Mauerwerk im Ingenieurbau: Betrachtungen zu den neuen S.I.A.-Normen Nr. 113: Vortrag

Autor(en): **Haller, Paul**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83 (1965)**

Heft 7

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-68091

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Mauerwerk im Ingenieurbau

DK 693.2

Betrachtungen zu den neuen S. I. A.-Normen Nr. 113

Vortrag, gehalten am 16. Oktober 1964 an der Studientagung über aktuelle Ingenieurprobleme der S. I. A.-Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau

Von **P. Haller,** dipl. Ing., Sektionschef der EMPA, Dübendorf

Ist es nicht erstaunlich, dass man zur Zeit der Vorfabrikation und Automation das Mauerwerk neben den beiden «grossen» Baustoffen Stahl und Eisenbeton an einer Fachtagung der Ingenieure zu Worte kommen lässt? Es ist ja schon so alt wie Methusalem, und noch viele Zeugen aus dem grauen Altertum reden von grossen Bauten mit beredter Zunge. Es muss schon etwas Gutes an einer Bauweise sein, die heute noch Bauten ermöglicht, welche sich auch technisch sehen lassen dürfen (Bild 1).

Wie ist dies möglich? Wie kann das Mauerwerk, vor allem dasjenige aus künstlichen Steinen, noch immer im Konzert der Konkurrenzprodukte, wenn auch nicht die erste Geige (die überlassen wir den beiden Grossen), so doch mitspielen? Was erlaubt dem Mauerwerk aus künstlichen Steinen, und auch dem wichtigsten, dem Backstein, ein Leben an der Sonne?

Bekanntlich ist das kleine Element anpassungsfähiger an jedes Bauvorhaben als ein grosses. Es erlaubt, sich nach jedem Grundriss und jeder Geschosshöhe zu richten, kann für Innen- und Aussenwände Verwendung finden und ist nach einigen Stunden schon belastbar, wodurch die Bauzeit herabgesetzt werden kann. Es ist zugleich Tragwerk und Füllwerk, das Backsteinmauerwerk schwindet und kriecht weniger, es isoliert, trocknet schneller und hält dem Feuer ganz ordentlich stand. Dieser Vorzüge erfreut sich das Mauerwerk aus künstlichen Steinen schon lange.

Es sind drei Punkte, die dem Mauerwerk noch immer ermöglichen, den Konkurrenzkampf zu bestehen:

1. Die beträchtliche *Verbesserung der Qualität* lässt dünne Wände erstellen. Durch die Auswahl geeigneter Tonmaterialien, durch ihre innige Mischung, durch ein Lagern im Sumpfkeller, durch die genauere Formgebung, sachgemässes Trocknen und präziseres Brennen konnten wesentlich hochwertigere Backsteine erzeugt werden.
2. Die in den letzten Jahren enorm verbesserte *Masshaltigkeit* lässt ein in der Dimension genaueres und deshalb höher belastbares Mauerwerk erstellen. Aber auch die Leistung des Maurers konnte von $1 \div 2$ m³ bis auf 10 m³ pro Arbeitstag gesteigert werden, was für die Wirtschaftlichkeit des Mauerwerkes von entscheidendem Einfluss ist.
3. Durch die eingehende Prüfung am Fertigbauteil, das heisst an der Wand oder am Pfeiler, durch das restlose Erfassen aller Faktoren, die die Tragfähigkeit usw. beeinflussen, wurde dem Fabrikanten der Weg gezeigt, wie er sein Produkt verbessern, das heisst den heutigen Forderungen anpassen kann.

Wenn das vorliegende Normenwerk, das bekanntlich im Dezember 1963 von der Delegiertenversammlung des S.I.A. in Solothurn genehmigt worden ist, seine Vorgängerin aus dem Jahre 1943 erst jetzt ersetzt hat, so liegt der Grund der Verzögerung in der Entwicklung des Versuchswesens und in den gewaltigen Fortschritten zur Herstellung eines hochdruckfesten Backsteines.

Die *wichtigsten Ergebnisse der zahlreichen Versuche* sind folgende:

1. *Dehnt* sich der Mörtel unter Last parallel zur Lagerfuge stärker als der Stein – besonders über den Stossfugen –, wird der Stein auf *Biegung* beansprucht oder bestehen *örtliche Spannungsspitzen* an den dünneren Stellen der Lagerfugen, so werden die Mauersteine bei der Bruchlast senkrecht zur Lagerfuge aufgerissen. Der Bruch des gedrungenen Mauerwerkes tritt also durch *Überwindung der Zugfestigkeit des Mauersteines* ein, wobei die Dicke der Lagerfuge, die Art und Grösse der Lochung, die Ebenheit des Steines und die Rissbildung im Stein eine massgebende Rolle spielen.
2. Bei starker *Saugfähigkeit des Mauersteines* wird dem Mörtel das Wasser zu rasch entzogen, so dass er seine vollen Bindekräfte nicht mehr entfalten kann, und ausserdem tritt bei schlanken Mauern ($d < 25$ cm) der sogenannte *Wackeleffekt* auf. Eine stärker entwässerte

Bild 1. Hochhaus erbaut 1959/61 in Biel, 16 Geschosse aus Backsteinmauerwerk. Photo P. Moosbrugger

Innenmauerwerk (tragend):	15 cm Backsteinmauerwerk
Aussenmauerwerk:	
Innere Schale (tragend):	15 cm Backsteinmauerwerk
Isolierschicht:	3 cm Mineralwollplatten
Aeussere Schale (Vormauerung, selbsttragend):	12 cm Backsteinmauerwerk
Decken:	17 cm Massiv-Eisenbeton

