

Zur Tragfähigkeit von Mauerwerk aus
Lochziegeln mit dünnen Stegen und
Leichtmauermörtel

T 1168

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Auf Anfrage und gegen Aufpreis können von diesen Vorlagen Farbkopien angefertigt werden.

© Copyright by IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Zustimmung des IRB Verlags.

IRB Verlag
Informationszentrum RAUM und BAU
der Fraunhofer-Gesellschaft
Nobelstraße 12, D-7000 Stuttgart 80
Telefon ☉ (0711) 9 70-25 00
Telefax (0711) 9 70-25 08
Telex 7 255 167 irb d

T 1168: Zur Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Lochziegeln mit
dünnen Stegen und Leichtmauermörtel.

ZUR TRAGFÄHIGKEIT VON MAUERWERK AUS LOCHZIEGELN
MIT DÜNNEN STEGEN UND LEICHTMAUERMÖRTEL

von

Prof. Dr.-Ing. W. Manns

Dipl.-Ing. K. Zeus

INHALTSVERZEICHNIS

Zur Tagfähigkeit von Mauerwerk aus Lochziegeln mit dünnen Stegen und Leichtmauermörtel

	Seite
1. Einleitung	1
2. Versuchsprogramm	2
3. Mauersteine	4
3.1. Zur Auswahl der Mauersteine	4
3.2. Kennwerte	6
4. Mauermörtel	8
4.1. Zur Auswahl der Mauermörtel	8
4.2. Ausgangsstoffe	9
4.3. Zusammensetzung und Frischmörteleigenschaften	11
4.4. Festmörteleigenschaften	11
4.5. Teilflächenbelastung der Mauermörtel durch verschieden "dicke Stege"	14
5. Mauerwerksversuche	16
5.1. Versuchsdurchführung	16
5.2. Versuchsergebnisse	19
5.2.1. Rißbildung	19
5.2.2. Bruchbild	21
5.2.3. Druckfestigkeit	21
5.2.4. Verformungsverhalten	25
6. Zulässige Spannungen und Verformungsmoduln	29
7. Zusammenfassung	31
8. Literaturverzeichnis	
Tafeln 1 - 22	
Bilder 1 - 16	

1. Einleitung

Zur Verringerung des Energieverbrauchs ist es zweckmäßig, bei der Herstellung von Mauerwerk Mauersteine und Mauermörtel mit möglichst kleiner Rohdichte zu verwenden.

Bei der Herstellung von Mauerziegeln wird eine kleine Steinroh-dichte unter anderen möglichen Maßnahmen dadurch erreicht, daß der Lochanteil der Steine auf etwa 50 % - 60 % vergrößert wird, so daß die Dicke der Stege aus Scherben hoher Rohdichte und hoher Festigkeit nur noch höchstens 5 mm beträgt. Bei Leichtmauermörteln werden Zuschläge mit geringer Rohdichte eingesetzt, wobei diese Zuschläge meist eine sehr geringe Kornfestigkeit aufweisen. Leichtmauermörtel ist deshalb örtlich stärker zusammen-drückbar als Normalmörtel und weist auch in der Regel eine hohe Querverformung auf.

Bei Druckbeanspruchung treten im Mauerwerk unter Leichtlochziegeln mit dünnen Stegen hohe "Streifenlasten" auf, die den Mörtel auf Druck und Abscheren beanspruchen und zu einem frühzeitigen Versagen des Zuschlag-Bindemittelgerüsts führen können. Bei Verwendung von Mörteln hoher Querverformung werden wiederum die Mauersteine stärker auf Querschlag beansprucht, wobei hierdurch bei kleinen Steinhöhen die Tragfähigkeit von Mauerwerk nennenswert beeinflußt werden kann.

Die Untersuchungen sollten klären, ob die Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Leichtmauermörtel durch die Verwendung von Leichtmauermörtel mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit durch die Verwendung von Lochsteinen mit dünnen Stegen oder durch die Verwendung von Steinen kleiner Höhe beeinträchtigt wird.

Das Ergebnis dieser Versuche sollte auch zur sicheren Beurteilung von Prüfprogrammen und Prüfergebnissen bei bauaufsichtlichen Zulassungen von Leichtmauermörteln und Steinen mit nicht der Norm

entsprechenden Lochquerschnitten bzw. Stegdicken beitragen.

Die im Otto-Graf-Institut, Stuttgart, durchgeführten Untersuchungen wurden vom Institut für Bautechnik, Berlin, finanziert.

2. Versuchsprogramm

Der Einfluß kleiner Stegdicken und Steinhöhen von Leichthochlochziegeln und der Einfluß von Leichtmauermörteln mit Zuschlägen unterschiedlicher Kornfestigkeit auf die Tragfähigkeit von Mauerwerk wurde im Vergleich zu Mauerwerk aus Hochlochziegeln und Normalmörtel (Mauermörtel mit Natursand) untersucht.

Die in die Untersuchungen einbezogenen Mauersteine, deren Kurzbezeichnung und die angestrebten Eigenschaften sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Von den Mauersteinen wurden die Stegdicken, der Lochanteil, die Steinrohddichte, die Scherbenrohddichte, die spezifische Saugfähigkeit und die Druckfestigkeit bestimmt.

Die Druckfestigkeit der Leichthochlochziegel und der Hochlochziegel des Formats 16 DF wurde nicht nur nach DIN 105 [1] an Steinen mit abgeglichenen Druckflächen, sondern auch an nicht abgeglichenen, zwischen Gummiplatten liegenden Steinen ermittelt. Bei dieser Prüfung wird die Querdehnung der Steine bis zum Bruch erfaßt. Außerdem wurde bei den Hochlochziegeln des Formats DF die Druckfestigkeit nach DIN 105 am ganzen Stein und an Prüfkörpern, bestehend aus 2 aufeinandergemauerten Steinen, untersucht.

Eine allgemeine Beschreibung und die Kurzbezeichnung der verwendeten Mörtel ist in Tafel 2 zusammengestellt.

Es wurden 2 Leichtmauermörtel mit Zuschlag hoher Kornfestigkeit (Blähton) nach DIN 4226 Teil 2 [2] der Festigkeitsklasse MG II und MG II a sowie je ein zugelassener Leichtmauermörtel mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit (Perlit) und mit Zuschlag ohne bedeutende Kornfestigkeit (Polystyrol-Kugeln) der Festigkeitsklasse MG II a verwendet. Die in der bauaufsichtlichen Zulassung für den letztgenannten Leichtmauermörtel angegebene Festigkeitsklasse MG III wurde bei mehreren Wiederholungsversuchen nicht erreicht.

Außerdem wurden Normalmörtel nach DIN 1053 Teil 1 [3] der Festigkeitsklassen MG II, MG II a und MG III in die Untersuchungen einbezogen.

Der Leichtmauermörtel Lg-MG II a und die Normalmörtel N-MG II, N-MG II a und N-MG III wurden auch bei anderen Forschungsvorhaben eingesetzt [4, 5].

An den Mauermörteln wurde die Konsistenz, die Rohdichte in frischem und erhärtetem Zustand sowie die Druck- und Biegefestigkeit festgestellt. Außerdem wurde das Verformungsverhalten der Mörtel ermittelt.

Der Einfluß einer Teilflächenbelastung durch verschieden dicke Stege auf die Tragfähigkeit der Leichtmauermörtel wurde durch Belastungsversuche mit rechteckigen, rd. 11 cm langen Stempeln unterschiedlicher Breite zwischen 3 und 20 mm untersucht.

Die Mauerwerksversuche wurden zum größten Teil an Pfeilern (49 cm x 24 cm x 125 cm) durchgeführt. Diese Prüfkörper haben, im Gegensatz zu dem sogenannten "Rilem"-Körper (h = 5 Schichten), den Vorteil, daß die Prüfkörpergröße von der Steinhöhe unabhängig ist, und der Einfluß des Mauerverbandes und der der Lagerfugenanzahl, insbesondere bei kleinformatigen Steinen, ausreichend erfaßt wird.

Außerdem wurde von einigen Stein-Mörtel-Kombinationen das Tragverhalten an geschoßhohen Wänden (124 cm x 24 cm x 250 cm) untersucht, um die an den Pfeilern erhaltenen Ergebnisse sicher beurteilen bzw. auf die maßgebende Wandfestigkeit umrechnen zu können.

Ein Überblick über die durchgeführten Mauerwerks-Versuche gibt Tafel 3.

Die Pfeiler und Wände wurden mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit bis zum Bruch belastet und hierbei die Zusammendrückung und Querdehnung der Prüfkörper aufgenommen. Außerdem wurde die Last bei Auftreten des ersten Bruchgeräusches und die Last bei Auftreten des ersten Risses festgestellt und die Last bei kleinstem Prüfkörpervolumen sowie der Verformungsmodul bei $1/3$ der Höchstlast berechnet.

3. Mauersteine

3.1. Zur Auswahl der Mauersteine

Während das Tragverhalten von Wänden aus Leichtmauermörteln und Mauersteinen aus Leicht- oder Gasbeton bis zur Festigkeitsklasse 6 ausreichend untersucht wurde, liegen zum Tragverhalten von Wänden aus Leichtmauermörteln und Mauerziegeln der Festigkeitsklassen 6 und 12, vor allem bei hohem Lochanteil nur wenige Versuchswerte vor [6 bis 9].

Verbesserungen an der Rohmasse, bei der Fertigung und in der Qualitätskontrolle ermöglichen den Mauerziegelherstellern erst in letzter Zeit, Steine mit geringer Rohdichte und hohem Wärmedurchlaßwiderstand bei ausreichender Steinfestigkeit über die Erhöhung des Lochanteils herzustellen. Bei hoher Scherbenrohichte und weitgehend rißfreien Stegen können bei diesen sogenannten Leicht-

hochlochziegeln mit einer Steinrohddichte $\leq 1,0 \text{ kg/dm}^3$ Stegdicken von 5 mm zur Erlangung der Festigkeitsklassen 6 und 12 ausreichend sein. Werden jedoch solche Leichthochlochziegel mit Leichtmauermörtel vermauert, so könnten unter den dünnen Stegen größere Formänderungen oder sogar ein frühzeitiges Versagen des Leichtzuschlag-Bindemittelgerüsts auftreten.

Beim Versetzen der meist großformatigen Steine im Läuferverband liegen in der Regel die Stege übereinander, so daß der dazwischenliegende Lagerfugenmörtel bei dicken Stegen auf Druck, bei dünnen Stegen mehr auf Spaltzug beansprucht wird.

Für die Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln dürfte somit nicht nur die Steinfestigkeit und die Mörtelfestigkeit maßgebend sein, sondern zusätzlich auch ein Kennwert des Steines, der die vom Lochanteil abhängige Stegdicke beschreibt.

Zur Bestimmung dieses Einflusses war es erforderlich, Mauersteine gleichen Formats mit möglichst dünnen Stegen und Steine mit üblich dicken Stegen, bei nur mäßig voneinander abweichenden Steinfestigkeiten, auszuwählen. Nach umfangreicher Auswertung vorliegender Überwachungsberichte wurden ein Leichthochlochziegel und ein Hochlochziegel des Formats 16 DF mit rd. 60 bzw. 40 % Lochanteil und einem für diese Mauersteine in der Praxis geringen Druckfestigkeitsunterschied von rd. 7 N/mm^2 ausgewählt.

Im allgemeinen nimmt mit kleiner werdender Steinhöhe bei gleicher Stein- und Mörtelfestigkeit die Tragfähigkeit von Mauerwerk ab, wobei dieser Einfluß bei Verwendung von Mauermörteln hoher Verformbarkeit verstärkt auftreten kann.

Diesem Einfluß wurde durch das Einbeziehen von Mauersteinen des Formats 16 DF, 2 DF und DF weitgehend gleicher Festigkeit nachge-

gangen. Die Mauersteine des Formats DF waren durch Hälften von Mauersteinen des Formats 2 DF entstanden.

3.2. Kennwerte

Die ermittelten Werte der kennzeichnenden Eigenschaften der Steine sind in Tafel 4 zusammengestellt. Hiernach wurden die 4 Steinsorten bezeichnet mit

LHLz 6-0,8-2 DF	(LHLz-2 DF)
LHLz 6-0,7-16 DF	(LHLz-16 DF)
HLz 12-1,2-DF	(HLz-DF)
HLz 12-1,0-16 DF	(HLz-16 DF)

Die Lochanordnung der Mauerziegel ist aus Bild 1 ersichtlich. Der Lochanteil der Leichtlochziegel mit 49 und 59 % lag deutlich über dem der Hochlochziegel mit 35 und 42 %. Dementsprechend waren die Innenstege der Leichtlochziegel mit 6 und 6,5 mm um rd. 3 mm dünner ausgebildet als die der Hochlochziegel. Aufgrund des hohen Lochanteils entsprach der LHLz-16 DF-Stein nicht der DIN 105 Teil 2 [1].

Die Saugfähigkeit der Mauerziegel wurde nach dem Verfahren nach Haller bestimmt [10]. Mit einer mittleren Saugfähigkeit von 25 bis 42 g/dm² min lag diese bei allen Steinen außerhalb des als günstig für die Haftung von Mörtel festgestellten Bereichs von etwa 5 bis 20 g/dm² min [10].

Die Steinrohddichte der getrockneten Ziegel betrug bei den Leichtlochziegeln 0,65 und 0,73 kg/dm³ sowie bei den Hochlochziegeln 0,92 und 1,08 kg/dm³.

Die Scherbenrohddichte war bei den Leichtlochziegeln mit 1,71 und 1,68 kg/dm³ erwartungsgemäß größer als die Scherbenrohddichte der Hochlochziegel mit 1,43 und 1,56 kg/dm³.

Die Druckfestigkeit der Mauersteine wurde an je 10 Proben ermittelt. Die Druckfestigkeit der Leichtlochziegel betrug im Mittel rd. 13 N/mm^2 (2 DF) und 11 N/mm^2 (16 DF), die der Hochlochziegel 18 N/mm^2 (DF) und 17 N/mm^2 (16 DF). Der Variationskoeffizient betrug bei den Leichtlochziegeln im Mittel 6 und 7 %, bei den Hochlochziegeln 12 und 16 %. Damit war die Streuung der Festigkeitswerte bei den Leichtlochziegeln relativ gering und läßt auf eine gleichmäßige Ausführung dieser Mauersteine schließen. Nach Augenschein beurteilt, wiesen die Leichtlochziegel weniger Risse in den Stegen auf als die Hochlochziegel.

Die Druckfestigkeit der Hochlochziegel HLz-DF, die durch Zersägen von Hochlochziegeln des Formats 2 DF gewonnen worden waren, wurde sowohl am ganzen Stein ermittelt, als auch an Prüfkörpern aus gehälfteten und aufeinandergemauerten Steinen.

Die Prüfergebnisse sind in Tafel 5 zusammengefaßt. Die Druckfestigkeit des Hochlochziegels HLz-2 DF erhöhte sich erwartungsgemäß mit abnehmender Prüfkörperhöhe, und zwar von 15,1 auf $18,1 \text{ N/mm}^2$, also um das 1,2fache bei halber Steinhöhe.

Die Druckfestigkeit des Probekörpers aus dem gehälfteten und aufeinandergemauerten Hochlochziegel HLz-DF war um das 1,1fache größer als die Druckfestigkeit des Hochlochziegels HLz-2 DF, geprüft am ganzen Stein. Vermutlich hat der Fugenmörtel hoher Festigkeit im mittleren Bereich des erstgenannten Prüfkörpers zur Erhöhung der Querkzugfestigkeit beigetragen.

Um den Einfluß der Verformbarkeit des Lagerfugenmörtels auf die Querkzugspannung in den Mauersteinen bei Druckbelastung aufzuzeigen, wurde bei den Hochlochziegeln und den Leichtlochziegeln des Formats 16 DF die Reibung zwischen der Druckplatte der Prüfmaschine und den Mauersteinen verändert. Hierzu

wurden je 10 mit Zementmörtel abgegliche Mauersteine und je 10 nicht abgegliche Mauersteine mit zwischengelegter Hartgummiplatte auf Druckfestigkeit geprüft.

Die Querverformung der Mauersteine wurde an den beiden Längsflächen über je eine Meßstrecke von 200 mm mit induktiven Wegaufnehmern gemessen.

Die Druckfestigkeit und die Bruchquerverformung sind in Tafel 6 angegeben. Die mittleren Spannungs-Querverformungslinien der Mauersteine sind in Bild 2 aufgetragen. Durch die Verringerung der Quersugbehinderung im Lasteinleitungsbereich durch zwischengelegte Hartgummiplatten verringerte sich die Steindruckfestigkeit auf einen Bruchteil ($1/3$ bis $1/4$) der mit Zementmörtel abgeglichenen Steine. Die Spannungs-Querverformungslinie der zwischen Gummiplatten geprüften Steine verlief weniger steil; die Querverformung beim Bruch der zwischen Hartgummiplatten geprüften Steine betrug etwa das 2fache der mit Zementmörtel abgeglichenen Steine.

Durch die Verringerung der Quersugbehinderung bei der Steinprüfung, z. B. nach oben beschriebenem Verfahren, könnten für den Vergleich von zugelassenen Steinen mit dünnen Stegen unterschiedlicher Hersteller Hinweise auf die Rissigkeit der Mauersteine und deren Tragverhalten in der Wand geschaffen werden.

4. Mauermörtel

4.1. Zur Auswahl der Mauermörtel

Die Festigkeit und das Verformungsverhalten der Leichtmauermörtel wird in starkem Maße von der Festigkeit und dem Verformungsverhalten der zur Herstellung des Leichtmauermörtels ver-

wendeten Zuschläge beeinflußt.

Während die Tragfähigkeit von Mauerwerk, das unter Verwendung von Leichtmauermörtel mit porigem Zuschlag nach DIN 4226 [2], wie z. B. Bims, Blähton oder Blähschiefer, hergestellt wird, in DIN 1053 geregelt ist, bedarf Leichtmauermörtel mit Zuschlag geringer oder ohne bedeutende Kornfestigkeit einer Zulassung, in der die zulässigen Spannungen in Abhängigkeit von der Mauersteinart geregelt sind. Hierbei wird meist zwischen Steinen mit geringem Lochanteil bzw. großflächigen Auflagerflächen, wie z. B. Vollsteinen und Hohlblocksteinen aus Leichtbeton, und Steinen mit hohem Lochanteil und dünnen Stegen, wie z. B. Leichthochlochziegeln, unterschieden. In Tafel 7 sind für die in die Untersuchungen einbezogenen Leichtmauermörtel die Grundwerte der zulässigen Druckspannungen in Abhängigkeit von Steinart und Festigkeitsklasse angegeben.

4.2. Ausgangsstoffe

Der Leichtsand (Blähton) zur Herstellung des Leichtmauermörtels Lh-MG II wurde vom Hersteller des Leichtmauermörtels Lh-MG II a bezogen. Der Leichtmauermörtel Lh-MG II wurde im Institut zusammengesetzt, die Leichtmauermörtel Lh-MG II a, Lg-MG II a und Lo-MG II a wurden als Trockenmörtel in Säcken geliefert.

