

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 28

Artikel: Die technischen Eigenschaften von Backstein-Mauerwerk für Hochhäuser
Autor: Haller, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-64007>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die technischen Eigenschaften von Backstein-Mauerwerk für Hochhäuser

DK 693.2:72.012.322

Nach einem Vortrag, gehalten anlässlich der Hochhaustagung des Verbandes Schweiz. Ziegel- und Steinfabrikanten vom 1. März 1958 an der ETH in Zürich von dipl. Ing. P. Haller, Sektionschef der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Zürich

Die Tatsache, dass am Rande der Stadt Zürich inmitten einer Reihe von neunstöckigen Wohnbauten auch ein 18 Stockwerke zählendes Wohnturmhaus aus Backstein erstellt wird, ist ein Beweis für den gewaltigen Fortschritt in der Backsteinherstellung während der letzten Jahre. Am Anfang der ganzen Entwicklung steht der Ankauf einer 6 m hohen 500-Tonnen-Pressen, die erst in der neu erstellten Aussenstation der EMPA in Schlieren 1946 aufgestellt werden konnte. Denn erst diese Presse ermöglichte die Durchführung von Mauerwerkversuchen, die allein die zuverlässigen Grundlagen für die Festlegung der zulässigen Belastbarkeit des Mauerwerkes liefern konnten. Die ersten Versuche mit stockwerk hohen Mauerwerk Pfeilern oder -wänden, die von der Baupolizei der Städte Zürich, Bern und Basel, vom Schweizerischen Verband der Ziegel- und Steinfabrikanten und von der Firma AG. Hunziker & Co. finanziert und durch Materiallieferungen unterstützt wurden, haben Ergebnisse geliefert, die eine intensivere Ausnutzung des Backsteinmauerwerkes und damit auch den Bau von Hochhäusern in Basel ermöglichten.

Inzwischen sind grosse Anstrengungen der über geeignete Rohmaterialien verfügenden Ziegeleien gemacht worden. Die Güte der Mauersteine wurde gesteigert, so dass die zulässigen Spannungen noch weiter erhöht werden konnten. Die Versuche haben eine Reihe bisher unbekannter Eigenheiten des Backsteins erkennen lassen, die von grundlegender Bedeutung sind. Erst die Kenntnis möglichst vieler, die Tragfähigkeit des Mauerwerkes beeinflussender Faktoren und das tiefere Eindringen in die verwickelten Zusammenhänge erlaubte, unerwünschte Wirkungen auszuschalten und die Tragfähigkeit sowie andere, bautechnisch wichtige Eigenschaften in Funktion dieser Faktoren darzustellen.

Vorerst sollen einige Bilder die Versuchsdurchführung und die für das Zweistoff-System charakteristischen Zerstörungsformen veranschaulichen. Ein in der genannten 500-t-Pressen stehender Natursteinpfeiler (Bild 1) zeigt die charakteristischen Risse über den Stossfugen. Aber auch daneben sind Risse entstanden, und zwar infolge örtlicher Spannungskonzentrationen, die durch die Unebenheiten der Lagerflächen ausgelöst wurden.

Eine ähnliche Rissbildung der Backsteinpfeiler sowie des Isolierbacksteinmauerwerkes, bei dem nur durch eine kleine Ueberlappung die Verbindung und das Zusammenwirken der beiden Steinschalen gewährleistet wird, geht aus Bild 2 hervor. Auch beim Mauerwerk aus künstlichen Steinen treten die Risse immer in Fortsetzung der Stossfugen auf, daneben weitere Risse infolge örtlicher Spannungskonzentrationen. Beim Backsteinmauerwerk von 38 cm nach Bild 3 ist das Aufspalten über den Stossfugen in drei Schalen zu erkennen, vor allem beim Pfeiler auf der linken Seite. Nur durch einen einwandfreien *Verband* kann ein gutes Zusammenwirken der einzelnen Schalen erzwungen werden. Dass bei exzentrischer Belastung vertikale Schubkräfte auftreten, die durch diese Bindersteine ebenfalls aufgenommen werden müssen, zeigt Bild 4 mit einer Wand aus Zementsteinen.

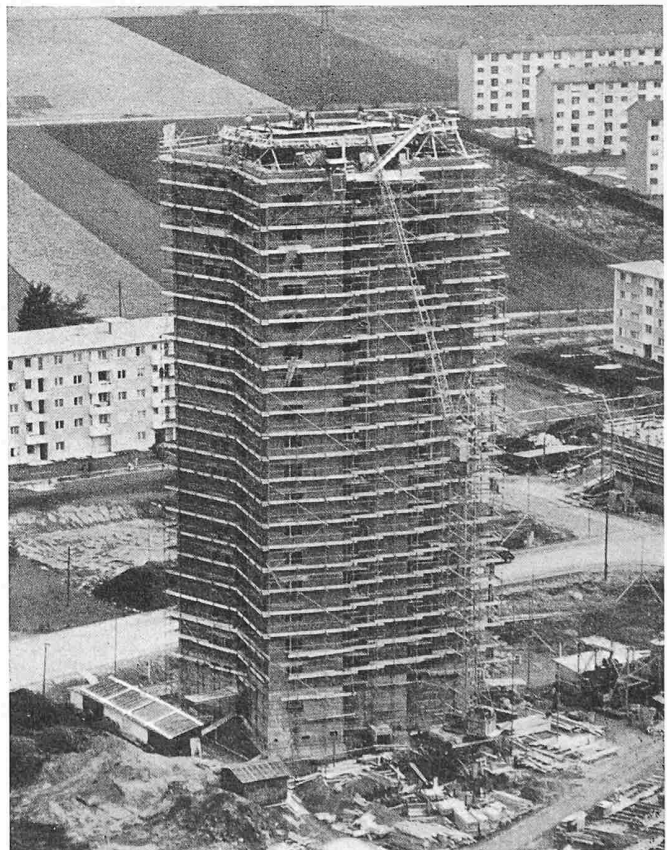
Belasten wir ein Mauerwerk ohne Fugenmörtel, so wird, je nach der Ebenheit der Lagerflächen, die Gesamtkraft an mehr oder weniger Punkten verteilt übertragen. Diese *Punktkräfte* lösen im Stein Zugspannungen aus, die, wenn sie bis zur Zugfestigkeit ansteigen, die Steine parallel zur Kraftwirkung aufreissen. Die Mörtelfuge hat nun die Aufgabe, die Kontaktkräfte auf eine grössere Fläche zu verteilen und dadurch die Zugspannungen im Stein herabzusetzen.

Stein und Mörtel werden unter der Last zusammengestaucht, und beide Bauelemente dehnen sich quer zur Normalspannung, d. h. senkrecht zur Kraftwirkung. Da sich beide Baustoffe infolge der Haft- oder Reibungskräfte in gleichem Masse quer dehnen müssen, treten im Stein wegen der in der

Regel grösseren Querdehnung des Mörtels Zugspannungen senkrecht zur Kraftwirkung auf, die ebenfalls, wie die Zugspannungen aus den örtlichen Kraftkonzentrationen, den Stein parallel zur Kraftwirkung und senkrecht zu den Lagerfugen schliesslich aufreissen, wodurch der Binderstein beidseitig der Stossfuge in einzelne kleine Säulen aufgespalten wird. Die Mauersteine werden also nicht durch die Druckkräfte zermalmt, sondern unter der Wirkung der Zugspannungen aufge- rissen. Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich bereits wichtige

Schlussfolgerungen:

1. Die Steine sollen möglichst ebenflächig sein (also auch keine verdrehten Steine!), um die Fugendicke möglichst klein halten zu können. Zu dicke Fugen steigern die Querzugspannungen, deshalb sollen die Fugen bei hochwertigem Mauerwerk zwischen 10 und 12 mm gehalten werden.
2. Die Stossfugen sollen nicht zu breit gewählt werden. Nicht nur in den Sichtflächen, sondern auch im Mauerquerschnitt müssen die Stossfugen von Bindersteinen überdeckt bzw. die Steine eingebunden werden. Es ist also unbedingt ein einwandfreier Verband notwendig, um die maximale Druckfestigkeit erreichen zu können.
3. Der Zugquerschnitt der Steine darf nicht zu stark durch Löcher oder Risse vermindert werden. Die Beschränkung der Lochflächen ist notwendig, und die Rissfreiheit muss bei hochwertigen Steinen unbedingt verlangt werden.
4. Höhere Steine neben niedrigeren werden stärker belastet, weshalb diese früher auseinanderbrechen. Deshalb ist eine hohe Masshaltigkeit der Höhe der Steine zu fordern.



