



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Basilika mit Strebebögen

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

liefert, hat man es in weiten Grenzen in der Hand, die Drucklinie so zu lenken, wie es in jedem Fall wünschenswert ist. Durch Uebermauerung der Seitenschiffgurte und das Aufführen verstreibender Mauerkörper unter den Seitendächern kann man besonders günstige Erfolge erzielen. All die zahlreichen feinfühlenden und lehrreichen Versuche, die das Mittelalter in diesem Sinne gemacht hat, können wir auf graphischem Wege nachempfinden und dabei unser weniger geschultes konstruktives Gefühl kräftigen und selbst in gleiche Höhe mit demjenigen der alten Meister erheben.

Wenn das Mittelschiff nicht gar zu hoch hinausragt, so lassen sich auch ohne das zwar vollkommenste aber immerhin auch kostspielige System der Strebebögen statisch sehr befriedigende Lösungen ermöglichen.

Basilika mit Strebebögen.

Der Strebebogen übt wie jeder andere gemauerte Bogen an beiden Enden Widerlagskräfte aus, deren Grösse von der gegenseitigen Höhenlage der Stützpunkte, sowie von dem Gewichte, der Spannweite und der Form des Bogens abhängt (vergl. Fig. 402 bis 405). Will man die Stützlinie des Bogens aufsuchen, um die Eignung der Bogenform zu prüfen, so teilt man den Bogen durch senkrechte Schnitte in Teilstücke (siehe Fig. 402) und setzt mit deren Gewichten in der üblichen Weise die Drucklinie fest (vergl. vorn S. 52). Die Drucklinie liefert zugleich die Endkräfte, um die es sich vorzugsweise handelt. Sonst findet man angenähert auch die Widerlagskräfte durch das vielbesprochene vereinfachte rechnerische oder zeichnerische Verfahren (S. 130). Letzteres, bei dem die Richtung der Endkräfte nach Schätzung angenommen und ihre Grösse nach dem Parallelogramm der Kräfte aus dem Bogengewicht ermittelt wird, ist zur Veranschaulichung in die Figuren 403 bis 405 eingetragen.

Die Figuren 403 bis 405 zeigen, wie mannigfach verschieden die Wirkung des Strebebogens nach der gewählten Form sich gestaltet. Der untere Widerlagsdruck B_2 ist von Bedeutung für die Stärke des Strebepfeilers, der obere Druck B_1 hat die Aufgabe den Wölbschub ganz oder teilweise aufzuheben.

Beim Bogen 403 (St. Ouen zu Ronen) ist der Druck B_1 schräg nach unten gerichtet, das Auflager bekommt also neben dem Horizontalschube H_1 einen Teil des Bogengewichtes V_1 zugewiesen.

Der am häufigsten vorkommende Bogen 404 fällt oben nahezu oder ganz horizontal an und übt demgemäss auch eine horizontale Druckkraft B_1 aus.

Der flach gekrümmte steil anfallende Bogen 405 (Halberstadt) übt eine ziemlich beträchtliche schräg aufwärts gerichtete Endkraft B_1 aus, d. h. er belastet das obere Auflager nicht, sondern sucht es sogar in die Höhe zu heben. Infolgedessen ist dieser Bogen geeignet, einen Teil des Gewichtes der oberen Mittelschiffmauer aufzunehmen und dem äusseren Strebepfeiler zuzuführen, somit also den Mittelpfeiler zu entlasten.

Für alle diese und noch weiter variierte Bogenformen bietet das Mittelalter mannigfaltige Beispiele, welche von ihnen zu wählen ist, hängt in jedem Falle von der wünschenswerten Wirkung ab. Gewöhnlich will man am oberen Ende weder eine belastende noch hochtreibende sondern nur eine horizontale Schubkraft erzielen,

Endkräfte der
Strebebögen.

die dem Gewölbschub sich entgegensetzt. In diesem Falle ist ein Viertelkreis geeignet. (Bogen 404.)