Die Schüttdichte der Leichtmauermörtel wurde durch loses Einfüllen in ein geeichtes 5-Liter-Gefäß ermittelt und betrug im Mittel

Lh-MG II a	0,81 kg/dm ³
Lg-MG II a	0,47 kg/dm ³
Lo-MG II a	0,71 kg/dm ³

Zur Herstellung der Normalmörtel N-MG II, N-MG II a und N-MG III wurde Portlandzement Z 35 F, Weißkalkhydrat und Natursand aus dem Raume Hannover verwendet.

Bei dem Leichtmauermörtel Lh-MG II wurde der Natursand durch Leichtsand (Blähton) ersetzt.

Nachstehend ist die Kornzusammensetzung des Natursandes N und des Leichtsand Lh angegeben:

Sand	Anteile in Gew.-% bis (Siebweite in mm)				
	0,25	0,5	1	2	4
Natursand N	11	51	79	87	97
Leichtsand Lh	33	46	60	75	99

Die Wasseranspruchzahl der Sande wurde nach [11] bestimmt. Liegt die Wasseranspruchzahl eines Sandes (Wasseranspruch einer Mörtelmischung aus 250 g Zement Z 35 F und 1000 g getrocknetem Sand bei einem Ausbreitmaß $19,0 \pm 0,5$ cm in Gew.-% des Sandes) unter 30, so ist dieser Sand zur Herstellung von Mauermörtel geeignet.

Die bei 3 Versuchen ermittelte Wasseranspruchzahl des Natursandes betrug 25, die des Leichtsand 29.

Für das gewichtsmäßige Zumessen der Ausgangsstoffe nach dem Raumteilmischungsverhältnis wurde deren Schüttdichte bestimmt:

	Portland- zement	Weißkalk- hydrat
Schüttdichte, kg/dm^3 (Einlaufgerät nach DIN 1060)	1,16	0,52
	Natur- sand	Leicht- sand
Schüttdichte, kg/dm^3 (nach losem Einfüllen in ein 5-Liter-Gefäß)	1,14	0,71

4.3. Zusammensetzung und Frischmörteleigenschaften

Bei den Normalmörteln und dem Leichtmauermörtel Lh-MG II, zusammengesetzt nach den in DIN 1053 Teil 1 empfohlenen Mischungsverhältnissen, wurden bei Vorversuchen die angestrebten Festigkeiten von $2,5 \text{ N/mm}^2$, 5 N/mm^2 und 10 N/mm^2 im Alter von 28 Tagen um das 1,3- (MG III) bis 1,7fache (MG II a) überschritten. Um Zusatzeinflüsse zu vermeiden, die beim Prüfen der Wandprüfkörper jeweils nach dem Erreichen der angestrebten Festigkeit und damit in unterschiedlichem Alter der Proben entstehen, wurde zur Verringerung der Mörtelfestigkeit der Sandanteil der Mischungen erhöht.

Die bei den Hauptversuchen verwendeten Mischungsverhältnisse sind in Tafel 8 zusammengestellt. Außerdem sind das Wasser-Trockenmörtel (Sackinhalt)-Verhältnis und die Frischmörtel-Eigenschaften angegeben.

Die Herstellung der Mörtel erfolgte in einem Zwangsmischer; die Mischzeit betrug einheitlich 4 min.

4.4. Festmörteleigenschaften

Weitgehend von jeder Mischung, die zur Herstellung der Pfeiler und Wände oder der übrigen Versuchskörper verwendet wurde, wurden nach der Bestimmung der Frischmörteleigenschaften 3 Prismen hergestellt und im Alter von 28 Tagen die Rohdichte, die Biegezug- und Druckfestigkeit und anschließend die Trockenrohddichte ermittelt. Die Grenz- und Mittelwerte sowie die anhand der Serienfestigkeiten errechneten Variationskoeffizienten sind in Tafel 9 zusammengestellt.

Der Leichtmauermörtel Lo erfüllte nicht die Anforderungen an die vorgegebene Mörtelgruppe MG III und wurde in die Gruppe II a eingestuft; die übrigen Leichtmauermörtel erfüllten die Anforderungen der angegebenen Mörtelgruppe.

Bei den Leichtmauermörteln Lh-MG II a und Lg-MG II a weisen die Variationskoeffizienten, die 10 % übersteigen, auf eine sehr unter-

schiedliche Trockenmörtel- bzw. Sackzusammensetzung hin.

Die Trockenrohddichten der Leichtmauermörtel von $0,69 \text{ kg/dm}^3$ (Lg-MG II a) bis $0,97$ (Lh-MG II a) lagen unter der für Leichtmauermörtel angestrebten Trockenrohddichte von $< 1,0 \text{ kg/dm}^3$.

Das Verformungsverhalten der Mörtel wurde an je 3 Zylindern von 10 cm Durchmesser und 30 cm Höhe untersucht, die mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit von $0,1 \text{ mm/m}$ je min bis zum Bruch belastet wurde. Die Verformungen in Längsrichtung der Probekörper - parallel zur Belastungsrichtung - wurden mit 3 in den Drittelpunkten montierten Induktivgebern, die Verformungen in Querrichtung - senkrecht zur Belastungsrichtung - wurden durch 2 Dehnmeßstreifen mit 60 mm Meßgitterlänge gemessen.

Aus den Last-Verformungs-Linien wurden die Spannungsverformungs-Linien ermittelt und außerdem aus der Längsverformung ϵ_1 , der Querverformung ϵ_q und, falls erforderlich, aus der jeweils zugehörigen Spannung folgende Verformungskennwerte ermittelt:

$$\text{Längsverformungsmodul:} \quad V_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_1}$$

$$\text{Querverformungsmodul:} \quad V_q = \frac{\sigma}{\epsilon_q}$$

$$\text{Querdehnzahl:} \quad \mu = \frac{\epsilon_q}{\epsilon_1}$$

$$\text{Volumenänderung:} \quad V = \epsilon_1 + 2 \epsilon_q$$

Die mittleren Spannungsverformungslinien der Mörtel zeigt Bild 3.

Die Zylinderfestigkeiten, die Festigkeiten der aus derselben Mischung hergestellten Prismen und die bei $1/3$ des Zylinderfestigkeit ermittelten Verformungskennwerte sind in Tafel 10 angegeben.

Die Zylinderfestigkeit betrug das 0,82- bis 0,97fache der Prismenfestigkeit.

Die Spannungs-Verformungslinien der Normalmörtel der Mörtelgruppe MG II, MG II a und MG III verliefen stets steiler als die der Leichtmauermörtel zugehöriger Festigkeit, wobei der Leichtmauermörtel Lg-MG II a mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit schon im Bereich bis $1/3$ der Höchstfestigkeit das ungünstigste Verformungsverhalten aufwies. Der Einfluß des Zuschlags ohne bedeutende Kornfestigkeit wirkt sich im Vergleich zu den Leichtmauermörteln mit Zuschlag nach DIN 4226 nicht nennenswert ungünstiger aus. Vermutlich weist dieser Leichtmauermörtel Lo-MG II a ein Zementsteingerüst geringer Verformbarkeit auf.

Die bei $1/3$ der Höchstfestigkeit ermittelten Verformungsmoduln sind in Bild 4 den Zylinderfestigkeiten und den Rohdichten der Mörtel gegenübergestellt. Während hiernach bei den Leichtmauermörteln zwischen Festigkeit und Verformungsverhalten keine Abhängigkeit feststellbar ist, ist diese zwischen Rohdichte und Längs- bzw. Querverformungsmodul erkennbar. Mit steigender Rohdichte nehmen die Verformungsmoduln der Leichtmauermörtel zu. Bei den Normalmörteln steigen die Verformungsmoduln mit zunehmender Druckfestigkeit deutlich an, wobei sich die Rohdichte nur geringfügig vergrößert.

Während die bei $1/3$ der Zylinderfestigkeit ermittelte Volumenänderung Unterschiede im Verformungsverhalten der Mörtel deutlich aufzeigt, erscheinen die ebenfalls in diesem Lastbereich ermittelten Querdehnzahlen zwischen 0,11 und 0,13 für eine spätere Wertung nicht verwendbar zu sein, siehe Tafel 10.

Die Verformungsmoduln und die Volumenänderung von Mörteln der Gruppe MG-II und MG-II a werden durch die Verwendung von Normal- oder Leichtzuschlag, wie in folgender Zusammenstellung angegeben, verändert.

Kurzbezeichnung der Mörtel	Verhältnismerte			Volumen- änderung
	Druckfestigkeit ermittelt an Prismen	Längs- verformungsmodul	Quer- verformungsmodul	
N-MG II	1,0	1,0	1,0	1,0
Lh-MG II	1,05	0,88	0,58	1,37
N-MG II a	1,0	1,0	1,0	1,0
Lh-MG II a	0,92	0,41	0,42	1,37
Lg-MG II a	0,79	0,18	0,16	3,69
Lo-MG II a	0,97	0,39	0,36	1,69

Die hohe Verformbarkeit der Leichtmauermörtel gegenüber den Normalmörteln gleicher Festigkeitsklasse läßt eine deutliche Veränderung des Tragverhaltens von Mauerwerk erwarten. Die meist geringe Übereinstimmung der Verformungskennwerte mit den in [4] angegebenen Werten, ist vor allem in der unterschiedlichen Festigkeit der Vergleichsmörtel, in geringem Maße auch in der unterschiedlichen Probekörperform und Meßmethode zu suchen.

4.5. Teilflächenbelastung der Mauermörtel durch verschieden "dicke Stege"

Das Verhalten von Leichtmauermörtel bei Belastung durch verschieden "dicke Stege" wurde an den Leichtmauermörteln Lh-MG II, Lh-MG II a, Lg-MG II a und Lo-MG II a im Vergleich zu den Normalmörteln N-MG II und N-MG II a untersucht.

Hierzu wurden auf Vollziegeln Mz 20 die zu untersuchenden Mörtel rd. 15 mm dick verteilt und mit einem dünnen Löschpapier abgedeckt; darauf wurde jeweils ein weiterer Vollziegel gelegt und durch Anklopfen dieses Steins so viel Mörtel aus der Lagerfuge gedrückt, bis diese einheitlich 12 mm dick war. Mit jedem der zu untersuchenden Mörtel wurden 5 Prüfkörper hergestellt. Die Prüfkörper lagerten 2 Tage unter feuchten Tüchern, anschließend bis

zur Prüfung im Alter von rd. 28 Tagen im Klimaraum bei 20° C und 65 % relativer Luftfeuchte.

Nach dem Abnehmen des obenauf liegenden Vollziegels und nach dem Abziehen des Löschpapiers wurden die Mörtel mit 3, 5, 8, 12 und 20 mm breiten, 12 cm langen und 3 mm hohen Stegen (Stahlschneiden) bis zum vollständigen Eindringen des 3 mm hohen Steges in den Lagerfugenmörtel oder bis zum Abscheren des Mörtels von der Lagerfläche des unteren Vollziegels belastet. Die hierbei ermittelten Druckkräfte und das Bruchbild dieser Teilflächenbelastungsversuche sind in Tafel 11 zusammengestellt. Aus diesen Druckkräften und den Stegflächen (Schneidenbreite x Steinbreite) wurden die Stegdruckspannungen ermittelt und in Abhängigkeit von der Stegbreite und der Mörtelart in Bild 5 aufgetragen.

Bei den Normalmörteln N-MG II und N-MG II a sowie bei den Leichtmauermörteln Lh-MG II und Lh-MG II a mit porigen Zuschlägen nach DIN 4226 mit relativ hoher Kornfestigkeit versagten die Prüfkörper unter Teilflächenbelastung, unabhängig von der Dicke der Stege, durch Abscheren der Lagerfugenmörtel von der Lagerfläche des Mauersteins. Vorab drückten sich die 3, 5 und 8 mm dicken Stege, jedoch nur bei den Leichtmauermörteln, etwa 1 mm tief in den Mörtel. Bei den Leichtmauermörteln Lg-MG II a und Lo-MG II a wurden die Stege, unabhängig von der Stegbreite, in den Mörtel eingedrückt, wobei das Gefüge des Mörtels nur unter den Stegen zerstört wurde.

Aufgrund dieses unterschiedlichen Bruchbildes ist ein Vergleich der Versuchsergebnisse nur mit Einschränkung möglich, insbesondere da das Versagen des Mörtels durch Abscheren in einer druckbelasteten Wand in der Praxis selten auftritt.

Die Stegdruckspannungen, die beim Abscheren der Mörtel auftraten, waren bei den Leichtmauermörteln Lh-MG II und Lh-MG II a kleiner als bei den Normalmörteln und nahmen mit zunehmender Stegbreite ab;

bei den Leichtmauermörteln jedoch weniger stark. Bei den 20 mm breiten Stegen waren die Stegdruckspannungen dieser Leichtmauermörtel und der Normalmörtel etwa gleich groß.

Bei den Leichtmauermörteln Lg-MG II a und Lo-MG II a mit Zuschlägen mit geringer oder ohne bedeutende Kornfestigkeit war die Stegdruckspannung bei den dünnen Stegen kleiner, bei dem 20 mm dicken Steg etwa gleich groß wie die Stegdruckspannung der Normalmörtel. Die Stegdruckspannung dieser Leichtmauermörtel wurde von der Stegbreite nur unwesentlich beeinflusst.

Hiernach wäre zu schließen, daß die Wandfestigkeit bei Verwendung von Leichtmauermörtel mit Zuschlägen geringer Festigkeit gegenüber der Festigkeit von Wänden mit Normalmörtel bei Steinen mit dünnen Stegen kleiner, bei Steinen mit dicken Stegen etwa gleich groß sein wird. Jedoch wäre nach diesen Versuchen ein nennenswerter Einfluß von Steinen mit unterschiedlich dicken Stegen auf die Druckfestigkeit von Wänden mit Leichtmauermörtel mit Zuschlägen geringer Festigkeit nicht zu erwarten.

Gegenüber den Wänden mit Normalmörteln sind vor allem bei Wänden mit Leichtmauermörteln mit Zuschlägen geringer Kornfestigkeit große Verformungen zu erwarten, verursacht durch die größere Verformbarkeit der Leichtmauermörtel unter Druckbelastung, insbesondere durch die Eindrückungen bei Zerstörung des Mörtelgefüges unter Streifen- oder Punktlasten.

5. Mauerwerksversuche

5.1. Versuchsdurchführung

Die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten des Mauerwerks aus den in Tafel 3 angegebenen Stein-Mörtelkombinationen wurden an Pfeilern und bei einigen Varianten an geschoßhohen Wänden untersucht.

Unabhängig vom Steinformat wurden die Pfeiler 49 cm breit, 24 cm dick und 125 cm hoch hergestellt, um den Einfluß des Steinformates bzw. der Anzahl der Lagerfugen an einem Einheitsprüfkörper zu erfassen. Die Pfeiler enthielten 20 Schichten bei den DF-Steinen, 10 Schichten bei den 2-DF-Steinen und 5 Schichten bei den 16-DF-Steinen.

Die geschoßhohen Wände waren 124 cm breit, 24 cm dick und 250 cm hoch und enthielten damit 20 Schichten bei den 2-DF-Steinen und 10 Schichten bei den 16-DF-Steinen.

Die unterste Steinschicht der Pfeiler wurde in ein Zementmörtelbett (MV 1 : 1) auf eine ebene, geschliffene Stahlplatte, bei den Wänden auf einen an der Unterseite eben geschliffenen, biegesteifen Stahlträger verlegt. Nach ausreichendem Erhärten des Zementmörtels wurden die Mauersteine im lufttrockenen Zustand ohne vorausgegangenes Befeuchten vermauert. Die oberste Steinschicht wurde bei den Pfeilern mit Zementmörtel und einer aufgelegten Stahlplatte abgeglichen, bei den Wänden wurde ein geschliffener Stahlträger in Zementmörtel verlegt.

Die DF- und 2-DF-Steine wurden im Kreuzverband, die 16-DF-Steine im Läuferverband gemauert; hierbei wurde versucht, die Lagerfugen einheitlich 12 mm dick auszuführen.

Die Pfeiler und Wände standen bis zur Prüfung im Alter von 28 bis 35 Tagen in einem geschlossenen Raum bei einer Temperatur von rd. 18 bis 22^o C und etwa 40 bis 60 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Alle Versuchskörper wurden bei gleichmäßig verteilter Belastung mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit von rd. 0,1^o/∞ je min bis zum Bruch geprüft.

Bei der Belastung wurde die über einem Öldruckaufnehmer gemessene Prüfkraft von einem Linienschreiber aufgezeichnet. Die von Induktivgebern gemessenen Verformungen wurden in Abständen von 20 sec ausgedruckt. Außerdem wurde die Kraft bei Auftreten des

ersten Bruchgeräusches und des ersten sichtbaren Risses festgestellt.

Weitgehend alle Probekörper wurden über die Höchstlast hinaus mit gleicher Verformungsgeschwindigkeit belastet, um auch das Trag- und Verformungsverhalten im Bruchbereich zu erfassen.

Die lotrechten Verformungen (Stauchungen) wurden an 4 Meßstrecken (2 an Vorder-, 2 an Rückseite) gemessen, deren Länge bei den Pfeilern 50 cm, bei den Wänden 100 cm betrug. Die waagrechten Verformungen (Querdehnungen) wurden etwa in halber Prüfkörperhöhe an den Längsseitenflächen an 25 cm langen Meßstrecken (Pfeiler) bzw. 50 cm langen Meßstrecken (Wände) und an den Stirnflächen an 20 cm langen Meßstrecken gemessen. Bei den Pfeilern aus 16-DF-Steinen wurde die Querverformung an einer Längsseite über eine Stoßfuge, an der anderen Längsseite an einem Stein gemessen.

Bei Pfeilern und Wänden aus DF- und 2-DF-Steinen wurde die Querdehnung an den Längsseiten und den Stirnseiten über eine Läufer- und eine Binderschicht gemessen.

Die Halterungen der Induktivgeber wurden jeweils angedübelt, wobei bei den Leichthochlochziegeln aufgrund des großen Lochanteils längere Dübel verwendet werden mußten.

Die Lage der Meßstrecken an den Pfeilern und Wänden sind den Bildern 6 und 7 zu entnehmen.

Bei Stauchungen der Pfeiler und Wände zwischen rd. 1,3 und 5 mm/m bis zum Erreichen der Höchstlast betrug die Versuchsdauer zwischen 13 und 50 min; dadurch fielen bei den Versuchen zwischen 45 und 150 Meßdurchgänge mit jeweils 11 Meßwerten an. In die Auswertung mittels elektronischer Datenverarbeitung wurde nur jeder 3. Meßdurchgang (1-min-Wert) einbezogen.

