



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Stärke der Widerlager nach Erfahrungsregeln

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

Geometrische Beziehungen in den Grundrissmassen. — Verhältnis der Widerlager zu den Spannweiten.

Man hat vielfach versucht, nach Ueberlieferungen und Messungen bestimmte geometrische Beziehungen in allen Teilen der alten Bauwerke im Grundriss und Aufriss aufzudecken und in ihnen das „arcanum magistri“ vermuten wollen.

Dass Wiederholungen gleicher oder ähnlicher Teile, gesetzmässige stetige Längenabnahmen sowie manche geometrische Teilungen, die sich aus dem regelmässigen Sechseck oder Achteck, aus dem Verhältnis der Quadratseite zur Diagonale usw. herleiten lassen, viel dazu beitragen können, den Eindruck eines Kunstwerkes ruhig, klar und ansprechend zu machen, ist sattem bekannt und ist den alten Meistern ebenso wenig entgangen als den neueren. Man scheint sogar im Mittelalter, besonders in der Spätgotik, solche Ausmittlungen der Längen mit Fleiss geübt zu haben (vgl. darüber weiter hinten: Die Systeme der geometrischen Proportion).

Daraus aber schliessen zu wollen, dass ein ganzes Bauwerk im Grossen und Kleinen in ein starres, immer wiederkehrendes Zirkelgewebe gezwängt sei, ist selbst für die späteren Werke etwas gewagt, für die Schöpfungen der Frühzeit aber im Widerspruch stehend zu deren eigenem Ausweis. Gerade dadurch ist die Kunst jener Zeit zu ihrer edlen Blüte gelangt, dass sie wie keine andere frei von schablonenhaften Fesseln und doch mit gehaltvoller Strenge von Fall zu Fall aus dem innern Wesen der Sache heraus schuf.

Es kommen geometrische Beziehungen nicht nur des architektonischen Ausdrucks wegen in Frage, sondern auch bezüglich der statischen Erfordernisse, besonders ist es das Verhältnis zwischen Wölbweite und der Wand- oder Pfeilerstärke, welches bei seiner Wichtigkeit in den Vordergrund tritt. Wir haben uns daran gewöhnt, für die alltäglichen Wölbungen der Praxis die Widerlagsstärke als Bruchteil der Spannweite (z. B. $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ usw.) festzusetzen, es ist zu natürlich, ähnliche Erfahrungssätze auch für die Kirchengewölbe aufzustellen, nur liegen hier die Verhältnisse weniger einfach. So lange die Ergebnisse der Statik dem Praktiker nicht brauchbar oder handlich genug sind, müssen für ihn derartige Anhalte in der That als Ersatz dienen, mit Recht haben es daher auch neuere Meister für wichtig genug gehalten, geeignete Regeln aufzustellen. Einige der bräuchlichsten mögen folgen.

Stärke der
Widerlager
nach
Erfahrungs-
regeln.

1. HOFFSTADT entwickelt in seinem gotischen ABC die Abmessungen für Mauer und Strebpfeiler auf Grund einiger der spätesten Periode angehöriger Manuskripte aus dem Chorpolygon, indem er für die Mauerdicke und Strebpfeilerdicke $\frac{1}{10}$ der lichten Chorweite und für den Vorsprung der Strebpfeiler vor der Mauerflucht die Diagonale des mit obiger Grösse gebildeten Quadrates annimmt. (In Lacher's Unterweisung — s. vermischte Schriften von A. Reichensperger, Leipzig T. O. Weigel — findet sich diese Länge aus einer Verdopplung der Dicke gebildet.) Die Gesamtlänge des Strebpfeilers würde nach Hoffstadt nahezu $\frac{1}{4}$ (genauer 0,2414) der Spannung werden.

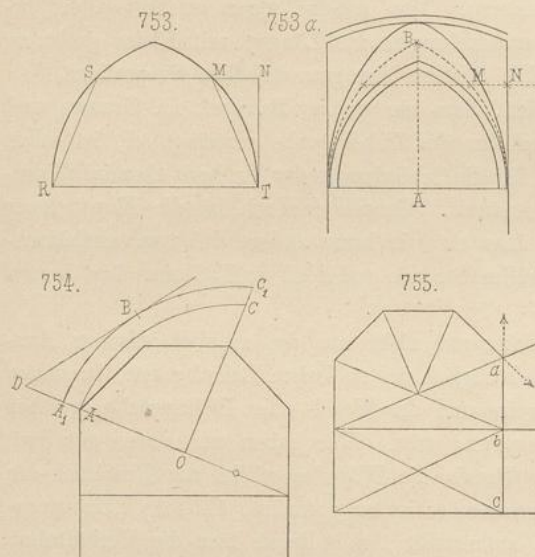
2. VIOLLET-LE-DUC giebt in seinem dictionnaire de l'arch. (IV, S. 63) ein angeblich noch im 16. Jahrh. geübtes Verfahren, wonach in den Bogen drei gleiche Teile eingetragen werden ($RS = SM = MT$, Fig. 753) und der Abstand des Teilpunktes von dem im Endpunkt errichteten Lot, also MN die Widerlagsstärke angiebt, die bei T nach aussen abzutragen ist. Beim Halbkreis beträgt dieselbe $\frac{1}{4}$ der Spannweite, beim Spitzbogen je nach seiner Steilheit $\frac{2}{9}$, $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$. Als Grenze für die Gültigkeit wird die Widerlagshöhe von $1\frac{1}{2}$ Spannweiten bezeichnet.