Das Backstein-Hochhaus in Zürich-Schwamendingen, 18 Geschosse

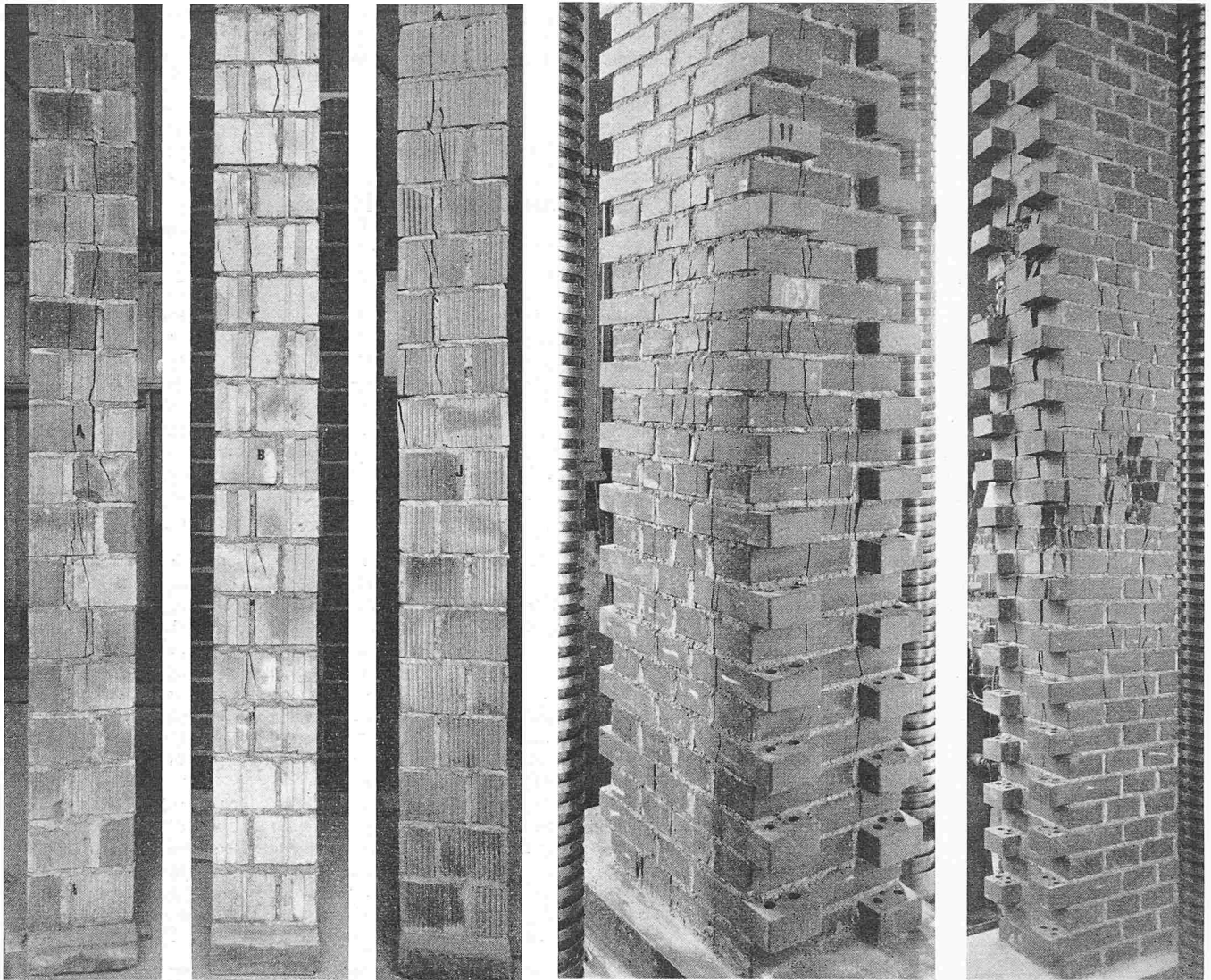


Bild 2

Bild 3

Bild 2. Backstein-Isoliersteinmauerwerk aus drei Ziegeleien im Bruchzustand. Risse über den Stossfugen. Mauerstärke: $18+2+10 = 30$ cm

Bild 3. 38 cm starkes Backsteinmauerwerk mit Normalsteinen im Bruchzustand. Zuerst Aufreissen in drei Schalen und dann erst stärkere Zerstörung der Mauersteine

5. *Harter, druckfester Mörtel* wird weniger zusammengestaucht; auch ist seine Querdehnung kleiner. Daraus ergeben sich kleinere Zugspannungen. Folgerung: Für hochwertige Mauerwerke ist ein sich wenig querdehnender Zementmörtel mit einer Dosierung von P 350 bis 400 notwendig, dessen Druckfestigkeit nach 28 Tagen über 200 kg/cm^2 liegen muss. Das setzt voraus, dass der verwendete Sand eine gute Kornabstufung besitzt, dass die Korngrösse nicht mehr als die halbe Fugendicke betragen darf, dass der Sand sauber und lehmfrei sein muss und dass im Sand auch keine weichen oder verwitterten Sandkörner enthalten sein dürfen.

6. Harte Steine sind spröder und weisen mehr Eigenspannungen auf, weshalb diese beim Anspitzen leicht und unberechenbar durchreißen. Deshalb ist das Schlitzten und das Lochen unstatthaft. Aus diesem Grunde sind Verlegepläne für alle Leitungen zum voraus zu erstellen.

7. Je höher die Steindruckfestigkeit, desto höher ist die Querkzugfestigkeit wie auch die Mauerwerkfestigkeit. Mauersteine, die zu höher beanspruchten Bauteilen und Bauten Verwendung finden, müssen sich normalerweise über eine Steindruckfestigkeit von 400 kg/cm^2 ausweisen.

Die Tragfähigkeit der schlanken Pfeiler und Wände erschöpft sich schon bei einer kleineren Last als die der gedrunghenen Baukörper. Nicht die Festigkeitseigenschaften sind dann für die Tragfähigkeit massgebend, sondern die Stabilität des Mauerwerkes. Seine grösste Widerstandsfähigkeit ist dann erreicht, wenn sich zwischen den äusseren Kräften und den

widerstehenden, im Material mobilisierten Kräften ein labiler Gleichgewichtszustand einstellt. Das Bauelement knickt also in dem Augenblick aus, wo das Material bei weiterer Ausbiegung keine weiteren entsprechenden Widerstandskräfte aufzubieten vermag. Eine solche Wand im Knickbereich zeigt Bild 5; es ist eine 4 m hohe Mauer aus 12 cm breiten und $9\frac{1}{2}$ cm hohen Backsteinen. Die Schlankheit dieses Wandpfeilers lässt Bild 6 noch besser erkennen. Die Messeinrichtungen bestehen aus Messuhren, welche die Verformungen des ganzen Pfeilers an den vier Kanten des zentrisch belasteten Pfeilers anzeigen, und aus zwei Messuhren, die in halber Höhe die Ausbiegung des Pfeilers ablesen lassen. Wenig streuende Ergebnisse werden nur mit Schneidenlagerung erhalten.

Im Bild 7 ist das Spannungsstauchungs-Diagramm der Backsteinwände der ersten Untersuchungen wiedergegeben, die dann die Grundlagen für die Berechnung und Konstruktion der Hochhäuser in Basel (Ing. E. Geering) gebildet haben. Ein solches Diagramm ist keine mathematisch fassbare Kurve. Sie endet im Festigkeitswert des Mauerwerkes, das mit verlängertem Zementmörtel erstellt worden ist. Man kann mit Hilfe dieses Diagramms für sämtliche Schlankheitsgrade und Exzentrizitätsmasse die Traglasten berechnen. Die anfängliche Abweichung der Körperaxe von der Geraden, alle Unhomogenitäten in den Baustoffen und der unvermeidlich exzentrische Lastangriff in der Presse wie im Bauwerk vermindern die Knicklast. Alle Faktoren also, die das Ausbiegen des Baukörpers unter Last erleichtern, beschleunigen das Ausknicken und setzen die Knicktragfähigkeit herab.