Aus den einzelnen Meßwerten wurde die mittlere Stauchung bzw. Querdehnung in mm/m bei Berücksichtigung der Meßstreckenlänge berechnet sowie aus der den einzelnen Verformungen zugehörigen Belastung die Druckspannung ermittelt. Aus diesen Werten wurde anschließend die Querdehnzahl, der Verformungsmodul sowie die Volumenänderung bestimmt. Einen Ausdruck des Computers mit den Meß- und Rechenergebnissen zeigt für den Pfeiler LHLz-2 DF/Lh-MG II Tafel 12.

5.2. Versuchsergebnisse

Die das Tragverhalten der Pfeiler und Wände beschreibenden Feststellungen bei den Belastungsversuchen sind in den Tafeln 13 bis 15 zusammengestellt.

Es wurde die Mauerwerksdruckfestigkeit β sowie die auf diese bezogene Spannung σ_G bei Auftreten des ersten hörbaren Bruchgeräusches (Knistern, Knacken, Rieseln), σ_R bei Auftreten des ersten sichtbaren Risses sowie σ_{Vmin} bei der größten Volumendehnung (kleinstes Volumen - Umkehrpunkt) angegeben.

5.2.1. Rißbildung

Das erste Bruchgeräusch, das immer vor dem Erkennen des ersten Risses wahrgenommen wurde, trat auf bei den Mauerziegeln, vermörtelt mit

Normalmörtel	bei 0,59 bis 0,89	β , im Mittel 0,74 β
Leichtmauermörtel	bei 0,57 bis 0,88	β , im Mittel 0,80 β

Ausgenommen hiervon ist der Leichtmauermörtel Lg-MG II a, da bei allen hiermit hergestellten Prüfkörpern schon bei einer Spannung von etwa 0,1 β Leichtmauermörtelteile im Bereich der Lagerfugen abblätterten, vgl. auch Tafel 16.

Die Spannung beim Auftreten der ersten erkennbaren Risse wurde von der Art des zur Herstellung des Mauermörtels verwendeten Zuschlags nicht nennenswert beeinflusst.

Der erste erkennbare Riß trat auf an den Pfeilern aus

Normalmörtel	bei	0,87 bis 0,98 β ,	im Mittel	0,93 β
Leichtmauermörtel	bei	0,77 bis 0,99 β ,	im Mittel	0,90 β

Außerdem konnte nicht festgestellt werden, daß das Format der Steine bzw. die Anzahl der Lagerfugen die Neigung der Probekörper zur Rißbildung verändert. Selbst die Steine mit mehreren Rissen in den Stegen - Hochlochziegel - haben den Rißbeginn in den Wandprüfkörpern gegenüber den Steinen mit weniger Rissen in den Stegen - Leichthochlochziegel - nicht nachweisbar beeinflusst.

Lediglich bei den Wandprüfkörpern traten die ersten Risse bei einer Spannung von 0,03 bis 0,1 $\cdot \beta$ früher auf als bei den entsprechenden Pfeilern infolge der größeren Wahrscheinlichkeit von "Fehlstellen" in den großflächigeren Wänden.

Die Spannung bei Erreichen der größten Volumendehnung, d. h. des kleinsten Volumens - Wendepunkt der Volumendehnung - war bei allen Versuchen größer als die Spannung bei der das erste Bruchgeräusch wahrgenommen wurde und meist kleiner oder gleich der Spannung beim Auftreten der ersten erkennbaren Risse. Auch diese Versuche bestätigen, daß die Volumendehnung, hier der Wendepunkt der Volumendehnung, einen Meßwert darstellt, der die äußerst subjektiven Angaben "erstes Bruchgeräusch" und "erster sichtbarer Riß" ergänzen, evtl. auch ersetzen kann [12 und 13].

Jedoch läßt auch der Vergleich der Wendepunkte der Volumenänderung keinen Einfluß der Art des Zuschlags des Mauermörtels, der Art und des Formats der Mauersteine auf die Rißneigung des Mauerwerks erkennen, siehe Tafel 16.

Einfluß der Leichtmauermörtel

Die Tragfähigkeit von Mauerwerk, hier die Pfeilerfestigkeit, wurde bei Verwendung von Leichtmauermörtel mit Zuschlägen nach DIN 4226 mit porigem Gefüge und relativ hoher Kornfestigkeit bis zu 30 % beeinträchtigt. Darüberhinaus bewirkten die Leichtmauermörtel Lg-MG II a und Lo-MG II a mit Zuschlag mit geringer oder ohne bedeutende Kornfestigkeit einen Druckfestigkeitsabfall bis zu 60 %, siehe Bild 12. In diesem Bild ist die Festigkeit von Pfeilern mit Normalmörtel N-MG II a - Festigkeiten von 5,0 bis 8 N/mm² - eingetragen, die von den Ergebnissen der Pfeilerversuche mit Normalmörtel N-MG II und N-MG III über die in [14] angegebener Gleichung abgeschätzt wurde.

Die Verhältniszahlen von Pfeilerfestigkeit mit Leichtmauermörtel durch die zum Teil abgeschätzten Pfeilerfestigkeiten mit Normalmörtel betragen bei dem Leichtmauermörtel

Lh-MG II	0,7 bis 0,8
Lh-MG II a	0,9 bis 1,1
Lg-MG II a	im Mittel 0,4
Lo-MG II a	im Mittel 0,6

Während sich bei den Pfeilern mit Normalmörtel die Pfeilerfestigkeit β_P mit zunehmender Mörtelfestigkeit β_M erhöhte, ergab sich bei den Pfeilern mit Leichtmauermörtel keine Abhängigkeit zwischen Pfeilerfestigkeit und Mörtelfestigkeit allein, siehe Bild 12.

Jedoch konnte in Verbindung mit den Längs- (V_L) und Querverformungsmoduln (V_Q) der Mörtel eine Abhängigkeit zur Pfeilerfestigkeit aufgezeigt werden, die näherungsweise für die Mauersteine

$$\begin{aligned} \text{LHLz-2 DF zu } \beta_P &= 0,0145 \cdot \sqrt[4]{\beta_M} \cdot \sqrt[4]{V_L} \cdot \sqrt[4]{V_Q} \\ \text{LHLz-16 DF zu } \beta_P &= 0,0170 \cdot \sqrt[4]{\beta_M} \cdot \sqrt[4]{V_L} \cdot \sqrt[4]{V_Q} \end{aligned}$$

ermittelt wurde, siehe Bild 13. Hierbei wurde jeweils ein Bestimmtheitsmaß von größer 80 % errechnet, das darauf hindeutet, daß mit diesen Beziehungen die Pfeilerfestigkeit befriedigend mit den Einflußgrößen β_M , V_1 und V_q beschrieben werden kann.

Danach wären diese Mörtelkennwerte geeignet, um zur Druckfestigkeit von Mauerwerk eine Aussage zu machen.

Einfluß der dünnen Stege (Lochanteil der Mauersteine)

Der Einfluß der dünnen Stege und damit des Lochanteils der Mauersteine auf die Mauerwerksdruckfestigkeit ist folgender Zusammenstellung zu entnehmen:

Mauermörtel	Druckfestigkeit in N/mm^2 von Mauerwerk aus Lochziegel	
	LHLz-16 DF ($\beta_s = 10,8 N/mm^2$) mit L = 59 %	HLz-16 DF ($\beta_s = 17,5 N/mm^2$) mit L = 42 %
N-MG II	3,81	6,23
Lg-MG II a	1,86	2,45

1) Rechenwert nach [14] $\beta_s = 10,8 N/mm^2$

Der höhere Lochanteil der Mauersteine LHLz-16 DF mit 59 % Lochanteil bewirkte gegenüber den Mauersteinen HLz-16 DF mit 42 % Lochanteil bei dem Leichtmauermörtel Lg-MG II a eine Reduzierung der Mauerwerksfestigkeit um das 1,05fache, bei dem Normalmauermörtel N-MG II um das 1,3fache. Der geringe Einfluß des Lochanteils bzw. der Dicke der Stege auf die Mauerwerksfestigkeit bei dem Leichtmauermörtel mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit dürfte mit dem geringen Einfluß der Stegbreite auf die Stegdruckfestigkeit des Leichtmauermörtels Lg-MG II a zu begründen sein, siehe Abschnitt 4.5.

Die Einführung eines vom Lochanteil der Steine abhängigen Formkennwertes zur Bestimmung der Mauerwerksfestigkeit dürfte hier nach nicht notwendig sein.

Einfluß des Formats der Mauerziegel

Mit einem kleineren Format der Mauerziegel und damit einer größeren Fugenzahl der Wandprüfkörper nahm die Wanddruckfestigkeit ab. Das Verhältnis der Pfeilerfestigkeit aus Leichthochlochziegeln mit dem Format 2 DF ($\beta_s = 13,0 \text{ N/mm}^2$) zu dem aus Leichthochlochziegeln mit dem Format 16 DF ($\beta_s = 10,8 \cdot 1,2 = 13,0 \text{ N/mm}^2$) betrug bei dem Mörtel

N-MG II	0,97
N-MG III	0,92
Lh-MG II	0,87
Lh-MG II a	0,81
Lg-MG II a	0,89
Lo-MG II a	0,96

Hierbei wiesen die Leichthochlochziegel 2 DF die höhere Steinfestigkeit auf, die die Leichthochlochziegel 16 DF nur bei Berücksichtigung des Formfaktors von 1,2 nach DIN 105 [1] erreichten.

Noch deutlicher zeigte sich der Einfluß des Steinformats bei den Pfeilern aus Hochlochziegeln der Formate 16 DF oder DF.

Der Verhältniswert der Festigkeit der Pfeiler aus HLz-DF ($\beta_s = 18,1 \text{ N/mm}^2$) zu der Festigkeit der Pfeiler aus HLz-16 DF ($\beta_s = 17,5 \cdot 1,2 = 21 \text{ N/mm}^2$) betrug bei dem Mörtel

N-MG II	0,67
Lg-MG II a	0,72

Obwohl auch hier durch die Verkleinerung des Steinformats die Fugenzahl und damit der Mörtelanteil stark erhöht war, wirkte sich die höhere Verformbarkeit der Leichtmauermörtel gegenüber dem Normalmörtel nicht ungünstiger auf die Pfeilerfestigkeit aus. Die Verringerung der Quersugbehinderung durch die Verwendung der Leichtmauermörtel hat nicht zu der erwarteten stärkeren Verringerung der Pfeilerfestigkeit bei kleinen Steinformaten geführt.

Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit

Der Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit, das Verhältnis der Pfeiler- oder Mauerwerksfestigkeit zur Steinfestigkeit ist in Tafel 18 zusammengestellt.

Der Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit wird vom Lochanteil der Steine und damit von der Dicke der Stege nicht beeinflusst. Er nimmt mit größerem Steinformat zu, bei Verwendung von Leichtmauermörtel geringer Kornfestigkeit jedoch weniger stark. Bei den Hochlochziegeln war die Ausnutzung der Steinfestigkeit gleich bzw. meist geringer als bei den Leichtlochziegeln, was vermutlich auf die größere Rißanzahl in den Stegen der Hochlochziegel zurückzuführen war. Der Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit erhöht sich bei den Normalmörteln mit steigender Mörtelfestigkeit und ist bei Verwendung von Leichtmauermörteln, insbesondere bei den Leichtmauermörteln mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit, deutlich kleiner als bei Mauerwerk aus Normalmörtel, siehe Bild 14 und folgender Abschnitt.

5.2.4. Verformungsverhalten

Die Mittelwerte der das Verformungsverhalten der Mauerwerksprüfkörper kennzeichnenden Dehnungen, die Längsstauchung ϵ_1 und

Querdehnung ε_q wurden für die einzelnen Prüfserien in Tafel 19 zusammengestellt, und zwar für die Gebrauchsspannung entsprechend $1/3 \beta$, für die Spannung bei kleinster Volumendehnung der Prüfkörper σ_{Vmin} und für die Pfeiler- oder Wandfestigkeit β .

Bei der Gebrauchsspannung und der Spannung bei kleinster Volumendehnung wurden anhand dieser Dehnungen die Querdehnzahl $\mu = \frac{\varepsilon_q}{\varepsilon_l}$, der Längsverformungsmodul $V_l = \frac{\sigma}{\varepsilon_l}$ und der Querverformungsmodul $V_q = \frac{\sigma}{\varepsilon_q}$ berechnet.

Die mittleren Spannungsdehnungslinien bis zum Bruch der Pfeiler aus den Mauersteinen LHLz-2 DF und LHLz-16 DF sind in den Bildern 15 und 16 aufgetragen. Die Spannungsdehnungslinien der Pfeiler mit Normalmörtel verliefen steiler als die der Pfeiler mit den vergleichbaren Leichtmauermörteln und wiesen alle nach Erreichen der Höchstfestigkeit (Pfeilerfestigkeit) eine mit abfallender Spannung noch zunehmende aufnehmbare Verformung auf.

Die Längs- und Querverformungsmoduln bei der Gebrauchsspannung $1/3 \beta$ sind in Tafel 20 zusammengestellt.

Der erwartete Einfluß der Mörtelart, insbesondere der Zuschlagfestigkeit der Mörtel, des Lochanteils der Steine, des Steinformats und der Prüfkörperform (Pfeiler, Wand) auf das Stauchungsverhalten, ausgedrückt durch den Längsverformungsmodul, war gering bzw. nicht eindeutig nachweisbar. Nur die Querverformungsmoduln der Mauerwerksprüfkörper mit den Leichtmauermörteln, vor allem mit dem Mörtel Lg-MG II a mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit war gegenüber den Prüfkörpern mit Normalmörtel deutlich geringer. Die höhere Querverformung der Leichtmauermörtel, siehe Abschnitt 4.4, hat hier zu den höheren Querverformungen der Mauerwerksprüfkörper im Gebrauchslastbereich geführt.

Die geringe Querverformbarkeit der Hochlochziegel gegenüber den Leichtlochziegeln, vgl. Bild 2, führte zu einer wesentlichen Vergrößerung der Querverformungsmoduln der Wandprüfkörper. Die

größere Rißanzahl in den Stegen der Hochlochziegel, bei der Steinprüfung meist von geringem Einfluß, hat das Verformungsverhalten der Pfeiler im Gebrauchslastbereich nicht nachweisbar beeinträchtigt.

Jedoch konnte auch über den Querverformungsmodul der Einfluß des Steinformats bzw. der Fugenanzahl und der Prüfkörpergröße nicht eindeutig aufgezeigt werden.

Es ist zu vermuten, daß Verformungen durch Fehlstellen im Mauerwerk die elastische Längs- und Querverformung des Mauerwerks unterschiedlich überlagerten und nach dem hier gewählten, allgemein üblichen Verfahren zur Bestimmung des Verformungsmoduls materialbedingte Abhängigkeiten nicht deutlich gemacht werden konnten. Bei weiteren Untersuchungen sollte nur die Stauchung oder Querdehnung zur Berechnung der Verformungsmoduln herangezogen werden, die nach mehrmaligem Be- und Entlasten der Mauerwerkproben bei $1/3 \beta$ gemessen werden, z. B. entsprechend der Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Beton [15].

Demgegenüber waren materialbedingte Einflüsse auf das Verformungsverhalten von Mauerwerk im Bereich der kleinsten Volumendehnung (Umkehrpunkt) deutlich feststellbar. Die Verformungsmoduln der Wandprüfkörper, berechnet aus Spannung und Längsstauchung bei kleinster Volumendehnung, sind in Tafel 21 zusammengestellt. Der Verformungsmodul V_{lmin} verringerte sich besonders stark mit zunehmender Fugenanzahl. Die Pfeiler aus 16 DF-Steinen, ausgenommen bei dem Leichtmauermörtel Lg-MG II a, wiesen um 1,1- bis 1,4fach größere Verformungsmoduln auf als die Pfeiler aus 2 DF- oder DF-Steinen.

Die Verformungsmoduln der Pfeiler waren um das 1,2- bis 1,7fache größer als die der Wände, wobei dieses Ergebnis auf die Bedeutung der Wandprüfung mit möglichst hohen Prüfkörpern hinweist.

Die Verformungsmoduln der Pfeiler aus Leichtmauermörtel waren immer kleiner als die Verformungsmoduln der Pfeiler aus Normalmörtel, hier insbesondere die Verformungsmoduln der Pfeiler aus Leichtmauermörteln mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit. Die kleinsten Verformungsmoduln von 400 bis 700 N/mm², d. h. die größten Verformungen, waren bei den Prüfkörpern aus dem Leichtmauermörtel Lg-MG II a aufgetreten.

Damit waren, vor allem bei diesem letztgenannten Leichtmauermörtel, hohe Verformungen bei Belastung der Prüfkörper über den Gebrauchslastbereich hinaus aufgetreten.

Bei Erreichen der kleinsten Volumendehnung (Umkehrpunkt) betrug die Längsstauchung ϵ_l und Querdehnung ϵ_q der

Mörtel N-MG II, N-MG III, Lh-MG II, Lh-MG II a, Lo-MG II a

$$\begin{aligned}\epsilon_l &= 0,87 \text{ bis } 1,45 \text{ mm/m} \\ \epsilon_q &= 0,19 \text{ bis } 0,41 \text{ mm/m}\end{aligned}$$

Mörtel Lg-MG II a

$$\begin{aligned}\epsilon_l &= 2,12 \text{ bis } 3,97 \text{ mm/m} \\ \epsilon_q &= 0,22 \text{ bis } 1,10 \text{ mm/m}\end{aligned}$$

Diese Verformungen vergrößerten sich nach Belasten der Probekörper über den Umkehrpunkt der Volumenänderung hinaus relativ stark und betrug bei Erreichen der Wand- oder Pfeilerfestigkeit bei den Prüfkörpern aus

Mörtel N-MG II, N-MG III, Lh-MG II, Lh-MG II a, Lo-MG II a

$$\begin{aligned}\epsilon_l &= 1,33 \text{ bis } 2,61 \text{ mm/m} \\ \epsilon_q &= 0,34 \text{ bis } 2,25 \text{ mm/m}\end{aligned}$$

Mörtel Lg-MG II a

$$\begin{aligned}\epsilon_l &= 2,48 \text{ bis } 5,42 \text{ mm/m} \\ \epsilon_q &= 0,49 \text{ bis } 7,23 \text{ mm/m}\end{aligned}$$

Bei diesem letztgenannten Mörtel kann infolge der hier gewählten Prüfung mit konstanter Dehngeschwindigkeit gegenüber der sonst üblichen Prüfung mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit nach DIN 18 554 die Wandfestigkeit ungünstig beeinflusst worden sein.

6. Zulässige Spannungen und Verformungsmoduln

Die zulässigen Druckspannungen beziehen sich auf die Druckfestigkeit geschoßhoher Wände, die nach DIN 18 554 [14] zu prüfen sind. Die an Pfeilern ermittelten Festigkeiten β wurden auf die Festigkeit geschoßhoher Wände β_W umgerechnet und diese wiederum auf die Mindestwerte der Stein- und Mörtel-Festigkeitsklasse (Serienfestigkeit) mit Hilfe der in DIN 18 554 angegebenen Bröcker'schen Formel bezogen. Hierbei wurde der Umrechnungsfaktor von β/β_W einheitlich zu 0,85 festgelegt [12].