Architekt: *W. Niehus,* Zürich. — Ingenieur: *Weder und Prim,* Burgdorf

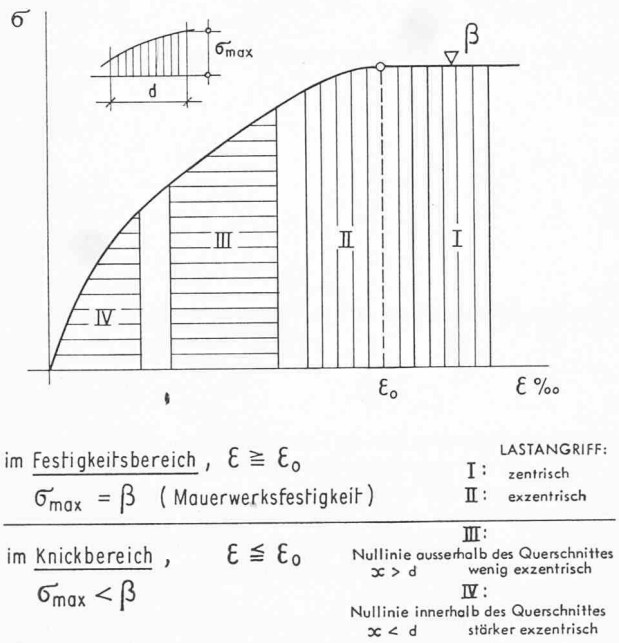


Bild 2. Spannungs-Stauchungs-Diagramm

Mörtelschicht wird bei der Hin- und Herbewegung des oberen Teils des Mauerwerkes kalottenartig abgewälzt. Bei zentrischer Belastung fällt die Tragfähigkeit durch diese Kalottenbildung nur wenig, bei exzentrischer Belastung jedoch ausserordentlich stark ab.

3. Der Einfluss der Festigkeit und der Verformbarkeit des Steines und Mörtels, der Steinhöhe, des Steinverbandes im Mauerquerschnitt, der Abweichung der Maueraxe von der Geraden, der Herstellungsgenauigkeit der Mauer, die ihrerseits von den Massschwankungen des Steines abhängig ist, und der Exzentrizität des Lastangriffes auf die Mauerwerkstragfähigkeit war durch Versuche abzuklären.

4. *Gedrungene Mauerwerkskörper* werden durch Aufreissen der Mauersteine zerstört, die *schlanken* dagegen verlieren bereits bei kleineren Lasten ihre Tragfähigkeit. Die Bruchursache der gedrungenen Wände ist die Überwindung der Kohäsionskräfte, das heisst der Zugfestigkeit der Mauersteine, während der schlanke Körper bei Belastung über die Knicklast hinaus instabil wird, plötzlich ausbiegt und bricht.

Da das Mauerwerk senkrecht zu den Lagerfugen keine wesentlichen Zugspannungen zu übertragen vermag, war es notwendig, ein neues Verfahren für die Berechnung der Tragfähigkeit im Festigkeits- und im Knickbereich anzuwenden, bei welchem das versuchsmässig ermittelte Spannungsdehnungs-Diagramm des Mauerwerkes zu berücksichtigen ist (Bild 2).

Ein *Stabilitätsproblem* liegt dann vor, wenn der Bruch der Mauer oder der Säule eintritt, bevor an der kritischen Stelle des Mauerwerkes dessen Druckfestigkeit erreicht wird. Wie diese Berechnung durchgeführt werden kann, wurde schon früher gezeigt (Bild 3). Mit zunehmender Verformung der im Mauerwerkskörper massgeblichen Randfaser steigt die Tragfähigkeit bis zu einem grössten Wert (Bild 4). Bei noch höheren Randfaserstauchungen, bzw. Ausbiegungen der Mauer ist nur noch unter einer kleineren Last ein Gleichgewicht möglich; bei noch stärkerer Ausbiegung gibt es eine Grenze, bei der ein Gleichgewicht zwischen äussern Kräften und inneren Widerstandskräften auch bei kleinerer Last nicht mehr möglich ist. Wie empfindlich die Knicklast einer Mauer oder Säule vom Spannungsstauchungs-Diagramm beeinflusst wird, zeigt Bild 5.

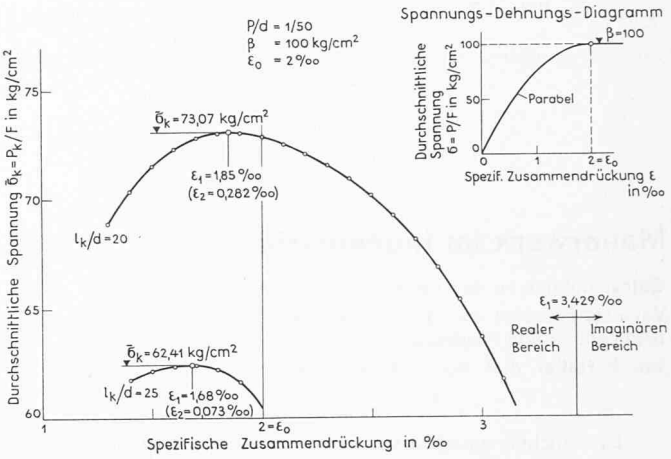


Bild 4. Zwei Beispiele der Berechnung der Tragfähigkeit einer gleichseitig exzentrisch belasteten Wand mit einer Druckfestigkeit von 100 kg/cm² als Maximalwert bei steigender Faserverformung ε_1. Spannungsstauchungs-Diagramm: Parabel (Annäherung), Schlankheitsverhältnis $l_k/d = 20$ u. 25. Bei grösserer Verformung als diejenige, die dem Maximalwert entspricht, ist nur bei kleinerer Last als die Maximallast ein Gleichgewicht möglich. Im imaginären Bereich ($l_k/d = 20$, $\varepsilon_1 = 3{,}429$ ‰) ist auch bei kleinerer Last kein Gleichgewicht zu finden.