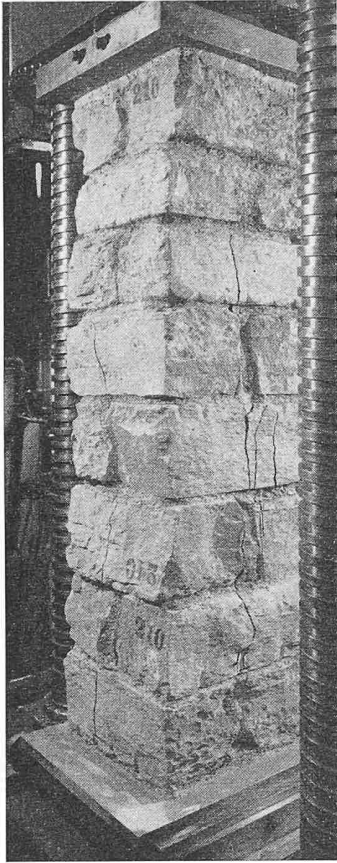


Bild 1

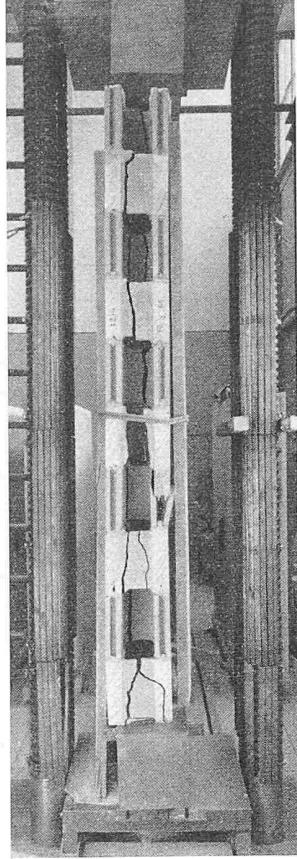


Bild 4

Bild 1. Natursteinmauerwerk im Bruchzustand. Rissebildung vorwiegend über den Stossfugen infolge der Querzug- und Biegezugspannungen in den Bindersteinen

Bild 4 (rechts). Zementsteine mit Querstegen bei exzentrischer Belastung im Bruchzustand. Deutliche Verschiebung der beiden Schalen infolge Schubspannungen in den Stegen

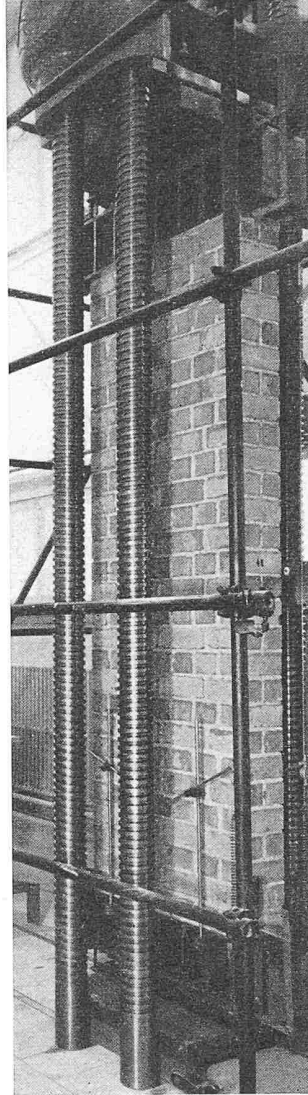


Bild 5

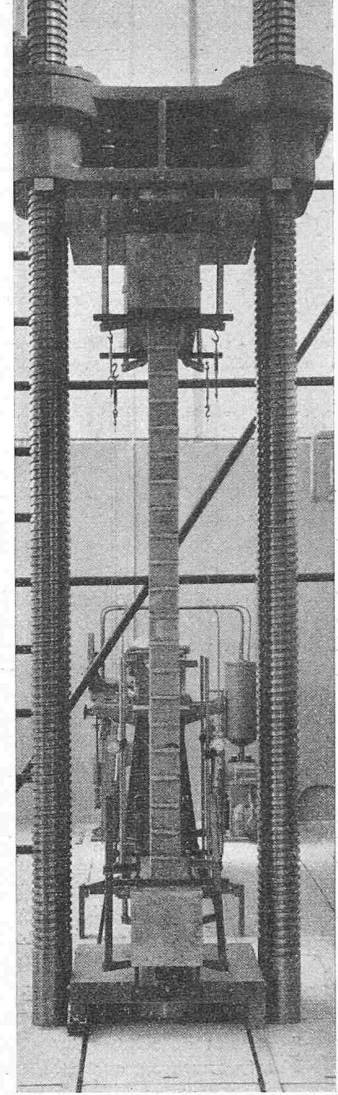


Bild 6

Bild 5. 25 cm starker Backsteinkörper in der 500-t-Pressen mit beidseitiger Schneidenerlagerung. Unten und oben Stahlträger zur gleichmässigen Einführung der Last in den Versuchskörper. Längenmessung an den vier Kanten und zwei Ausbiegungsmessgeräte in halber Höhe

Bild 6. 15-cm-Backsteinversuchskörper in der 500-t-Pressen. Stahlbalken und Schneidenerlagerung. Messuhren für die Messung der Zusammenrückung

Das Bild 8 enthält die Versuchspunkte und die Knickkurven, die für die Basler Hochhäuser grundlegend waren. In der Abszisse ist der Schlankheitsgrad und in der Ordinate die Tragfähigkeit bei verschiedenen Exzentrizitäten aufgetragen. Die Kurven sind aber aus dem Spannungsstauchungsdiagramm Bild 7 berechnet; sie sind also nicht etwa nur zwischen die Versuchspunkte eingezeichnet worden. Bei zentrischer Belastung stimmt die Kurve, wenn keine Anfangsausbiegung angenommen wird, mit den Versuchspunkten nicht überein. Erst wenn eine Exzentrizität von der Grösse $1/1000$ in die Berechnung eingeführt wird, ist eine bessere Übereinstimmung

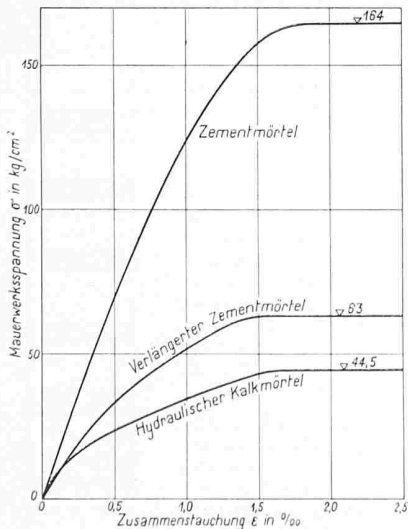


Bild 7 (links). Spannungsstauchungsdiagramme für die Mauerwerke mit den drei Mörtelarten: hydraul. Kalkmörtel HK 350, verlängerter Zementmörtel HK 250 + P 100 und Zementmörtel P 300. $1\frac{1}{2}$ Normalsteine mit 289 kg/cm^2 Steindruckfestigkeit. Zentrische Belastung, Schlankheitsverhältnis $l/d = 20$, Mauerstärke: 12 cm, Mauerbreite: 80 cm, Alter 29 Tage

Bild 8 (rechts). Knickspannungen von 12 cm starkem Backstein-Mauerwerk. $1\frac{1}{2}$ Normalsteine $12 \times 25 \times 9,5$ cm mit runden Löchern, mittlere Steindruckfestigkeit 289 kg/cm^2 , verlängerter Zementmörtel, mittlere Mörtelfestigkeit 29 kg/cm^2 , Breite 80 cm, Alter 29 Tage, Schneidenerlagerung. Versuchspunkte und die theoretisch aus dem Spannungs-Stauchungsdiagramm errechneten Kurven mit einer Anfangsexzentrizität $p' = 1/1000$. Knickspannungen nach Euler

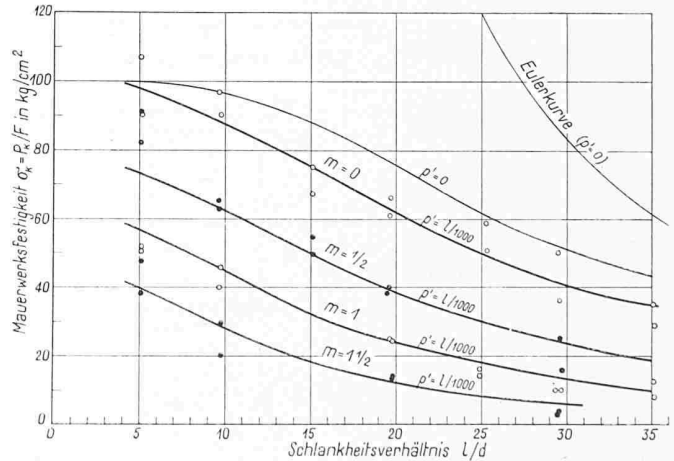


Bild 9 (links). Schematische Darstellung eines Mauerwerkes mit Steinen von krummlaufendem Strang abgeschnitten. Spannungserhöhungen auf der Seite, wo die Fugen dünner sind. Daraus folgen grössere Ausbiegungen des Mauerwerkes und eine geringere Tragkraft

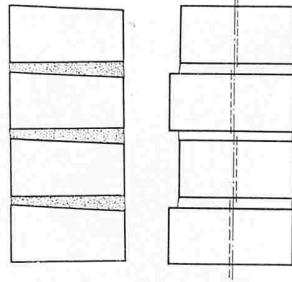


Bild 10 (rechts). Schematische Darstellung eines Mauerwerkes hergestellt mit ungleich breiten Mauersteinen. Die einseitige Bündigkeit des Mauerwerkes bringt eine örtliche Exzentrizität und Spannungskonzentrationen mit sich