Außerdem wurde berücksichtigt, daß bei dem hier gewählten verformungsgesteuerten Belasten die Druckfestigkeit von Mauerwerksprüfkörpern um etwa 10 % kleiner ausfällt als bei stufenweisem Belasten nach DIN 18 554 [12].

Bei Berücksichtigung dieser Einflüsse und einer Sicherheitszahl von 3 errechnen sich aus den Pfeilerfestigkeiten die in Tafel 22 angegebenen zulässigen Spannungen. Hierbei ist zu bemerken, daß der Einfluß der Größe der Steine nach den in DIN 105 [1] angegebenen Formfaktoren bei der Abschätzung der zulässigen Spannungen nicht berücksichtigt wurde. Diesen aus den Versuchsergebnissen errechneten Werten wurden die in DIN 1053, in dem Erlaß zu DIN 1053 oder die in der jeweils gültigen Zulassung der Leichtmauermörtel angegebenen zulässigen Spannungen gegenübergestellt.

Hiernach wurden die in DIN 1053 festgelegten zulässigen Spannungen bei dem Mauerwerk aus Normalmauermörtel N-MG II und

den kleinformatischen Hochlochziegeln und Leichthochlochziegeln nicht abgedeckt.

Das Mauerwerk mit den Leichtmauermörteln Lh-MG II und Lh-MG II a mit Zuschlag nach DIN 4226 und das Mauerwerk mit dem Leichtmauermörtel Lo-MG II a mit Zuschlag aus Polystyrolschaum erfüllten hinsichtlich der Druckfestigkeit die Anforderungen des Ergänzungserlasses zu DIN 1053 bzw. der entsprechenden Zulassung. Hierbei waren bei den Leichtmauermörteln mit Zuschlag nach DIN 4226 und den kleinformatischen Steinen die anhand der Versuchsergebnisse errechneten zulässigen Spannungen nur geringfügig größer als die zulässigen Spannungen nach dem Ergänzungserlaß zu DIN 1053.

Das Mauerwerk aus Leichtmauermörtel Lg-MG II a mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit (Perlit) erreichte nach oben beschriebener Auswertung jedoch nur bei den Leichthochlochziegeln mit hohem Lochanteil die für diesen Mörtel festgelegten zulässigen Druckspannungen nicht. Da erfahrungsgemäß bei großen Unterschieden zwischen Stein- und Mörtelfestigkeit bei Anwendung der in DIN 18 554 angegebenen Bröcker'schen Formel zu ungünstige Werte berechnet werden, ist zu vermuten, daß bei dem Leichtmauermörtel Lg-MG II a in Verbindung mit Leichthochlochziegeln zu ungünstige Werte abgeschätzt wurden. Vermutlich hat hier auch die Prüfung mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit zu dem relativ ungünstigen Ergebnis beigetragen.

Es dürfte deshalb auch weiterhin zweckmäßig sein, die Eignung eines Leichtmauermörtels mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit im Zusammenhang mit den zur Anwendung kommenden Steinen jeweils durch Wanddruckversuche nachzuweisen.

Nach DIN 1053 beträgt der Elastizitätsmodul (Rechenwert) von Mauerwerk aus Steinen der Festigkeitsklasse 6 und Mörtel der

Mörtelgruppe II und II a 3000 N/mm^2 , aus Mörtel der Mörtelgruppe III 4000 N/mm^2 , aus Steinen der Festigkeitsklasse 12 und Mörtel der Mörtelgruppe II und II a 5000 N/mm^2 , aus Mörtel der Mörtelgruppe III 6000 N/mm^2 , vgl. Tafel 20.

Diese Elastizitätsmoduln wurden von den Verformungsmoduln bei $1/3$ der Mauerwerksfestigkeit zugeordnet nicht immer erreicht.

In zukünftigen Zulassungen, vor allem mit kleinformatischen Steinen mit hohem Lochanteil bzw. besonderer Lochung und dünnen Stegen, sollte der meist bei den Zulassungsprüfungen ermittelte Längsverformungsmodul als Elastizitätsmodul mit angegeben werden.

7. Zusammenfassung

Zur Verringerung des Energieverbrauchs werden bei der Herstellung von Mauerwerk häufig Mauersteine und Mauermörtel mit möglichst niedriger Rohdichte verwendet.

Niedrige Rohdichten sind bei Mauerziegeln durch niedrige Scherbenrohndichte und/oder durch Erhöhung des Lochanteils bzw. durch Verringerung der Stegdicken, bei den Mauermörteln durch Verwendung von Zuschlag geringer Rohdichte, der meist auch eine geringe Kornfestigkeit aufweist, und/oder durch Gebrauch luftporenbildender Zusatzmittel erreichbar.

Bei Druckbeanspruchung treten unter Leichthochlochziegeln mit dünnen Stegen hohe Streifenlasten auf, die bei Leichtmauermörtel zu hohen Verformungen und dadurch ggf. zu einem frühzeitigen Versagen des Mauerwerks führen können.

Es wurde daher der Frage nachgegangen, ob die Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Leichtmauermörtel durch die Verwendung von Zuschlag geringer Kornfestigkeit, durch die Verwendung von Steinen mit dünnen Stegen oder durch die Verwendung von Steinen kleiner Höhe beeinträchtigt wird. Aus den Versuchsergebnissen läßt sich folgern:

Die Mauerwerksfestigkeit kann bei Verwendung von Leichtmauermörteln mit Zuschlägen nach DIN 4226 mit porigem Gefüge bis zu 30 % reduziert werden. Die Leichtmauermörtel aus Zuschlag mit geringer oder ohne bedeutende Kornfestigkeit führen gegenüber den Normalmörteln zu einem deutlichen Druckfestigkeitsabfall bis zu 60 %. Bei den Leichtmauermörteln liegt keine Abhängigkeit zwischen Mauerwerksfestigkeit und Mörtelfestigkeit allein vor; diese ist gegeben, wenn außerdem die Längs- und Querverformungsmoduln der Mörtel in die Tragfähigkeitsbetrachtung miteinbezogen werden.

Die Tragfähigkeit von Mauerwerk mit Leichtmauermörtel aus Zuschlag geringer Kornfestigkeit wird von der Dicke der Stege nicht nennenswert beeinflußt. Unabhängig von der Breite der Stege wird hier bei etwa gleichbleibender Stegdruckspannung das Zuschlag-Mörtelgerüst unter den Stegen zusammengedrückt. Demgegenüber wird bei Mauerwerk mit Normalmörtel die Tragfähigkeit bei Verwendung von Steinen mit dünnen Stegen reduziert, jedoch in dem hier untersuchten Bereich nicht so bedeutend, daß ein Formkennwert zur Berücksichtigung dieses Einflusses eingeführt werden müßte.

Die Verringerung des Steinformats und damit die Erhöhung der Lagerfugenanzahl führt zu einer Reduzierung der Wanddruckfestigkeit. Hierbei bewirkt jedoch die höhere Verformbarkeit der Leichtmauermörtel gegenüber den Normalmörteln keine zusätzliche Festigkeitsminderung.

Der Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit, das Verhältnis der Mauerwerksfestigkeit zur Steinfestigkeit ist bei Verwendung von Leichtmauermörteln, insbesondere bei den Leichtmauermörteln mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit deutlich kleiner als bei Mauerwerk aus Normalmörteln, wird jedoch vom Lochanteil der Steine nicht beeinflußt und nimmt mit größerem Steinformat zu, bei Verwendung von Leichtmauermörteln mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit weniger stark.

Zum Vergleich des Einflusses verschiedener Mörtel- und Steinkennwerte auf das Verformungsverhalten von Mauerwerksprüfkörpern ist der Querverformungsmodul, ermittelt bei $1/3$ der Mauerwerksfestigkeit, geeigneter als der Längsverformungsmodul. Es ist zu vermuten, daß im Bereich dieser Spannung Verformungen durch Fehlstellen im Mauerwerk die elastischen Längsverformungen des Mauerwerks unterschiedlich überlagern. Bei zukünftigen Untersuchungen sollten nur die Verformungen zur Berechnung der Verformungskennwerte herangezogen werden, die nach mehrmaligem Be- und Entlasten der Mauerwerksproben bei $1/3$ der Mauerwerksfestigkeit gemessen werden.

Ein Vergleich der auf die Mindestwerte der Festigkeitsklassen von Stein und Mörtel umgerechneten Mauerwerksdruckfestigkeiten mit den zulässigen Spannungen ergibt, daß diese Spannungen bei dem Leichtmauermörtel mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit jedoch nur bei dem Mauerwerk mit Steinen mit dünnen Stegen und bei dem Mauerwerk aus Normalmörtel der Mörtelgruppe II und den kleinformatigen Ziegeln nicht abgedeckt werden.

Die Wandprüfkörper mit Normalmörtel der Mörtelgruppe III und mit Leichtmauermörtel aus Zuschlag nach DIN 4226 sowie aus Zuschlag ohne bedeutende Kornfestigkeit erfüllen die Anforderungen an die zulässigen Spannungen.

Die in DIN 1053 angegebenen Rechenwerte für den Elastizitätsmodul

werden von den Längsverformungsmoduln bei $1/3$ der Mauerwerksfestigkeit nicht immer erreicht.

Die Versuche zeigen, daß auch in Zukunft bei Zulassungsversuchen von Steinen mit besonderer Lochung auf Wand- oder Pfeilerversuche mit Normal- und Leichtmauermörtel, bei Zulassungsversuchen von Leichtmauermörtel mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit auf Versuche mit den zur Anwendung kommenden Steinen nicht immer verzichtet werden kann. Bei zukünftigen Zulassungen kann es auch zweckmäßig sein, den meist bei Zulassungsprüfungen ermittelten Längsverformungsmodul als Elastizitätsmodul zusätzlich anzugeben.

8. Literaturverzeichnis

- [1] DIN 105 Teil 1 und 2 - Mauerziegel - (November 1982), Beuth-Vertrieb, Berlin/Köln
- [2] DIN 4226 Teil 2 - Zuschlag für Beton - (Dezember 1971), Beuth-Vertrieb, Berlin/Köln
- [3] DIN 1053 Teil 1 - Mauerwerk, Berechnung und Ausführung - (November 1974), Beuth-Vertrieb, Berlin/Köln
- [4] Kirtschig, K., Metje, W. R.: Leichtzuschläge für Mauer-
mörtel. Forschungsbericht Nr. 88/77 (1979) des Instituts
für Baustoffkunde und Materialprüfung der TU Hannover
- [5] Schellbach, G., Jung, E.: Verformungsverhalten und Trag-
fähigkeit von Mauerwerk mit Leichtmauermörtel. Bericht
in Vorbereitung
- [6] Meyer, H. G.: Zur Frage der Tragfähigkeit von mit Leicht-
mauermörteln gemauertem Mauerwerk. 4. internationale
Mauerwerkskonferenz in Brügge (1976)
- [7] Jung, E., Schellbach, G.: Untersuchung über Mörtel mit er-
höhter Wärmedämmung. Forschungsbericht RB-F 1350 (1976)
- [8] Plank, A., Kretschmann, G.: Über die Eignung von Leicht-
mörteln als Mauermörtel. Mitteilungen des IfBt 1/1977
- [9] Neunast, A.: Leichtmauermörtel aus Naturbims. Betonwerk und
Fertigteiltechnik 43 (1977), H. 9, S. 470 - 475
- [10] Albrecht, W., Schneider, H.: Einfluß der Saugfähigkeit der
Mauerziegel auf die Tragfähigkeit von Mauerwerk. Ziegelin-
dustrie 16 (1963), H. 24, S. 906/911, 17 (1964), H. 1,
S. 3/6, H. 2, S. 31 - 37
- [11] Schneider, H.: Einfluß der Feinheit des Mauersandes auf
die Mörtelfestigkeit bei Anwendung der Mischungsverhältnisse
nach DIN 1053. Ziegelindustrie 30 (1977), H. 5, S. 223 - 238
- [12] Schneider, H.: Tragfähigkeit und Verformungsmodul von Mauer-
werk mit neuen Mörtelgruppen. Schriftenreihe des Otto-
Graf-Instituts (1979), H. 74
- [13] Manns, W., Schneider, H.: Zur Volumendehnung als Kriterium
für die Tragfähigkeit von Mauerwerk. Ziegelindustrie
(1981) H. 3, S. 143 - 149
- [14] DIN 18 554 - Mauerwerk, Ermittlung der Tragfähigkeit von
Wänden und Pfeilern - (Dezember 1971), Beuth-Vertrieb,
Berlin/Köln

[15] DIN 1048 Teil 1 - Prüfverfahren für Beton, Frischbeton,
Festbeton gesondert hergestellter Probekörper -
(Dezember 1978), Beuth-Vertrieb, Berlin/Köln

Tafel 1: Kurzbezeichnung und Beschreibung der
verwendeten Mauersteine

Kurzbezeichnung	kennzeichnende Beschreibung
LHLz -2 DF LHLz -16 DF	Leichtlochziegel der Formate 2 DF und 16 DF mit möglichst dünnen Stegen und möglichst großem Lochanteil (Lochanteil $\geq 50\%$) der Festigkeitsklasse 6.
HLz - DF HLz -16 DF	Hochlochziegel der Formate DF und 16 DF von möglichst gleicher Festigkeit (Festigkeitsklasse 12) mit einem Lochanteil von rd. 40 %.

Tafel 2: Kurzbezeichnung und Beschreibung der verwendeten Mörtel

Kurzbezeichnung	Kennzeichnende Beschreibung
N-MG II N-MG II a N-MG III	Normalmörtel der Mörtelgruppen II, II a und III mit Zuschlag mit dichtem Gefüge aus dem Raum Hannover ²⁾
Lh-MG II	Leichtmauermörtel der Mörtelgruppe II mit Zuschlag nach DIN 4226 mit porigem Gefüge (Blähton) und relativ hoher Kornfestigkeit
Lh-MG II a	Leichtmauermörtel der Mörtelgruppe II a mit Zuschlag nach DIN 4226 mit porigem Gefüge (Blähton) und relativ hoher Kornfestigkeit
Lg-MG II a	zugelassener Leichtmauermörtel der Mörtelgruppe II a mit Zuschlag geringer Kornfestigkeit (Perlit) ²⁾
Lo-MG II a ¹⁾	zugelassener Leichtmauermörtel der Mörtelgruppe II a mit Zuschlag ohne bedeutende Kornfestigkeit (Polystyrolschaum)

1) Nach bauaufsichtlicher Zulassung Leichtmauermörtel der Mörtelgruppe MG III

2) Mauermörtel verwendet bei den Forschungsvorhaben [4] und [5]

Tafel 3: Übersicht über die Mauerwerksversuche

Mörtel- Kurzbe- zeichnung	Pfeiler (P) und Wände (W) aus			
	Lochziegel			
	LHLz 2 DF	LHLz 16 DF	HLz DF	HLZ 16 DF
N -MG II	P	P W	P	P
N -MG III ¹⁾	P	P W	-	-
Lh-MG II	P	P	-	-
Lh-MG IIa	P	P	-	-
Lg-MG IIa	P W	P W	P	P
Lo-MG IIa	P	P	-	-

1) Ursprünglich als Vergleichsmörtel für Lo-MG IIa (III) vorgesehen

Tafel 4: Eigenschaften der Mauerziegel

Kurzbezeichnung		LHLz-2DF	LHLz-16DF	HLz-DF	HLz-16DF
Länge	mm	239	503	242	499
Breite	mm	116	245	118	243
Höhe	mm	114	240	56	236
Außenwanddicke	mm	10,5	11,0	15,5	15,0
Innenstegdicke	mm	6,0	6,5	9,5	9,0
Lochanteil	%	49	59	35	42
Spezifische Saugfähigkeit	g/dm ² min	42	27	25	35
Steinrohddichte	kg/dm ³	0,73	0,65	1,08	0,92
Scherbenrohddichte	kg/dm ³	1,71	1,68	1,43	1,56
Druckfestigkeit von... bis im Mittel	N/mm ² N/mm ²	11,4...13,9 13,0	9,6...11,7 10,8	14,0...22,7 18,1	12,5...20,1 17,5
Standardabweichung	N/mm ²	0,8	0,7	2,9	2,2
Variationskoeffizient	%	6,1	6,8	16,1	12,5

Tafel 5: Druckfestigkeit der Hochlochziegel
 HLz-2 DF und HLz-DF bei unterschiedlicher
 Probekörperform

Mauer- ziegel	Prüfkörper			Druckfestigkeit	
	Länge mm	Breite mm	Höhe mm	von ... bis, N/mm ²	im Mittel N/mm ²
HLz-2 DF ¹⁾	242	118	120	12,1...18,3	15,1
HLz - DF ¹⁾	242	118	65	14,0...22,7	18,1
HLz - DF ²⁾	170	118	125	13,4...20,8	16,6

1) geprüft nach DIN 105

2) gehälftet und aufeinandergemauert

Tafel 6: Druckfestigkeit und Querverformung von Mauerziegeln, deren Prüfflächen mit Zementmörtel abgeglichen oder mit Gummiplatten abgedeckt worden waren

Mauerziegel	Abgleichschichten	Druckfestigkeit		Querverformung im Mittel mm/m
		von ... bis N/mm ²	im Mittel N/mm ²	
LHLz-16 DF	Zementmörtel	9,4...11,9	10,9	1,0
	Gummiplatten	2,8...3,7	3,3	2,0
HLz - 16 DF	Zementmörtel	12,2...19,5	17,3	1,2
	Gummiplatten	3,4...5,8	4,2	2,7

Tafel 7: Grundwerte der zulässigen Druckspannungen der Leichtmauermörtel in Abhängigkeit von Steinart und Steinfestigkeitsklasse

Mörtel-Kurzbezeichnung	Steinart	Steinfestigkeitsklasse	zul. Druckspannung N/mm ²
Lg - MG II	für alle künstlichen Steine	2 bis 28	0,5 ¹⁾
Lg - MG IIa		2 4 bis 28	0,6 ¹⁾ 0,8 ¹⁾
Lg - MG IIa	HbL/G/V	2	0,6 ²⁾
	HbL/G/V	4	0,8 ²⁾
	LHLz	6 und 12	0,5 ²⁾
Lo - MG IIa	HbL/G/V	2 und 4	0,6 ²⁾
	LHLz	6 und 12	0,4 ²⁾

1) nach Ergänzungserlaß zu DIN 1053

2) nach Zulassung

Tafel 8: Zusammensetzung und Frischmörtel-Eigenschaften (Mittelwerte)

