

## II-18. The Influence of Size and Perforation of Bricks on the Load Capacity of Walls

Dipl.-Ing. G. Schellbach  
Institute of Brick Research Essen

### ABSTRACT

*For the improvement of heat retention of outer walls, brick with measurements of up to  $490 \times 300 \times 238$  mm. are used with great success. This cross section renders the optimum of heat technology. The heat retention is up to 30% better than that of normal perforated bricks.*

*Walls constructed of such brick, in spite of the abundance of holes in the brick, have shown about a 50% increase in wall solidity, even though the solidity of the stone is lower upon inspection than that of smaller brick made of the same raw materials. The unfavourable judgement of larger brick is caused by the usual manner of pressure solidity. This deficiency which operates according to size can be equalized through a size factor. The size factors were discovered after extensive comparison studies and will be reported on.*

*In order to comprehend the influence of the hole size on wall stability, an arithmetic program was designed and tested. For this purpose the hollow brick was considered as a construction element composed of perpendicular pieces, exposed to both vertical and horizontal forces. Using this, an understanding of the rupture component of masonry made of hollow brick was discovered and the properties of this brick can now be better utilized.*

*Zur Verbesserung der Wärmedämmung von Außenwänden finden zunehmend großformatige Lochziegel mit Abmessungen bis zu  $490 \times 300 \times 238$  mm Verwendung, deren Querschnitt wärmetechnisch optimal gestaltet ist. Die Wärmedämmung weist Verbesserungen bis zu 30% gegenüber normal gelochten Ziegeln auf.*

*Wände aus derartigen Ziegeln haben trotz des hohen Lochanteils der Ziegel von ca. 50 % eine über dem Sollwert liegende Wandfestigkeit, obwohl die bei der Prüfung nachgewiesene Steifigkeit niedriger ist als bei kleinformatigen Ziegeln gleichen Rohmaterials. Die ungünstige Beurteilung großformatiger Ziegel ist durch die Art der üblichen Druckfestigkeitsprüfung bedingt. Dieser Mangel, der sich je nach Format verschieden stark auswirkt, kann durch einen Formfaktor ausgeglichen werden. Die Formfaktoren wurden durch umfangreiche Vergleichsuntersuchungen gewonnen, über die berichtet wird.*

*Zur Erfassung des Einflusses der Lochung auf die Wandfestigkeit wurde ein Rechenprogramm entworfen und erprobt. Hierbei wird der Lochziegel als ein aus senkrecht zueinander stehenden Scheiben zusammengesetztes Bauelement behandelt, das vertikalen und horizontalen Kräften ausgesetzt ist. Hierdurch werden Erkenntnisse über das Bruchverhalten von Mauerwerk aus Lochsteinen gewonnen und die Ziegeleigenschaften besser ausgenutzt.*

### EINFLÜSSE AUF DAS TRAGVERHALTEN VON MAUERWERK

Im Mauerwerksbau ist es üblich, die Bruchlast aus der Druckfestigkeit der verwendeten Steine und des Mörtels abzuleiten. Die Angaben gelten im allgemeinen für den gedruckenen Wandkörper ohne Berücksichtigung des Schlankheitseinflusses. In Ermangelung einer exakten Bruchtheorie stützen sich die Beziehungen auf die Auswertung der Ergebnisse von Wandprüfungen.

Die in der deutschen Mauerwerksnorm DIN 1053 Teil 1 und ergänzenden Bestimmungen angegebenen zulässigen Spannungen setzen voraus, daß eine mindestens 3-fache Sicherheit gegenüber den Bruchspannungen der Wände besteht. Die Sollbruchfestigkeiten der Wände sind aus Bild 1 ersichtlich. Für Mauerziegel gelten die Werte im wesentlichen für Wände aus Ziegeln im Normalformat ( $24 \times 11,5 \times 7,1$  cm) und 2 DF ( $24 \times 11,5 \times 11,3$  cm). Andere Einflußgrößen wie Dicke der Wand, Art des Verbandes, Format der Ziegel, Lochbild bei Lochziegeln, werden außer acht gelassen. Solche Vereinfachungen waren möglich, solange in der Hauptsache klein- und mittelformatige Ziegel verwendet wurden. Mit der Einführung von Großblockziegeln mit Formaten bis zum 20 DF ( $49 \times 30 \times 23,8$  cm) werden diese Ziegel in zweierlei Hin-

sicht benachteiligt. Auch wenn sie aus dem gleichen Rohmaterial und dem gleichen Produktionsverfahren hergestellt werden, ist die bei der Druckfestigkeitsprüfung ausgewiesene Festigkeit der großformatigen Ziegel niedriger als der kleinformatigen Ziegel. Die Wandfestigkeit hingegen ist im allgemeinen gleich groß oder höher, weil sich die geringere Fugenanzahl meistens günstig auswirkt.

### MÄNGEL DER DRUCKFESTIGKEITSPRÜFUNG

Das schlechtere Abschneiden der großformatigen Ziegel ist auf die Art der Druckfestigkeitsprüfung zurückzuführen. Nach der maßgeblichen Mauersteinnorm (DIN 105) wird die Druckfestigkeit bei Hochlochziegeln am ganzen Stein ermittelt. Die Prüfkörper kommen zwischen die Stahlplatten der Prüfpresse zu liegen, die bei der Druckfestigkeitsprüfung eine wesentlich geringere Querverformung erfahren als die Ziegel.

