



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Wandstärke mit und ohne Strebepfeiler. 2 Beispiele der Berechnung

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

nischen Kirchen pflegen nur im Sockel einen geringen Vorsprung zu zeigen, während die Wand der gotischen meist auch unterhalb der Fenster in der Höhe des Kaffsimses noch einmal etwas abgesetzt ist.

Es kann befremdlich erscheinen, dass man die äussere Stärkenzunahme von oben nach unten nicht noch weiter getrieben hat, um sich möglichst der idealen Widerlagsform (vgl. Fig. 343) zu nähern. Es würde das sicher auch geschehen sein, wenn man es nur mit der Bekämpfung eines gleichbleibenden Wölbschubes zu thun gehabt hätte; nun treten aber ausser diesem noch wechselnde Beanspruchungen, besonders unter dem Einfluss des Windes auf. Der Winddruck setzt sich in der von ihm getroffenen Wand dem Wölbschub entgegen, er kann in vielen Fällen selbst grösser werden als dieser und daher die Wand nach innen überzuneigen trachten. Der entgegengesetzten Wand wird durch das Dachgerüst und unter Umständen auch durch den Scheitel des Gewölbes (siehe unten) gleichfalls ein Teil des Winddruckes zugeführt, der in den höchsten Teilen der Wand zum Angriff gelangt. Je höher aber eine Seitenkraft angreift, um so weniger ist es statthaft, die Stärke der Wand nach oben erheblich zu vermindern. In dem Grenzfall, dass nur eine grosse horizontale Kraft an der oberen Kante eines in gleicher Stärke aufsteigenden Mauerkörpers ohne Oberlast zum Angriff käme, würde über jeder Lagerfuge von unten bis oben hinauf die Gefahr des Umsturzes gleich gross sein. Für die oberen Schichten würde sogar die Möglichkeit des Fortschiebens (Gleitens) hinzutreten, welche für den unteren Mauerteil fortfällt (in dem dafür wieder die Druckpressung unter dem Einfluss des lastenden Mauerwerkes grösser ist). Dieser Grenzfall liegt nun zwar für eine Kirchenmauer nicht vor da eine gewisse Oberlast vorhanden ist und weit tiefer im Gewölbanfang der grosse Schub des Kreuzgewölbes angreift, immerhin wird aber aus Vorstehendem erhellen, dass die Verjüngung der Wand mit Rücksicht auf die Windwirkung nicht gar zu weit getrieben werden kann. Besonders wird dann, wenn sich die Strebepfeiler schon stark verjüngen, um so mehr Anlass vorhanden sein, die Wand oben ungeschwächt zu lassen, ja es kann beim Vorherrschen der Strebepfeiler sogar geboten sein, die Wand oberhalb breiter Fenster dicker zu machen als unten, wie etwas später näher begründet werden soll.

Ueber die Standfähigkeit der Wände gegenüber dem Wölbschub ist S. 137—152, gegenüber dem Winddruck S. 163—165 gehandelt. Da dort keine Beispiele der Berechnung gegeben, seien hier deren zwei zur Veranschaulichung eingeschaltet.

Beispiel I: Stabilitätsuntersuchung einer einschiffigen Kirche ohne Strebepfeiler mit und ohne Einwirkung des Windes. Fig. 835. Die Kirche hat 10 m lichte Weite bei 6 m Jochteilung und 20 m Mauerhöhe über dem Sockel bez. dem inneren Fussboden, sie ist mit einem 1 Stein dicken Kreuzgewölbe aus porösen Ziegeln in einem Pfeilverhältnis von 2:3, in der Querrichtung gemessen, überwölbt, die Kapitälplatte liegt 13 m über dem Fussboden. Jedes Wandfeld wird von einem 2,8 m breiten, im Mittel 13,0 m hohen Fenster oberhalb des 4 m hoch liegenden Kaffsimses durchbrochen, der unter dem Fenster liegende Wandteil ist durch Blenden ausgenischt und soll nicht als mittragend betrachtet werden. Sonst soll die Wand aus Sandstein von 2200 kgr Gewicht für 1 cbm unter dem Kaffsim eine Dicke von 1,5 m, über demselben von 1,4 m erhalten.