Mörtel- Kurz- bezeich- nung	Mischungsverhältnis		Wasser- gehalt Gew.-%	Wasser- Trockenmörtel- verhältnis W/M	Konsistenz Ausbreitmaß DIN 1164 cm	Roh- dichte kg/dm ³
	Raumteile (RT) Z : WK : S	Gewichtsteile (GT) Z : WK : S				
N-MG II	1 : 2 : 8,7	1 : 0,95 : 8,53	18,2	0,222	17,7	2,04
N-MG II a	1 : 1 : 7,7	1 : 0,47 : 7,58	14,6	0,171	17,0	2,06
N-MG III	1 : 0 : 5,8	1 : 0 : 5,71	12,4	0,141	19,1	2,10
Lh-MG II	1 : 2 : 9,0	1 : 0,95 : 5,51	30,1	0,427	16,9	1,25
Lh-MG II a	34,68 : 14 ¹⁾		28,7	0,342	18,2	1,31
Lg-MG II a	25,52 : 15 ¹⁾		37,0	0,588	16,2	0,92
Lo-MG II a	30,42 : 9 ¹⁾		22,8	0,295	14,8	1,12

1) Sackinhalt : Wasser

Tafel 9: Eigenschaften der erhärteten Mörtel, ermittelt an Prismen;
Grenzwerte, Mittelwerte und Variationskoeffizient der Serien
im Alter von 28 Tagen

Mörtel- Kurz- bezeich- nung	Anzahl der Serien	Rohdichte ¹⁾ (lufttrocken)		Biegezugfestigkeit ¹⁾			Druckfestigkeit ¹⁾			Trocken- roh-dichte ²⁾
		Mittel- wert kg/dm ³	Variations- koeffizient %	Grenzwerte N/mm ²	Mittel- wert N/mm ²	Variations- koeffizient %	Grenzwert N/mm ²	Mittel- wert N/mm ²	Variations- koeffizient %	Mittelwert kg/dm ³
N-MG II	11	1,83	1,3	1,2...2,4	1,3	5,9	3,6...4,1	3,8	4,0	1,80
N-MG II a	6	1,89 (1,89)	0,9	2,4...2,6	2,5 (2,6)	3,7	7,3...7,7	7,5 (9,1)	5,3	1,83 (1,82)
N-MG III	7	1,93 (1,96)	0,7	3,9...4,4	4,1 (4,8)	4,1	12,9...14,8	13,3 (22,0)	5,0	1,87 (1,90)
Lh-MG II	6	1,00	2,5	1,4...1,7	1,6	8,7	3,8...4,4	4,1	6,2	0,93
Lh-MG II a	6	1,05	1,9	1,7...2,6	2,1	22,3	5,7...7,0	6,3	11,0	0,97
Lg-MG II a	13	0,76 (0,66)	8,0	1,8...2,8	2,3 (1,6)	14,3	4,2...7,7	5,9 (4,0)	18,0	0,69 (0,58)
Lo-MG II a	6	1,03	9,5	2,6...2,7	2,7	2,1	6,7...7,9	7,3	8,2	0,92

1) () Vergleichswerte nach [4]

2) getrocknet bei 70° C

Tafel 10: Höchstfestigkeit und Verformungskennwerte der Mauermörtel,
ermittelt an Zylindern von 10 cm Durchmesser und 30 cm Höhe bei
Belastung mit konstanter Verformungsgeschwindigkeit von 0,1 mm/m je min
bis zum Bruch (Mittelwert von 3 Proben)

Kurz- bezeich- nung	Längs- verformungsmodul ²⁾	Quer- verformungsmodul ²⁾	Querdehn- zahl ²⁾	Volumen- änderung	Zylinder- festigkeit	Prismen- festigkeit ^{1) 2)}	Verhältnis β_p/β_z
	bei 1/3 der Höchstfestigkeit			‰	β_z N/mm ²	β_p N/mm ²	
	N/mm ²	N/mm ²					
N-MG II	6 700	74 800	0,11	0,16	3,4	3,9	0,87
N-MG II a	14 200 (7 460)	120 400 (73 890)	0,12 (0,14)	0,16	7,1	7,6 (6,7)	0,93
N-MG III	19 000 (14 310)	170 000 (73 610)	0,12 (0,18)	0,16	11,6	12,8 (16,8)	0,91
Lh-MG II	5 900	43 700	0,12	0,22	3,6	4,1	0,88
Lh-MG II a	5 900	50 400	0,11	0,22	6,5	7,0	0,93
Lg-MG II a	2 500 (2 050)	19 500 (10 100)	0,13 (0,24)	0,59	5,8	6,0 (3,2)	0,97
Lo-MG II a	5 600	43 900	0,12	0,27	6,1	7,4	0,82

1) ermittelt an Prismen aus gleicher Mischung

2) () Vergleichswerte nach [4]

Tafel 11: Druckkräfte bei Teilflächenbelastung

Mörtel- Kurz- bezeich- nung	mittlere Druckkraft in kN bei einer Stegbreite von					Bruchbild bei einer Stegbreite von				
	3 mm	5 mm	8 mm	12 mm	20 mm	3 mm	5 mm	8 mm	12 mm	20 mm
N-MG II	20	27	35	38	40	Lagerfugenmörtel halbseitig abgeschert				
N-MG IIa	34	36	38	42	44					
Lh-MG II	12	19	24	30	33	Steg bis 1 mm tief eingedrückt, dann Lagerfugenmörtel ab- geschert		Lagerfugen- mörtel abge- schert		
Lh-MG IIa	21	25	30	33	36	Steg bis 1 mm tief eingedrückt, dann Lagerfugenmörtel ab- geschert		Lagerfugen- mörtel abge- schert		
Lg-MG IIa	7	10	17	27	41	Steg 3 mm tief in Lagerfugenmörtel eingedrückt				
Lo-MG IIa	13	18	27	40	64	Steg 3 mm tief in Lagerfugenmörtel eingedrückt				

PFEILER LHLZ 2 DF LB MG.

I. 22A28. HERSTELLUNGSDATUM 19. 9.80. PRUEFDATUM 22.10.80. ALTER 33 TAGE

ARMESSUNGEN DES PRUEFKOERPERS, CM

LAENGE DICKE HOEHE
50.00 24.20 128.80

LAENGE DER MESSTRECKEN, CM

VERTIKAL HORIZONTAL LS. HORIZONTAL ST.
50.00 25.00 20.00

VERSUCHSDAUER, MIN.

26.70

ZEIT- LE	ZEIT MIN.	RF- LAS- TUNG KN	SPAN- NUNG N/QMM	VERTIKAL - VERFORMUNG					HORIZONTAL - VERFORMUNG					VER- FOR- MUNGS- MODUL N/QMM	QUER- DEHN- UNGS- ZAHL	VO- LUMEN- AB- NAHME 0/00	
				1 2 3 4				MITTEL	L A E N G S - S .			S T I R N - S .					MITTEL
				1	2	3	4		1	2	MITTEL	1	2				
1	0.0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
2	1.0	45	0.37	-0.02	-0.06	-0.04	-0.04	-0.08	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.05	4438	0.53	-0.00
3	2.0	115	0.95	-0.05	-0.14	-0.13	-0.16	-0.24	0.01	0.02	0.06	0.01	0.02	0.07	3823	0.26	0.10
4	3.0	195	1.61	-0.13	-0.30	-0.29	-0.35	-0.54	0.02	0.03	0.10	0.02	0.04	0.15	2940	0.19	0.29
5	4.0	253	2.09	-0.21	-0.48	-0.53	-0.63	-0.93	0.02	0.04	0.12	0.02	0.08	0.27	2230	0.13	0.54
6	6.0	286	2.36	-0.25	-0.61	-0.78	-0.91	-1.28	0.02	0.10	0.24	0.02	0.15	0.42	1836	0.19	0.62
7	7.0	297	2.45	-0.26	-0.63	-0.86	-0.99	-1.37	0.02	0.14	0.32	0.02	0.18	0.50	1782	0.24	0.55
8	8.0	307	2.54	-0.26	-0.69	-0.94	-1.09	-1.49	0.02	0.21	0.46	0.04	0.19	0.57	1703	0.31	0.45
9	9.0	325	2.69	-0.28	-0.76	-1.04	-1.23	-1.66	0.02	0.30	0.64	0.09	0.19	0.72	1616	0.39	0.29
10	10.0	334	2.76	-0.32	-0.85	-1.22	-1.40	-1.89	0.05	0.57	1.24	0.18	0.19	0.95	1458	0.66	-0.29
11	10.9	345	2.85	-0.33	-0.86	-1.36	-1.55	-2.05	0.07	0.85	1.84	0.51	0.23	1.85	1387	0.90	-1.63
12	11.0	343	2.84	-0.34	-0.86	-1.40	-1.58	-2.09	0.07	0.94	2.04	0.57	0.23	2.00	1357	0.98	-1.94
13	12.0	318	2.63	-0.33	-0.90	-1.42	-1.68	-2.16	0.14	1.11	2.52	0.83	0.23	2.65	1213	1.16	-3.00
14	13.0	315	2.60	-0.33	-0.91	-1.42	-1.70	-2.19	0.14	1.14	2.58	0.88	0.23	2.77	1188	1.18	-3.16
15	14.0	323	2.67	-0.33	-0.94	-1.45	-1.74	-2.23	0.14	1.18	2.66	0.95	0.24	2.97	1194	1.19	-3.39
16	15.0	330	2.73	-0.33	-0.99	-1.50	-1.83	-2.32	0.15	1.26	2.84	1.08	0.24	3.30	1173	1.22	-3.81
17	16.0	309	2.55	-0.33	-1.26	-1.51	-2.11	-2.61	0.09	1.35	2.90	1.22	0.25	3.70	978	1.11	-3.98
18	17.0	309	2.55	-0.34	-1.35	-1.53	-2.20	-2.71	0.06	1.36	2.84	1.26	0.25	3.77	942	1.05	-3.90
19	18.0	304	2.52	-0.34	-1.77	-1.54	-2.52	-3.08	0.36	1.43	3.60	1.38	0.25	4.07	816	1.17	-4.58
20	19.0	289	2.39	-0.40	-2.36	-1.58	-2.90	-3.62	0.64	1.60	4.50	1.58	3.89	13.67	661	1.24	-14.55
21	20.0	285	2.36	-0.50	-2.79	-1.63	-3.16	-4.04	0.93	1.79	5.44	1.79	4.53	15.82	584	1.35	-17.22
22	22.0	258	2.13	-0.65	-3.09	-1.70	-3.29	-4.37	1.22	1.85	6.14	2.06	5.02	17.70	488	1.40	-19.47
23	24.0	240	1.98	-0.87	-3.49	-1.77	-3.48	-4.80	1.49	2.00	6.98	2.50	5.63	20.32	413	1.45	-22.49
24	26.0	232	1.92	-0.97	-3.56	-1.79	-3.48	-4.90	1.56	1.99	7.10	2.66	5.96	21.55	393	1.45	-23.74
25	26.7	225	1.86	-1.08	-3.70	-1.81	-3.55	-5.07	1.65	1.99	7.28	2.87	6.14	22.55	367	1.44	-24.75
REI MAX. SPANNUNG			2.85					-2.05			1.84			1.85	1387	0.90	-1.63
REI 1/3 DER MAX. SPANNUNG			0.95					-0.24			0.06			0.07	3823	0.26	0.10

Tafel 12: Ausdruck der Versuchsergebnisse für den Pfeiler aus LHLz-2DF und Lh-MG II

Tafel 14: Pfeiler und Wände aus LHLz 16-DF

Mörtel Kurz- bezeich- nung	P=Pfeiler W=Wand	Mörtel- festig- keit N/mm ²	Prüf- alter	Mauerwerk			β N/mm ²
				$\frac{\sigma_G}{\beta}$	$\frac{\sigma_R}{\beta}$	$\frac{\sigma_{V \min}}{\beta}$	
N-MG II	P	3,8	37	0,71	0,88	0,85	3,53
		3,7	37	0,70	0,92	0,99	3,86
		3,9	41	0,67	0,91	0,88	4,04
		3,8	-	0,69	0,90	0,91	3,81
N-MG II	W	3,9	31	0,90	0,92	0,96	3,78
		4,1	31	0,73	0,81	0,85	3,58
		3,8	31	0,66	0,86	0,77	3,77
		3,9	-	0,76	0,86	0,86	3,71
N-MG III	P	14,8	40	0,48	0,99	0,98	6,32
		14,0	40	0,63	0,98	0,88	6,32
		15,0	42	0,65	0,97	0,89	6,42
		14,6	-	0,59	0,98	0,92	6,35
N-MG III	W	12,8	34	0,90	0,94	0,83	4,82
		13,0	33	0,71	0,81	0,80	5,45
		13,4	34	0,72	0,88	0,90	5,09
		13,0	-	0,78	0,88	0,86	5,12
Lh-MG II	P	3,6	33	0,83	0,97	0,86	3,13
		4,3	33	0,98	0,99	0,91	2,56
		3,8	33	0,82	0,96	0,95	3,30
		3,9	-	0,88	0,97	0,91	2,99
Lh-MG IIa	P	6,2	29	0,57	0,74	0,71	5,39
		6,1	29	0,63	0,93	0,85	4,18
		6,3	29	0,51	0,89	0,81	4,46
		6,2	-	0,57	0,85	0,79	4,68
Lg-MG IIa	P	6,4	30	$\approx 0,1$	0,98	0,96	1,74
		6,6	30	$\approx 0,1$	0,98	0,98	1,88
		7,0	31	$\approx 0,1$	0,97	0,90	1,94
		6,7	-	$\approx 0,1$	0,98	0,95	1,86
Lg-MG IIa	W	4,8	30	$\approx 0,1$	0,97	0,96	1,23
		6,2	36	$\approx 0,1$	0,99	0,95	1,75
		7,1	30	$\approx 0,1$	0,94	0,91	1,65
		6,0	-	$\approx 0,1$	0,95	0,94	1,54
Lo-MG IIa	P	7,4	36	0,85	0,98	0,94	2,50
		7,1	36	0,77	0,98	0,90	2,71
		7,1	36	0,86	0,92	0,83	2,80
		7,2	-	0,83	0,96	0,89	2,67

Tafel 16: Zusammenstellung der auf die Mauerwerksfestigkeit bezogenen Spannung bei erstem Bruchgeräusch, bei Auftreten des ersten sichtbaren Risses und bei Erreichen des Wendepunkts der Volumenänderung

Mörtel- kurz- bezeich- nung	Mittlere auf die Mauerwerksfestigkeit bezogene Spannung					
	LHLz-2DF		Lochziegel LHLz-16DF		HLz-DF	HLz-16DF
	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Pfeiler
	$\frac{\sigma_G}{\beta}$		$\frac{\sigma_R}{\beta}$		$\frac{\sigma_{v \min}}{\beta}$	
N-MG II	0,82/0,93/0,84	-	0,69/0,90/0,90	0,76/0,86/0,86	0,89/0,97/0,93	0,62/0,87/0,83
N-MG III	0,78/0,91/0,86	-	0,59/0,98/0,92	0,78/0,88/0,86	-	-
Lh-MG II	0,71/0,78/0,86	-	0,88/0,97/0,91	-	-	-
Lh-MG IIa	0,88/0,99/0,89	-	0,57/0,85/0,79	-	-	-
Lg-MG IIa	0,1/0,96/0,96	0,1/0,91/0,93	0,1/0,98/0,95	0,1/0,95/0,94	0,1/0,94/0,94	0,1/0,77/0,76
Lo-MG IIa	0,93/0,99/0,95	-	0,83/0,96/0,89	-	-	-

Tafel 17: Zusammenstellung der Mittelwerte der Mauerwerksfestigkeit

Mörtel- kurz- bezeich- nung	Höchstfestigkeit in N/mm^2 gerundet von Mauerwerk					
	Lochziegel					
	LHLz-2DF		LHLz-16DF		HLz-DF	HLz-16DF
	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Pfeiler
N-MG II	3,69	-	3,81	3,71	4,21	6,23
N-MG III	5,77	-	6,35	5,12	-	-
Lh-MG II	2,61	-	2,99	-	-	-
Lh-MG IIa	3,97	-	4,68	-	-	-
Lg-MG IIa	1,75	1,43	1,86	1,54	1,83	2,45
Lo-MG IIa	2,64	-	2,67	-	-	-

Tafel 18: Mittlerer Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit, als Verhältnis der Pfeiler- oder Wandfestigkeit zur Steinfestigkeit

Mörtel- kurz- bezeich- nung	Ausnutzungsgrund der Steinfestigkeit in %					
	LHLz-2DF ($\beta_s = 13 \text{ N/mm}^2$)		Lochziegel LHLz-16DF ($\beta_s = 10,8 \text{ N/mm}^2$)		HLz-DF ($\beta_s = 18,1 \text{ N/mm}^2$)	HLz-16DF ($\beta_s = 17,5 \text{ N/mm}^2$)
	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Pfeiler
N-MG II	28	-	35	34	23	36
N-MG III	45	-	58	47	-	-
Lh-MG II	20	-	28	-	-	-
Lh-MG IIa	30	-	44	-	-	-
Lg-MG IIa	13	11	17	14	10	14
Lo-MG IIa	20	-	25	-	-	-

Tafel 19: Verformungskennwerte der Pfeiler und Wände (Mittelwerte je Prüfserie)

Steinart	Mauermörtel	Prüfkörper	Spannungen und Verformungskennwerte													
			bei $1/3 \cdot \beta$						bei Wendepunkt der Volumenänderung						bei β	
			$1/3 \cdot \beta$ N/mm ²	ϵ_1 mm/m	ϵ_q mm/m	μ	V_1 N/mm ²	V_q N/mm ²	σ N/mm ²	ϵ_1 mm/m	ϵ_q mm/m	V_1 N/mm ²	V_q N/mm ²	ϵ_1 mm/m	ϵ_q mm/m	
Lz-2DF	N-MG II	P	1,29	0,38	0,10	0,26	3 400	12 900	3,10	1,22	0,27	2 500	11 500	1,78	1,36	
	N-MG III	P	1,92	0,40	0,12	0,30	4 800	16 000	4,96	1,37	0,41	3 600	12 100	1,78	2,25	
	Lh-MG II	P	0,87	0,32	0,07	0,22	2 700	12 400	2,24	1,45	0,22	1 500	10 200	2,03	1,03	
	Lh-MG IIa	P	1,32	0,39	0,10	0,26	3 400	13 200	3,53	1,32	0,31	2 700	11 400	1,63	1,40	
	Lg-MG IIa	P	0,59	0,26	0,06	0,23	2 300	9 800	1,68	2,25	0,54	700	3 100	2,48	1,58	
	Lg-MG IIa	W	0,48	0,13	0,09	0,69	3 700	5 300	1,33	2,12	0,60	600	2 200	2,51	1,49	
	Lo-MG IIa	P	0,94	0,26	0,09	0,35	3 600	10 400	2,51	1,36	0,32	1 800	7 800	1,76	1,31	
Lz-16DF	N-MG II	P	1,27	0,33	0,10	0,27	3 800	12 700	3,09	0,87	0,21	3 600	14 700	1,49	1,07	
	N-MG II	W	1,24	0,42	0,10	0,24	3 000	12 400	3,19	1,22	0,29	2 600	11 000	1,54	0,62	
	N-MG III	P	2,13	0,41	0,11	0,27	5 200	19 400	5,84	1,39	0,31	4 200	18 800	2,61	0,55	
	N-MG III	W	1,70	0,39	0,05	0,13	4 400	13 000	4,91	1,35	0,19	3 600	25 800	1,44	0,34	
	Lh-MG II	P	0,99	0,32	0,08	0,25	3 100	12 400	2,72	1,43	0,37	1 900	7 300	1,74	0,68	
	Lh-MG IIa	P	1,56	0,44	0,16	0,36	3 500	9 700	3,69	1,27	0,40	2 900	9 200	1,69	2,05	
	Lg-MG IIa	P	0,61	0,15	0,09	0,60	4 100	6 800	1,77	2,58	1,05	700	1 700	4,63	7,23	
	Lg-MG IIa	W	0,53	0,23	0,06	0,26	2 300	8 800	1,45	3,78	0,49	400	3 000	3,44	1,43	
	Lo-MG IIa	P	0,89	0,31	0,10	0,32	2 900	8 900	2,37	1,05	0,20	2 300	11 800	1,33	0,64	
Z-DF	N-MG II	P	1,39	0,22	0,07	0,32	6 300	19 800	3,91	1,28	0,29	3 000	13 500	1,66	0,66	
	Lg-MG IIa	P	0,58	0,11	0,05	0,45	5 300	11 600	1,72	3,97	0,22	400	7 800	3,93	0,49	
z-16DF	N-MG II	P	2,10	0,44	0,09	0,20	4 800	23 300	5,21	1,32	0,32	4 000	16 300	1,80	1,48	
	Lg-MG IIa	P	0,82	0,19	0,08	0,42	4 300	10 200	1,86	3,41	1,10	500	1 700	5,42	4,2	

