



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Druckbeanspruchung durch Eigengewicht

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

viel an Wirkung einbüßen. Haben sie hier auch nur eine geringere Bedeutung, so kann es doch in vielen Fällen vorteilhafter sein, sie nicht mit den Enden gegen die Kranzhölzer zu setzen, sondern sie in etwas flacherer Richtung direkt in die Gratsparren oder Gratstreben einzulassen. Es wird dadurch auch das Zwischentreten von dem Querholz der Kränze vermieden. Wenn die Kreuze abwechselnd in den Feldern bis auf $\frac{2}{3}$ der Höhe angewandt sind, so können Verdrückungen nur noch in Folge des Schwindens der Hölzer und Auflockerung der Verbindungen eintreten, es kann sich z. B. unter Wirkung des Windes das Grundrisspolygon in mittlerer Höhe des Turmes etwas platt drücken. Um auch dieses zu verhindern, kann man über einzelnen oder allen Kränzen kreuzförmige Balken (Fig. 1458) anwenden, die man aber nicht, wie es üblich ist, zwischen die Kranzhölzer legen, sondern denselben aufkämme sollte, an die Gratsparren bez. Streben blattet man sie seitwärts an. Einige Balkenlagen sind ja ohnedies der Besteigbarkeit wegen erwünscht. Bemerkte sei noch, dass auch die Brettverschalung, mit 2 Nägeln auf jedem Brettende, eine sehr wirksame Windverstrebung bildet, die im oberen Turmteil die Andreaskreuze völlig ersetzt.

Verstreubungen nach Art der Figur 1460 haben den Vorteil, dass sie die vom Winde getroffenen Grate direkt mit den gegenüberliegenden verbinden, wegen ihrer grossen Länge bauchen sie aber leicht bei Druckbeanspruchung aus, es kann sich deshalb empfehlen durch Balken den Druck zu übertragen, während die Schräghölzer dann zu Zugstäben werden.

Wenn die Verstreubungen unvollkommen sind, so kann, abgesehen von einer Zerstörung durch Wind oder eine Schädigung der Deckung durch starke Schwankungen, eine allmähliche Formveränderung des Helmes eintreten. Die hygroskopischen Bewegungen des Holzes, die wiederholte einseitige Windbeanspruchung und die wandelnde Erwärmung durch Sonnenstrahlen können zusammenwirken, um Krümmungen und selbst schraubenartige Verdrehungen des ganzen Helmes hervorzurufen, wie sie an den Türmen zu Gelnhausen in geradezu überraschender Weise eingetreten waren.

Eiserne Turmhelme werden gleichfalls nach Fig. 1462 aus Sparren, Kränzen und Kreuzen hergestellt; die letzteren werden auf Zug beansprucht, während die Sparren und Kränze Druck bekommen. Die Berechnung eiserner Turmhelme, die sich mit wenig Materialaufwand aus sehr zierlichen Profilen zusammensetzen lassen, kann mit genügender Genauigkeit gleichfalls in der vorbeschriebenen Weise durchgeführt werden.

Eiserne
Helme.

9. Beanspruchung der Turmwände.

Druckbeanspruchung durch Eigengewicht.

Bei den Türmen kommt das Eigengewicht, der Schub der gemauerten Helme und Gewölbe und der Winddruck in Frage.

Bei den ansehnlichen Höhen der Türme spielt die Druckbeanspruchung unter der eigenen Last eine ganz bedeutende Rolle, sie zieht bei wenig festen Baustoffen sogar sehr enge Grenzen. Will man z. B. gleichmässig dicke Wände oder prismatische Pfeiler aus Lehm- oder magerem Kalkstampfwerk aufführen, das f. d. cbm 1500 kg wiegt und dem man nur 2 kg Druck auf 1 qcm zumuten kann, so würde sich die zulässige Höhe berechnen wie folgt: Ein Würfel von 1 m Seite würde die 10000 qcm grosse Grundfläche mit 1500 kg belasten, also 1 qcm mit $1500:10000 = 0,15$ kg. Für jeden weiteren Würfel, den man hinaufsetzen würde, entstände eine Steigerung der Pressung um 0,15 kg; bis die zulässige Pressung von 2 kg f. d. qcm erreicht wäre, könnte man also nur $2:0,15 = 13\frac{1}{3}$ Würfel aufbauen, d. h. gerade aufsteigende Mauerkörper irgend welcher Grundform dürfen aus diesem Material nur $13\frac{1}{3}$ m hoch gemauert werden.

Pris-
matische
und pyra-
midale
Baukörper.