3. HASE schlägt ein ähnliches aber vollkommeneres Verfahren ein. Er bestimmt die Länge

UNGEWITTER, Lehrbuch etc.

des Strebepfeilers gleichfalls durch die Dreiteilung des Gewölbequerschnittes (s. Fig. 753 und Fig. 753a), setzt dann aber für je $4\frac{1}{2}$ m Widerlagshöhe 15 cm hinzu. Bestehen die Widerlager dieser Stärke aus schwerem natürlichem Stein, so vermögen sie ein „leichtes“ Werkstein- oder kräftiges Ziegelgewölbe zu tragen, bestehen sie aus gewöhnlichen Ziegelsteinen, so genügen sie für ein leichtes Ziegelgewölbe. Diese Stärken passen für eine einschiffige Kirche, wenn die Wand etwas mitträgt; für eine dreischiffige Kirche (Verhältnis der Schiffsweiten etwa 2:1) genügen sie vollauf, wenn die Spannung des Mittelschiffs zu Grunde gelegt wird; allenfalls reichen sie auch noch für die äusseren Strebepfeiler, welche die Strebebögen für das Mittelschiff aufnehmen. Es sind dabei rechteckige Gewölbfelder vorausgesetzt, deren Seiten sich etwa wie 2:3 verhalten. Sind die Wölbfelder mehr quadratisch, so sind die Widerlager entsprechend zu verstärken.

4. In den früheren Auflagen dieses Lehrbuches ist endlich eine zunächst für Chorgewölbe bestimmte Konstruktion mitgeteilt, welche die Wölbstärke mit in Rücksicht zieht (vgl. Fig. 754). Der Rippenbogen über OA wird als AO in den Grundriss geschlagen, die Stärke der



Rippe und des darauf liegenden Gewölbes wird als AA_1 hinzugesetzt, so dass sich der grössere niedergeschlagene Bogen A_1C_1 bildet. An den Halbierungspunkt B desselben wird eine Tangente gelegt, welche die Grundlinie in D schneidet. Die Länge AD ist die Widerlagsstärke des Strebepfeilers. Sie ergibt sich für den Halbkreis zu $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ der Spannweite, für Spitzbogen je nach ihrer Pfeilhöhe merklich geringer, für hohe Spitzbogen (Pfeil über $\frac{2}{3}$) kann das Verfahren nicht mehr angewandt werden, da die Widerlager zu dünn ausfallen würden. Die Dicke des Strebepfeilers und der Wand kann nach einem ähnlichen Verhältnis festgesetzt werden wie bei der Hoffstadt'schen Konstruktion.

Die solcher Art gefundene Länge des Strebepfeilers am Chorschluss ist auch für die geradlinige Verlängerung

des Chores ausreichend, vorausgesetzt, dass die Jochlänge (bc in Fig. 755) nicht wesentlich grösser ist als eine Polygonseite. Zwar haben die Strebepfeiler der Jochfelder b und c ein grösseres Gewölbstück aufzunehmen als der Chorpfeiler a , sie sind aber wieder dadurch im Vorteil, dass sich für sie der Schub der Schildbögen aufhebt, während er bei a in die Richtung der Pfeile fällt und eine Resultierende auf den Strebepfeiler trägt. Für längere Joche, besonders für quadratische ist eine Verstärkung der Widerlager nötig.

Bei langen Jochen würde sich auch ein Verstärken der dem Ausbauchen ausgesetzten Wand empfehlen, will man die Wanddicke zu der Feldlänge in Beziehung bringen, so kann man ein Verhältnis von 1:6 bis 1:8 als durchschnittlich annehmen.