Tafel 20: Zusammenstellung der mittleren Längs- und Querverformungsmoduln bei $1/3 \beta$

Mauermörtel	Längsverformungsmoduln in N/mm^2 Querverformungsmoduln () in N/mm^2					
	Lochziegel					
	LHLz-2 DF der Festigkeitsklasse 6		LHLz-16 DF		HLz-DF	HLz-16 DF
	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Pfeiler
N-MG II	3 400 (12 900)		3 800 (12 700)	3 000 (12 400)	6 300 (19 800)	4 800 (23 300)
N-MG III	4 800 (16 000)		5 200 (19 400)	4 400 (13 000)		
Lh-MG II	2 700 (12 400)		3 100 (12 400)			
Lh-MG II a	3 400 (13 200)		3 500 (9 700)			
Lg-MG II a	2 300 (9 800)	3 700 (5 300)	4 100 (6 800)	2 300 (8 800)	5 300 (11 600)	4 300 (10 200)
Lo-MG II a	3 600 (10 400)		2 900 (8 900)			
Rechenwerte für den Elastizitätsmodul in N/mm^2 nach DIN 1053						
MG II/II a	3 000				5 000	
MG III	4 000				6 000	

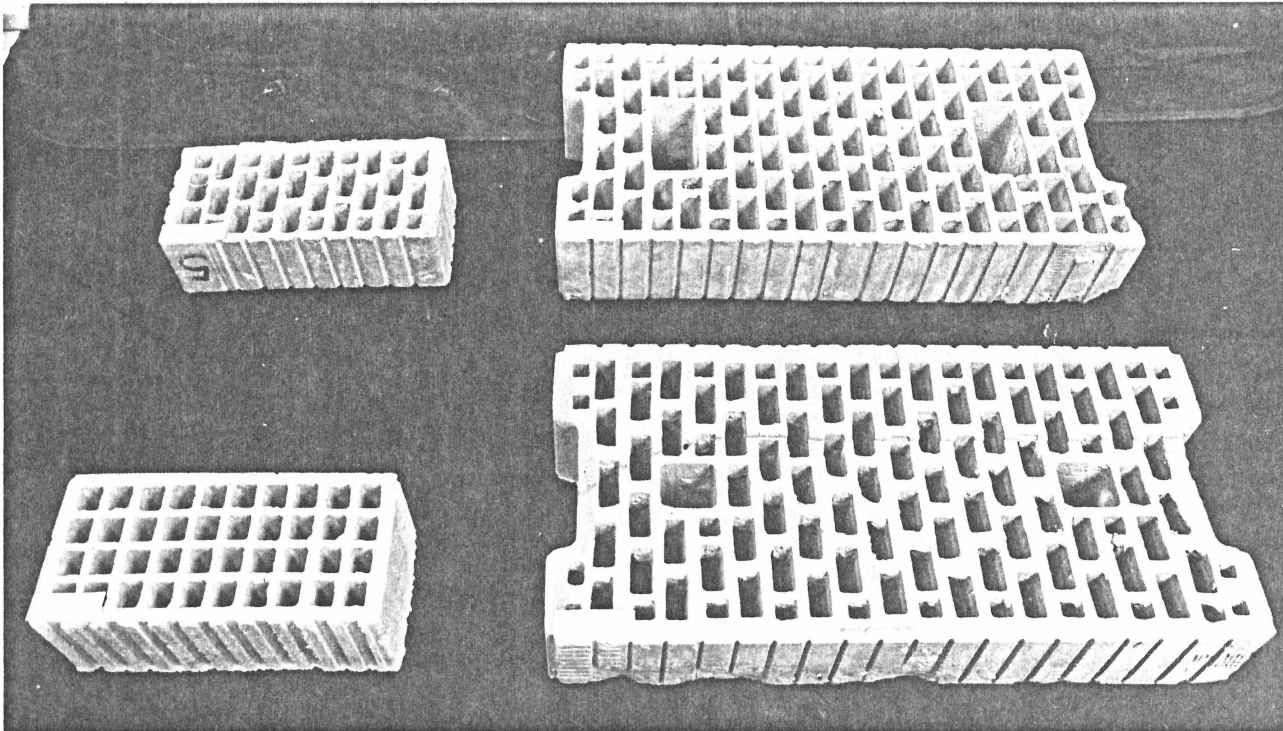
Tafel 21: Verformungsmoduln bei Wendepunkt der Volumenänderung

Mauermörtel	Verformungsmodul in N/mm^2					
	Lochziegel					
	LHLz-2DF		LHLz-16DF		HLz-DF	HLz-16DF
	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Wand	Pfeiler	Pfeiler
N-MG II	2500		3600	2600	3000	400
N-MG III	3600		4200	3600		
Lh-MG II	1500		1900			
Lh-MG IIa	2700		2900			
Lg-MG IIa	700	600	700	400	400	500
Lo-MG IIa	1800		2300			

Tafel 22: Vergleich der Versuchsergebnisse mit den zul. Spannungen

Mauermörtel	zul. Spannung in N/mm^2 von Mauerwerk aus Lochziegeln der					
	Festigkeitsklasse 6			Festigkeitsklasse 12		
	LHLz-2DF $\frac{1}{3} \cdot \beta_w$	LHLz-16DF $\frac{1}{3} \cdot \beta_w$	σ zul ¹⁾	HLz-DF $\frac{1}{3} \cdot \beta_w$	HLz-16DF $\frac{1}{3} \cdot \beta_w$	σ zul ¹⁾
N-MG II	0,76	0,86	0,9	1,04	1,56	1,2
N-MG III	1,24	1,49	1,2	-	-	1,6
Lh-MG II	0,53	0,66	0,5	-	-	0,5
Lh-MG IIa	0,86	1,11	0,8	-	-	0,8
Lg-MG IIa	0,38	0,40	0,5	0,48	0,66	0,5
Lo-MG IIa	0,55	0,60	0,4	-	-	0,4

1) σ zul nach DIN 1053, nach dem Ergänzungserlaß zu DIN 1053 oder nach der bei Durchführung der Versuche gültigen Zulassung



Leichthochlochziegel

Hochlochziegel

Bild 1: Lochanordnung der Leichthochlochziegel (oben)
und der Hochlochziegel (unten)

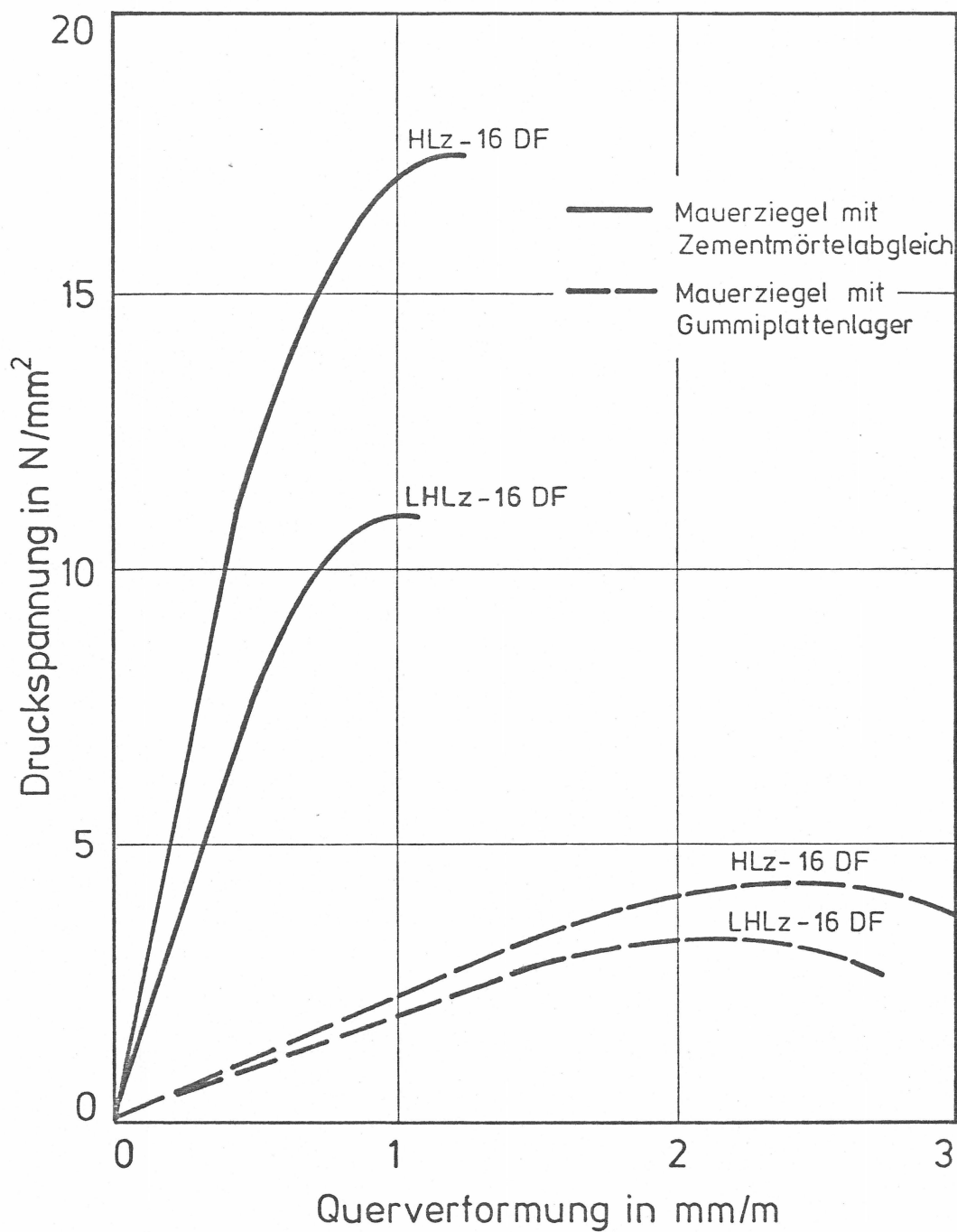


Bild 2: Druckfestigkeit und Querverformung von Mauerziegeln mit unterschiedlich großer Quersugbehinderung im Lasteinleitungsbereich bei der Druckfestigkeitsprüfung

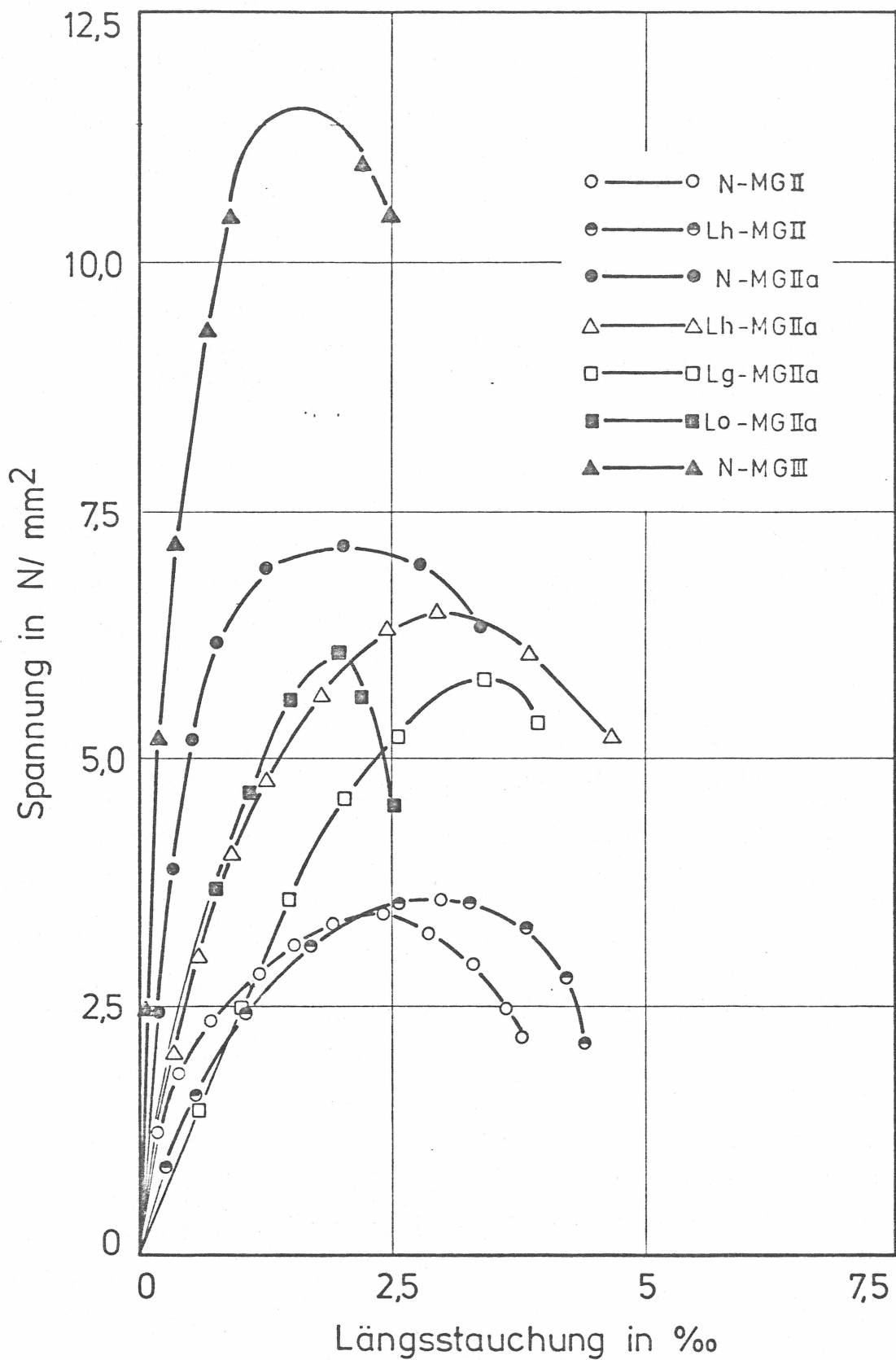


Bild 3: Spannungsverformungslinien der Mauer-
mörtel, ermittelt an Zylindern von
10 cm Durchmesser und 30 cm Höhe