Stabilität
einer Wand
ohne Strebe-
pfeiler.

Wölbkräfte H und V . Auf einem Wandfeld ruht eine Gewölbhälfte von $6 \cdot 5 = 30$ qm Grundfläche. Nach S. 135 IV c liefert jeder qm Grundfläche einen Horizontalschub $H_0 = 180$ kgr und eine Auflagerlast $V_0 = 530$ kgr, das Gewölbe also: $H = 30 \cdot 180 = 5400$ kgr und $V = 30 \cdot 530 = 15900$ kgr. Der Durchgangspunkt des Wölbdruckes durch die Wandfucht kann mit 1,6 m über Kapitäl oder 14,6 m über Fussboden angenommen werden.

Gewicht der Wand. Die Mauermasse des unteren Wandteiles wiegt: $Q_1 = (6,0 - 2,8) \cdot 1,5 \cdot 4,0 \cdot 2200 = 42240$. Das obere Wandstück über Kaffsimms wiegt: $Q_2 = (6,0 \cdot 16,0 - 2,8 \cdot 13,0) \cdot 1,4 \cdot 2200 = 183568$. Zusammen $Q_1 + Q_2 = 225808$ kgr.

Gewicht des Daches. Bei 90 kgr Gewicht für 1 qm Dachfläche mit Dachgerüst und Schieferdeckung (S. 162) wiegt jede Dachhälfte: $6,0 \cdot 9,4 \cdot 90 = 5076$ kgr = D. Als lotrechte Windlast kommt bei etwa 50° Dachneigung nach der Tabelle auf S. 163 hinzu: auf der Windseite $6,0 \cdot 9,4 \cdot 23 = 1297$ kgr, auf der windfreien Seite $6,0 \cdot 9,4 \cdot 35 = 1974$ kgr. Dieses zum Dachgewicht addiert giebt an der Windseite 6373 kgr = D', an der windfreien Seite 7050 kgr = D''.

Der wagerechte Windschub des Daches beträgt nach Tabelle S. 163: $6,0 \cdot 9,4 \cdot 69 = 3892$ kgr. Die Verteilung dieses Schubes auf die beiden Wände ist nicht bestimmbar, es sei einwillen angenommen, dass die getroffene Seite $S' = 1892$, die windfreie Seite $S'' = 2000$ kgr erhält.

Winddruck gegen die Wand. Mit Rücksicht auf schützende Nachbarbauten sei der Wind auf die unteren 4 m Höhe vernachlässigt, auf das obere, 16 m hohe Wandstück aber voll mit 120 kgr auf 1 qm in Rechnung gebracht. Es beträgt dann der Winddruck $W = 6,0 \cdot 16,0 \cdot 120 = 11520$ kgr mit einer mittleren Angriffshöhe von 12 m.

Am stärksten beansprucht wird in diesem Fall die Wand in der Fuge oberhalb des Sockels, es sei deshalb die Untersuchung auf diesen Querschnitt beschränkt.

A. Druck oberhalb des Sockels ohne Wind. Für den unbekanntem Durchgangspunkt des resultierenden Druckes, der X Meter vor der Innenflucht der Mauer liege, wird die Momentengleichung aller auf das Wandfeld wirkenden Kräfte aufgestellt (vgl. darüber Fig. 371 auf S. 140.)

$$Q_1 (X - 0,75) + Q_2 (X - 0,70) + V \cdot X = H \cdot 14,6$$

Werden für Q_1 , Q_2 , V und H die obigen Zahlenwerte eingesetzt, so berechnet sich:

$$X = 0,99 \text{ m.}$$

Somit geht der Druck in 0,99 m Abstand von der Innenkante oder 0,51 m von der Aussenkante durch die Grundfläche der 1,50 m dicken Wand, er liegt also an der Grenze des mittleren Drittels (Kern).

Die Grundfläche des in Rechnung zu stellenden Wandstückes zwischen den Fenstern beträgt: $1,50 \cdot 3,20 = 4,80$ qm oder 48000 qcm. Auf dieser Fläche ruht eine Last $Q_1 + Q_2 + V = \text{rd } 242000$ kgr und wenn man noch das Dachgewicht D hinzunimmt 247000 kgr. Der Durchschnittsdruck auf den qcm ist demnach $p = 247000 : 48000 = 5,2$ kgr. Der Druck an der Aussenkante ist doppelt so gross, also etwa 10 kgr. Nach oben hinauf nimmt der Druck in der Wand immer mehr ab, nach unten wird er durch rasche Erbreiterung des Sockels und der Grundmauern auf eine grössere Fläche verteilt.