Der Ziegel wird also an den Lagerflächen durch die Stahlplatten zusammengehalten, solange die Reibungskräfte hierfür ausreichen. Wollte man seine wahre Druckfestigkeit ermitteln, so dürfte der Prüfkörper an den Endflächen weder durch Stahlplatten zusammengehalten, noch durch sich stärker verformenden Mörtel auseinandergezogen werden. Dies könnte geschehen,

wenn man z.B. die Stahlplatten der Prüfpresse in lauter kleine Stempel oder seitenbewegliche Stahllamellen auflösen würde, wie es bei der "Münchner Bürste" geschieht. Da solche Prüfplatten aus Stahllamellen jedoch sehr teuer sind, haben sie sich in der Druckfestigkeitsprüfung nicht durchsetzen können. Es wird im allgemeinen ein Kunstgriff angewendet und die Prüfkörperhöhe wird so gewählt, daß sie mindestens doppelt, besser dreifach so groß ist wie die Prüfkörperbreite. An solchen Prismen verliert sich der Einfluß der Stahlplatten in der Mitte des Prüfkörpers und es kommt zu einem Versagen durch Aufspalten des Prüflings. (Bild 2)

Bei Mauersteinen ist aber die Höhe durch das Format vorgegeben und im allgemeinen kleiner oder gerade so groß wie die Breite. Der Fehler könnte dadurch ausgeglichen werden, daß mehrere Steine übereinander gemauert werden, wie es zum Teil geschieht. Hier verfälschen aber dann wiederum die mittleren Mörtellagen die Druckfestigkeit des zusammengesetzten Prüfkörpers, so daß nur eine scheinbare Druckfestigkeit ermittelt wird.

Bei mittelformatigen Steinen mit Höhen von 5,2 / 7,1 und 11,3 cm ist der Einfluß der Prüfplatten der Presse sehr groß. Bei der Druckprüfung kommt es nur zu einem leichten seitlichen Ausbröckeln der Ziegel. Es entsteht kein ausgeprägter Bruchkegel. Wird dagegen die Druckfestigkeit von 23,8 cm hohen Ziegeln ermittelt, so wirkt sich bei gleicher Lagerfläche der Einfluß der Prüfplatten der Presse bei weitem nicht mehr so stark aus, d.h. der Ziegel versagt bei der Druckfestigkeitsprüfung früher als der nur 11,3 cm hohe Stein und wird infolgedessen in eine niedrigere Festigkeitsklasse eingestuft, gegenüber dem Stein mit geringer Höhe also unterbewertet.

## BERÜCKSICHTIGUNG DES FORMATES DURCH FORMFAKTOREN

Der Einfluß des Formates auf die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung ist schon seit langem bekannt. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, ihn zahlenmäßig zu erfassen. So ist z.B. in DIN 1045 für Beton festgelegt, daß die Druckfestigkeit, die an Zylindern von 15 cm Ø und 30 cm Höhe ermittelt worden ist, mit dem Faktor 1,25 multipliziert werden darf, um die Beziehung zur Druckfestigkeit herzustellen, die für den Würfel von 20 cm Kantenlänge gilt. In Belgien hat sich Dutron mit den Beziehungen befaßt, wie sie bei Betonwürfeln gelten und sie formelmäßig zusammengefaßt. Die Formel läßt erkennen, daß der stärkste Einfluß von der Prüfkörperhöhe ausgeht, jedoch auch die Fläche eine gewisse Rolle spielt.

Durch Vergleichsuntersuchungen sollte geklärt werden, ob diese Formel im Prinzip auch für Mauerziegel gilt. Im Institut für Ziegelforschung wurden deshalb Vergleichsuntersuchungen durchgeführt.

Da großformatige Ziegel sich nur als Lochziegel herstellen lassen, kam als Erschwernis hinzu, daß die Druckfestigkeit durch das Lochbild mit beeinflußt wird. Um diesen Parameter möglichst auszuschalten, war es notwendig, nur solche Ziegel zu den Vergleichsprüfungen heranzuziehen, die ein ähnliches Lochbild ausweisen. Die Querschnitte reichen vom NF bis zum 20 DF-Ziegel. Die Abmessungen der Ziegel sind aus Tabelle (Bild 5) ersicht-

lich. Die Querschnittsgestaltungen zeigen die Bilder 3 und 4.

Die Ergebnisse der Festigkeitsprüfungen an den Ziegeln sind in Säulendiagrammen dargestellt. Um einen guten Überblick zu erhalten, wurden vereinfachend die Mittelwerte der Druckfestigkeit der einzelnen Prüferien auf den dazugehörigen Mittelwert der 2 DF-Ziegel bezogen und dieser Wert jeweils zu 100% gesetzt.

Die meisten Prüfergebnisse liegen vom Werk I vor und sind in Bild 6 dargestellt.

Hier wurde innerhalb eines Formates zusätzlich noch der Porosierungsgrad bzw. die Stegdicke variiert um festzustellen, ob diese Einflußgrößen von Bedeutung für den Festigkeitsabfall sind. Die Scherbenrohddichten reichen von 1,5 bis 1,9 kg/dm<sup>3</sup> und die Scherbendicken von 6–9 mm. Die Säulen für jedes Format sind nach fallender Scherbenrohddichte aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß weder die Scherbenrohddichte noch die Stegdicken einen signifikanten Unterschied im Festigkeitsabfall bewirken. Sie können daher bei der Festlegung von Formfaktoren außer Betracht bleiben.

Ein deutlicher Festigkeitsabfall ist mit 30 % bei den 10 DF-Ziegeln zu verzeichnen. Noch stärker tritt er bei den 20 DF-Ziegeln in Erscheinung, die etwa nur die Hälfte der Druckfestigkeit der 20 DF-Ziegel erreichen. Hier ist denkbar, daß sich die produktionstechnischen Schwierigkeiten bei diesem Format zusätzlich festigkeitsmindernd auswirken, so daß dieser Anteil bei der Festlegung von Formfaktoren unberücksichtigt bleiben müßte. Die nach den theoretischen Überlegungen und der Formel von Dutron zu erwartende Festigkeitssteigerung bei den NF-Ziegeln tritt nicht auf. In der Tendenz weisen die Vergleichsuntersuchungen mit dem Material des Werkes II ähnliche Ergebnisse auf, die es das Bild 7 zeigt. Hier sind beim 5 DF-Ziegel kaum Festigkeitsunterschiede gegenüber dem 2 DF-Ziegel festzustellen.

Der Festigkeitsabfall beim 20 DF-Ziegel tritt noch deutlicher in Erscheinung.

Im dritten Säulendiagramm gemäß Bild 8 ist das Werk V von besonderem Interesse, weil aus diesem Werk die Ziegel mit den versetzten Lochungen stammen.