Vergleicht man die aufgeführten Regeln, so findet man eine ziemlich grosse Uebereinstimmung derselben unter einander. Prüft man sie durch Gegenüberstellen mit alten Werken oder durch statische Berechnungen, so erkennt man, dass sie für mittlere „nicht zu ungünstige“ Verhältnisse recht gut zutreffend sind. Immer dürfen sie aber, wie ihre Urheber mit grosser Entschiedenheit aussprechen, nur als ungefähre Anhalte dienen, sie müssen in besonderen Fällen oft ganz wesentliche Abänderungen erfahren. Als das beste der angegebenen Verfahren muss das dritte von C. W. HASE bezeichnet

werden. Sollen wir noch eine fünfte, auf Grund statischer Untersuchungen (siehe vorn) entwickelte Regel hinzufügen, so würde es die folgende, der Hase'schen verwandte, sein.

5. Mit der „durchschnittlichen“ Pfeilhöhe des Gewölbes AB in Fig. 753 a (zwischen derjenigen des Gurts und des Schlusssteines liegend) konstruiert man einen Spitzbogen (bez. Halbkreis) und trägt auf statische Untersuchungen gestützte Regel. in diesen nach Massgabe der Figur 753 drei gleiche Teile ein, um das Grundmass der Strebe-
pfeilerlänge zu erhalten (MN in Fig. 753). Statt dessen kann man auch unmittelbar annehmen für den Halbkreis ein Viertel der Spannweite, für einen niederen Spitzbogen (Pfeilhöhe etwa 2:3) „ $\frac{2}{9}$ “ und für einen höheren Spitzbogen (bis 60° oder Pfeilhöhe 5:6) $\frac{1}{5}$ bis herab auf $\frac{1}{6}$ der Spannweite. Dazu addiert man für jeden Meter Widerlagshöhe unterhalb des Wölbanges 5 cm. Die Widerlager kleiner Wölbungen unter etwa 5 m Spannweite erfordern ausserdem noch einen Zuschlag von 20–30 cm.

Derart bemessene Strebe-
pfeiler können bei Ausführung in schwerem natürlichem Stein leichte Gewölbe aus gleichem Material (z. B. Sandsteinkappen von 15–20 cm Dicke) tragen; bei Ausführung in mittelschwerem Ziegelstein können sie Kappen von 12 cm aus gewöhnlichen nicht zu schweren Backsteinen aufnehmen, die bei mehr als 8 bez. 10 m Spannung auch auf $\frac{3}{4}$ bez. 1 Stein Stärke gebracht werden dürfen. Bei Gewölben aus porösen Ziegeln oder Schwemmsteinen können die Ziegelwiderlager um 5%, die Werksteinwiderlager um 10–15% verkürzt werden. Von oben belastete oder aus schwerem Bruchstein bestehende Gewölbe verlangen dagegen stärkere Stützen.

Es sind quadratische Wölbfelder vorausgesetzt, welche ohne Mithilfe der Wand durch Strebe-
pfeiler der üblichen Form (Dicke zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$ der unteren Gesamtlänge und schwache Ver-
jüngung nach oben, etwa nach der durchschnittlichen Neigung 20:1) getragen werden. Sind die Wölb-
joche Rechtecke, deren lange Seite als Spannung in Rechnung gesetzt ist, so kann, je nachdem sich das Längenverhältnis des Rechtecks wenig oder mehr vom Quadrat entfernt, eine Verringerung des Pfeilvorsprunges um 5–15% stattfinden. Trägt die mässig durchbrochene Wand wesentlich mit, so ist eine weitere Abnahme um 10% und mehr zulässig.

Für ein- und zweischiffige Kirchen ist die Anwendung dieser Regel sehr einfach, man legt die Spannweite der Gewölbe zu Grunde, welche zwischen den Fluchten der Schildbögen, (nicht im Lichten der Vorlagen) zu messen ist. Bei dreischiffigen Kirchen hängt es von der Stabilität des Mittel-
pfeilers und der Druckführung über dem Seitenschiff (vgl. Fig. 350 bis 355) ab, ob man die Strebe-
pfeiler nach der Weite des Mittelschiffes bemisst oder nach einer Spannung, die zwischen Mittel-
und Seitenschiff vermittelt. Die Widerlager nur nach dem Seitenschiff zu bemessen, ist selten statthaft.

Für verstreute Basiliken können bei nicht zu flacher Führung leichter Strebebögen die vor-
beschriebenen Stärkeausmittlungen auch wohl für die Stützpfeiler der Strebebögen Anwendung
finden, wenn man die Spannweite des Mittelschiffes und auch die Widerlagshöhe des letztern zu
Grunde legt. Doch sollte man sich für diesen wichtigen Pfeiler lieber nicht auf solche Regeln zu
sehr verlassen, sondern immer die Mittelkraft des Druckes aufsuchen, indem man die Schwerkraft
des Pfeilers etc. mit der Schubkraft des Strebebogens (bei richtiger Konstruktion höchstens gleich
dem Wölbschub vermehrt um einen Teil des gegenüber wirkenden Winddrucks) zusammensetzt.
S. S. 165 und hinten: Querschnitt der Basilika.