Die Normen 113 zerfallen in zwei Hauptteile: *Mauerwerk aus künstlichen Steinen* und *Mauerwerk aus Natursteinen*.

Das letztere hat an Bedeutung eingebüsst, da die Bearbeitung der Steine kostspielig ist und auch die Steinmetze kaum noch in ausreichender Zahl aufzutreiben wären. Erfreulicherweise werden in den Bergkantonen noch immer Stützmauern aus Naturstein oder solche mit Natursteinvormauerung erstellt. Ob der Einsatz von Bearbeitungsmaschinen (Trennscheiben) das Natursteinmauerwerk wieder zu neuem Leben erwecken kann, wird die Zukunft zeigen.

Wenn diesem Mauerwerk in den Normen trotz der geringeren wirtschaftlichen Bedeutung ein weiter Raum geschenkt wird, so liegt der Grund darin, dass man die bisherigen Erfahrungen der Nachwelt erhalten wollte, nicht zuletzt um bei der Wiederinstandstellung von bestehenden, erhaltungswürdigen Bauten aus Naturstein eine sachgemässe Ausführung zu gewährleisten. Infolge Mangel an genügenden Versuchsunterlagen musste beim Natursteinmauerwerk die bisherige Berechnungsweise auf zulässige *Randspannung* beibehalten werden.

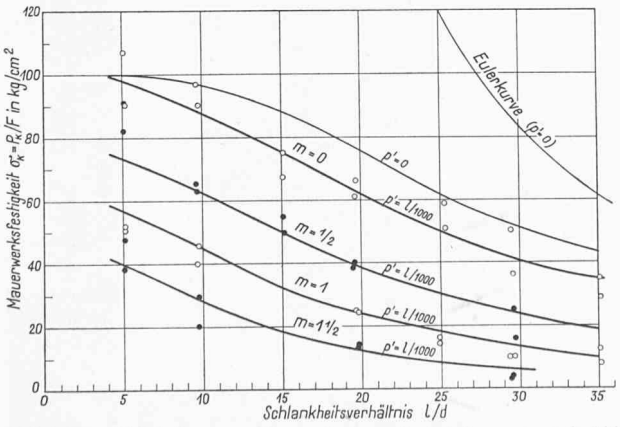


Bild 3. Tragfähigkeiten von 12 cm starkem Backsteinmauerwerk. 1½ Normalsteine mit Rundlöchern. Mittlere Steindruckfestigkeit 289 kg/cm², verlängerter Zementmörtel 29 kg/cm², Breite 78 cm, Alter 29 Tage, Schneidenlagerung.

● und ○ Versuchspunkte. Kräftige Linien = Theoretische Kurven aus dem Spannungsstauchungs-Diagramm, bestimmt an kleinen Mauerwerksproben, errechnet mit einer gleichseitigen Exzentrizität des Lastangriffspunktes von p' = l/1000. Knickspannungen nach Euler (p' = 0).

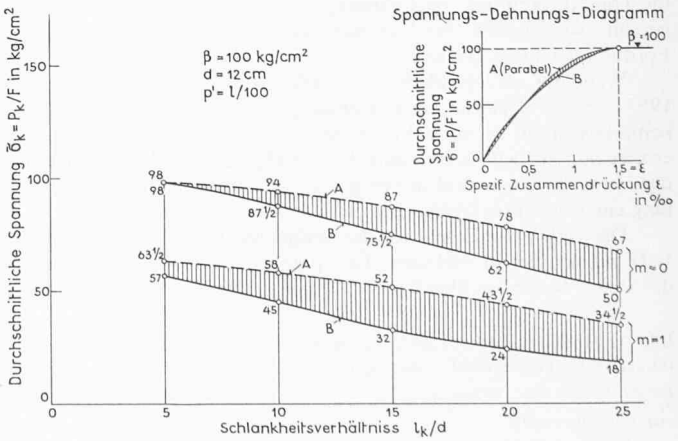


Bild 5. Vergleich der Tragfähigkeit von Backsteinwänden, errechnet aus dem durch Verformungsmessungen bestimmten Spannungsstauchungs-Diagramm mit derjenigen errechnet aus dem parabolischen Spannungsstauchungs-Diagramm. Mauerdicke 12 cm, verlängerter Zementmörtel, Exzentrizität des Lastangriffes (gleichseitig) p' = l/1000, schwach saugender Backstein.

Beim Natursteinmauerwerk ist der beträchtliche Einfluss der Ebenflächigkeit, das heisst des Grades der Bearbeitung der Lagerflächen auf die Tragfähigkeit des Mauerwerkes zu erkennen. Je intensiver die Lagerfläche bearbeitet wird, je weniger diese von einer Ebene abweicht, desto dünner kann die Mörtellage, das heisst die Lagerfuge gehalten werden, wodurch kleinere Querzugbeanspruchungen im Mauerstein ausgelöst werden und die Tragfähigkeit des Mauerwerkes ansteigt.