Die Darstellung läßt erkennen, daß der Festigkeitsabfall am 12 DF-Ziegel und 16 DF-Ziegel sich in ähnlicher Größenordnung bewegt, wie bei Ziegeln mit nicht versetzten Lochungen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß bei der üblichen Druckprüfung die Prüfkörperhöhe von ausschlaggebender Bedeutung auf die ausgewiesene Festigkeit ist. Geht man vom 10 DF-Ziegel aus, so erreicht dieser im Mittel etwa 73 % der Festigkeit des 2 DF-Ziegels. Um diesen formatbedingten Fehler der Druckfestigkeitsprüfung auszugleichen, ist es gerechtfertigt, für 23,8 cm hohe Ziegel einen Formfaktor von 1,35 einzuführen, vorausgesetzt, daß die Bruchlast der Wände der erhöhten maßgebenden Steinfestigkeit entspricht.

## TRAGFÄHIGKEIT GEMAUERTER WÄNDE IN ABHÄNGIGKEIT DES FORMATES DER ZIEGEL

Die Einführung von Formfaktoren ist nur dann zulässig, wenn auch für die mit dem Formfaktor multiplizierten,



erhöhten maßgebenden Steinfestigkeiten die Soll-Bruchfestigkeiten der Wände erreicht werden. Das Ergebnis der Prüfung geschoßhoher Wände wird jedoch zusätzlich beeinflusst durch die Anzahl der Mörtelfugen pro Geschoßhöhe und die Festigkeitsstreuung der Steine. Die Verminderung der Zahl der Mörtelfugen wirkt sich im allgemeinen positiv aus, vorausgesetzt, daß die Streuung der Höhenmaße der Steine nicht zu groß ist.

Aufgrund von statistischen Betrachtungen ist mit der Verminderung der Steinzahl bei gleicher Wandfläche, d.h. bei Verwendung großformatiger Steine, die Wahrscheinlichkeit des Versagens der Wand durch einzelne Ziegel minderer Druckfestigkeit geringer als bei kleinformatigen. Für den erstrebten Nachweis ausreichender Wandfestigkeit ist es daher notwendig, die Nebeneinflüsse zu eliminieren. Dies geschieht dadurch, daß die Prüfung an sogenannten RILEM-Prüfkörpern erfolgt. Hierbei handelt es sich um Wandprüfkörper gemäß Bild 9, die von RILEM empfohlen werden und die dort angegebenen Bedingungen erfüllen müssen.

Will man einen Vergleich mit den Ergebnissen der Prüfung geschoßhoher Wände anstellen, so muß die abweichende Prüfkörpergestalt durch einen Gestaltsfaktor berücksichtigt werden. Er ist von den genannten Größen abhängig und wird hier vereinfachend mit 0,9 angesetzt d.h., die Ergebnisse der Prüfungen an RILEM-Prüfkörpern werden um 10% reduziert. Parallel hierzu wurden auch Prüfungen an geschoßhohen Wänden mit einer Schlankheit von  $h/d = 10$  durchgeführt. Es sind im allgemeinen jeweils 3 Wände pro Format und Werk geprüft worden. Obwohl, wie gesagt, die Einzelsteinfestigkeiten für den großformatigen Ziegel zum Teil nur halb so groß sind wie bei dem 2 DF-Ziegel, sind die Unterschiede in der Wandbruchfestigkeit gering.

Von besonderem Interesse ist aber auch, ob die getesteten Wände die Sollbruchfestigkeiten nach DIN 1053 (Bild 1) bezogen auf die Mörtelgruppe IIa und die nachgewiesene Steinfestigkeitsklasse erreichen. Im Säulendiagramm, Bild 10, wurde die nach DIN 1053 zu fordernde Bruchfestigkeit zu 100 % gesetzt. Die Säulen geben an, wie groß der Festigkeitsüberschuß jeweils ist. In dem gleichen Diagramm wurden auch die Ergebnisse der RILEM-Prüfkörper mit erfaßt und, wie bereits angegeben, um 10 % abgemindert.

Bei der Betrachtung des Säulendiagrammes ist die Feststellung zu machen, daß alle Wände aus 2 DF-Ziegeln die nach DIN 1053 erforderlichen Bruchfestigkeiten überschreiten, obwohl die verwendeten Ziegel einen Lochanteil von etwa 50 % aufweisen und der Querschnitt in erster Linie nach wärmetechnischen Gesichtspunkten gestaltet ist. Der Festigkeitsüberschuß reicht von 10–54 %. Deutlich besser schneiden die Wände aus großformatigen Ziegeln ab. So bewegen sich die Festigkeitsreserven bei den 10 DF-Ziegeln zwischen 41 und 78 %, bei den 20 DF Ziegeln steigen sie sogar von 47 bis 94 % an. Aber auch die Ziegel mit versetzter Lochung bewegen sich in der gleichen Größenordnung.

Der vorhandene Festigkeitsüberschuß kann in der Weise genutzt werden, daß die Steinbruchfestigkeitsergebnisse mit einem Formfaktor multipliziert werden. Geht man von

dem geringsten nachgewiesenen Festigkeitsüberschuß bei der 10 DF-Wand von 41 % aus und betrachtet einen Festigkeitsüberschuß von 15–20 % im Sinne einer erhöhten Sicherheit als erwünscht, so wäre ein Formfaktor von 1,5 gerechtfertigt. Er liegt noch deutlich über dem Wert, der aufgrund der vergleichenden Ziegelfestigkeitsprüfung sich zu etwa 1,35 ergeben hat.

#### FESTLEGUNG VON FORMFAKTOREN IN DIN 105 - MAUERZEIGEL-

Der für die Festlegung von Formfaktoren zuständige DIN-Ausschuß ist diesen Vorschlägen nicht in vollem Umfang gefolgt. Es ist folgende Regelung getroffen worden, die zusätzliche Sicherheitsreserven noch einschließt:

Die bei der Prüfung ermittelte Druckfestigkeit  $\beta_z$  ist bei Ziegeln mit der Höhe 17,5 cm mit dem Formfaktor  $f=1,1$  und bei Ziegeln mit der Höhe 23,8 cm mit  $f=1,2$  zu multiplizieren. Man erhält hierdurch die für die Einstufung in eine.