B. Druck bei Wind in der vom Winde getroffenen Wand. Es treten zu den vorigen die Kräfte D' , S' und W hinzu; es wird in derselben Weise die Momentengleichung für den unbekanntem Druckpunkt aufgestellt, der X' Meter vor der inneren Wandflucht liege.

$$Q_1 (X' - 0,75) + Q_2 (X' - 0,70) + V \cdot X' + D' (X' - 0,70) = H \cdot 14,6 - W \cdot 12,0 - S' \cdot 20,0$$

Werden die gegebenen Zahlenwerte eingesetzt, so ergibt sich:

$$X' = 0,27 \text{ m}$$

Während für gewöhnlich der Druck näher der Aussenkante liegt, rückt er unter dem Einfluss des Windes dicht an die Innenkante (fast bis auf $\frac{1}{6}$ der Breite) heran und bewirkt in dieser eine Pressung, die fast der vierfachen Durchschnittspressung gleichkommt (s. S. 144 und Tabelle S. 145), also gegen 20 kgr auf 1 qcm beträgt.

C. Druck in der vom Winde abgekehrten Wand. Es wirken die Kräfte Q_1 , Q_2 , V , H , D'' , S'' , für welche die Momentengleichung für den X'' Meter von der Innenkante entfernten Druckpunkt lautet:

$$Q_1 \cdot (X'' - 0,75) + Q_2 \cdot (X'' - 0,70) + V \cdot X'' + D'' \cdot (X'' - 0,70) = H \cdot 14,6 + S'' \cdot 20,0$$

$$X'' = 1,14 \text{ m}$$

Der Druck rückt bis auf 36 cm an die Aussenkante heran und wird hier eine Kantenpressung von etwa 15 kgr auf 1 qcm erzeugen.

Stabilität
einer Wand
mit Strebe-
pfeilern.

Beispiel II. Untersuchung derselben Kirche bei Annahme einer dünneren Wand mit grösseren Fenstern und Strebepfeilern. Fig. 835 a.

Die 1 m dicke Wand ist von grossen Fenstern durchbrochen, die nebst den darunter liegenden Blenden eine ausgeglichene Höhe von 17 m und eine Breite von 4,5 m haben. Die Strebepfeiler

sind 18 m hoch und 1 m dick, sie springen unten 1,5 m, oben 0,7 m, also im Mittel 1,1 m vor der Wand vor, ihr Schwerpunkt liegt 0,57 m vor der äusseren, also 1,57 m vor der inneren Wandflucht.

Gewicht der Wand: $Q = (6,0 \cdot 20,0 - 4,5 \cdot 17,0) \cdot 1,0 \cdot 2200 = 95700 \text{ kgr} (= 43,5 \text{ cbm})$.

Gewicht des vorgelegten Strebepfeilers: $P = 18,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 2200 = 43560 \text{ kgr} (= 19,8 \text{ cbm})$.

A. Druck über Sockel ohne Wind. Es wird wieder die Momentengleichung für den im unbekanntem Abstand X vor der inneren Wandflucht liegenden Druckmittelpunkt gesucht.

$$Q \cdot (X - 0,5) + P \cdot (X - 1,57) + V \cdot X = H \cdot 14,6.$$

$$X = 1,26 \text{ m.}$$

Bei einer Grundfläche des Strebepfeilers und tragenden Wandstückes von 3 qm oder 30000 qcm berechnet sich die Durchschnittspressung auf 1 qcm zu 5,4 bez. 5,2 kgr, je nachdem man Dachlast hinzuzieht oder nicht. Bei der vorberechneten Lage des Druckes, der innerhalb des Kernes bleibt, ist die Kantenpressung aussen etwa 8 oder 9 kgr auf 1 qcm.