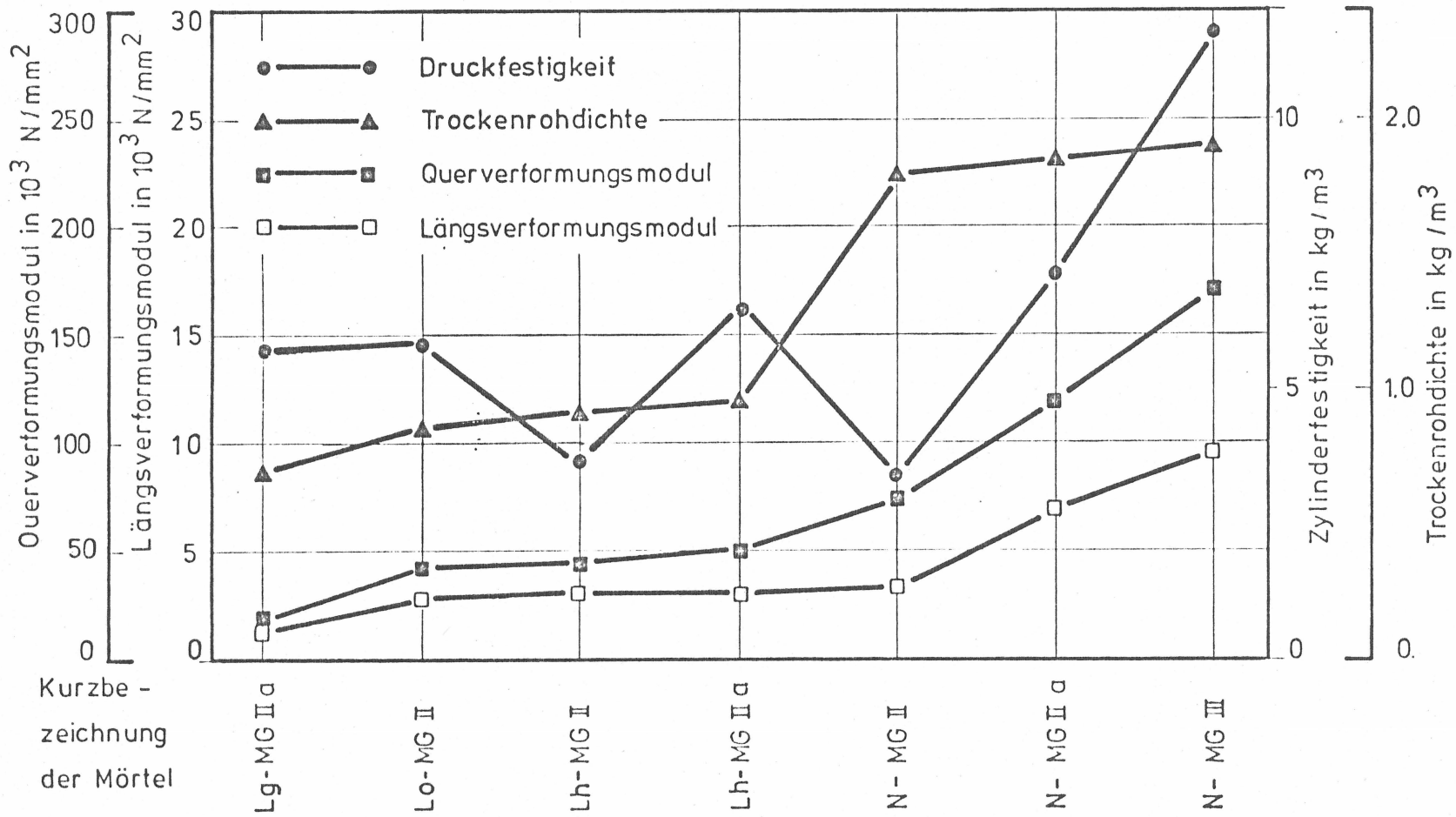


Bild 4: Verformungsmoduln, Rohddichte und Druckfestigkeit der Mauermörtel

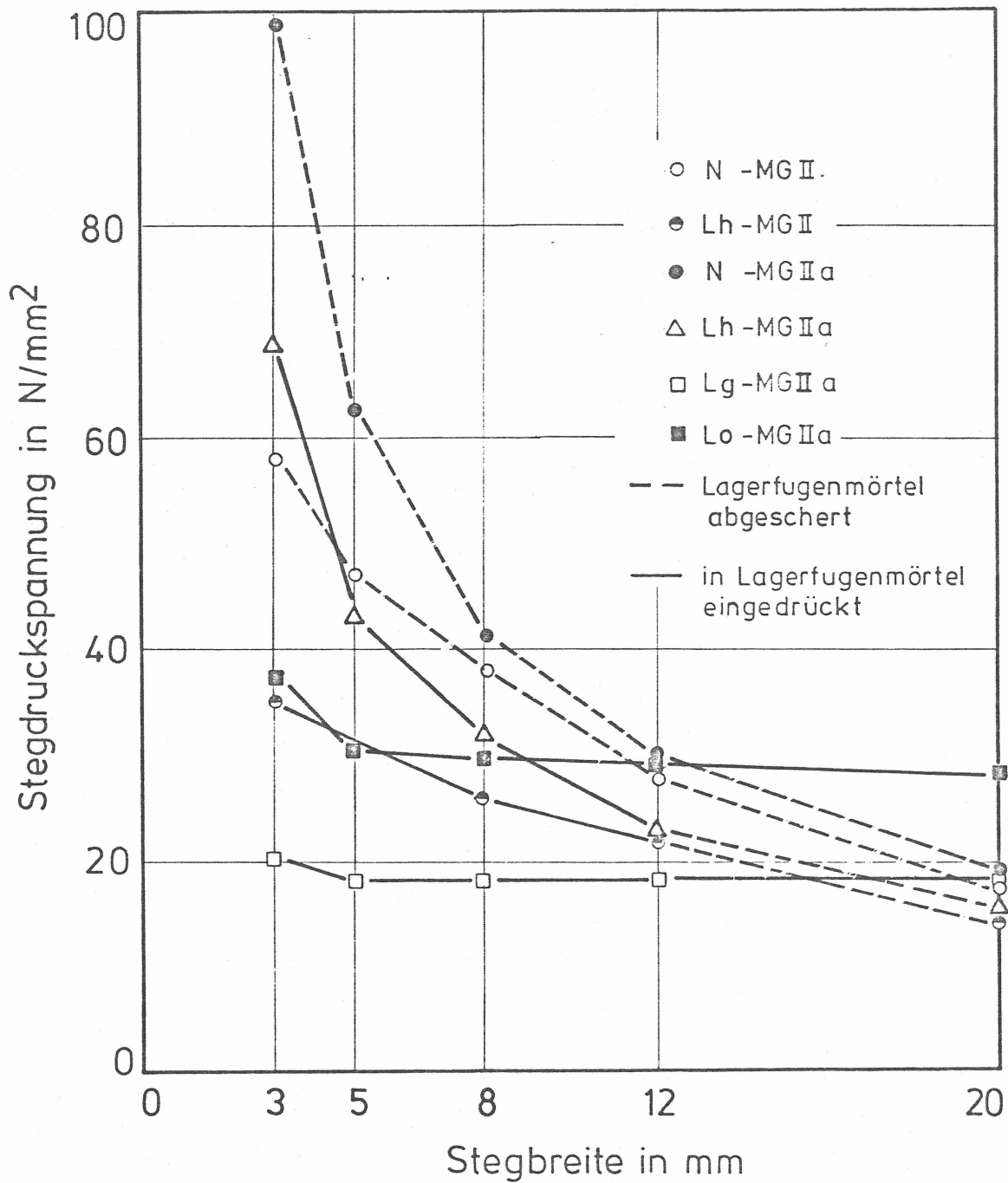


Bild 5: Stegdruckspannungen in Abhängigkeit von der Stegbreite bei Leichtmauermörteln und Normalmörteln

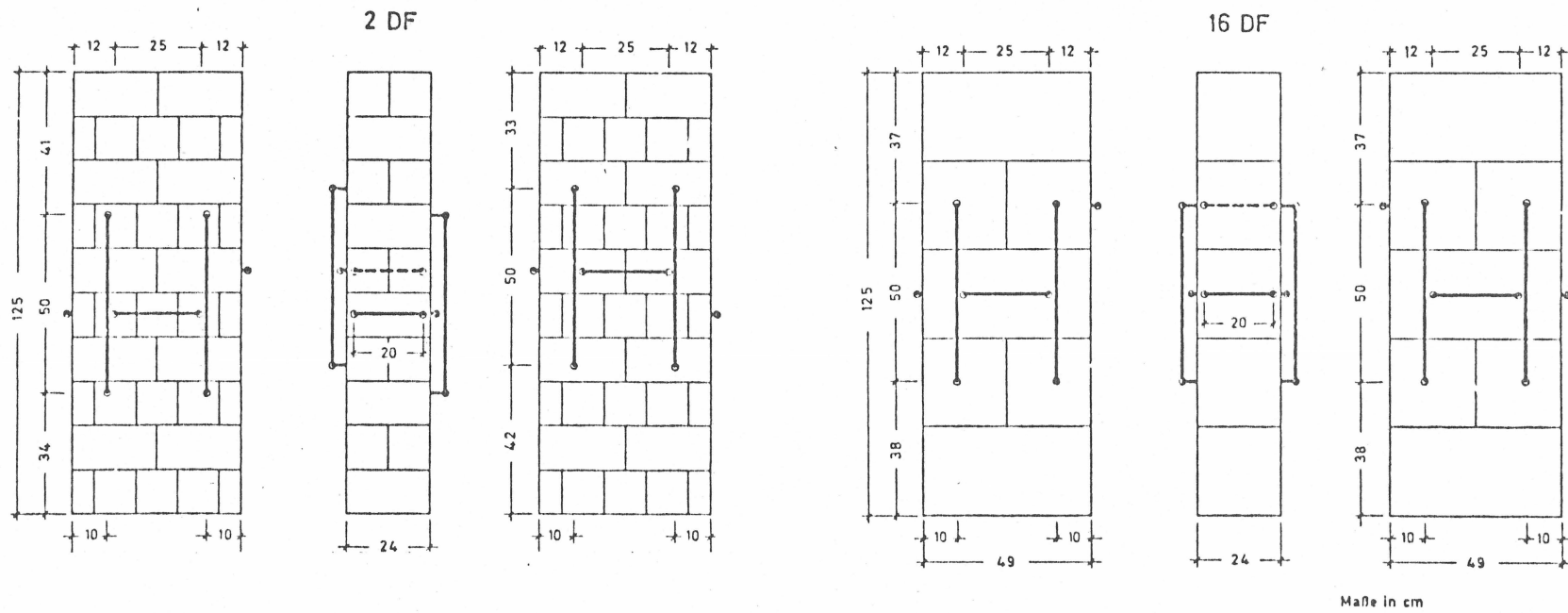
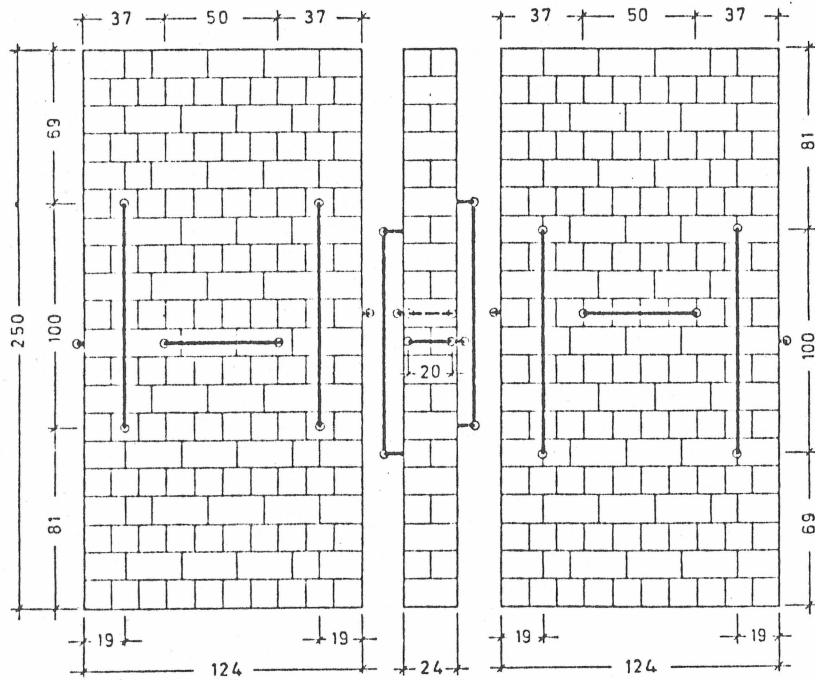
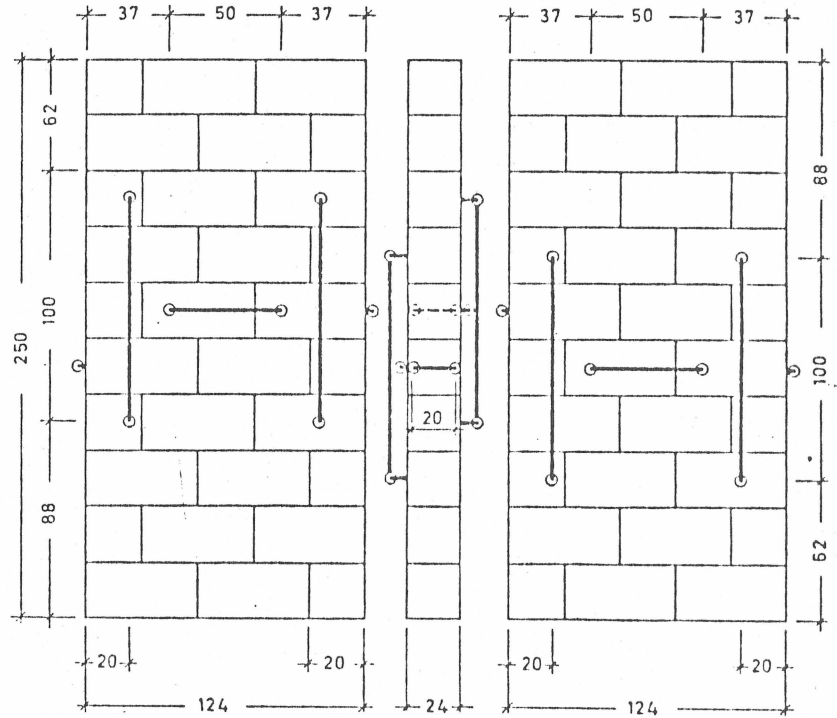