Druckfestigkeitsklasse maßgebende Druckfestigkeit  $\beta_{zm}$

Beispiel für 10 DF-Ziegel:  $\beta_z = 12,7 \text{ N/mm}^2$

$$\beta_{zm} = 1,2 \times 12,7 = 15,2 \text{ N/mm}^2$$

Bei Ziegeln mit Höhen  $< 11,3$  cm sind jeweils zwei Ziegel, bei Vollziegeln zwei Ziegelhälften zu einem Prüfkörper übereinander zu morteln. Die bei der Prüfung ermittelte Druckfestigkeit ist die maßgebende (Formfaktor  $f = 1,0$ ).

#### EINFLUSS DES LOCHBILDES AUF DIE BRUCHFESTIGKEIT VON WÄNDEN AUS HOCHLOCHZIEGELN

Bei den Vergleichsuntersuchungen zur Ermittlung des Formfaktors wurde von Ziegeln ähnlichen Lochbildes ausgegangen, um den Parameter des Lochbildes auszuschalten. Es leuchtet jedoch ein, daß die Querschnittsgestaltung der Lochziegel von Einfluß auf den Widerstand ist, den der Ziegel der zusätzlichen Querkraftbeanspruchung durch den Mörtel entgegenzusetzen. Sie kommt dadurch zustande, daß die Druckfestigkeit des Mörtels niedriger ist als die der Steine. Der Mörtel erfährt infolgedessen eine größere Zusammendrückung und damit auch Querverformung. Die Auswirkungen des Lochbildes sind um so größer, je stärker die Querverformung des Mörtels ist und wird sich daher bei Leichtmauermörtel besonders bemerkbar machen. Eine Wandfestigkeitssteigerung ist dann zu erzielen, wenn es gelingt, die Querverformung des Mörtels auf die des Ziegels abzustimmen oder die Widerstandsfähigkeit der Lochziegel gegenüber Querkraftbeanspruchung systematisch zu steigern.

Einen qualitativen Überblick bietet die in den TBE-Richtlinien für die Berechnung und Ausführung von Mauerwerk beschriebene Druckfestigkeitsprüfung unter erhöhtem Querkraftzug, bei der in einem Dreisteinprüfkörper die mittlere Mörtelfuge durch Gummipatten einer bestimmten Shore-Härte (A 30–35) ersetzt werden. Unter Druckbeanspruchung werden durch die Gummipatten die vom Mörtel ausgeübten zusätzlichen Querdehnkräfte multipliziert. Der Festigkeitsabfall gegenüber Ziegeln, die einer normalen Druckfestigkeitsprüfung unterzogen wur-

den, gibt einen Hinweis auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber Querkzugbeanspruchung. Nach den TBE-Richtlinien ist ein Hochlochziegel dann noch brauchbar, wenn der Festigkeitsabfall nicht größer als 75 % ist.

Diese Methode hat den Nachteil, daß in den Gummipplatten nur eine bestimmte Mörtelgüte simuliert werden kann. Außerdem gewährt das Ergebnis keinen direkten Einblick über die Schwachstellen eines Lochziegels. Dies zu erkennen ist aber wichtig, wenn eine systematische Verbesserung des Lochbildes vorgenommen werden soll. Es ist zwar möglich, durch systematische, recht aufwendige Reihenuntersuchungen Unterschiede im Verhalten von Ziegeln mit verschiedenen Lochbildern aufzudecken. Die Methode ist aber insofern unbefriedigend, als diese Ziegel jeweils gesondert hergestellt werden müssen. Einer rechnerischen Methode gebührt daher der Vorzug.

Vom Institut für Ziegelforschung wurde daher im Zusammenwirken mit den Ing.-Büro Bergmann und der Nord-West Ing.-Gesellschaft mbH in Hannover ein Rechenverfahren entwickelt, das es erlaubt, die Zugspannungen anzugeben, denen die verschiedenen Ziegelstege eines Lochziegels ausgesetzt sind, wenn sie einer Querkzugbeanspruchung, die vom Mörtel ausgeht, unterworfen werden.

Zu diesem Zweck wurde folgendes Rechenmodell verwendet: Die in einem Hochlochziegel senkrecht zu den Lagerflächen verlaufenden Stege eines rechteckig gelochten Querschnittes wurden als sich kreuzende Scheiben betrachtet. Greift man einen bestimmten senkrechten Schnitt dieses Hochlochziegelmodells heraus, so ergeben sich senkrechte Säulen, die durch eine Scheibe versteift werden. Im Sinne der Rechnungsvereinfachung werden nunmehr die versteifenden Scheiben durch horizontal verlaufende Riegel eines Fachwerks ersetzt. Der Rechenfehler hält sich in Grenzen, wenn auch die senkrecht verlaufenden biegesteifen Säulen in übereinanderstehende Pfosten eines Fachwerks aufgelöst und die Kreuzungsstellen mit den versteifenden Riegeln als Fachwerkknoten behandelt werden.

Das so gewonnene und im Bild 11 dargestellte Ersatzfachwerk ermöglicht es, die Verformungen zu berechnen, denen ein Hochlochziegelquerschnitt unterworfen ist, der durch den sich stärker dehnenden Mörtel beansprucht wird. Aus den Verformungen lassen sich dann die in den Riegeln auftretenden Spannungen ermitteln, wie sie im Bild 12 dargestellt sind.

Dieses Spannungsbild gibt einen Überblick, wo sich die Schwachstellen des Querschnittes befinden und welche Veränderungen im Lochbild bzw. in der Verstärkung der Stege vorgenommen werden müssen, um die Wider-

standsfähigkeit der Hochlochziegel gegenüber Querkzugbeanspruchung zu steigern. Z.Zt. laufen Arbeiten, um das Rechenmodell auch auf andere Querschnitte auszudehnen und die gegenseitige Beeinflussung der Ziegel und der Mörtelscheiben bei Druckbeanspruchung einzubeziehen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Mauerwerk auf großformatigen Hochlochziegeln weist gegenüber Mauerwerk aus kleinformatischen Hochlochziegeln aus der gleichen Produktion eine annähernd gleiche Wandbruchfestigkeit auf. Trotzdem darf nach den z.Zt. gültigen Normenbestimmungen nur eine geringere zulässige Spannung in Anspruch genommen werden, weil für die großformatigen Ziegel eine niedrigere Druckfestigkeit ausgewiesen wird. Diese Unterschiede sind durch die Mängel der bei Steinen üblichen Druckfestigkeitsprüfung bedingt. Durch Vergleichsuntersuchungen wurde nachgewiesen, daß es möglich ist, diesen Fehler durch Einführung von Formfaktoren auszugleichen. Als wichtigste Einflußgröße hat sich hierbei die Ziegelhöhe erwiesen. Bei doppelt so hohen Ziegeln ist es gerechtfertigt, die bei der Druckprüfung nachgewiesene Festigkeit um 20 % zu erhöhen und aus diesem für die Einstufung maßgebenden Wert die zulässige Mauerwerksspannung abzuleiten.