Den Viertelkreis ersetzte man schon in der früheren Gotik mit Vorliebe durch die Hälfte eines Spitzbogens, dadurch bekommt man eine statisch vorteilhaftere Bogenlinie. Meist setzte man den Mittelpunkt für den Spitzbogen nur wenig neben die Mittellinie (Punkt a_1 in Fig. 404), infolgedessen fällt oben der Bogen fast horizontal an und äussert auch eine ganz oder nahezu horizontale Kraft. Wollte man aber einen Teil der Last abfangen und die Stärke des abstützenden Strebepeilers einschränken, so wandte man auch sehr steile Bögen an (z. B. bei Halberstadt, Regensburg und Notre Dame zu Semur). Handelt es sich darum, einen Strebebogen zu entwerfen, der einen ganz bestimmten Gegendruck ausübt, so muss man von der oberen Endkraft ausgehen, die gewünschte Drucklinie ungefähr skizzieren und nun die Gewichte des Bogens so verteilen, dass sich bei der graphischen Konstruktion die geforderte Drucklinie ergibt. Dabei setzt man voraus, dass die gewöhnlich vorhandene Drucklinie bei ruhiger Belastung ebenso oder etwas flacher verläuft als die mittlere Bogenlinie.

Steifigkeit
der
Strebebögen.

Eine wichtige Forderung für einen jeden Strebebogen ist ein genügender Grad von Steifigkeit. D. h. der Bogen muss nicht nur im stande sein, den gewöhnlichen seiner Form entsprechenden Gegendruck zu liefern, sondern er muss bei Lastschwankungen auch andere und zwar besonders „grössere“ Kräfte übertragen können, ohne zu zerbrechen. Derartige Schwankungen kann in erster Linie der bei hohen Mittelschiffen ganz beträchtliche Winddruck herbeiführen.

In Fig. 402 sind zwei Stützlinien eingezeichnet, die stärker gekrümmte liefert ziemlich geringe Widerlagskräfte (OM bez. ON im beigegeführten Kräfteplan 402a), dagegen ist der Druck der flachen Linie bei ein und demselben Bogengewicht viel bedeutender (vergl. O^1M und O^1N in 402a). Je flacher die Drucklinie, um so grösser werden die Endkräfte, um so grösser natürlich auch die Druckkräfte, welche der Bogen abzufangen vermag. Daraus geht hervor, dass sich im Bogen, je nachdem ihm eine kleine oder grosse Kraft zugeführt wird, sich eine mehr gekrümmte oder mehr flach gestreckte Druckübertragung bildet. Die Bogenform muss so beschaffen sein, dass sie alle für die vorkommenden Belastungen möglichen Drucklinien sicher beherbergen kann.

Die Hauptforderungen an einen guten Strebebogen kann man dahin zusammenfassen, dass er nicht zu schwer ist, für gewöhnlich nur einen mässigen Schub ausübt, in besonderen Fällen aber einen bedeutenden Gegendruck leisten kann.

Verfolgt man unter diesen Gesichtspunkten die Konstruktionen der Alten, so kann man nicht genug staunen über die feinfühlende Art, mit der sie allen Forderungen gerecht zu werden verstanden, es seien einige Typen von Bögen herausgegriffen.

Fig. 402 und 404 zeigt die gebräuchlichste Gestaltung, bestehend aus einem Bogen mit voller Uebermauerung, letztere ist zur Aufnahme der flachen Drucklinien geeignet. Die Uebermauerung muss deshalb gut gefügt sein; man kam bald dazu, besonderen Wert auf die zuverlässige Herstellung ihrer Abdeckung zu legen, welche vorzugsweise zur Druckübertragung herangezogen wurde. Das Zwischengemäuer konnte dann leichter gemacht und selbst masswerkartig aufgelöst werden.

Fig. 406 (Amiens) zeigt eine Auflösung des Bogens in eine untere gekrümmte und eine obere gerade Gurtung. Der unteren gebogenen Gurtung fällt die Uebertragung der gewöhnlich wirkenden Schübe zu, die obere gerade Gurtung dagegen hat die Aufgabe, die etwaigen variablen Kräfte aufzunehmen. Da jedes ihrer Werkstücke von unten her gestützt wird, befindet sich die Abdeckung immer im Gleichgewichtszustand, gleichviel ob eine grosse oder kleine Längskraft in ihr wirkt. Man kann sie vergleichen mit einer Spreize, deren Beanspruchung von dem Werte Null bis zur Grenze des Zerknickens wechseln kann. Wird die Beanspruchung zu gross, so würde ein

Ausbauchen eintreten, dasselbe ist nach unten verhindert und nach der Seite erschwert, aber nach oben möglich, wo ihm jedoch wieder das Gewicht der Werkstücke entgegenwirkt.