Die richtige Feststellung der Widerlager ist wohl als die wichtigste Frage der
ganzen mittelalterlichen Konstruktionslehre anzusehen. Irrtümer in diesem Punkte
sind nach beiden Seiten sehr misslich; übermässige Stärken steigern die meist recht
knapp zugemessenen Kosten, unzulängliche Abmessungen bringen nicht nur den Be-
stand des Bauwerkes, sondern auch Menschenleben in Gefahr.

Will man all die vielen Nebenumstände, als da ist Pfeilhöhe, Form und Stärke
der Gewölbe, Gewicht des Baustoffes für Gewölbe und Widerlager, Form und Höhen-
verhältnisse der letzteren, besondere Oberlasten der Gewölbe und Wände, Wind u. dgl.
gebührend in Rücksicht ziehen, so können die besten Regeln nicht mehr ausreichen,
es ist dann entweder ein geschultes konstruktives Gefühl oder, wo dieses im Stich

lässt, die Rechnung von nöten. Beide sind gar nicht so sehr von einander verschieden, das was man „Gefühl“ nennt, ist nichts weiter als die durch Erfahrung gestützte vernunftmässige Erwägung der wichtigsten in Frage stehenden Momente; die „statische Untersuchung“ setzt genau dasselbe logische Abwägen voraus, das nur an den weniger klar übersehbaren Punkten durch weitere Hilfsmittel (theoretische Betrachtungen) gefördert wird.

Gerade bei den hier vorliegenden Konstruktionen kommt es weit mehr auf richtige Grundannahmen an, als auf die mehr oder weniger exakte Durchführung der Rechnung, — Vereinfachungen und Abrundungen der letzteren, welche das Endergebnis um einige Prozent ungenau machen, schaden dem Bauwerke nichts, wohl aber grobe Fehler in den grundlegenden Annahmen.

Bei der Wichtigkeit der Sache schien es angezeigt, einen ganzen Abschnitt (S. 122—170) der vorliegenden Neuauflage dieses Lehrbuches über das Verhalten der Pfeiler und Widerlager und ihre an sich sehr einfach durchführbare Stärkebestimmung einzuschalten. Wie abweichend sich die Widerlager je nach Umständen ergeben, wird ein Blick auf die Tabellen 2—4 (Seite 150—152) zeigen, die dortigen Angaben würden sogar noch grössere Schwankungen zeigen, wenn die Tabellen noch auf andere Fälle, z. B. das gemeinsame Verhalten von Wand und Strebepfeiler, den Einfluss von Oberlasten über den Gewölben oder Widerlagern ausgedehnt wären.

Stellt man die Widerlagsstärken geschichtlicher Beispiele zusammen, so tritt diese in der Sache begründete Verschiedenheit krass zu Tage, abgesehen von Ausnahmebildungen schwankt die Dicke voller pfeilerloser Wände etwa zwischen $\frac{1}{7}$ — $\frac{1}{4}$ (meist $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$), die Länge der Strebepfeiler zwischen $\frac{1}{7}$ — $\frac{1}{2}$ (meist $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$) und die Mauerstärke zwischen den Strebepfeilern zwischen $\frac{1}{6}$ bis etwa $\frac{1}{14}$ (meist $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{10}$) der lichten Gewölbweite.

2. Die zweischiffige Kirche.

Allgemeine Grundform.

Die Anlage einschiffiger Kirchen ist an gewisse Grenzen hinsichtlich der Spannung der Gewölbe gebunden. Zwar finden sich einzelne Werke der Art von ungewöhnlich weiter Spannung, wie die Kathedrale von Alby und die Dominikanerkirche in Gent, welche ca. 19 und 16 Meter zwischen den Wandpfeilern messen, wie denn die Ausführung der Gewölbe in rein konstruktiver Hinsicht über noch grösseren Weiten möglich wäre. Aber die Vorteile einer solchen Konstruktion sind sehr zweifelhaft. Die dadurch geforderte überaus bedeutende Zunahme an Höhe vergrössert den räumlichen Inhalt in einer die Ausfüllung des Raumes mit vokalen oder instrumentalen Mitteln mächtig erschwerenden Weise, erschwert und verteuert die Ausführung und macht einen gesteigerten Reichtum der architektonischen und dekorativen Behandlung nötig, um über die frostige Wirkung dieser Weite hinauszukommen. Es geht damit wie mit den übermässig breiten Strassen und weiten Plätzen, an welchen die pomphaftesten Gebäude doch zu keiner Wirkung gelangen können. Die mehrfach angeführte Kirche vom Kloster Oybin misst im Schiff 10,80 m