Bei Wänden aus Hochlochziegeln wird aber die Wandbruchfestigkeit nicht nur durch das Format, sondern auch durch das Lochbild der Ziegel beeinflusst. Der im allgemeinen sich stärker verformende Mörtel übt zusätzliche Querkzugkräfte auf die Ziegel aus. Die Tragfähigkeit des Mauerwerks läßt sich steigern durch Angleichung der Querverformung des Mörtels an die der Ziegel. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Widerstandsfähigkeit der Ziegel gegenüber Querkzugbeanspruchung systematisch zu erhöhen. Es wird über ein Rechenmodell berichtet, das es gestattet die in den Ziegelstegen auftretenden Zugspannungen zu ermitteln und so Hinweise zu erhalten, an welchen Stellen die Stege verstärkt oder Änderungen im Lochbild vorgenommen werden müssen.

## LITERATUR

1. *Empfehlungen für die Bemessung und Ausführung von Mauerwerk.* TBE-Empfehlungen, Fassung Oktober 1976, Zürich.
2. Schellbach, G.: *Bericht über Untersuchungen zur Festlegung von Formfaktoren für Mauerziegel nach DIN 105.* Sitzung ad-hoc-Arbeitskreis 10.1.79, Essen (bisher nicht veröffentlicht)
3. Schellbach, G. und S. Ulmeanu: *Querschnittsgestaltung von Lochziegeln in ihrer Bedeutung für das Verhalten unter mehrachsigen Spannungszuständen.* Ziegelindustrie (1976) Heft 2, S. 60, Heft 3, S. 96.

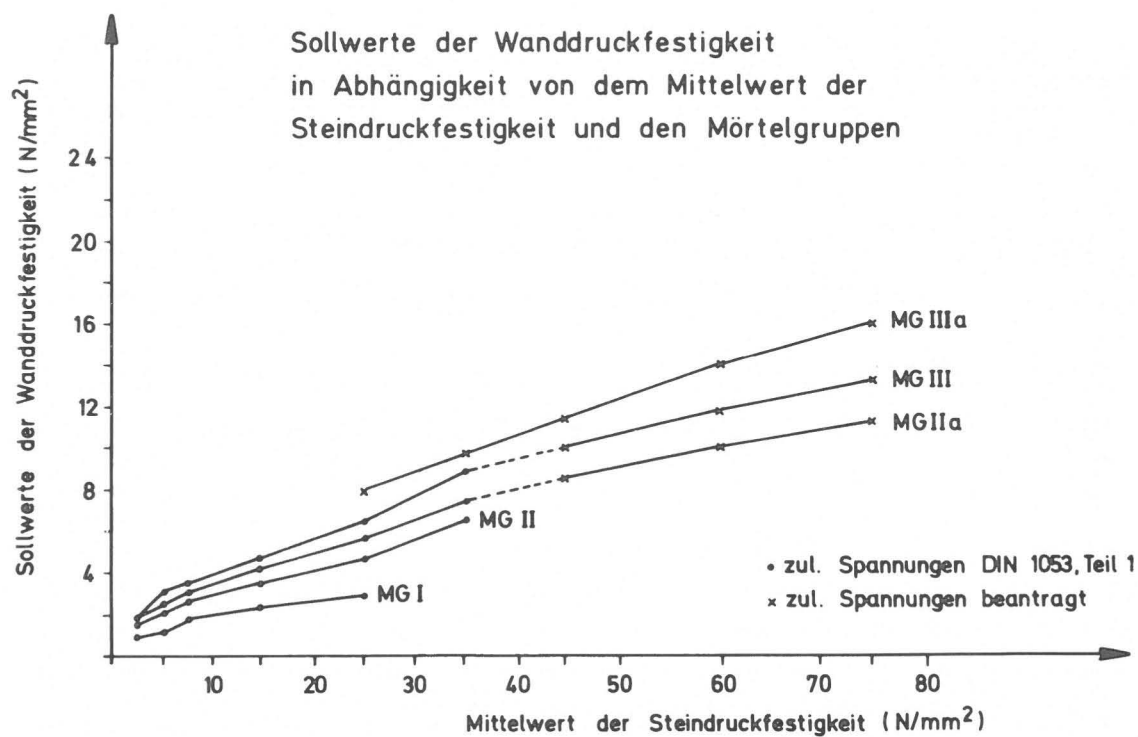


Bild 1.