In entsprechender Weise würde für gerade aufsteigendes Ziegelgemäuer bei 1600 kg Gewicht f. d. cbm und $7\frac{1}{2}$ kg zulässiger Beanspruchung für 1 qcm eine Höhe statthaft sein bis zu: $\frac{7,5 \cdot 10000}{1600} = \text{rd } 47 \text{ m.}$

Ebenso würde sich für harte Ziegel oder Klinker bei 2000 kg Gewicht und 15 kg Beanspruchung eine Höhe ergeben von: $15 \cdot 10000 : 2000 = 75 \text{ m}$ und für Werkstein von 2600 kg Schwere und 30 kg Beanspruchung $30 \cdot 10000 : 2600 = 115 \text{ m.}$

Treten Belastungen durch Decken u. dgl. hinzu, so verringern sich entsprechend die zulässigen Höhen, dasselbe ist der Fall, wenn der Druck durch Gewölbschübe oder Wind excentrisch wird, und sich somit die Pressung an einer Kante steigert.

Es hat demnach den Anschein, als ob der Höhe der Bauwerke aus unseren gewöhnlichen Baumaterialien ziemlich enge Grenzen gezogen seien, dem ist jedoch nicht so, man kann vielmehr durch günstige Massenverteilung weit über die angegebenen Zahlen hinausgelangen. Lässt man z. B. die Dicke gerade aufsteigender Mauern gleichmässig bis Null abnehmen, so kann man sie doppelt so hoch machen als bei gleicher Stärke, dasselbe ist der Fall bei einer hohlen Pyramide oder einem hohlen Kegel mit konstantem Mantelgewicht. Führt man aber einen Turm in Gestalt einer vollen Pyramide oder auch einer hohlen Pyramide mit nach oben gleichmässig abnehmender Wandstärke auf, so ist sogar die dreifache Höhe denkbar, also bei den obigen Annahmen: für Ziegelmauerwerk 140, Klinker 225 und Werkstein 345 m.

Den alten Meistern waren diese Vorteile nicht entgangen, schon die Aegypter führten ihre höchsten Bauwerke in der Form von Pyramiden auf, die sie aber nahezu voll ausmauerten, wodurch sie Steinkörper schufen, die entsetzlich plump erscheinen gegenüber den wunderbar leichten Türmen der Gotik. Letztere näherten sich nicht allein in der Hauptgestalt der vorteilhafteren Form der hohlen Pyramide, sondern gingen in der Zweckmässigkeit der Massenverteilung selbst noch darüber hinaus, was nach den weiter unten folgenden Ausführungen möglich ist. Dabei wurden alle weiteren Anforderungen als Überdeckung der Innenräume, Auflösung der vollen Wände in tragende Einzelpfeiler, Verstrebungen gegen Umsturz durch Wind u. s. f. so meisterhaft mit einander vereinbart, und gleichzeitig dem ganzen Bau der Stempel eines so formvollendeten Kunstwerkes aufgeprägt, dass es nur mit der höchsten Bewunderung erfüllen kann, Werke wie die Türme des Kölner Domes von diesen Gesichtspunkten aus zu betrachten. Wenn man bedenkt, wie weit der Weg ist von dem gerade aufsteigenden Turm der altchristlichen und frühromanischen Zeit mit seinen fast unverminderten Mauerstärken bis zu dieser nach jeder Richtung abgewogenen statischen Schöpfung, so muss man staunen über die Leichtigkeit, mit der die Alten dieses Ziel erreichten.

Wir sagten, man könne noch zweckmässigere Massenverteilungen als die der Pyramide ermöglichen; in der That kann man nicht nur dieses, sondern theoretisch genommen ist es sogar denkbar, ein Bauwerk unendlich hoch aufzuführen, ohne dass der Druck an der Basis einen bestimmten Wert überschreitet. Dabei ziehen sich allerdings die oberen Teile rasch zu einer so geringen Stärke zusammen, dass die Ausführbarkeit und besonders die Gefahr des Umsturzes sehr bald der Höhe ein Ziel setzen.

Das hier nicht näher abzuleitende Gesetz, nach dem ein Baukörper, der in jeder Höhe die gleiche Pressung auf die Flächeneinheit zeigt, gebildet sein muss, lautet: $\log \text{nat} (b_2 : b_1) = \gamma \cdot h : k.$

Darin sind b_2 und b_1 die Inhalte zweier beliebiger horizontaler Schnitte (in qm), welche einen Abstand h (in Meter) von einander haben. k ist die zulässige Belastung (in kg auf 1 qm) und γ das Einheitsgewicht des Mauerwerks (in kg f. d. cbm).

Beste Verteilung der Massen.

Nimmt man an, dass zwei Flächen herausgeschnitten sind, von denen die untere b_2 doppelt so gross ist als die obere b_1 , so ist $\log \text{nat} (b_2 : b_1) = \log \text{nat} 2 = 0,69315$. Dieses oben eingesetzt ergibt: $0,69315 = \gamma \cdot h : k$, daraus folgt aber: $h = 0,69315 \cdot k : \gamma$. Hiernach kann man für Mauerwerk einer gegebenen Schwere und einer bestimmten zulässigen Beanspruchung berechnen, in welchen Höhenabsätzen sich die Grundfläche jedesmal verdoppelt haben muss. Nehmen wir z. B. an, wir haben das obere Stück eines Turmes aus 1600 kg f. d. cbm schwerem Ziegelmauerwerk so projektiert, dass sich für 1 qem Grundfläche eine Belastung von $7\frac{1}{2}$ kg, also für 1 qm von 75000 kg berechnet, und wir wollen den Turm nach unten verlängern, ohne dass die Pressung steigt, so haben wir allmählich die Grundfläche so zu vergrössern, dass sie in einer Tiefe von $h = 0,69315 \cdot 75000 : 1600$ also $h = 32,5$ Meter doppelt so gross geworden ist. Nach abermals 32,5 m muss sich dann die Fläche wieder verdoppeln, gegen die erste also vervierfachen, ebenso muss sie sich bis zu der folgenden Höhenabteilung verachtfachen, dann sechszehnfachen usf. Dabei steigt der Materialbedarf nach unten schliesslich so schnell, dass eine praktische Grenze bald gezogen wird.