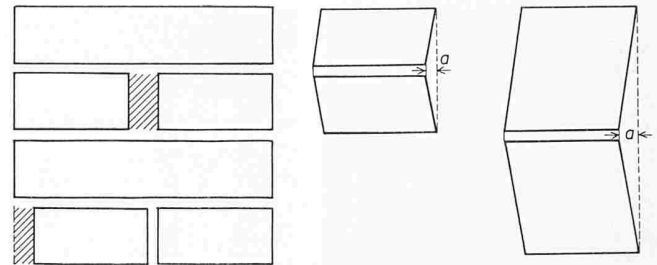


Bild 11

Bild 12

Bild 11. Bei auf die Steinlänge bezogenen kleineren Steinbreiten entstehen breitere Mittelfugen, wobei der Binderstein intensiver durch Querzug-, Biegezug- und Schubspannungen beansprucht wird

Bild 12. Bei höhern Mauersteinen ist bei Nichtparallelität der Schnittflächen eine grössere örtliche Axabweichung zu erwarten

von Kurve und Versuchspunkten festzustellen. Die Versuchskörper waren also, was ja zu erwarten ist, im Anfangszustand nicht vollkommen gerade, weshalb sie sich von Anfang an ausbogen. Die Versuchspunkte und die Kurven liegen weitab von der Eulerkurve, die bekanntlich mit dem Elastizitätsmodul, also unter der Annahme des gradlinigen Spannungsstauchungsgesetzes (Hooke) berechnet wird. Die Kurven veranschaulichen den starken Abfall der Tragkraft mit zunehmender Schlankheit. Mit wachsender Exzentrizität fällt die Tragfähigkeit, woraus folgt, dass die Schlankheit und die Exzentrizität des Lastangriffspunktes auch im Bauwerk immer berücksichtigt werden müssen.

Welches sind nun die Faktoren, die die Knicklast beeinflussen? Diese können in zwei Gruppen eingeteilt werden: in Einflüsse der verwendeten Baustoffe, d. h. des Bausteines und des Mörtels einerseits, und in Massnahmen, die der Konstrukteur und der Maurer zu treffen haben, anderseits.

A. Der Mauerstein

Ein auch bei gleichmässiger Belastung ungleichmässig, d. h. einseitig sich verformendes Mauerwerk biegt sich stärker aus als ein solches, das sich gleichmässig verformt, und daraus ergibt sich eine kleinere Traglast.

1. Wenn dem Stein die Ebenflächigkeit mangelt, treten örtliche Spannungskonzentrationen auf, besonders dann, wenn der Stein während der Herstellung etwas verdreht wurde.

2. Die Folgen beim Mauern lässt Bild 9 erkennen, wenn entweder vom Strang nicht rechtwinklig abgeschnitten wird, oder aber sich der Strang beim Verlassen des Mundstückes etwas verbiegt. Die fehlende Rechtwinkligkeit zwischen Lager- und Stossfugen ist dann die Ursache von grösseren Ausbiegungen und damit einer kleineren Knicklast: ungleiche

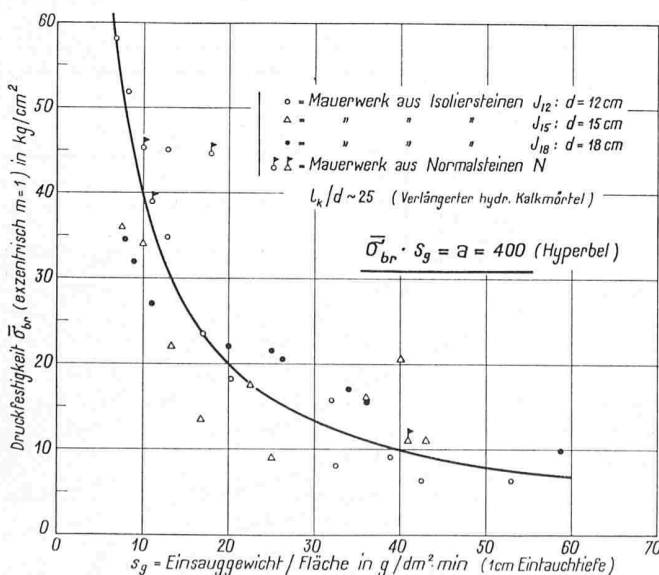


Bild 14. Mit grösserer Saugfähigkeit des Mauersteines nimmt infolge der grösseren Ausbiegung des exzentrisch im Kernrand belasteten Mauerwerkes die Tragfähigkeit rasch ab. Die Versuchspunkte scharen sich um eine Hyperbel

Verformungen durch die Belastung und zusätzliche Verformungen infolge einseitig stärkerem Schwinden.

3. Ein weiterer Faktor ist die ungenügende Masshaltigkeit. Sie verstärkt die Abweichung der Maueraxe von der Geraden, oder es treten breitere Stossfugen auf (Bild 10 und 11). Weiter ist zu sagen, dass, je grösser die Steinhöhe, desto weniger Lagerfugen je Längeneinheit des Mauerwerkes vorhanden sind; damit sind geringere Verformungen und auch geringere Ausbiegungen zu erwarten. Demgegenüber steht aber der stärkere Einfluss der Formabweichungen, wie aus Bild 12 hervorgeht.

4. Beim Auflegen des Mauersteines auf das Mörtelbett saugt der Backstein infolge seines kapillaren Saugvermögens Anmachwasser des Mörtels ab, wobei sich der Mörtel etwas verfestigt und gleichzeitig die Haftung zwischen Stein und Mörtel erheblich gesteigert wird. Das ist auch der Grund, warum sich der Stein nur schwer vom abgedunnen und erhärteten Mörtel ablöst. Wenn nun aber der Stein dem Mörtel intensiver Wasser entzieht, wird der Mörtel nicht nur übermässig entwässert, sondern verliert auch an Erhärtungsvermögen und an Haftfähigkeit. Gleichzeitig büst er durch den Wasserentzug an Verformbarkeit im frischen Zustand ein, und beim Hin- und Herbewegen des obern Mauerteiles wird die Mörtelschicht abgewälzt, Bild 13. Nach dem Erhärten des Mörtels bzw. des Mauerwerkes sinkt die Tragfähigkeit bei zentrischem, besonders aber bei exzentrischem Lastangriff aus dem einfachen Grunde ab, weil die geöffneten Fugen das Ausbiegen des Mauerwerkes unter Last erheblich verstärken. Diese Wirkung ist in empfindlichem Masse bei den schlanken Pfeilern und Wänden von geringer Dicke — 12 und 15 cm — festzustellen. Bei hochwertigem Mauerwerk können demzufolge nur wenig saugende Steine zur Verwendung kommen.

Tabelle I zeigt die Ergebnisse von Festigkeitsuntersuchungen an Backsteinen von fünf verschiedenen Ziegeleien. Bei einer zentrischen Belastung von nur 5 kg/cm² nimmt die Stauchung mit zunehmendem Saugvermögen des Steines von 0,022 bis 0,102 %, d. h. um etwa das Fünffache zu. Bei exzentrischer Belastung steigert sich die Ausbiegung sehr stark von 0,33 auf 7,84 mm, d. h. also ungefähr um das 24fache,

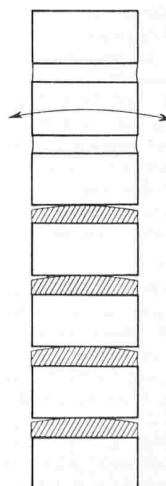


Bild 13 (links). Beim Erstellen von dünnem Mauerwerk bewegt sich der obere Teil hin und her. Ein stark saugender Mauerstein entzieht die Mörtellagen, wobei der Mörtel an Plastizität verliert und deshalb bis zu den Rändern abgewälzt wird (Wackeleffekt). Bei zentrischer Belastung treten Spannungskonzentrationen in der Mitte auf; bei exzentrischer Belastung sind erheblich grössere Ausbiegungen des Mauerwerkes und ein Abfall der Tragfähigkeit die Folge