Verhalten von spröden Körpern  
in Abhängigkeit der Randbedingungen

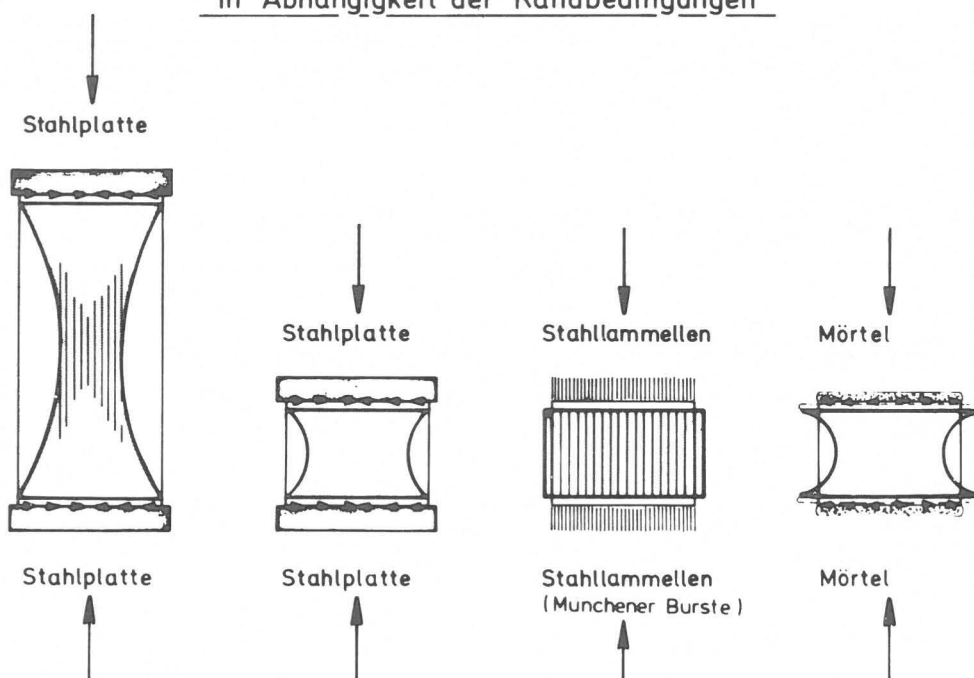
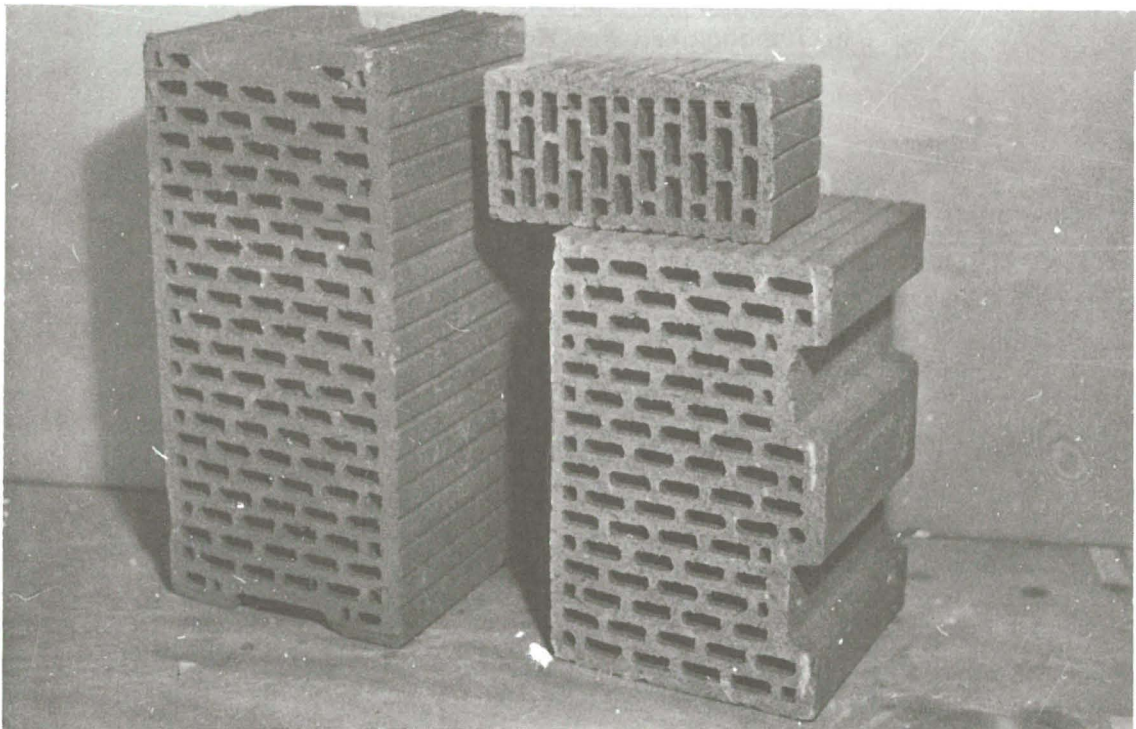


Bild 2.





*Bild 3.*



*Bild 4.*

### Formate der Ziegel für Vergleichsuntersuchungen

Format	Abmessungen		
	Länge mm	Breite mm	Höhe mm
NF	240	115	71
2 DF	240	115	113
3 DF	240	175	113
5 DF	240	300	113
10 DF	240	300	238
12 DF	240	365	238
16 DF	490	240	238
20 DF	490	300	238

Bild 5.

### Druckfestigkeit in % der Druckfestigkeit von 2DF Ziegeln Werk I

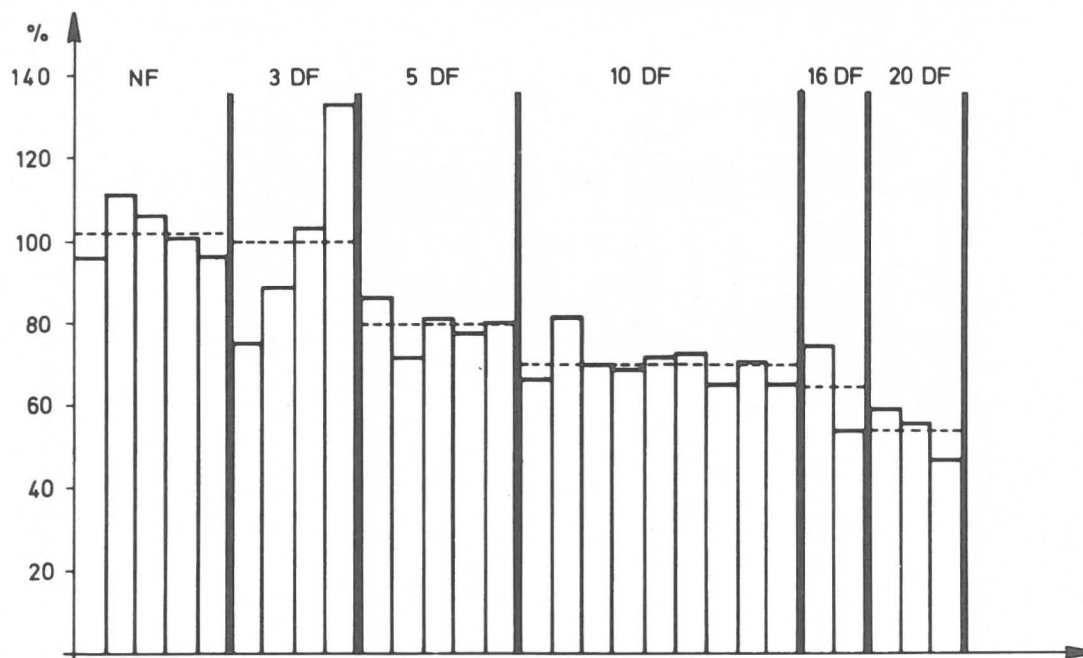


Bild 6.