Bild 6: Lage der Meßstellen an den Pfeilern aus
2 DF-Steinen

16 DF-Steinen



Maße in cm



Maße in cm

Bild 7: Lage der Meßstellen an den Wänden aus
2 DF-Steinen

16 DF-Steinen

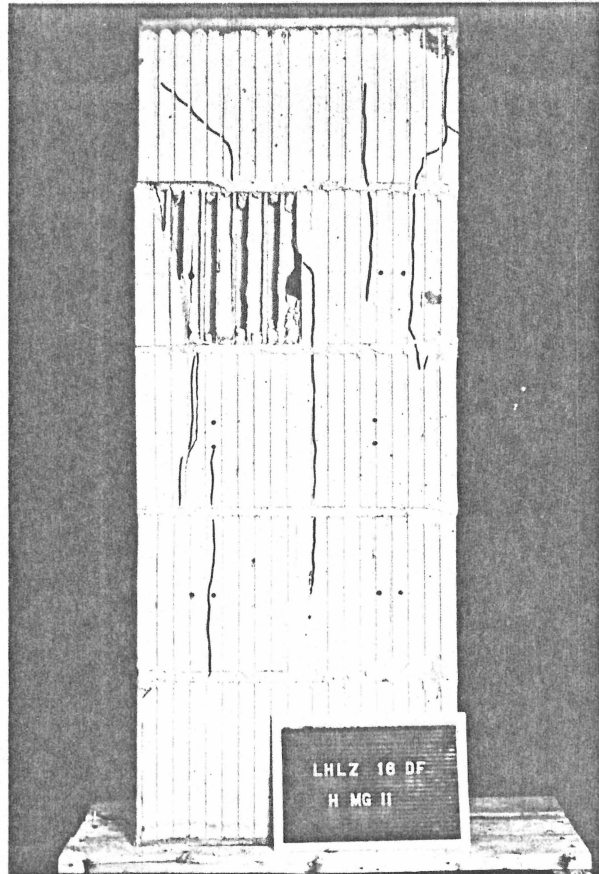


Bild 8: Pfeiler aus LHLz-16 DF
und Normalmörtel N-MG II

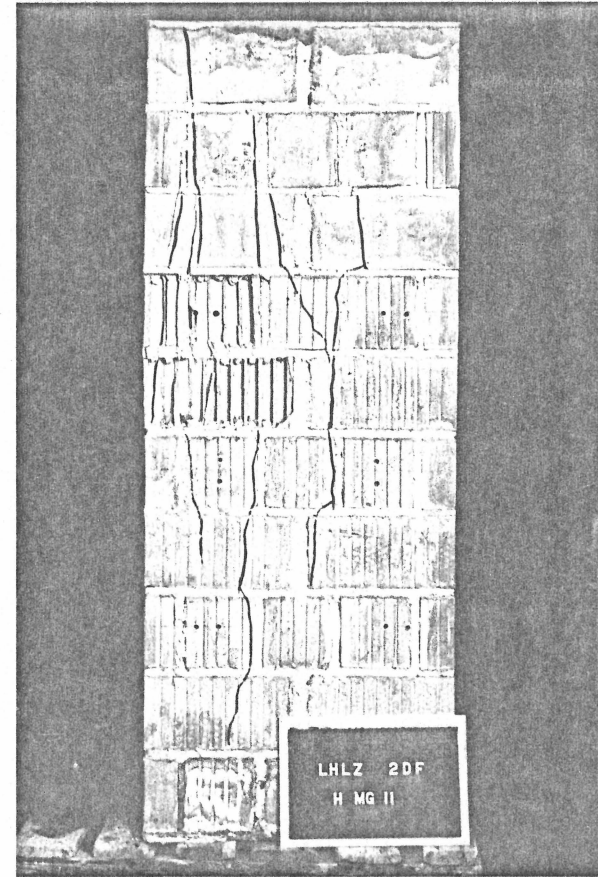


Bild 9: Pfeiler aus LHLz-2 DF
und Normalmörtel N-MG II

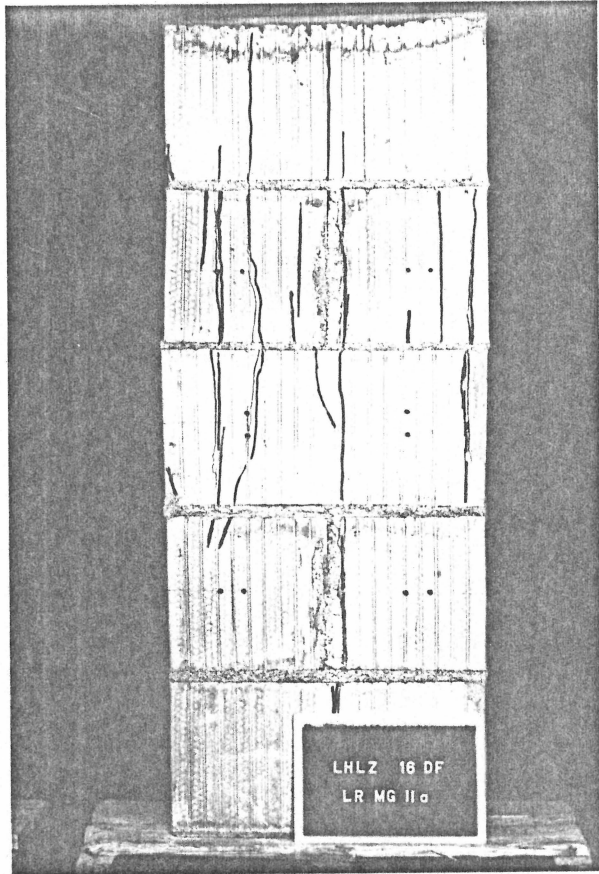


Bild 10: Pfeiler aus LHLz-16 DF
und Leichtmauermörtel Lo-MG II a

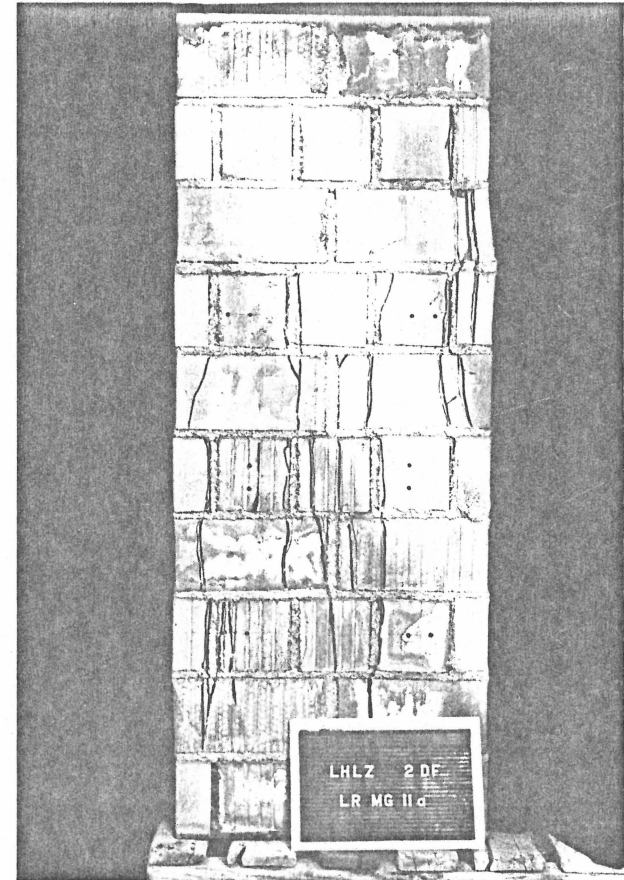


Bild 11: Pfeiler aus LHLz-2 DF
und Leichtmauermörtel Lo-MG II a

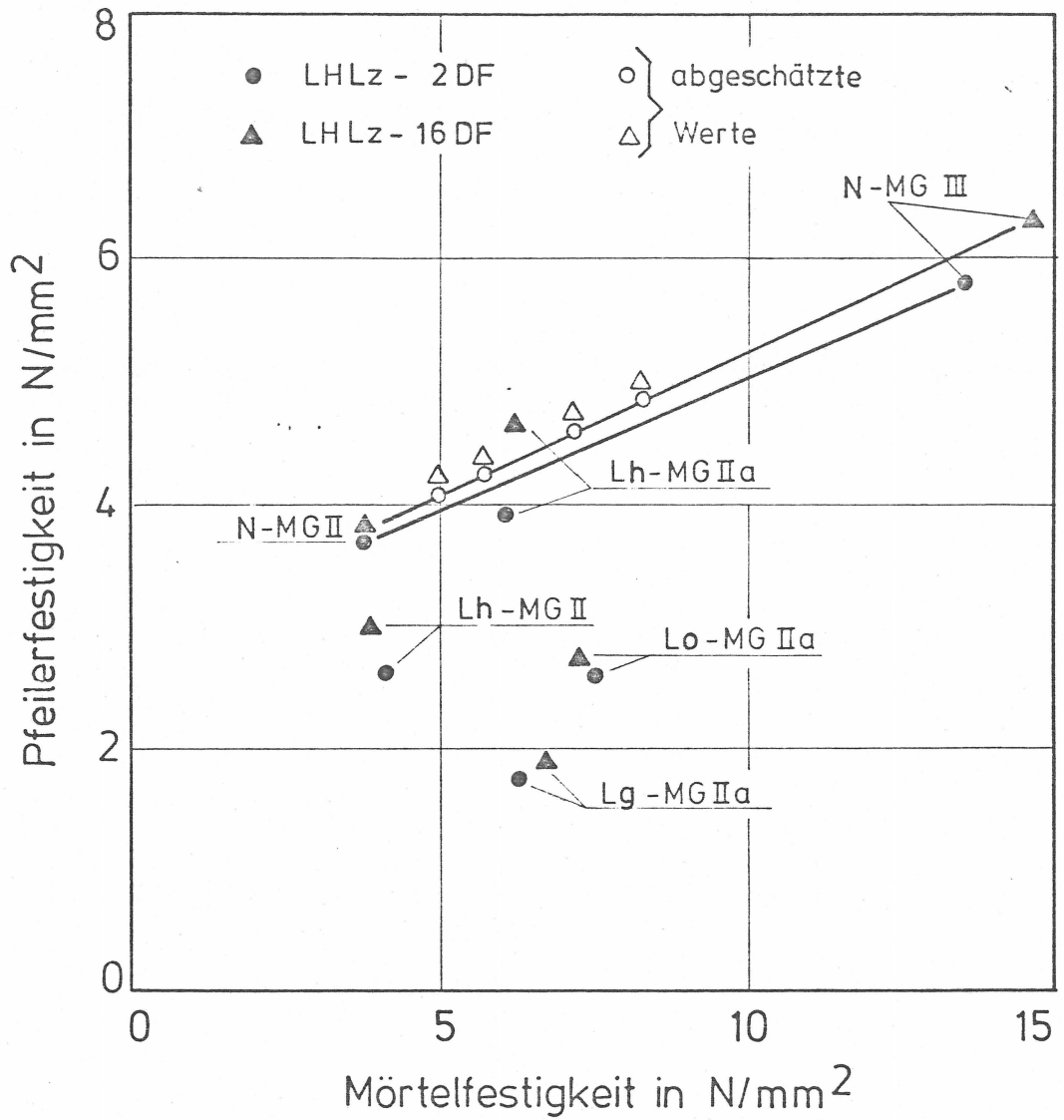


Bild 12: Mauerwerksdruckfestigkeit der Pfeiler
 in Abhängigkeit von der Mörtelfestigkeit

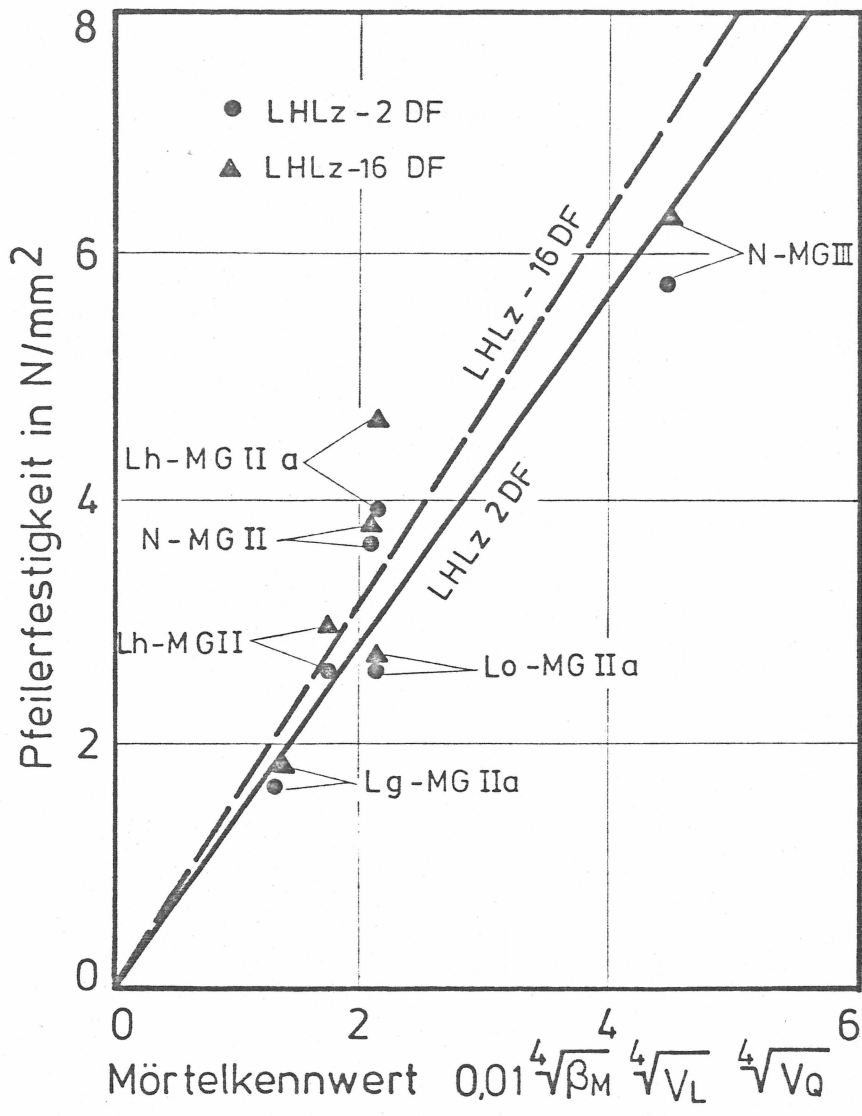


Bild 13: Einfluß der Mörtelkennwerte
 auf die Pfeilerfestigkeit

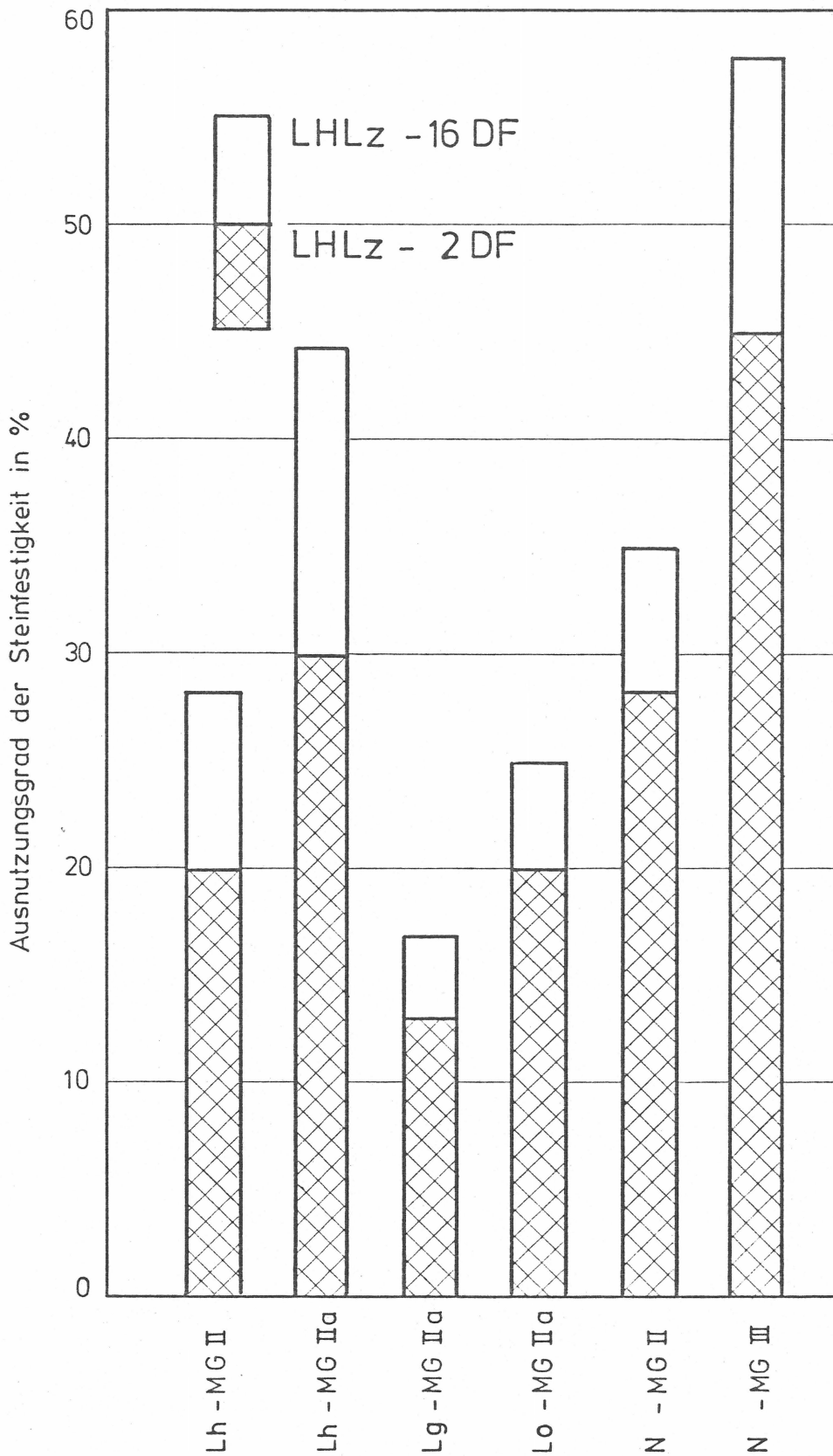


Bild 14: Ausnutzungsgrad der Steinfestigkeit in Abhängigkeit vom Steinformat und der Mörtelart

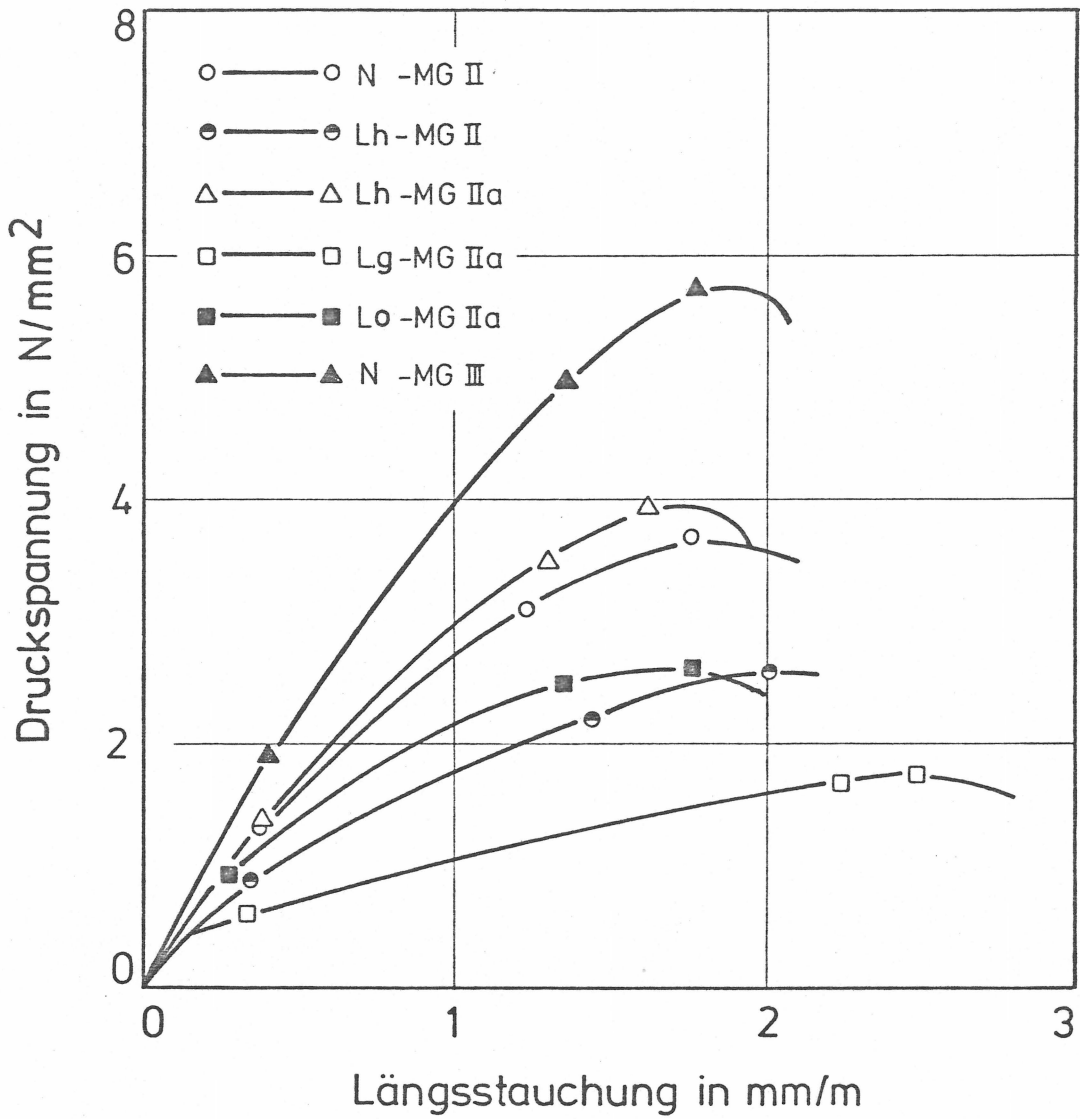


Bild 15: Spannungsdehnungslinien der Pfeiler aus Leichthochlochziegeln LHLz-2 DF

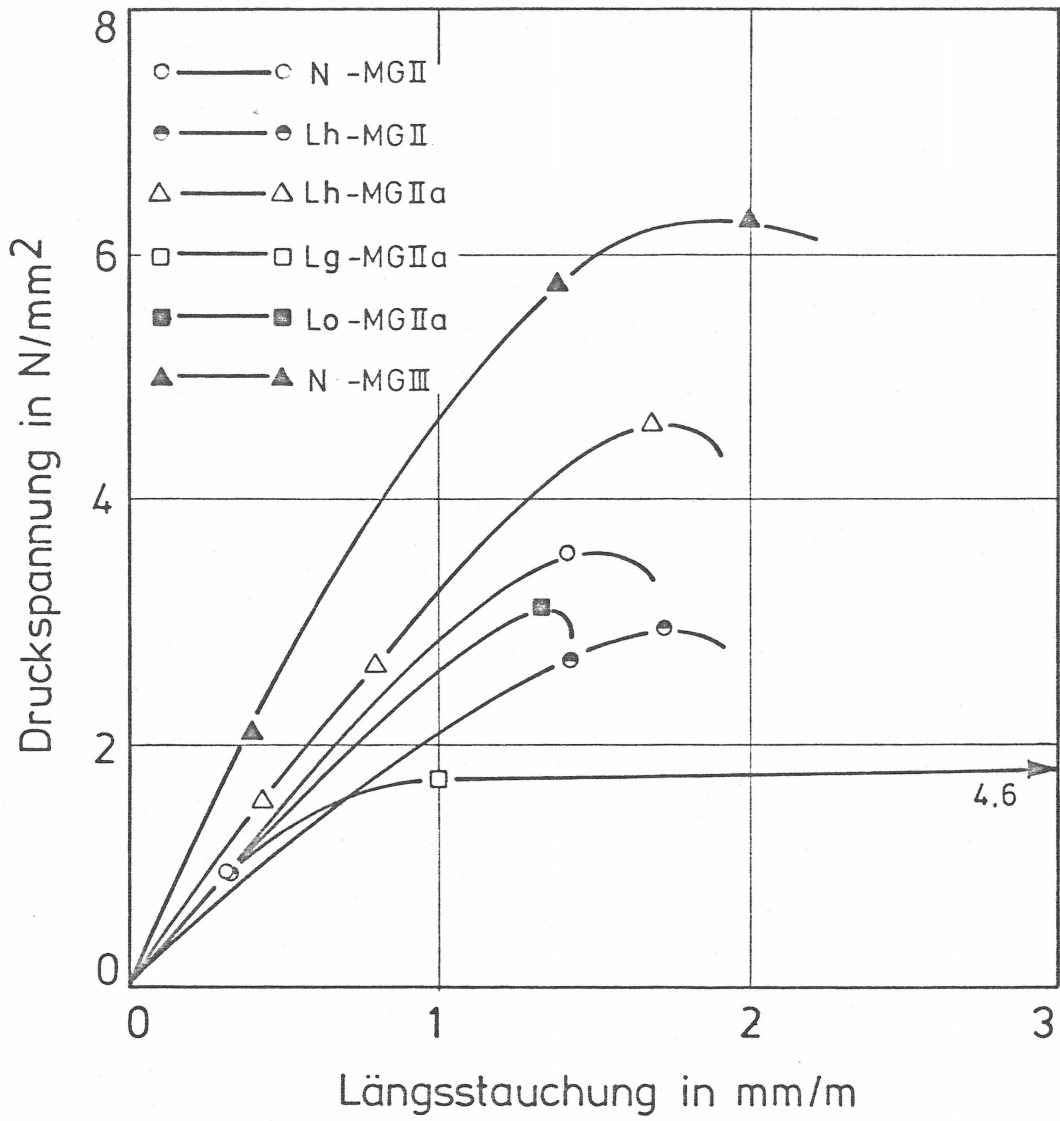


Bild 16: Spannungsdehnungslinien der Pfeiler aus Leichthochlochziegeln LHLz-16 DF