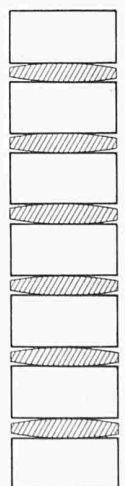
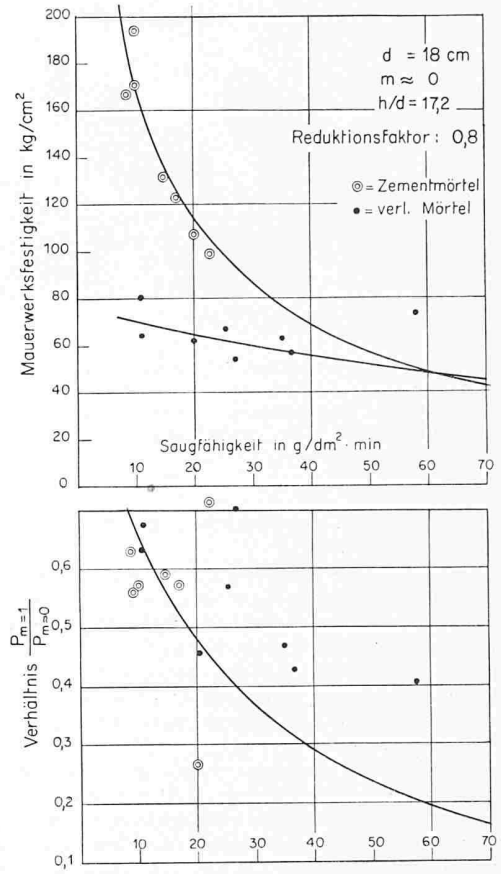
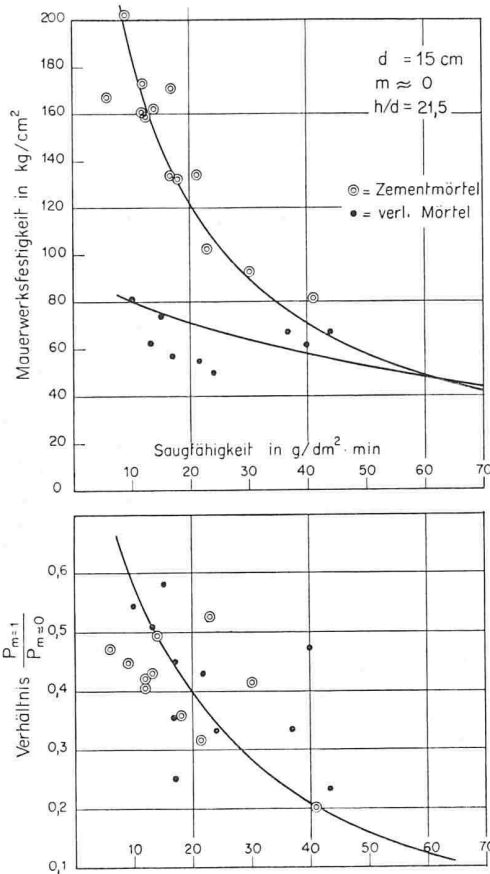


Bild 16 (rechts). Beim Austrocknen des Fugenmörtels von aussen nach innen bilden sich Spalte, die eine ähnliche, aber wesentlich schwächere Wirkung wie der Wackeleffekt auslösen

Bild 15. Ergebnisse der Tragfähigkeitsprüfungen von 15 und 18 cm starken Mauerwerken mit Backsteinen aus verschiedenen Ziegeleien. Reduzierte Steindruckfestigkeit $\beta_s = 300 \text{ kg/cm}^2$; Zementmörtel und verlängerter Zementmörtel. Mauerwerksfestigkeit bei zentrischer Belastung in Abhängigkeit von der Saugfähigkeit des Mauersteines und das Verhältnis der Tragfähigkeit bei exzentrischer (im Kernrand) und bei quasizentrischer Belastung



so bald die Steinsaugfähigkeit von $7\frac{1}{2} \text{ g/dm}^2 \text{ min}$ auf über $40 \text{ g/dm}^2 \text{ min}$ wächst. Die Mauerwerkfestigkeiten nehmen bei zentrischer Belastung erheblich ab; besonders krass ist aber die Abnahme der Tragfähigkeit mit steigendem Saugvermögen bei exzentrischem Lastangriff.

Durch den Vergleich von trocken vermauerten Backsteinen mit solchen, die erst nach zweitägiger Wasserlagerung vermauert wurden und die dann nur noch wenig saugend waren, ist der Einfluss der Saugfähigkeit des Mauersteines klar zu erkennen, Tabelle II. Bei der zentrischen Belastung beträgt der Abfall nur 15 % (Eindrücken der zylindrisch abgewälzten Mörtelschicht). Bei exzentrisch angreifender Belastung biegt sich die Wand infolge der Spalte zwischen Stein und Mörtelschicht stärker aus, wobei die Exzentrität des Lastangriffs im mittleren Teil der Versuchswand sich rasch vergrößert und deshalb die Knicklast 83 % kleiner ist. Die Knickspannung von Versuchskörpern, hergestellt mit Steinen aus verschiedenen Fabriken und exzentrisch belastet, zeigt Bild 14. Die Knickspannung nimmt hyperbolisch, also sehr rasch mit der Saugfähigkeit ab.

Die Ergebnisse der in der EMPA geprüften 15-cm- und 18-cm-Mauerwerke sind in Bild 15 zusammengestellt. Daraus sind folgende Erkenntnisse abzuleiten:

Tabelle I. Einfluss der Saugfähigkeit des Mauersteines auf das Verformungsvermögen und die Tragfähigkeit des Mauerwerks

Einsteinmauerwerk 12 cm aus Isoliersteinen $13\frac{1}{2}/12/25$ mit verlängertem Zementmörtel HK 250 + P 100, Mörteldruckfestigkeit 30 kg/cm^2 ; Schlankheitsverhältnis $h/d = 25$, Schneidenlagerung. Mittelwerte aus je zwei Pfeilern. Alter 29 Tage.

Ziegelei	Saugfähigkeit in $\text{g/dm}^2 \text{ min}$	Verformung für $\sigma = 5 \text{ kg/cm}^2$		Mauerwerkfestigkeit		Verhältnis $\frac{m=1}{m \approx 0}$
		gesamte Stauchung in %	Ausbiegung in mm	«zentrisch» $m = \frac{D}{K} \approx 0$	exzentrisch $m = 1$	
A	> 40	0,102	7,84	39,5	6,0	0,152
B	40	0,085	4,69	59,8	6,2	0,104
C	33	0,059	1,60	65,0	15,8	0,243
D	12	0,028	0,60	82,8	34,8	0,420
E	$7\frac{1}{2}$	0,022	0,33	107,2	58,0	0,521

Auffallend ist zunächst der erhebliche Unterschied zwischen dem Backsteinmauerwerk mit verlängertem Zementmörtel einerseits und demjenigen mit Zementmörtel andererseits. Bei quasi zentrischer Belastung fällt die Tragfähigkeit des Zementmörtel-Mauerwerkes mit zunehmender Saugfähigkeit stark ab, während diejenige des weicherer verlängerten Zementmörtels wesentlich weniger steil absinkt. Die stärkere Empfindlichkeit des Zementmörtels auf Wasserentzug (Festigkeitsabfall und Wackeleffekt) muss bei der Festlegung der zulässigen Spannungen berücksichtigt werden. Deshalb ist bei der Steinkontrolle der Saugfähigkeit die grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Bezogen auf die Werte der zentrischen Belastung erfährt die exzentrische Belastung bei beiden Mörtelarten die gleiche Tragfähigkeitseinbusse mit steigender Saugfähigkeit der Mauersteine. In den bestehenden Richtlinien wird für hochwertige Mauersteine ein Saugvermögen von maximal $15 \text{ g/dm}^2 \text{ min}$ verlangt. Die verlangte Steindruckfestigkeit von 400 kg/cm^2 liefert 15 bis 20 % höhere Mauerwerkfestigkeiten als diejenige von 300 kg/cm^2 (Bild 15).

In ausländischen Vorschriften findet man oft die Empfehlung, dass die Steine vor dem Vermauern genässt werden sollen. Das Nässen hat aber verschiedene Nachteile: längere Austrocknungsfristen, verminderte Wärmeisolerfähigkeit, Neigung zu Ausblühungen, Erschwerung der Kontrolle auf dem Bauplatz.

5. Der Fugenmörtel trocknet und schwindet bekanntlich von aussen nach innen (Bild 16). Die Spalte, die sich dabei bilden, vermindern bei zentrischer und besonders bei exzentrischer Belastung die Tragfähigkeit, wobei allerdings das

Tabelle II. Einfluss der Saugfähigkeit des Mauersteines auf die Mauerwerksfestigkeit

Einsteinmauerwerk 12 cm aus Isoliersteinen $13\frac{1}{2}/12/25$ mit verlängertem Zementmörtel HK 250 + P 100; Schlankheitsverhältnis $h/d = 26$, Mörteldruckfestigkeit $\beta_m = 30 \text{ kg/cm}^2$, Schneidenlagerung, Alter 28 Tage.