Vereinzelt suchte man auch das Ausbauchen nach oben bei der oberen Gurtung zu verhindern, indem man sie nach unten etwas gekrümmt machte und sie gleichsam als Gegenbogen direkt oder durch Vermittlung von Masswerk mit dem unteren Bogen in Verbindung brachte. Fig. 407. Die mannigfaltigen Bildungen der Strebebögen sind also nicht allein einer architektonischen Wirkung oder einer besseren Wasserleitung zu liebe erfunden, sie dienen vielmehr in erster Linie wichtigen konstruktiven Zwecken.

Bei hohen Mittelschiffen ging man zu zwei übereinander befindlichen Strebebögen über, zum Teil, wie VIOLLET LE DUC meint, um den auf eine grössere Fläche sich verteilenden Wölbdruck mit grösserer Basis zu fassen, zum überwiegenden Teil vermutlich, um der hohen Mauer mehr Steifigkeit gegen die bedeutende Windwirkung zu verleihen. (Ueber die architektonische Gestaltung der Strebebögen siehe weiter hinten unter der Aufrissbildung der Kirche.)

Sollen die statischen Verhältnisse des Mittelpfeilers einer Basilika mit Strebebögen untersucht werden, so sieht man zunächst von Dachlast und Winddruck ab und führt nur für den Mauerkörper mit seinen Gewölben die Ermittlung in der vielbeschriebenen Weise auf graphischem oder rechnerischem Wege durch. Am günstigsten wird die Kraftführung sein, wenn die Mittellinie sich immer möglichst dicht an der Mittelaxe der Wand bez. des Pfeilers hält. Ein geschicktes Auswägen der Pfeiler- und Wandmassen, sowie der Wölbschübe, besonders aber das Einsetzen eines richtig bemessenen Strebebogenschubes an geeigneter Stelle führen zum Ziel. Fig. 408 stellt eine unter den gewöhnlichen Verhältnissen günstige Kraftführung dar.

Drucklinie
im Mittel-
pfeiler unter
Einfluss des
Strebebogens.

Der Schub des Strebebogens ist etwas geringer als der des Mittelschiffgewölbes und gelangt etwas höher als dieser zum Eingriff. Der Gegendruck des Strebebogens B_1 setzt sich im Punkt 1 mit dem Gewichte P_1 des oberen Wandstückes zusammen zu der resultierenden Kraft R_1 , die sich nach der Innenseite der Mauer hinüberschiebt, bis im Punkte 2 die schräge Widerlagskraft W_1 des Mittelgewölbes hinzutritt. Der Schub des Gewölbes sei grösser, als der des Strebebogens, daher schiebt sich die Resultierende R_2 wieder nach aussen und setzt sich im Punkte 3 mit dem Gewichte P_2 des betreffenden Teiles der Mittelschiffwand zusammen zu der Kraft R_3 , die sich im Punkte 4 mit dem Wölbdruck W_2 vom Seitenschiff vereint. Jetzt ist es von Bedeutung, ob die Differenz der oberen Horizontalschübe vom Mittelschiff und Strebebogen grösser ist als der Horizontalschub des Seitenschiffes oder kleiner. Wäre der oben verbliebene Restschub grösser, so würde sich die Resultierende R_4 nach aussen wenden, ist er aber, wie in der Figur angenommen, kleiner, so richtet sich R_4 wieder der Innenseite zu und setzt sich schliesslich mit dem Gewicht P_3 vom Pfeiler nebst Scheidebögen zu der Druckkraft R_5 zusammen, welche im Punkte U in das Fundament übertritt und nach Aufnahme vom Gewicht P_4 des Fundamentes schliesslich im Punkte E in den Erdboden übergeleitet wird.