Auf Grund der Erkenntnisse, die bei den Mauerwerksversuchen mit künstlichen Bausteinen gemacht wurden, konnten auch die zulässigen Spannungen für das Mauerwerk aus Natursteinen erhöht werden.

Gegenüber den früheren Mauerwerksnormen haben folgende wichtige *neuere Gesichtspunkte für Mauerwerk aus Kunststeinen* Eingang gefunden:

1. Der Fabrikant der Steine garantiert primär die *Mauerwerksfestigkeit* an in Laboratorien erstellten, gedrungenen und schlanken Versuchsmauern. Nur durch diese Forderung können auch alle die massgeblichen Faktoren, deren Auswirkung auf die Mauerwerksfestigkeit niemals durch eine einfache Prüfung des Steines erfasst werden kann, garantiert werden. Da bei der Normenprobe des Steines nur die Druckfestigkeit geprüft wird, im Mauerwerk aber die Zugfestigkeit und bei den schlanken Körpern vor allem die Verformungsfähigkeit von Stein und Mörtel für die Tragfähigkeit entscheidend sind, hat dieser Qualitätsausweis des Mauerwerkes eine grundlegende Bedeutung. Die Einreihung der Mauersteine in eine höhere Kategorie erfolgt nur auf Grund der Mauerwerksfestigkeit.

2. Da die Mauerwerksfestigkeit als *Kontrollprobe* sich aus zeitlichen Gründen nicht eignet, müssen doch Steine und Mörtel überprüft werden, um auf einfache Art und Weise eine erste orientierende Beurteilung zu ermöglichen.

Die *Normenprobe des Backsteines* umfasst:

spezifische Saugfähigkeit, Mittelwert und Streuungen
Druckfestigkeit, Mittelwert und Streuungen
Lochung, Art und Grösse
Abmessungstoleranzen
a) vom Mittelwert
b) vom Sollwert
Ebenheit der Lagerflächen
Rissigkeit
eventuell sprengende, ungelöschte Kalkkörner

Die *Mörtel-Normenprobe* umfasst Biegezug- und Druckfestigkeit an Prismen 4×4×16 cm nach 7 und 28 Tagen.

3. Die Normenvorschriften kennen für Backsteine und Kalksandsteine vier *Mauerwerksklassen*, bzw. drei *Steinqualitäten*:

Mauerwerksqualität (Beispiel)	verlangte Festigkeit in kg/cm² für ein gedrungenes 15 cm-Backsteinmauerwerk $l/d = 8$	Steindruckfestigkeit in kg/cm²
normale Qualität	55	≧150
hochwertige Qualität	85/125	≧250/300/350
Sonderqualität	210	≧400

4. Die *zulässigen Spannungen* können aus den garantierten Mauerwerkfestigkeiten ohne Schwierigkeiten abgeleitet werden, sobald der *Sicherheitsgrad* festgelegt ist. Der *Sicherheitsgrad*, der

- die angenäherte statische Berechnung (Hooke),
- die unvermeidbaren *Streuungen der Abmessungen*, der *Festigkeiten* und der *Saugfähigkeit* bzw. des Wasserhaltevermögens der Materialien (Stein, Mörtel),
- die *Sprödigkeit* der Steine,
- die *Ungenauigkeiten beim Vermauern* (Abweichung von der Geraden und von der vertikalen Axe),
- die *Verformungen* der Wand oder Säule beim Schwinden und Kriechen des Fugenmörtels

zu berücksichtigen hat, wurde für das Mauerwerk zu 5 bzw. 4 festgesetzt. Der niedrigere Wert kann zur Anwendung kommen, wenn der Mauerstein jährlich dreimal geprüft wird.

Die *zulässigen Spannungen* werden für die Mauerwerke aus künstlichen Mauersteinen als Durchschnittsspannungen angegeben, wodurch die Rechnung vereinfacht wird. Beim Natursteinmauerwerk sind nach wie vor die Randspannungen nachzuweisen, die 40% höher als die Schwerpunktspannungen sein dürfen. Die zulässigen Spannungen sind wesentlich höher als in den früheren Normen.

Voraussetzung für die nun weitergehende, möglichst hohe Ausnützung von Baustoffen war eine eingehende Untersuchung des

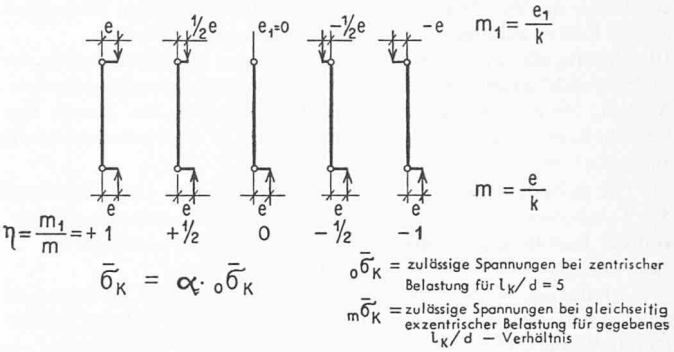


Bild 6. Empirische Formel für die Berechnung der zulässigen Spannungen bei gleichseitig oder verschränkt exzentrischen Belastungen mit einem Beispiel

Zusammenwirkens von Stein und Mörtel, also das Erfassen *aller* die Tragfähigkeit des Mauerwerkes beeinflussenden Faktoren. Durch die Prüfung und Auswertung von 1600 Mauerwerkspfeilern konnten auch einzelne Einflüsse aus der Gesamtheit herausgetrennt dargestellt werden.

