

Einfluß des Verbandes (Läufer-, Binder-
verband; Einstein-, Verbandsmauerwerk)
auf die Mauerwerksfestigkeit

T 2570

T 2570

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND MATERIALPRÜFUNG
DER UNIVERSITÄT HANNOVER

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND MATERIALPRÜFUNG
Nienburger Straße 3 und Appelstraße 9 A · D-30167 Hannover 1

Fernruf:
Nienburger Straße 3
Appelstraße 9 A
Sachbearbeiter
Telex 9 23 868 unihn

(0511) 762-3101
(0511) 762-3722
(0511) 762-3258

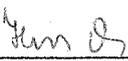
**Abschlußbericht des Forschungsvorhabens
Einfluß des Verbandes (Läufer-, Binderverband; Einstein-,
Verbandsmauerwerk) auf die Mauerwerksdruckfestigkeit**

gefördert mit Hilfe von Forschungsmitteln des
Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin
Geschäftszeichen IV 1-5-726/93

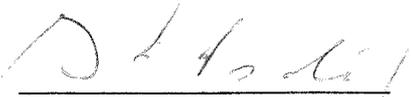
Hannover, im Oktober 1993

Der Sachbearbeiter

Der Leiter des Forschungsvorhabens



(Dipl.-Ing. R. Hirsch)



(Prof. Dr.-Ing. K. Kirtschig)

Der Bericht umfaßt 10 Seiten und einen Anhang von 64 Seiten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Versuchsprogramm	2
3	Prüfungen und Prüfergebnisse	3
3.1	Mauersteine	3
3.2	Mauermörtel	3
3.2.1	Mörtelzusammensetzung	3
3.2.2	Frischmörteleigenschaften	3
3.2.3	Mörtelprismen	3
3.3	Mauerwerkseigenschaften	4
3.3.1	Druckfestigkeit in der Lagerfuge	4
3.3.2	Mauerwerksdruckfestigkeit	4
4	Auswertung der Versuchsergebnisse	5
	Anlagen	

1 Einleitung

Die Bilder 1 bis 4 (Anlagen A1 bis A4) sind einem Vortrag entnommen, den der hier als Leiter des Forschungsvorhabens Bezeichnete anlässlich einer Sitzung der Arbeitsgruppe W23 des CIB im Oktober 1992 in Padua gehalten hat. Die Bilder enthalten einige Angaben über die Größe der charakteristischen Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit von der Steindruckfestigkeit (unit strength f_b) bei Verwendung von Mauermörtel der Mörtelgruppen II, IIa, III und IIIa. Im Zusammenhang mit dem hier vorliegenden Bericht ist es nicht erforderlich, auf alle weiteren Einzelheiten in den Bildern einzugehen, jedoch müssen zum Verständnis der hier behandelten Forschungsaufgabe folgende Erläuterungen gegeben werden:

1. Die in der Legende der Bilder mit "EC 6,..." bezeichneten und entsprechend gekennzeichneten Kurvenzüge bedeuten:

1988 = Stand nach der EC 6 - Fassung aus dem Jahre 1988

0,60 = Die Größe des Faktors K zur Berechnung der charakteristischen Mauerwerksfestigkeit f_k nach der Gleichung

$$f_k = K * f_b^{0,65} * f_m^{0,25}$$

(f_m = Mörteldruckfestigkeit) nach dem Beratungsstand Anfang Dezember 1992 zur nächsten Fassung des EC 6.

Der Wert 0,60 gilt für Mauerwerk unter Verwendung von Vollsteinen und wenn die Wanddicke gleich der Steinbreite oder Steinlänge ist (Einsteinmauerwerk).

0,55 = wie vor, jedoch bei ebenfalls Einsteinmauerwerk, aber bei Verwendung von Hochlochsteinen mit einem Lochanteil von $\leq 45\%$

0,50 = wie vor, jedoch bei Vollsteinen und Hochlochsteinen, wenn das damit hergestellte Mauerwerk als Verbandsmauerwerk ausgeführt ist.

