derselben etwa um 75 cm über jener der Mittelschiffsgewölbe liegt. Hiernach rücken wir die Kapitälé unter den Scheidebogen 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 eine Auskragung an den Pfeilern, welche dem Holzwerk das nötige Auflager zu gewähren hätte, so dass die Pfeilermasse ungeschwächt durchginge, oder aber in vollkommenerer Weise durch zwischen die Pfeiler gespannte steinerne Segmentbogen, 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.

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

Strebepfeiler über einfachen Seitenschiffen.

Wir haben bei der Hallenkirche mit ungleichen Schiffhöhen (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.