Zustand des Mauersteines	Mittlere Mauerwerksfestigkeit		Verhältnis $\frac{m=1}{m \approx 0}$
	«zentrisch»	exzentrisch $m = 1$	
trocken	51	3,9	0,076
2 Tage wassergelagert	60,4	23,2	0,385
trocken/nass	85%	17%	

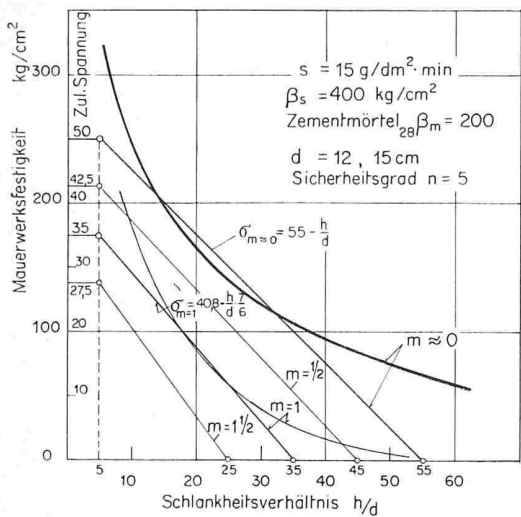


Bild 18. Mittelkurven durch die Versuchspunkte der Mauerwerke von 12 und 15 cm Dicke, hergestellt mit hochwertigen Backsteinen aus verschiedenen Ziegeleien. Steindruckfestigkeit: 400 kg/cm², spezifische Saugfähigkeit: 15 g/dm²min, Mörteldruckfestigkeit nach 28 Tagen: 200 kg/cm², zulässige Spannungen für verschiedene Exzentrizitäten *m* des Lastangriffspunktes $\approx 0, \frac{1}{2}, 1$ und $1\frac{1}{2}$ in Abhängigkeit vom Schlankheitsverhältnis

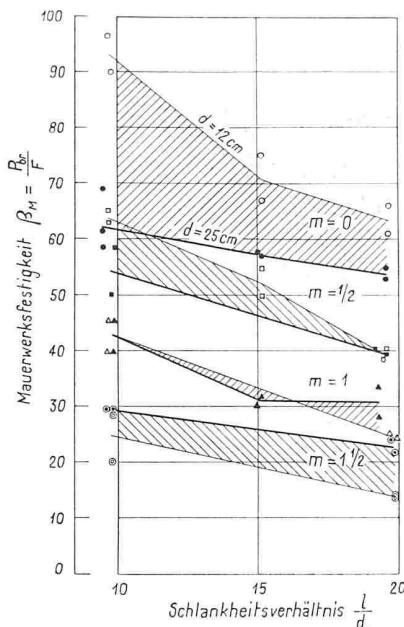


Bild 19

Bild 19 (Mitte). Festigkeit des Einstein- und des Verbandmauerwerkes bei gleichem Schlankheitsverhältnis von 10 bis 20. Verlängerter Zementmörtel, 1 1/2-N-Format, Steindruckfestigkeit: 289 kg/cm². Bei zentrischer Belastung ist das Einsteinmauerwerk überlegen. Mit zunehmender Schlankheit der Versuchswand und ansteigender Exzentrizität des Lastangriffs verschiebt sich die Tragfähigkeit zugunsten des dickeren, relativ exakter hergestellten Verbandmauerwerkes

Legende: $d = 12 \text{ cm}; d = 25 \text{ cm}$
 $m = 0$ — ○ — ●
 $m = 1/2$ — □ — ■
 $m = 1$ — △ — ▲
 $m = 1 1/2$ — ⊙ — ⊗

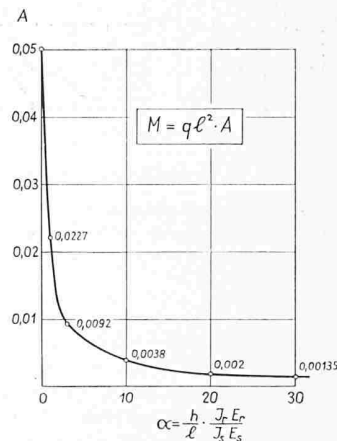


Bild 21

Bild 21 (rechts). Einfluss der Decken- und Wandsteifigkeit auf das Kopfmoment *M* bei gleichen Spannweiten

rungsunregelmässigkeit, die Verformungen unter der Dauerlast und unter Erschütterungen infolge Schwinden und Kriechen sowie infolge einseitig oder allseitig einwirkenden Temperaturänderungen, alle diese schwer oder nur mit grossem Zeitaufwand erfassbaren Einflüsse machen das Einführen eines Sicherheitsgrades notwendig, der auf Grund von Erfahrungen und durch Abschätzen aller nicht in die Rechnung eingehenden Faktoren festgelegt werden muss. Für Backsteinmauerwerk, das durch Mauerwerkversuche geprüft wird, wobei also die wichtigsten Zusammenhänge im belasteten Mauerwerk mit dem Versuch bereits erfasst werden, wird ein vierfacher Sicherheitsgrad als angemessen angesehen, sofern bei den späteren Lieferungen die verlangten Materialgütern für Steindruckfestigkeit, Saugfähigkeit usw. eingehalten werden. Der Sicherheitsgrad wird aber auf fünf erhöht, sobald generelle Normenwerte festgelegt werden, die auf den Untersuchungsergebnissen von mehreren Ziegeleien beruhen, die naturgemäss weit stärker streuen als die Ergebnisse einer einzelnen Ziegelei (Bild 15). Es kann also vorkommen, dass eine Ziegelei einen Ausweis für die hochwertige Mauerwerkfestigkeit vorweisen kann, aber die Güterwerte der Mauersteine die Höhe der Vorschriften nicht ganz erreichen.

Die zulässigen Spannungen, berechnet aus der versuchsmässig ermittelten Mauerwerkfestigkeit dividiert durch den

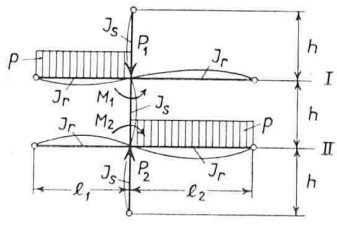
Sicherheitskoeffizienten, sind gültig für die geprüfte Knicklänge und Mauerstärke einerseits und für das geprüfte Stein- und Mörtelmaterial andererseits, deren wichtigste Eigenschaften bekanntlich durch die Bestimmung der Druckfestigkeit und des Saugvermögens, der Abmessungsabweichungen, des Raumgewichtes des Steines und durch die Druckfestigkeit des Mörtels nach 7 und 28 Tagen erfasst werden. Die zulässigen Spannungen sind dann auch für die übrigen Schlankheitsverhältnisse abzuleiten, so dass diese schliesslich in Abhängigkeit der wichtigsten, die Mauerwerktragfähigkeit beeinflussenden Parameter angegeben werden können. Diese wichtigsten Parameter sind: die Steindruckfestigkeit β_s , die Mörteldruckfestigkeit β_m , dann das Steinsaugvermögen s , das Schlankheitsverhältnis h/d und das Exzentrizitätsmass $m = e/k$. Bild 18 zeigt die zulässigen Spannungen für ein Mauerwerk aus einem hochwertigen Stein. Bei zentrischer Belastung ist die zulässige Spannung bis zu einem Schlankheitsverhältnis von 5 konstant, fällt dann in einer Geraden ab (anstelle der aus den Versuchen ermittelten Kurven) und schneidet bei einem Schlankheitsverhältnis von 55 die Abszissenaxe. Diese Gerade liegt bei den höhern Schlankheitsverhältnissen weit unter den durch die Versuche dokumentierten Zahlenwerten. Der Vergleich mit den Eisenbetonnormen ist vielleicht hier angebracht. Bei etwa $h/d = 43$

$$\alpha_1 = \frac{h}{l_1} k \quad \alpha_2 = \frac{h}{l_2} k$$

$$k = \frac{J_r E_r}{J_s E_s}$$

$$e_1 = \frac{M_1}{P_1} \quad \frac{e_1}{k} = m_1$$

$$e_2 = \frac{M_2}{P_2} \quad \frac{e_2}{k} = m_2$$



$$1 + \alpha_1 + \alpha_2 = r$$

$$M_1 = \frac{p}{4} \frac{2l_1^2(1+r) - l_2^2 r}{4(1+r)^2 - r^2} \quad M_2 = \frac{p}{4} \frac{2l_2^2(1+r) - l_1^2 r}{4(1+r)^2 - r^2}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{2l_1^2(1+r) - l_2^2 r}{2l_2^2(1+r) - l_1^2 r}$$

Bild 20. Vereinfachte Berechnung der Exzentrizitäten von Wänden unter Berücksichtigung der Deckensteifigkeit, Kopf- und Fussmomente für wechselseitige Nutzlast

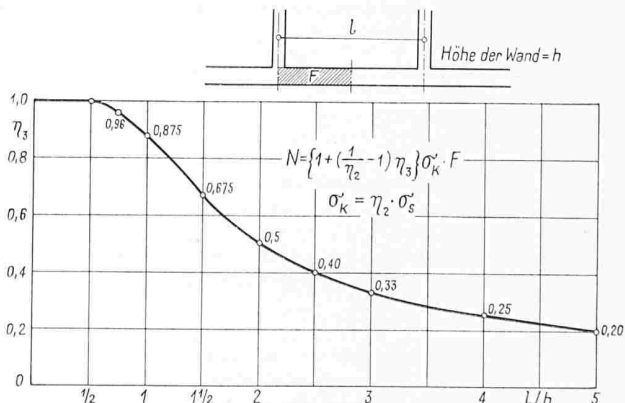


Bild 22. Die Aussteifung durch Zwischenwände steigert die Tragfähigkeit (Tragwand ohne Öffnungen!)