2. Die eingetragenen Treppenzüge sind die zur Zeit aus DIN 1053 Teil 1 ableitbaren charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten.
3. Die in der Legende mit "Pu..." bezeichneten und entsprechend gekennzeichneten Werte sind Versuchsergebnisse (i.a. Mittelwerte aus 6 Versuchen), die von Dr. Pume, Prag, zur oben genannten Sitzung eingebracht wurden. Bei allen Versuchen waren Hochlochziegel (clay (perforated)) verwendet worden, die jedoch zu Prüfkörpern mit unterschiedlichen Verbänden vermauert wurden:

Läuferverband (stretcher),
 Binderverband (header) und
 Verbandsmauerwerk (longitudinal).

Die Wände im Läufer- und Binderverband sind als Einsteinmauerwerk zu bezeichnen.

Sieht man sich nun die in den Bildern 1 bis 4 (Anlagen A1 bis A4) von Dr. Pume zur Verfügung gestellten Versuchsergebnisse im Vergleich zu den oben erläuterten Kurvenzügen an, so sieht man:

- a) Die Versuchsergebnisse mit Verbandsmauerwerk liegen i.a. weit unter den Kurvenzügen.
- b) Die Versuchsergebnisse mit Einsteinmauerwerk - sei es im Läufer- oder Binderverband - liegen teils über und teils unter den Kurvenzügen. Sie können insgesamt so beurteilt werden, daß sie sich im Rahmen der hier zu erwartenden Genauigkeit in die bisherigen Versuchsergebnisse einordnen und jedenfalls keine Veranlassung wären, weitere Untersuchungen für nötig zu erachten.

Die bei Verbandsmauerwerk unter a) aufgezeigten Abweichungen sind dagegen im Vergleich zu b) so groß, daß der Frage nachzugehen ist, ob die bisher vorgesehenen Regelungen in der jetzt bearbeiteten Fassung des EC 6 zu revidieren sind. Im vorliegenden Bericht wird dieser Frage durch Durchführung eigener Versuche nachgegangen.

Die Untersuchungen wurden durch die finanzielle Unterstützung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, möglich. Diesem sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.

2 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm, das nach Vorliegen der Versuchsergebnisse mit ursprünglich nur Mauerziegeln erweitert wurde, ist in Tabelle 1 (Anlage A5) zusammengefaßt. Für die Untersuchungen wurden ein Hochlochziegel Format 2DF, ein Kalksandlochstein Format 2DF und ein KS-Yali-Planstein Format 2DF verwendet. Als Mörtel wurde Kalk-Zement-Mörtel MG IIa gewählt.

Mit diesen Stoffen wurden Mauerwerksprüfkörper mit verschiedenen Mauerwerksverbänden hergestellt und auf Druckfestigkeit geprüft.

Die Mauerwerksprüfkörper sind in den Bildern 5, 6, 7 und 8 (Anlagen A7 bis A9) dargestellt:

Bild 5:	Versuchsvariante 1	Läuferverband	d = 115 mm
Bild 6:	Versuchsvariante 2	Binderverband	d = 240 mm
Bild 7:	Versuchsvariante 3	Kreuzverband	d = 240 mm
Bild 8:	Versuchsvariante 4	Kreuzverband	d = 365 mm

Die Höhe der Prüfkörper wurde so gewählt, daß sich eine Schlankheit zwischen 3 und 5 ergab. Je Versuchsvariante wurden 3 bzw. 2 Mauerwerksprüfkörper hergestellt und bei gleichzeitiger Messung der vertikalen Verformungen auf Druckfestigkeit geprüft.

3 Prüfungen und Prüfergebnisse

3.1 Mauersteine

Als Mauersteine wurden Hochlochziegel DIN 105 HLz 20 - 1,2 - 2DF, Kalksandsteine DIN 106 KSL 12 - 1,4 - 2DF und KS-Yali-Plansteine nach Zulassungsbescheid Z - 17.1 - 446 verwendet.

Die Ergebnisse der Steinprüfungen sind in den Tabellen 2 bis 4 (Anlage A10 bis A12) enthalten.

Bestimmt wurden die Abmessungen, die Rohdichte lufttrocken, die Trockenrohddichte, die Scherbenrohddichte (nur bei den Hochlochziegeln) und die Steindruckfestigkeit.