5. Die *zulässigen Spannungen* werden in den Normen für die quasi zentrische und für gleich grosse gleichseitig exzentrische Belastung angegeben (VSZS-Blätter). Bei verschränkt exzentrischem und an beiden Enden ungleichem Lastangriff ist die Tragfähigkeit des Mauerwerkes *entsprechend den zu erwartenden Ausbiegungen* mittels einer einfachen empirischen Formel zu errechnen, die durch Versuche überprüft worden ist (Bild 6).

6. Bei der *Verbiegung der Decken* verschiebt sich der Lastangriffspunkt am Wandkopf. Seine Exzentrizität kann angenähert, aber mit genügender Genauigkeit aus dem Doppelkreuz (das in der Norm definiert wird) berechnet werden. Selbstverständlich ist zusätzlich ein allfälliger exzentrischer Lastangriff durch die obenliegenden Wände zu berücksichtigen.

7. Die zulässigen Spannungen werden getrennt für die *Einstein- und für die Verbandmauerwerke* angegeben. Infolge Aufreissen der Bindersteine über den Stossfugen im Vertikalquerschnitt bei gedrungenen Mauerwerkskörpern wird die Festigkeit des Verbandmauerwerkes gegenüber dem Einsteinmauerwerk kleiner gefunden. Da im Knickbereich diese Schwächung nicht mehr wirksam ist, das heisst, der Körper vor dem Aufreissen der Steine instabil wird, schneidet die Knickabminderungsgerade bei beiden Mauerwerkstypen die Abszissenaxe im gleichen Punkt.

8. Werden die Wände durch eingebundene Zwischenwände *ausgesteift*, so dürfen die Mauerlappen bis zu 3,5 *d* mit der höchsten zulässigen Spannung $\bar{\sigma}_s$ beansprucht werden. Der anschliessende Mauerteil von 12 *d* Länge darf mit dem Mittelwert $\frac{1}{2}(\bar{\sigma}_s + {}_0\bar{\sigma}_k)$ dimensioniert werden. Der Rest der Mauer darf nur mehr mit der Knickspannung ${}_m\bar{\sigma}_k$ belastet werden. Bei beidseitiger Aussteifung der Mauer können die 12 *d*-Bereiche überschnitten und die ausgemittelten zulässigen Spannungen eingesetzt werden. Ausgesteifte Mauerstücke dürfen bis zu einer Schlankheit $l/i < 17$ mit der *zulässigen Spannung* $\bar{\sigma}_s$ belastet werden. Mauerstücke mit grösserer Schlankheit sind mit der entsprechend kleineren zulässigen Spannung zu berechnen. Für die Berechnung des Schlankheitsverhältnisses dürfen Ersatzrechtecke benützt werden, wobei das Trägheitsmoment auf die durch den Gesamtschwerpunkt gehende Axe bezogen, berechnet wird ($h_{max} = 7\,d$).

9. Den Berechnungen sind die *S.I.A.-Belastungsnormen* Nr. 160 zu Grunde zu legen. Bei den Berechnungen ist neben dem Schlankheitsverhältnis auch die Exzentrizität des Lastangriffes, gleichseitig oder verschränkt, zu berücksichtigen. Die Nutzlast ist gegebenenfalls schachbrettartig aufzubringen. In jedem Fall ist die maximale, das heisst die ungünstigste Beanspruchung des Mauerwerkes der Dimen-

sionierung der Wände zu Grunde zu legen. Im ungestörten Mauerwerk dürfen Lastverteilungen von 60° angenommen werden.

10. *Mauern, die auf Decken gestellt sind*, zeigen oft Rissbildungen, die in der Durchbiegung der Decken unter der Wirkung von Eigengewicht, Auflast, Nutzlast sowie Schwinden und Kriechen des Betons ihre Ursache haben. Durch geeignete Massnahmen ist diese Schadenbildung zu vermeiden.

11. Die zulässigen *Biegezugspannungen* parallel den Lagerfugen und die *Schubspannungen* sind von den Eigengewichtsspannungen bzw. von der Belastung der Mauer abhängig (Reibungsspannungen).

σ_{bzul} und $\tau_{zul} = 1/30\ \sigma_g \cdot {}_0\bar{\sigma}_5 = 1/10\ {}_0\bar{\sigma}_5$

An das stärker belastete Mauerwerk aus spröderen Mauersteinen müssen schärfere Bedingungen hinsichtlich Berechnung, konstruktiver Durchbildung und Ausführung sowie auch bezüglich der Überprüfung der Qualität gestellt werden.

Bei der *Planung* und *konstruktiven Durchbildung* des Mauerwerkes ist auf folgende Bestimmungen zu achten:

1. Die Abmessungen der Räume sind den Abmessungen des Steines und der Fugen anzupassen.

2. Die Fenster- und Türöffnungen sind so zu legen, dass aussteifende Mauerteile entstehen (höhere Belastung = wirtschaftlichere Ausnützung).