Druckfestigkeit in % der Druckfestigkeit von 2 DF Ziegeln Werk II

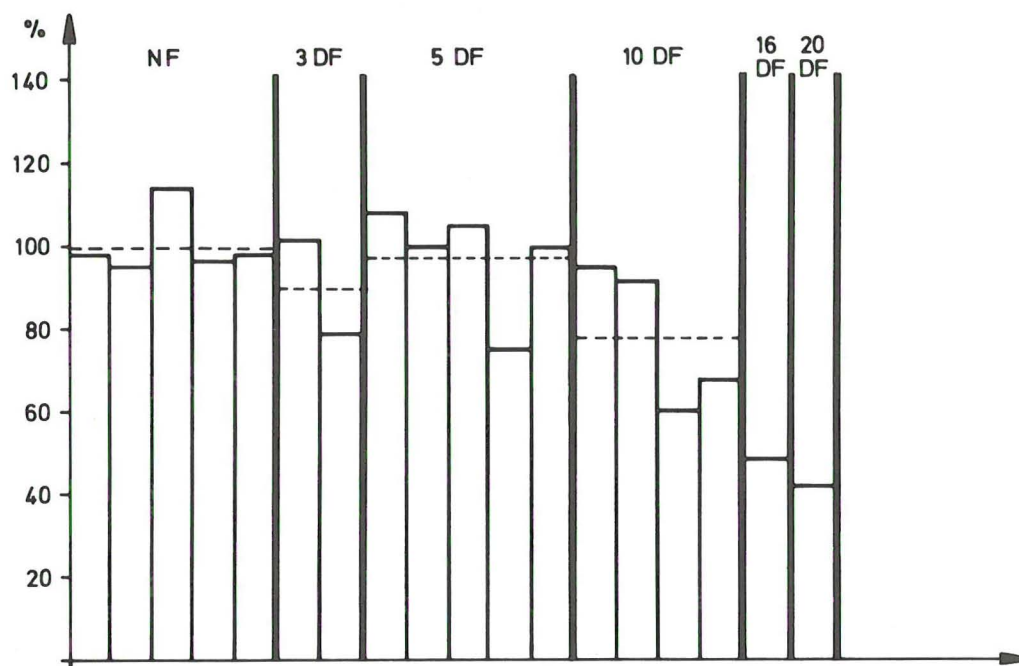


Bild 7.

Druckfestigkeit in % der Druckfestigkeit  
von 2 DF (3 DF) Ziegeln

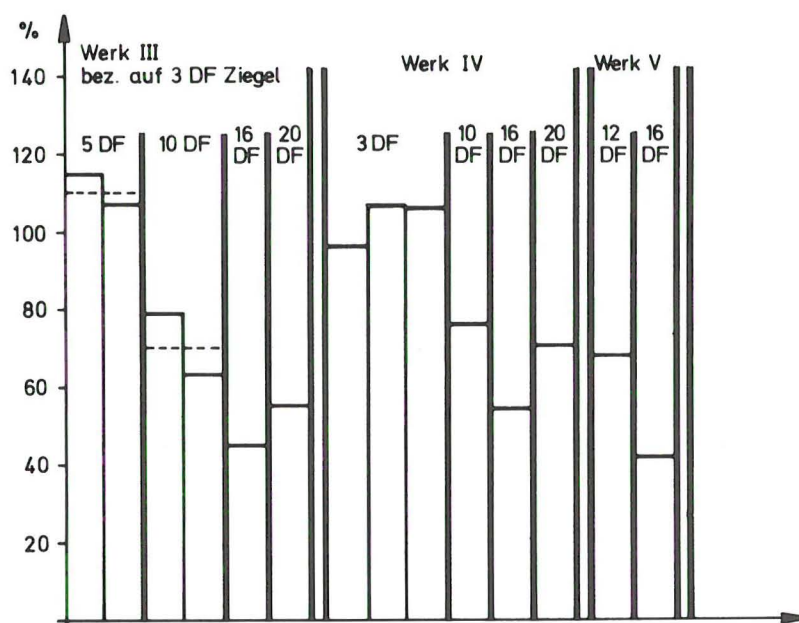
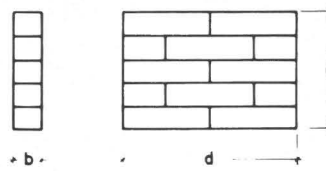


Bild 8.



## RILEM - Prüfkörper



Bedingungen für RILEM - Prüfkörper:

h = mindestens 5 Steinschichten (unabhängig vom Steinformat)

Schlankheit  $\lambda = 3 - 5$ 

d = 2 Steinlängen + Fuge

Bild 9.