Die Lochbilder sind in Bild 9 (Anlage A13) dargestellt.

Die Lochanteile betragen:

HLz 20:	38,1 %
KSL 12:	32,2 %
Yali:	42,7 %.

3.2 Mauermörtel

3.2.1 Mörtelzusammensetzung, Herstellung

Es wurde ein Kalk-Zement-Mörtel MG IIa verwendet.

Die Zusammensetzung wurde so gewählt, daß zum Zeitpunkt der Prüfung, die 14 Tage nach Herstellung der Mauerwerksprüfkörper erfolgte, die Anforderungen an die Druckfestigkeit erfüllt wurden. Die Mörtelzusammensetzung ist in Tabelle 5 (Anlage A14) enthalten.

Die Sieblinie des verwendeten Sandes ist in Tabelle 6 (Anlage A15) angegeben und in Bild 10 (Anlage A15) dargestellt.

Als Bindemittel wurden Portlandzement PZ 35 F und Kalkhydrat verwendet. Die Mischung erfolgte in einem Zwangsmischer, die Mischzeit betrug 1,5 bis 2,5 Minuten.

3.2.2 Frischmörteleigenschaften

An den Mörteln wurden die Frischmörtelrohddichte im LP-Topf und das Ausbreitmaß nach DIN 18554 Teil 2 ermittelt.

Die Frischmörteleigenschaften sind in Tabelle 7 (Anlage A16) enthalten.

3.2.3 Mörtelprismen

Bestimmt wurden die Trockenrohddichte, die Rohddichte lufttrocken, die Biegezugfestigkeit und die Druckfestigkeit nach DIN 18555 Teil 3.

Die Prüfung erfolgte 14 Tage nach der Herstellung der Prüfkörper.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 8 bis 16 (Anlagen A17 bis A22) enthalten. Bei den Versuchsvarianten HLz 2 und KSL 1 wurden keine Festmörtelprüfungen durchgeführt.

Die mittlere Mörteldruckfestigkeit betrug bei den Serien

HLz:	7,8 N/mm ²
KSL:	6,6 N/mm ²
Yali:	6,0 N/mm ²

3.3 Mauerwerkseigenschaften

3.3.1 Druckfestigkeit in der Lagerfuge

Die Druckfestigkeit in der Lagerfuge wurde nach der "Vorläufigen Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel", August 1992, an 30 Prüfkörpern nach dem Würfeldruckverfahren ermittelt.

Die Prüfung erfolgte 14 Tage nach der Herstellung der Prüfkörper.

Als Steine wurden neben den in der oben angegebenen Richtlinie vorgeschriebenen Referenzsteinen die für die Mauerwerksprüfung verwendeten Mauersteine verwendet.

Die Druckfestigkeit in der Lagerfuge betrug im Mittel bei den Hochlochziegeln 7,8 N/mm² (bei den Referenzsteinen 6,8 N/mm²), bei den Kalksandsteinen 5,7 N/mm² (bei den Referenzsteinen 6,4 N/mm²) und bei den Yali-Steinen 8,4 N/mm² (bei den Referenzsteinen 6,1 N/mm²).

Die Einzelwerte sind in den Tabellen 17 bis 21 (Anlagen A23 bis A27) enthalten.

3.3.2 Mauerwerksdruckfestigkeit

Für jede Versuchsserie wurden 3 bzw. 2 Mauerwerksprüfkörper hergestellt. Die Abmessungen sind in den Bildern 5 bis 8 (Anlagen A7 bis A9) eingetragen.

Die Laststeigerung erfolgte stufenweise. Die einzelnen Laststufen sind in den Tabellen 23 bis 53 (Anlagen A29 bis A59) ausgewiesen.

Bei jeder Laststufe wurde die Last ca. 60 Sekunden konstant gehalten, um die Längsverformungen ermitteln zu können. Diese wurden mit Meßuhren an 4 Meßbahnen ermittelt.

Die Mauerwerkseigenschaften, d.h. Reißspannung, Mauerwerksdruckfestigkeit, Längsdehnung bei 1/3 der Bruchlast und Elastizitätsmodul bei 1/3 der Bruchlast sind in Tabelle 22 (Anlage A28) zusammengefaßt.