Jedenfalls sehen wir aber, dass die oben für Pyramiden angegebenen Höhen noch nicht die äusserste Grenze erreichen. Für das angeführte Klinkermauerwerk von 2000 kg Gewicht und 15 kg Beanspruchung auf 1 qem, also 150000 f. d. qm, würde sich die Verdoppelung der Grundfläche in Absätzen von je $0,69315 \cdot 150000 : 2000 = 52$ m vollziehen müssen, bei Werkstein von 2600 kg Gewicht und 30 kg Beanspruchung in solchen von $0,69315 \cdot 300000 : 2600 = 80$ m Höhe usf. Türme aus letzterem Material von 400 und 500 m Höhe aufzuführen würde gar nicht so schwierig sein. Mit Hilfe von Granit oder Basalt, den man bei 1000 kg oder selbst 2000 - 3000 kg Druckfestigkeit auf 1 qem unbedenklich mit 60, ja 100 kg und darüber belasten könnte, liessen sich aber selbst Höhen erzielen, neben denen unsere modernen Riesentürme, wie der Eiffelturm, Zwerge sein würden. Wir sehen, unser ehrwürdiger Werkstein braucht noch lange nicht dem Eisen den Platz einzuräumen.

Wir müssen hier noch der irrigen Ansicht entgegenreten, dass man die Festigkeit der Werksteine wegen der geringen Mörtelfestigkeit nicht genügend ausnutzen könne. Allerdings hängt die Festigkeit von Gusswerk oder wenig lagerhaftem Bruchsteingemäuer fast nur von der Mörtelbeschaffenheit ab, anders ist es aber schon bei Ziegelmauerwerk. Versuche in der technischen Versuchsanstalt zu Berlin (s. Mitteilung ders. von 1884, S. 80) ergaben für 3 Monate alte Mauerwürfel aus gleichen Ziegelsteinen in Kalk und Zementmörtel die wenig von einander abweichenden Festigkeiten von 44 bez. 63 kg, während die Festigkeiten der verwendeten Mörtelarten den gewaltigen Unterschied von $12\frac{1}{2}$ zu 211 kg aufwiesen. Bei längerer Erhärtungszeit und dickeren Mauern würde unseres Erachtens die Verschiedenheit beim Mauerwerk noch geringer ausfallen. Für grosse Quader aber mit gleichmässigen, dünnen Fugen dürfte der Einfluss des Mörtels fast ganz verschwinden, vorausgesetzt, dass letzterer die sonst erforderlichen Eigenschaften hat, die in erster Linie darin beruhen, dass er sich in alle Unebenheiten hineinpresst, ohne bei dem jeweiligen Druck aus einzelnen Fugenteilen ganz herausgepresst zu werden. Unter diesen Bedingungen würde es beispielsweise ziemlich gleichgültig sein, ob man Zement, Kalk, Blei, Kreide oder Lehpulver verwendet, man würde bei ausgewählt guten Steinen ruhig eine Belastung bis zu $\frac{1}{10}$ oder doch mindestens $\frac{1}{20}$ der Druckfestigkeit wagen können und dabei jedenfalls bedeutend sicherer bauen, als wenn man es jetzt allgemein für gut findet, das leicht rostende Eisen bis $\frac{1}{4}$ oder selbst $\frac{1}{3}$ seiner Festigkeit (bei Verbindungen, die zum Teil nicht zuverlässiger sind als die Mörtelfuge) zu beanspruchen. Böse Erfahrungen hat man an zahlreichen Brückeneinstürzen ja sattsam gemacht. —

Wir sehen aus alledem, dass unseren Bauwerken bei weichen Materialien und unvorteilhafter Massenverteilung sehr geringe Höhen zugemessen sind, dass andererseits aber bei Verwertung guter Baustoffe, die Grenzen weniger durch die Festigkeit als durch praktische Gründe anderer Art gezogen werden.

Standicherheit gegen Winddruck.

Die Standicherheit eines Körpers vergrössert sich mit seiner Schwere und seiner Grundfläche, nimmt dagegen ab mit Vergrösserung der dem Winde dargebotenen Fläche. Daher ist es wichtig, dass man ganz besonders die oberen Teile, die man ja möglichst leicht herzustellen sucht, unter gebührender Berücksichtigung des Winddruckes ent-

Grösse des
Wind-
drucks.