3. Lagerfugen sind senkrecht zur Kraftrichtung bzw. zur Stützlinie zu legen.

4. Die Minimaldicke des tragenden Mauerwerkes beträgt 12 cm.

5. Vermeidung von Zwängsspannungen, möglichst gleichmässige Belastung und Verformung der Wände und Säulen.

6. Zentrische Stellung der Mauern übereinander.

7. Zentrisches Auflegen von Decken und Stützen; bei Mauern unter 25 cm Dicke über die ganze Mauer auflegen.

8. Die Einbundlänge, auch im Mauerquerschnitt, soll mindestens 0,45 der Steinhöhe betragen.

9. Beim Sondermauerwerk dürfen die Steine mit Rücksicht auf ihre Sprödigkeit nicht geschrotet werden, weshalb vom Lieferwerk Teilsteine (¼, ½, ³/₄) anzufordern sind.

10. Gurten, wenn die Innenwände die Aussenwände wegen Rissgefahr nicht mit Sicherheit einbinden können.

11. Dilatationsfugen sind den Verhältnissen und der Art des Mauersteines entsprechend anzuordnen.

12. In das Sondermauerwerk dürfen nachträglich keine Schlitze oder Durchbrüche gemacht werden. Aussparungen sind im Schichtenplan anzugeben. Im hochwertigen Mauerwerk dürfen lotrechte Schlitze in ausgesteifte Wände, niemals aber in Pfeiler gefräst werden.

13. Schlitzpläne sind vom für die Tragfähigkeit verantwortlichen Ingenieur einzusehen und zu visieren. Allfällige Änderungen an den Ingenieurplänen sind demnach durch ihn zu genehmigen.

14. Schichtenpläne von Winkeländerungen, Ecken und Einbindungen der Innenwände sind für Sondermauerwerk unerlässlich, für hochwertiges Mauerwerk erwünscht.

15. Eine ganze Reihe Vorteile weist das Zweischalenmauerwerk mit nichtkorrodierenden Rückhaltern auf Stockwerkshöhe auf. Eckenarmierungen sind notwendig, um das Aufreissen der Mauern zu verhindern. Die Aussenschale soll saugfähig sein, oder es ist ein Luftspalt von mindestens 2 cm vorzusehen.

16. Wetterfeste Steine und frostbeständiger Mörtel sind auf den Wetterseiten unerlässlich.

17. Die Wärmeschutzschicht ist *auf* der Decke zu verlegen; Wärmebrücken sind zu unterbinden.

18. Rissbildungen im wenig belasteten Mauerwerk durch schwindende Dachplatten (oberste Decken), wie auch das Aufwölben von Ecken und Deckenrändern (samt Vormauerung) sind durch geeignete Massnahmen zu verhindern oder unsichtbar zu machen.

19. Zur Berechnung des bewehrten, eventuell vorgespannten Mauerwerkes dürfen die Randspannungen die zulässigen Durchschnittsspannungen um 40% übersteigen.

20. Freistehende Giebelwände sind zugfest zu verbinden.

Bei der *Ausführung* sind neben den vorstehenden Bestimmungen 3 bis 20 noch folgende Vorschriften zu beachten:

21. Auch im Haupt sind die Stossfugen zu versetzen.

22. Beim hochwertigen und Sondermauerwerk sind folgende Bedingungen zu erfüllen (MH = Mauerwerk hochwertig, MS = Mauerwerk Sondergüte):

Messlänge 250 cm	MH	MS
Abweichung von der Geraden in mm	4	3
Abweichung vom Lot in mm	4	3
Abweichung der Lagerfugen von der Horizontalen in mm	15	10
Fugendicke in mm	8÷16	10÷15

Stossfugen 10 mm

Bindersteine: die Hälfte der Steine

23. Einbinden von Mauerstücken jede zweite Schicht: auf die halbe Steinlänge.

24. Im Sichtmauerwerk sind die Fugen nachzufugen oder bei geeignetem Fugenmörtel mindestens zu «bügeln».

25. Wird ausnahmsweise bei 0 bis —5°C gemauert, sind folgende Bedingungen einzuhalten: Mörteltemperaturen +10°C, Vermauern von trockenen Steinen wärmer als 0°C. Um 16.00 Uhr Beendigung der Arbeiten. Das fertige Mauerwerk ist beidseitig und auf der ganzen Höhe abzudecken.

Die *Bauplatzkontrolle* sollte die *Materialien* (10 Steine und Mörtel) und die *Maurerarbeit* (ein einwandfreies Arbeiten und die Leistung) umfassen (Bild 7).

Zusammenfassung

Das Mauerwerk aus künstlichen Bausteinen kann sich durch die stärkere Ausnützung, ermöglicht durch die neuen Normen, gestärkt im Konkurrenzkampf mit andern Bauweisen, die im Hausbau zur Anwendung kommen, bewähren. Es wird auch neben den Bauweisen mit Fertigbauteilen weiter bestehen können, mindestens solange ge-