Die Einzelwerte sind in den Tabellen 23 bis 53 (Anlagen A29 bis A59) enthalten.

Die Längsdehnungen sind in den den Tabellen 23 bis 53 (Anlagen A29 bis A59) zugehörigen Bildern dargestellt.

Eine Zusammenfassung aller Festmörtelkennwerte und Mauerwerkseigenschaften enthält Tabelle 54 (Anlage A60).

4 Auswertung der Versuchsergebnisse

Bei den Versuchen ergaben sich gemäß Tabelle 54 (Anlage A60) folgende mittlere Mauerwerksdruckfestigkeiten:

Bei den Hochlochziegeln:

Versuchsvariante HLz 1	Läuferverband	d = 115 mm :	9,9 N/mm ²
Versuchsvariante HLz 2	Binderverband	d = 240 mm :	10,0 N/mm ²
Versuchsvariante HLz 3	Kreuzverband	d = 240 mm :	9,0 N/mm ²
Versuchsvariante HLz 4	Kreuzverband	d = 365 mm :	8,8 N/mm ²

Nach diesen Ergebnissen besteht kein Unterschied zwischen den Mauerwerksfestigkeiten bei Anwendung des Läufer- oder Binderverbandes, die beide als Einsteinmauerwerk zu bezeichnen sind.

Ebenso besteht praktisch kein Unterschied, wenn Verbandsmauerwerk mit den gleichen Steinen in einer Dicke von 240 mm oder 365 mm ausgeführt wird. Im Vergleich zu den beiden Einsteinmauerwerken ist die Festigkeit jedoch um rund 10 % geringer.

Dies bestätigt die Festlegungen des EC 6 nach dem Beratungsstand Dezember 1992, wenn man einmal - was zulässig erscheint - keinen Unterschied zwischen mittleren und charakteristischen Festigkeiten macht.

Bei den Kalksandlochsteinen:

Versuchsvariante KSL 1	Läuferverband	d = 115 mm :	8,0 N/mm ²
Versuchsvariante KSL 3	Kreuzverband	d = 240 mm :	8,3 N/mm ²
Versuchsvariante KSL 4	Kreuzverband	d = 365 mm :	8,6 N/mm ²

Der Unterschied in den Druckfestigkeiten zwischen Einstein- und Verbandsmauerwerk in dem Sinne, daß bei Verbandsmauerwerk eine geringere Mauerwerksfestigkeit zu erwarten ist, bestätigt sich hier nicht. Hier führt das Verbandsmauerwerk eher zu einer Erhöhung der Mauerwerksfestigkeit.

Bei den Yali-Steinen:

Versuchsvariante Yali 1	Läuferverband	d = 115 mm :	4,0	N/mm ²
Versuchsvariante Yali 2	Binderverband	d = 240 mm :	3,9	N/mm ²
Versuchsvariante Yali 3	Kreuzverband	d = 240 mm :	4,0	N/mm ²
Versuchsvariante Yali 4	Kreuzverband	d = 365 mm :	4,1	N/mm ²

Bei den Yali-Steinen bestätigt sich zunächst einmal die schon bei den Versuchen mit den Mauerziegeln getroffene Feststellung, daß Läufer- und Binderverband zu den praktisch gleich großen Mauerwerksfestigkeiten führen. Nicht bestätigt wird, daß ein Festigkeitsunterschied zwischen Einstein- und Verbandsmauerwerk besteht.

Die vorstehend gebrachte Diskussion der Versuchsergebnisse erfolgte auf der Basis der mittleren Mauerwerksfestigkeiten. Um die Ergebnisse in die zum Ausgangspunkt dieser Arbeit gemachten Bilder A1 bis A4 in Verbindung zu bringen, ist es erforderlich aus den Versuchsergebnissen charakteristische Festigkeiten abzuleiten.