B. Druck in der vom Winde getroffenen Wand. Entsprechend dem Vorstehenden ist:

$$Q \cdot (X' - 0,5) + P \cdot (X' - 1,57) + V \cdot X' + D' \cdot (X' - 0,5) = H \cdot 14,6 - W \cdot 12,0 - S' \cdot 20,0.$$

$$X' = 0,14 \text{ m.}$$

C. Druck in der vom Winde abgekehrten Wand.

$$Q \cdot (X'' - 0,5) + P \cdot (X'' - 1,57) + V \cdot X'' + D'' \cdot (X'' - 0,5) = H \cdot 14,6 + S'' \cdot 20,0.$$

$$X'' = 1,47 \text{ m.}$$

An der abgekehrten Wand bleibt die Stützlinie also noch über 1 m von der Aussenkante entfernt, letztere erhält eine Pressung die nicht weit über 10 kgr hinausgeht. An der Windseite dagegen rückt der Druck bis auf 14 cm an die Innenflucht der Wand heran und erzeugt eine gewaltige Kantenpressung, die auf etwa 50 kgr auf 1 qcm ansteigen würde. (Denn nach S. 144 nimmt nur eine Fläche von $3 \cdot 14 = 42 \text{ cm}$ Breite, also bei 1,5 m Länge von 0,64 qm Inhalt an der Druckübertragung teil. Da die Last rd 162000 kgr beträgt, kommt auf 1 qcm im Durchschnitt $25\frac{1}{2} \text{ kgr}$, die doppelt so grosse Kantenpressung wäre also 51 kgr.) Wenn die Mauer auf sich allein angewiesen wäre, so entstünde also eine zwar bei guter Ausführung nicht gerade gefährliche, immer aber über das zulässige Mass (20 bis 25 kgr bei gutem Sandstein in Zement) weit hinausgehende Beanspruchung. Nun findet aber ein Ausgleich zwischen der Beanspruchung beider Wände statt. Denn keine Mauer ist so starr, dass sie nicht vor dem Winde etwas ausböge, die getroffene, stärker beanspruchte Wand biegt sich mehr über als die andere, infolgedessen lehnt sie sich oben gegen das Gewölbe und überträgt durch dieses und ev. auch die Dachbalken einen Teil ihrer Seitenkräfte auf die andere Wand, bis beide annähernd gleich beansprucht sind. Dabei rückt in beiden Mauern der Druck um das gleiche Mass nach aussen. Wird in dieser Weise etwa $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ des Winddruckes auf die andere Seite übertragen, so bewegt sich der Druckpunkt unten um etwa 20 cm, er wird dann an der Windseite um etwa 34 cm, an der anderen Seite um 167 cm von der Innenflucht abstehen, wobei sich die Kantenpressung an der Windseite zu etwa 20 kgr, an der gegenüberliegenden Seite etwas geringer ergeben würde.

Es zeigt sich also, dass bei starkem Winde nicht nur bei einer Basilika, sondern auch schon bei einer derartigen Kirche eine gegenseitige Absteifung der oberen Wandteile möglich sein muss, möge diese nun durch die Wölbscheitel, die Gurtbögen oder die Dachbalken statthaben. — Uebrigens kommen derartige Windwirkungen sehr selten, oft in Jahrzehnten nicht vor. Die häufiger wiederkehrenden mässigen Windstärken werden eine obere Uebertragung unnötig machen, sie werden meist sogar in der getroffenen Wand die Kantenpressung eher verringern als vergrössern. Selten werden die Pressungen bei vorliegendem Beispiel weit über 10—12 kgr auf 1 qcm hinausgehen.

Bei den beiden Beispielen erweist sich die Beanspruchung des Mauerwerks bei der Ausführung mit und ohne Strebepfeiler etwa gleich gross, die volle Wand erfordert aber etwa die $1\frac{1}{2}$ fache Masse. Durch noch weiter gehende Einschränkung der Wanddicke und Vergrösserung der Fenster unter gleichzeitiger geringer Verlängerung der Pfeiler liesse sich noch mehr Masse ersparen, so dass man zur Not selbst mit der halben Masse der vollen Wand auskommen könnte, schliesslich sind hier aber Grenzen gezogen. Soweit die Wand unter dem Schildbogen liegt, kann sie sich ganz in Fenster und Blenden auflösen und ihre Aufgabe dem Pfeiler zuweisen, über dem Schildbogen

Vergleich
der Mauer-
masse mit
und ohne
Strebepfeiler.

aber behält sie immer ihre grosse statische Bedeutung, sie ist hier um so wichtiger, je mehr im übrigen das Mauerwerk eingeschränkt wird.