Gerade im unteren Teile des Pfeilers, wo die Last am grössten geworden und die Masse am meisten beschränkt zu werden pflegt, ist eine möglichst zentrische Lage des Druckes erwünscht.

Welche Aenderungen durch wechselnde Annahme des Strebebogens eintreten, mögen die Skizzen 409 und 410 erläutern. In 409 ist der Strebebogenschub etwa gleich dem Mittelschiffschub, infolgedessen geht die Kraft R_2 ungefähr senkrecht nach unten; in 410 ist der Schub vom Strebebogen und Seitenschiff zusammen so gross wie derjenige des Mittelschiffes, was dazu führt, dass unten die Resultierende R_4 senkrecht gerichtet ist. Ferner ist in 409 der Strebebogen weit herabgerückt,

was die Folge hat, dass die Resultierende R_2 sich nach aussen schiebt, während umgekehrt der hochliegende Strebebogen in Fig. 408 und 410 den Schnittpunkt 2 gegen das Mittelschiffgewölbe hinüberdrängt.

Ebenso wie man durch Lage und Ausbildung des Strebebogens die Drucklinie hin- und herschieben kann, übt die Schwere der einzelnen Wandteile und das Ueberkragen derselben nach innen oder aussen, ferner das Gewicht und das Pfeilverhältnis der Gewölbe den grössten Einfluss aus. Es giebt so unerschöpflich viele Möglichkeiten, die Drucklinie zu lenken, dass selbst scheinbar sehr verwickelte Verhältnisse bei Hinzutreten von Emporen und Triforien und äusseren Umgängen sich bei richtigem Abwägen meist unschwer bewältigen lassen.

Die Beweglichkeit und Freiheit der mittelalterlichen Konstruktionsweise tritt an keiner anderen Stelle gleich schlagend hervor.

6. Dachlast und Winddruck.

Eigengewicht, Schneelast und Winddruck der Dächer.

Da die Dachlast infolge von Wind- und Schneedruck grossen Schwankungen ausgesetzt ist, da sie ausserdem bei Erneuerungen zeitweise fehlen kann, soll man sie nicht als eine „günstige“ Belastung in Rechnung stellen, man hat vielmehr zunächst die Festigkeit des Bauwerkes ohne Rücksicht auf Dachgewicht und Wind zu untersuchen und sodann beide hinzuzuziehen.

Eigengewicht
des Daches.

Das Eigengewicht des Daches setzt sich zusammen aus dem Gewicht der Binder, der Sparrenlage, der Lattung oder Schalung und der Deckung.

Die Dachbinder ohne Sparrenlage, jedoch mit den zur Konstruktion gehörenden Dachbalken wiegen für jeden qm Dachfläche bei leichter Konstruktion 20—30 kgr, bei schwereren Bindern 30—50 kgr, das Gewicht eiserner Binder kann ebenso angenommen werden. Sind volle Fussbodenbeläge und bewegliche Lasten auf der Balkenlage zu erwarten, so sind diese besonders zu berücksichtigen.

Die Sparrenlage wiegt für jeden qm geneigter Dachfläche 10—15 kgr, die Lattung 5—10 kgr und eine Schalung aus $2\frac{1}{2}$ cm dicken Brettern 20 kgr, eine solche aus $3\frac{1}{2}$ cm dicken Brettern 30 kgr.

Für einen qm Deckungsmaterial (ohne Schalung oder Lattung) kann gerechnet werden:

für doppeltes Ziegeldach	75—100 kgr, im Mittel: 90 kgr
einfaches Ziegel-, Pfannendach oder Falzziegeldach	45—65 „ „ „ 60 „
Schieferdach	30—45 „ „ „ 40 „
Metalldeckung	8—16 „ „ „ 10 „

Das Gesamtgewicht von Dachkonstruktion und Deckung ist demnach:

Deckungsart:	für 1 qm Dachfläche			für 1 qm Grundrissfläche		
	von	bis	im Mittel	im Mittel bei einer Neigung von		
				30°	45°	60°
doppeltes Ziegeldach	120	175	140	—	200	280
einfaches Ziegeldach etc.	85	140	110	—	155	220
Schiefer	75	120	90	105	130	180
Metall	60	95	75	85	105	150