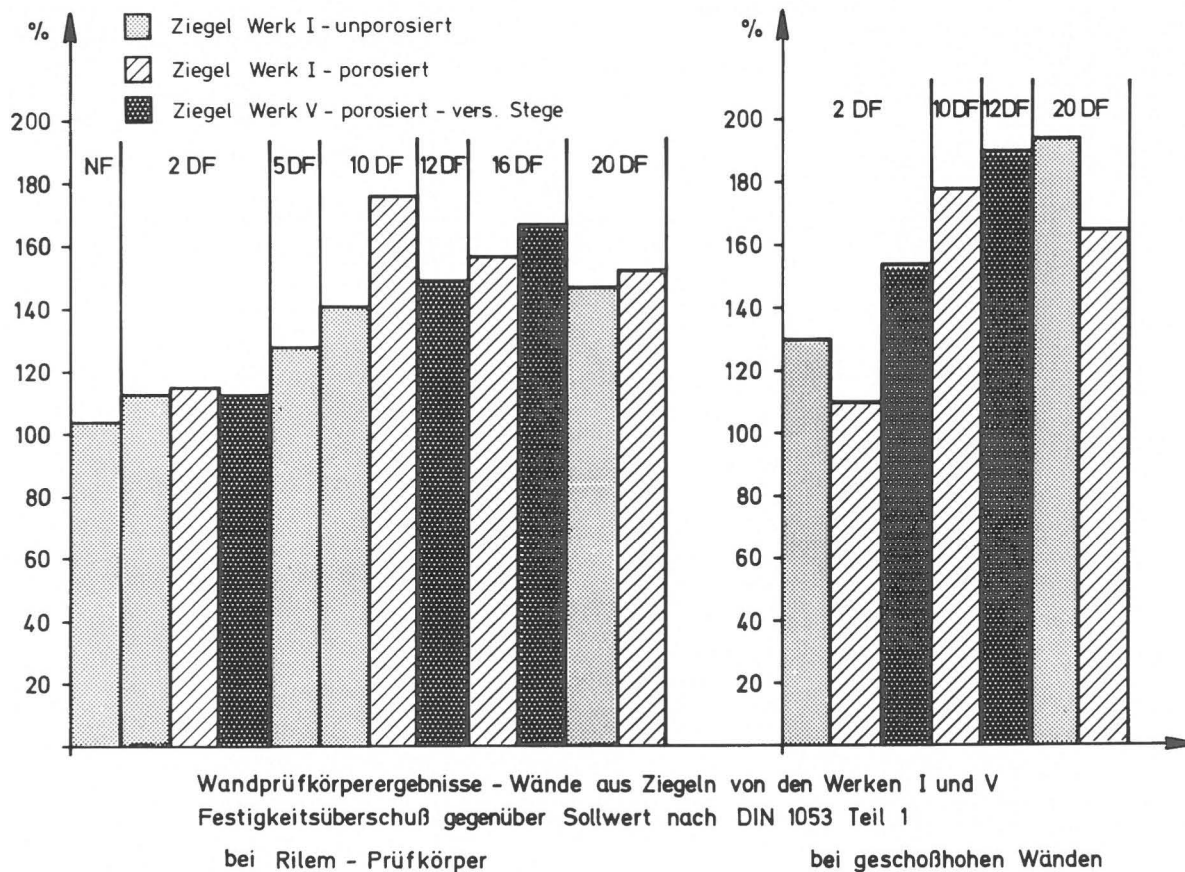
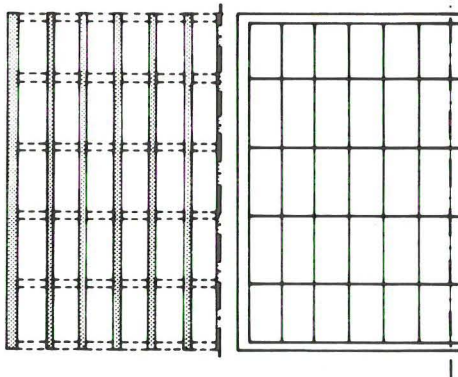
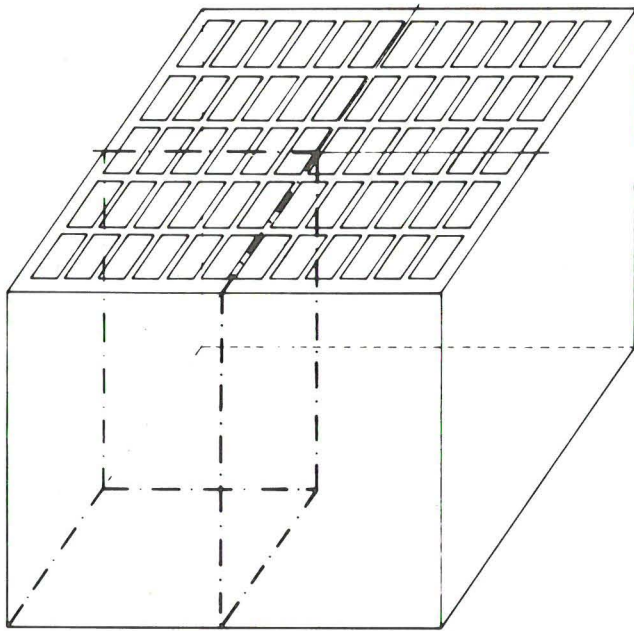


Bild 10.



Rechenmodell  
zur Ermittlung  
der Verformungen  
und Spannungen in  
den Stegen von  
Hochlochziegeln

Bild 11.

Spannungen in horizontalen  
Stäben eines Hochlochziegels  
infolge Mörteldehnung ( $\text{N/mm}^2$ )

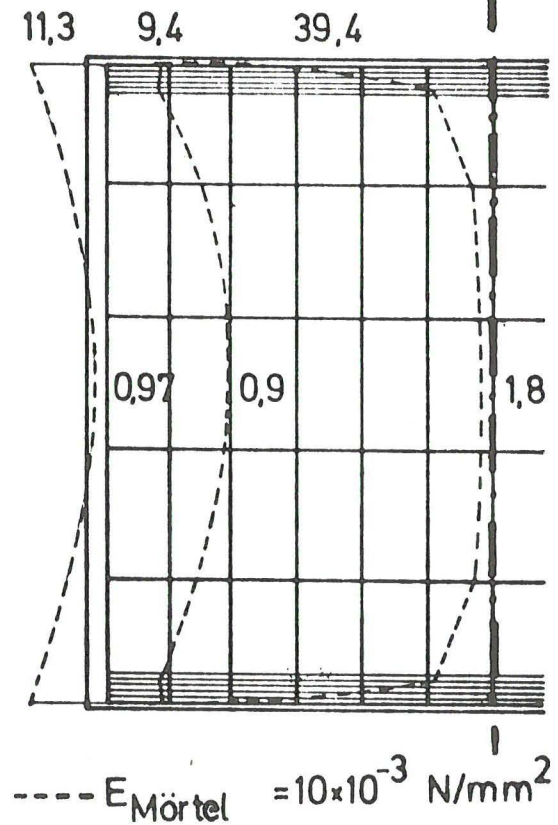


Bild 12.