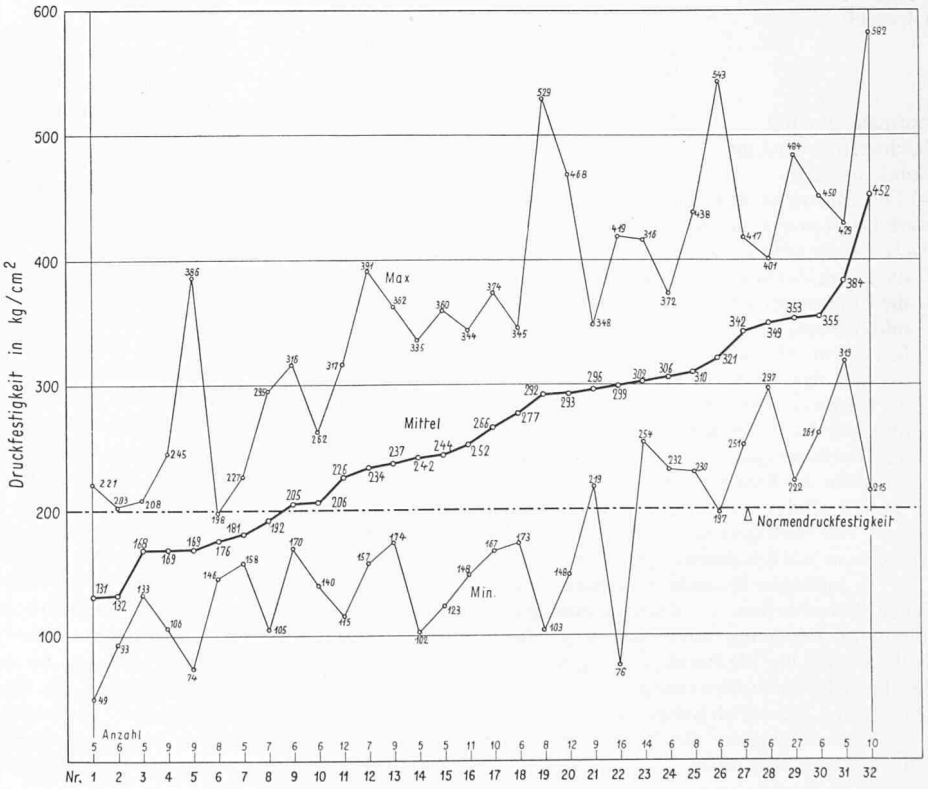


Bild 7. Mörteldruckfestigkeit der von 32 Baustellen in den Jahren 1958 bis 1964 eingelieferten Prismen 4 × 4 × 16 cm im Alter von 28 Tagen. Mittelwerte und Grenzwerte. Anzahl der Proben je Baustelle.

nügend qualifizierte Maurer zur Verfügung stehen. Die stark verbesserte *Masshaltigkeit* des künstlichen Mauersteines hat eine Steigerung der Leistungen des Maurers ermöglicht. Der masshaltigere Stein hat zusammen mit der Qualitätsverbesserung zu einer relativen Verbilligung des Mauerwerkes aus künstlichen Bausteinen wesentlich beigetragen.

Die vorliegenden Normen sind aufgebaut auf einer grossen Zahl Versuchsergebnisse, aber auch auf den Erfahrungen, die beim Bau an einer Reihe von Hochhäusern gemacht wurden. Die gestellten Forderungen sind besonders für das Sondermauerwerk hart, aber notwendig, wenn die spröden, erhebliche innere Spannungen aufweisenden Steine mit Sonderqualität in relativ dünnen Mauern verwendet und darum hoch beansprucht werden.

Die Normen dürften ein Beweis dafür sein, dass auch eine alte Bauweise wie das Mauerwerk noch immer neben den beiden jüngeren Bauweisen den Konkurrenzkampf, natürlich in einem beschränkten Sektor, zu bestehen fähig ist, weil auf der Grundlage neuerer Erkenntnisse durch gewaltige Anstrengungen der Industrie der Baustoff so stark verbessert werden konnte, dass der Backsteinbau zu einer Ingenieur-Bauweise aufgestiegen ist und, was ebenfalls wichtig ist, auch als solche honoriert wird.

In der nächsten Zeit werden Versuche durchgeführt, die über die Wirkung der *Aussteifung* durch abgewinkelte Mauern Auskunft geben sollen. Weiter ist geplant, über die Tragfähigkeit des Natursteinmauerwerkes weitern Aufschluss zu erhalten. Diese Versuche sind nun dank der nunmehr in Betrieb genommenen 2000-t-Presse durchführbar. Auch das «alte» Mauerwerk stellt noch immer neue Probleme!

Adresse des Verfassers: *Paul Haller*, dipl. Ing., EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

Ventillose Expansions-Kolbenmaschine für tiefe Temperaturen

DK 621.59 : 621. 1.013

Zur Kälteerzeugung bei sehr tiefen Temperaturen, wie sie z. B. zur Verflüssigung von Helium ohne Vorkühlung durch flüssigen Wasserstoff benötigt wird, wendet man Expansionsmaschinen an. Für grosse Durchsätze eignen sich Turbinen, für kleine und mittlere Anlagen Kolbenmaschinen. Bei diesen lässt sich die geforderte hohe Betriebssicherheit jedoch nur unter Anwendung besonderer Massnahmen erreichen. Eine in dieser Beziehung bemerkenswerte Maschine beschreiben Dr. *R. Doll* und Prof. Dr. *F. X. Eder*, München, in «Kältetechnik» *16* (1964) H. 1, S. 5–11. Sie wurde unter Leitung der Verfasser im Herrschinger-Institut der Kommission für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ausgeführt und durchgeprüft.