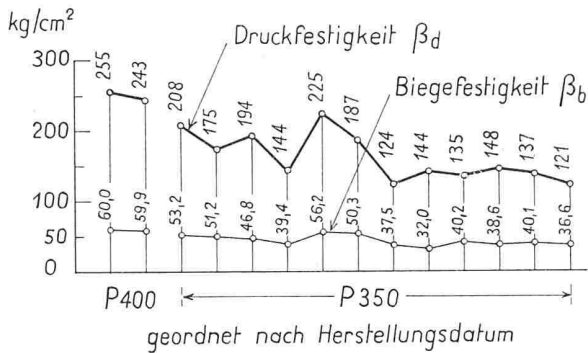


Bild 23. Mörtelfestigkeiten an 4x4x16 cm Prismen eingesandt von Baustelle Wohnhochhäuser «Altwyler» in Bern. Sinkende Mörtelfestigkeiten mit abnehmender Beanspruchung des Mauerwerkes

bricht die Eisenbetonnorm ab; wenn also der Eisenbeton nicht mehr ausreichend ist, so kann mit hochwertigem Backsteinmauerwerk noch ein schlanker Tragkörper erstellt werden. Das selbe gilt auch für die exzentrische Belastung. Diese Gerade schneidet die Abzissen schon bei kleineren Schlankheitsverhältnissen; auch fallen die zulässigen Schwerpunktsparnungen mit zunehmender Exzentrizität. Die Tragfähigkeit des 18 cm starken Mauerwerkes ist etwa 20 % kleiner als diejenige des 12 cm und 15 cm starken Mauerwerkes, und zwar deshalb, weil der 18-cm-Stein grössere Eigenspannungen aufweist.

Den Einfluss des Verbandes zeigen Bild 19 und Tabelle III. Die Zahlenwerte der 12-cm-Einsteinsmauer werden mit einer 25-cm-Verbandmauer — die Hälfte der Steine sind Bindersteine — verglichen. Bei zentrischer Belastung und bei kleinem Schlankheitsverhältnis, bei denen die Festigkeit massgebend ist, muss das 25-cm-Mauerwerk mit seinem 50-prozentigen Binderquerschnitt eine geringere Tragfähigkeit besitzen. Bei zentrischer Belastung des gedrunghenen Einsteinsmauerwerkes ($h/d = 10$) ist die Bruchlast 48 % höher als beim 25-cm-Verbandmauerwerk. Bei einem h/d -Verhältnis 20 ist diese aber nur noch 17 % grösser (Tabelle III). Wird exzentrisch belastet, so kann die Schwächung im Binderquerschnitt keine grosse Rolle mehr spielen. Bei höherer Schlankheit, also im Knickbereich, hat der verminderte Querschnitt keinen Einfluss mehr, ja infolge der relativ grösseren Massgenauigkeit ist die Knickfestigkeit des 25-cm-Mauerwerkes sogar höher als diejenige des 12-cm-Mauerwerkes.

Tabelle IV gibt Aufschluss über die Spannungsverhältnisse eines 20 Stockwerke hohen Wohnhauses mit 15 cm starken unausgesteiften Zwischenwänden. Bei einem vierfachen Sicherheitsgrad muss eine Mauerwerkfestigkeit von 177 kg/cm² ausgewiesen werden. Versuchswerte einiger Ziegeleien haben sogar die 200-kg/cm²-Grenze überschritten, weshalb einer weiteren Steigerung der Stockwerkzahl nichts im Wege steht.

Die Berechnungsgrundlagen

Zur Berechnung der Exzentrizität kann am einfachsten ein Ersatzsystem in Form eines *Doppelkreuzes* angewendet werden, aus dem die Kopfmomente bei ungünstigster Nutzlastverteilung — Schachbrettverteilung — berechnet werden (Bild 20).

In Bild 21 ist der Einfluss des Steifigkeitswertes α

$$\alpha = \frac{h}{l} \frac{J_r}{J_s} \frac{E_r}{E_s}$$

bei gleich grossen Spannweiten zur Darstellung gelangt. Der Faktor α klingt mit zunehmender Steifigkeit sehr rasch ab.

Die Aussteifung von öffnungslosen Wänden kann durch folgenden Ausdruck berücksichtigt werden:

$$\sigma_{zul} = \sigma_k + (\sigma_s - \sigma_k) \eta_3$$

wobei η_3 Bild 22 entnommen werden kann.

Die aussteifende Wirkung von Wandteilen, die senkrecht zu der zu berechnenden Wand stehen, kann durch die Verminderung des Schlankheitsverhältnisses berücksichtigt werden. Die Exzentrizität des Lastangriffspunktes wird am einfach-

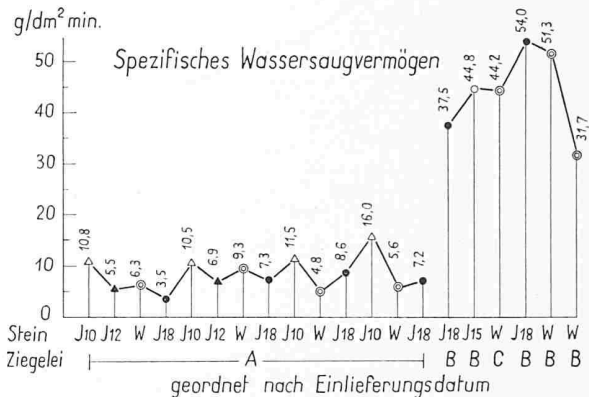
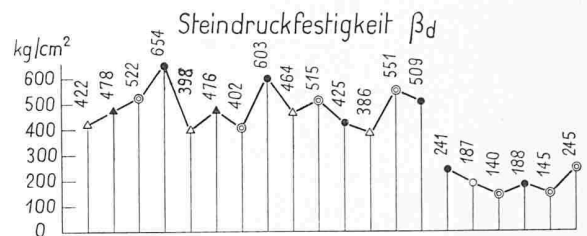


Bild 24. Steindruckfestigkeit und spezifisches Saugvermögen der Backsteine hochwertiger und normaler Qualität. Wohnhochhäuser «Altwyler» in Bern

sten graphisch bestimmt. Durch die Eckaussteifung wird aber nicht nur der Schlankheitsgrad vermindert, sondern auch das Exzentrizitätsmass in der Regel erheblich verkleinert. Daraus ergibt sich die wichtige Folgerung, dass bei der Grundrissgestaltung, besonders bei stark belasteten Pfeilern, mit Vorteil von dieser materialsparenden Tatsache Gebrauch gemacht wird. Denn je weniger exzentrisch die Last durch die Wände abgeführt wird, desto kleiner können die Wanddicken gewählt werden. Um Zwängsspannungen und daraus resultierende Risse möglichst zu vermeiden, ist bei hohen Häusern die möglichst gleichmässige Verformung aller Wandteile innerhalb eines Stockwerkes anzustreben. Nur so lassen sich auch örtliche Ueberlastungen und übermässige Biege- und Schubspannungen in den Betondecken und ihre Folgen unterbinden.

Die Bautenkontrolle

Diese hat sich nicht nur über die Kontrolle der Baustoffe, sondern auch über die Vermauerungsarbeit zu erstrecken. Die Fugendicke, der Fugenverlauf, der Steinschnitt, das Im-Lot-Stehen, die Krümmung der Wand, die Fugenfüllung, das Schroten und Schlitzen, das Lochen usw. sind alles Faktoren, die die Tragfähigkeit des Mauerwerkes empfindlich beeinflussen. Bilder 23 und 24 geben Aufschluss über die von drei Baustellen ausgewiesenen Stein- und Mörtelfestigkeiten.

Weitere bautechnische Eigenschaften

Wärmeschutz der Aussenwände. Dichtere Steine und dichter Zementmörtel leiten die Wärme besser, weshalb die Mauerstärke besonders wegen der stärker dem Wind ausgesetzten obern Stockwerke dicker gewählt werden muss. Das 32-cm-Mauerwerk mit Zementmörtelfugen mag in den Mittelzimmern noch genügen. In den Räumen mit Aussenwänden ist aber bei nicht ausreichender Lüftung mit der Bildung von Kondenswasser zu rechnen, besonders auch dann, wenn Heizmaterial gespart wird.

Die **Dampfdurchlässigkeit** ist bei ausreichend durchlässiger Oberflächenschicht beim Backsteinmauerwerk gewährleistet. Dichte Aussenschichten sind zu vermeiden.

Schlagregen ist entweder durch einen zweckmässig aufgebauten Aussenputz, der dreischichtig aufgebracht werden muss, oder — wie beim Rohbaumauerwerk — durch Nachfugen am Eindringen in das Innere zu verhindern.