Der Schildbogen und seine Uebermauerung.

Nebst dem Strebepfeiler ist der Schildbogen mit dem darüber liegenden Wandstück der wichtigste Teil des tragenden Mauerwerks. Die Aufgaben der Schildbögen und Oberwände sind so vielseitig, dass sie eine nähere Betrachtung erheischen. Sie haben

Aufgabe der Schildbögen und ihrer Uebermauerung.

1. die benachbarten Strebepfeiler in der Wandebene zu verstreben,
2. den in den oberen Wölbteilen etwa wirkenden Schub aufzunehmen (besonders bei überhöhten Gewölben),
3. die Dachlast zu tragen,
4. den Windschub gegen das Dach und die oberen Wandteile auf die Strebepfeiler zu übertragen.

Versteifung in d. Wandebene.

1. Die Versteifung in der Ebene der Wand ist um so nötiger, je mehr in deren Längsrichtung Kraftäusserungen durch verschieden grosse Schübe, Windwirkung, verschiedenes Setzen und dgl. zu erwarten sind, je mehr durch weite Fenster die verbleibende Wandbreite vermindert wird und je höher die Wände und je schmaler die Strebepfeiler sind.

Die Uebermauerung der Schildbögen bildet ihrer Form nach eine unverschiebliche Figur, welche das Seitwärtsneigen der Strebepfeiler verhindert, allerdings ist es Bedingung, dass oberhalb des Fensterscheitels noch ein hinlänglich fester Mauerteil verbleibt, um einer Verschiebung nach Art der Figur 836 zu widerstehen. Soll das Fenster sehr hoch hinaufragen, so kann ein Wimberg diesen Punkt kräftigen.

Unterhalb des Kaffsimses bildet das die Strebepfeiler verbindende Mauerstück wiederum eine kräftige Längsversteifung. Ist dieser Teil durch Blenden aufgelöst, so ist wenigstens eine kräftige Verbindung darüber unterhalb der Fenster wünschenswert, die sich bei Anlage eines Umganges in dieser Höhe von selbst ergibt.

Es bleibt nur noch die Möglichkeit einer Neigung oder Ausbauchung der Strebepfeiler in der Höhe der Fenster nach Art der Fig. 837 und 837a übrig. Bei geringer Fensterhöhe ist beides nicht zu fürchten, bei sehr bedeutender Höhe ist eine nochmalige Horizontalteilung des Fensters durch einen Umgang angebracht, wie sie sich an der Elisabethkirche zu Marburg findet. Besonders ist sie bei den einschiffigen Chor- und Kreuzflügeln hochragender Basiliken am Platze, bei denen eine Höhentheilung ohnedies schon durch die anschliessenden mehrschiffigen Teile gegeben ist. Gar zu hohe Fenster sind schwer zugänglich und in der Wirkung leicht unbefriedigend, so wirken die langen schlitzartigen Fenster an den Querschiffen einiger mecklenburgischer Kirchen fast beunruhigend.

Aufnahme des Wölb-schubes.

2. Ein Wölb Schub wird auf die Schildbögen durch busige und überhöhte Gewölbe getragen, S. 50 u. f. ist angegeben, wie man seine wahrscheinliche Grösse ermittelt. Es kann aber auch ein gewöhnliches Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel eine Schubwirkung auf die oberen Teile des Schildbogens ausüben, wenn durch die Art der Ausführung, Verdrückungen oder andere Zufälligkeiten die Spannungen in diese Richtung gelenkt werden (S. 47). Nun kann sich allerdings bei einem solchen Kreuzgewölbe der Schildbogen durch ein ganz geringes Ausweichen diesen Beanspruchungen entziehen, es werden dann alle Wölbteile, ohne dass dadurch die Haltbarkeit gefährdet zu sein braucht, ihre Unterstützung auf dem regelrechten Wege von den Rippen und