1. Arbeitsweise

Die Arbeitsweise lässt sich am Prinzipschema, Bild 1, verfolgen. Die Ringkanäle B und C in der Lauffläche des Arbeitszylinders A sind mit den Rohranschlüssen für das unter dem hohen Druck p_1' eintretende Gas bzw. für das unter dem niedrigen Druck p_3' austretende Gas verbunden. Die Bohrungen E und F verbinden die Ringnute G im Kolben D mit dem Arbeitsraum unter dem Kolben. Die Kolbenstange H übermittelt die geleistete Arbeit an das Kurbelgetriebe. In Bild 1 ist der Kolben in seiner oberen Totpunktlage dargestellt, entsprechend Punkt 2 im p, V-Diagramm (Bild 2), am Ende des Expansionshubes. Beim anschliessenden Abwärtsgang verschliesst der Kolben die Ringnute C, worauf er das Gas im Zylinder vom Auslassdruck p_3' (Punkt 3) auf den Druck p_4 verdichtet. Kurz vor dem unteren Totpunkt überläuft die Ringnut G im Kolben die Einlassringnut B des Zylinders, wobei sich der Füllraum mit Gas vom Eingangsdruck p_1' auffüllt. Kurz nach dem unteren Totpunkt schliesst der Kolben die Einlassringnut wieder ab, worauf das Gas unter Arbeitsleistung auf den Druck p_2 expandiert, bis sich die Ringnut C wieder öffnet und der Druck im Zylinder von p_2 auf p_3 absinkt.

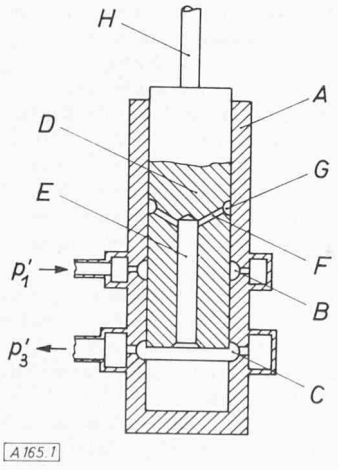
Bei der Expansion von p_1 auf p_2, die angenähert adiabat erfolgt, sinkt die Temperatur von T_1 am Einlass auf T_2. Während des Auslassvorgangs expandiert das Gas im Zylinder weiter von p_2 auf p_3 und kühlt sich dabei von T_2 auf T_3 ab. Demzufolge ist die mittlere Auslasstemperatur T_3' niedriger als T_2, aber höher als T_3. Nachdem der Kolben beim Abwärtsgang das Gas von 3 auf 4 komprimiert und dieses die Temperatur T_4 angenommen hat, wobei die Temperatur T_4 kleiner ist als die des eintretenden Gases T_1, wird durch dieses das Gas im Zylinder weiter komprimiert, und es erhöht sich dessen Temperatur auf T_1, wobei T_1 höher als T_1' ist. Es hat sich als notwendig erwiesen, Ein- und Auslass mit je einem Puffer zu versehen, deren Volumen mindestens das Zehnfache des Einlassvolumens V_1 bzw. des Auslassvolumens V_2 betragen.

2. Verlustquellen

Zwischen den Ringkanälen B und C des Zylinders herrscht dauernd die volle Druckdifferenz $p_1' - p_3'$, wodurch sich eine Spaltströmung einstellt. Diese wird zur Stabilisierung und Gasschmierung des Kolbens im Zylinder ausgenützt, was sich durch geeignete Formgebung der Kolbenlauffläche erreichen lässt. Die Spaltströmung darf aber nur einen kleinen Teil des Gasdurchsatzes durch die Maschine ausmachen, weshalb die Spaltweiten sehr klein sein müssen (etwa 2μ). Spaltverluste treten weiter zwischen den Nuten B und G sowie zwischen G und dem freien Raum über dem Kolben auf. Hinzu kommen Verluste infolge Wärmeströmung von den warmen Teilen (Nute B) zu den kalten Teilen (Nute C) und Wandeinflüsse. Diese lassen sich durch die Anwendung hoher Drehzahlen (1500 U/min) sowie durch die Wahl eines Baustoffes mit niedriger Wärmeleitzahl, geringer Dichte und kleiner spezifischer Wärme klein halten. Vorteilhaft ist das Gleichstromprinzip für die Gasströmungen im Zylinder und in den Kolbenbohrungen.

3. Stabilisierung des Kolbens

Zum Stabilisieren des Kolbens im Zylinder ist der Kolben mit zahlreichen Eindrehungen versehen. Weiter wurde die verbleibende Lauffläche, wie auf Bild 3 ersichtlich, in besonderer Weise geformt. Bild 4 zeigt einen schematischen Ausschnitt. Der Zylinderlauffläche A steht der Kolben B mit den Ringnuten C und D gegenüber. Die Spalt-



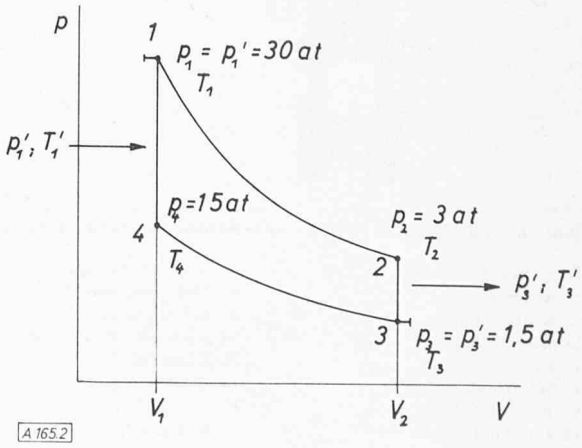


Bild 1 (links). Prinzip der ventillosen Expansionsmaschine. Bezeichnungen im Text

Bild 2 (rechts. p, V-Diagramm des Arbeitsprozesses

Die Bildstöcke zu diesem Aufsatz sind uns in verdankenswerter Weise vom Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, zur Verfügung gestellt worden