Beidseitig verputzte und belastete 15 cm starke Backsteinwände bieten auch für Wohnungstrennwände einen genügenden **Schallschutz**. Die gute Aussteifung durch die gemauerten, eingebundenen Zwischenwände in jedem Stockwerk,

mit einer massiven Eisenbetonplatte zusammengehalten, dürfte auch dem Luftdruck von Bomben einen beachtlichen Widerstand leisten, jedenfalls einen höheren als die nur mit Leichtwänden ausgesteiften Fassaden.

Schlusswort

Der seit einigen Jahrtausenden bekannte Backstein ist in einigen schweizerischen Ziegeleien während den letzten Jahren zu einem relativ hoch belastbaren Baustoff entwickelt worden, der ermöglicht, Bauwerke bis zu 20 und mehr Stockwerken zu erstellen, unter der Voraussetzung allerdings, dass auch die Zwischenwände zur Lastableitung herangezogen werden können. Das mit diesem Mauerstein erstellte Mauerwerk benötigt keine Schalung und keine Bewehrungsseisen, ist kurz-

fristig belastbar und ermöglicht deshalb einen verhältnismässig raschen Baufortschritt. Es bietet einen guten Wärmeschutz, nimmt das zeitweise auftretende Kondenswasser auf, ist wärmespeichernd und brandsicher, was bei einem Hochhaus sicher auch wesentliche Faktoren sind. Es schützt auch vorzüglich gegen Luft- und Körperschall. Bei konstruktiv einwandfreier Durchbildung des Bauwerkes sind Zwängsrisse nicht zu befürchten.

Der Ziegelindustrie ist es also gelungen, mit der Zeit Schritt zu halten und für den Bau von Hochhäusern einen hochwertigen Baustoff bereitzustellen, der erlaubt, lastableitende Wände mit Abmessungen auszuführen, die neben dem technischen Nutzen zweifellos auch einen wirtschaftlichen Vorteil verbürgen.

Neuzeitliche Methoden auf dem Gebiet der Eisenbahnsicherungsanlagen

DK 656.257

Von Dr. Karl Oehler, P. D. der ETH, Zürich

Seit dem Bau der ersten Eisenbahnen war man genötigt, für Einrichtungen zu sorgen, die eine möglichst rationelle Betriebsweise gewährleisten. Dies wurde zunächst durch Zusammenfassen der Stellvorrichtungen für Weichen und Signale in einen gemeinsamen Apparat erreicht. Die sich so ergebende Fernsteuerung dieser Organe mittels mechanischer Leitungen erforderte weiter den Einbau von Einrichtungen, durch die Falschbedienungen und dadurch hervorgerufene Gefährdungen vermieden werden konnten. Die ursprünglich als reines Betriebsmittel gedachten Stellwerkanlagen wurden dadurch zu Sicherungsanlagen.

Von einem Betriebsmittel wird erwartet, dass es die Betriebsweise rationell zu gestalten gestattet. Dies kann erreicht werden: 1. durch möglichst weitgehende Automatisierung, 2. durch Ausdehnung des Wirkungsbereiches des befehlenden Beamten, 3. durch Rationalisierung bezüglich Herstellung und Unterhalt der Anlagen. Die Tatsache, dass diese drei Möglichkeiten bei den zunächst angewandten mechanischen Methoden nur in sehr beschränkter Masse ausgenützt wurden, gab Anlass, das Hauptgewicht bei der Entwicklung auf die Sicherheit zu legen. Daher bezeichnet man diese Einrichtungen allgemein als Sicherungsanlagen, obwohl sie für die Bahn in erster Linie Betriebsmittel sind.

Dass neben den mechanischen Sicherungseinrichtungen schon in den siebziger Jahren elektrische Einrichtungen aufkamen, die zusammen mit den mechanischen Einrichtungen angewandt wurden, zeigt, wie frühzeitig Wünsche auftraten, die sich mit mechanischen Einrichtungen nicht mehr erfüllen liessen. Tatsächlich bieten die elektrischen Einrichtungen so viel mehr Möglichkeiten, dass man heute die mechanischen Einrichtungen nur noch dort verwendet, wo sie durch andere Mittel nicht ersetzt werden können: nämlich dort, wo die elektrischen Kräfte in mechanische umgewandelt werden müssen. Heute versucht man, die drei Bestrebungen durch folgende Massnahmen zu erreichen: a) Durch den Ersatz der mechanischen Vorrichtungen durch elektrische, b) durch die

Konzentration der Bedienungsorgane auf kleinem Raum und c) durch Anwendung der neuesten Entwicklung auf dem Gebiet der Elektrophysik.

Wenn die Eisenbahnsicherungsanlagen als Betriebsmittel der Bahn schon lange wenigstens die Anwendung des unter a) genannten Postulates verlangten, war doch ihre zweite Aufgabe, nämlich die Sicherung des Eisenbahnbetriebs, eines der Hindernisse, das die Einführung elektrischer Methoden anstelle der mechanischen verzögert hat. Die Sicherungsanlagen sollen ja dem Beamten einen Teil seiner Verantwortung abnehmen können, d. h. sie müssen so konstruiert sein, dass sie selbst in sich «sicher» sind. Es wird nicht nur Zuverlässigkeit gefordert, sondern die Sicherheit geht der Zuverlässigkeit noch weit voraus. Das kann nur dadurch erreicht werden, dass einige Grundsätze für den Bau dieser Einrichtungen aufgestellt werden, die sonst in der übrigen Technik nicht notwendig sind und daher die Sicherungsanlagen in besonderer Weise kennzeichnen. Dies macht es auch unmöglich, ohne weiteres normales, handelsübliches Material, wie z. B. Telefonmaterial, zu verwenden, ohne dass in jedem einzelnen Fall genau geprüft wird, ob die Anwendung zulässig sei.

Die Sicherheit der Apparatur wird dadurch erreicht, dass einerseits jeder Vorgang daraufhin geprüft wird, ob er korrekt beendet wurde, bevor der nächste Vorgang eingeleitet wird. Ausserdem wird verlangt, dass der Apparat selbst fehlerlos arbeitet, eine Bedingung, die beim mechanischen Apparat durch entsprechende Konstruktion der Einzelteile ohne weiteres erfüllt werden kann. Dort, wo konstruktive Massnahmen nicht genügen, wie z. B. bei Drahtzugleitungen, deren gelegentliches Reißen man nicht verhindern kann, musste durch Einführung besonderer Apparate dafür gesorgt werden, dass ein solcher Fehler keine betriebsgefährlichen Folgen nach sich zieht und sofort bemerkbar wird. Ersetzt man mechanische Mittel durch elektrische, so wird das Problem noch komplizierter, weil die elektrischen Apparate wesentlich mehr Störungsmöglichkeiten aufweisen als die mechanischen. So

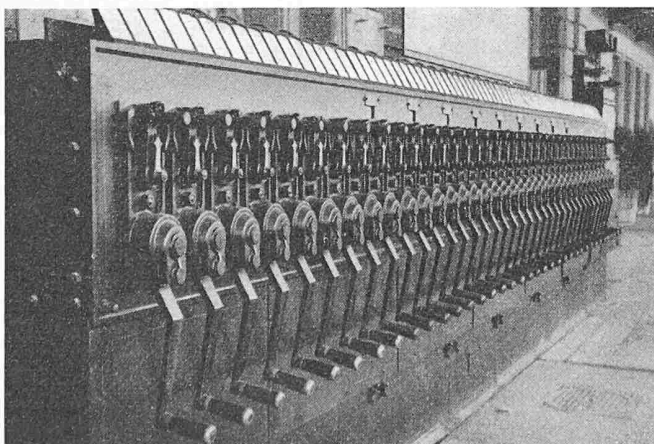


Bild 1. Mechanisches Freigabewerk Schaffhausen. 37 Kurbeln auf eine Länge von 6,80 m

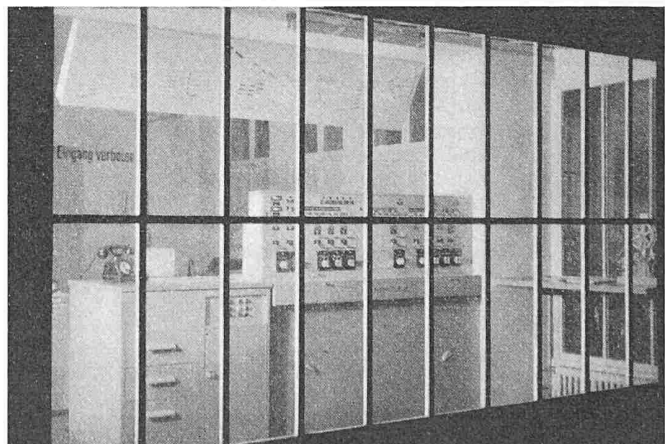


Bild 2. Elektrisches Freigabewerk Schaffhausen. Zehn Schalter auf eine Länge von 1,60 m (ohne mechanische Verschlüsse)