Hierzu wurde wie folgt vorgegangen:

Es wurden zunächst die Mauerwerksdruckfestigkeiten auf eine Mörteldruckfestigkeit von 5 N/mm² (MG IIa) umgerechnet, und zwar

bei einer Mörteldruckfestigkeit von 7,8 N/mm² (HLz) mit dem Faktor $\frac{5^{0,25}}{7,8^{0,25}} = 0,895$

bzw. bei 6,6 N/mm² (KSL) mit dem Faktor $\frac{5^{0,25}}{6,6^{0,25}} = 0,933$

bzw. bei 5,96 N/mm² (Yali) mit dem Faktor $\frac{5^{0,25}}{5,96^{0,25}} = 0,957$

Die Festigkeiten betragen danach:

	HLz	KSL	Yali	
Versuchsvariante 1, Läuferverband d = 115 mm:	8,9	7,5	3,8	[N/mm ²]
Versuchsvariante 2, Binderverband d = 240 mm:	9,0	-	3,7	[N/mm ²]
Versuchsvariante 3, Kreuzverband d = 240 mm:	8,1	7,7	3,8	[N/mm ²]
Versuchsvariante 4, Kreuzverband d = 365 mm:	7,9	8,0	3,9	[N/mm ²]

Die Berechnung der charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten erfolgte gemäß CEN-Entwurf prEN 1052 Teil 1, Juli 1993, d.h. durch Division der vorstehend berechneten Werte mit 1,2.

Somit ergeben sich folgende charakteristische Mauerwerksfestigkeiten:

	HLz	KSL	Yali	
Versuchsvariante 1, Läuferverband d = 115 mm:	7,4	6,2	3,2	[N/mm ²]
Versuchsvariante 2, Binderverband d = 240 mm:	7,5	-	3,1	[N/mm ²]
Versuchsvariante 3, Kreuzverband d = 240 mm:	6,8	6,5	3,2	[N/mm ²]
Versuchsvariante 4, Kreuzverband d = 365 mm:	6,6	6,7	3,2	[N/mm ²]

Vorstehende Werte sind in das Bild 42 (Anlage A61) eingetragen. Aus dem Bild erkennt man folgendes:

1. Die Versuchsergebnisse mit den Yali- und KSL-Steinen liegen über den Angaben der Entwurfsfassung zum EC 6. Sie bestätigen also die Angaben dieses Entwurfes, die untere Grenzwerte für die charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten darstellen.
2. Die Versuchsergebnisse mit den Hochlochziegeln, die in die Kurvenzüge mit $K = 0,55$ bei Einsteinmauerwerk und $K = 0,50$ bei Verbandsmauerwerk einzuordnen sind, zeigen, daß sie für beide Fälle unterhalb der zugehörigen Kurvenzüge, d.h. auf der unsicheren Seite liegen.

Aus 1. und 2. ergibt sich, daß die hier vorgelegten Untersuchungen keine einheitliche Aussage zulassen. Dies betrifft sowohl die Frage, ob Unterschiede zwischen Einsteinmauerwerk und Verbandsmauerwerk vorhanden sind, als auch die Frage, ob die K-Werte der Entwurfsfassung zum EC 6 richtig gewählt sind.

Der an zweiter Stelle genannte Punkt war nicht Ausgangspunkt zu den hier gemachten Untersuchungen und braucht wohl insofern nicht besonders dringlich weiter verfolgt zu werden, da statistisch gesehen, natürlich Versuchsergebnisse unterhalb der charakteristischen Werte, die ja 5 %- Fraktilen darstellen, liegen dürfen und vor allem Absicherungen der Verläufe durch frühere statistische Auswertungen bekanntlich vorliegen.

Aus der erstgenannten Frage nach dem Unterschied der Mauerwerksfestigkeiten bei Einstein- und Verbandsmauerwerk, die durch die Versuche nicht eindeutig beantwortet wird, sollte dennoch ein Vorschlag gebracht werden. Dabei soll aber hier der einfachste Weg "weitere Versuche" nicht gegangen werden.

Folgendes erscheint denkbar: Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Pume, die hier zumindestens für Mauerziegel in der Tendenz bestätigt werden, könnte ein weiterer K-Wert für im Verbandsmauerwerk verarbeitete Hochlochsteine mit z.B. $K = 0,45$ festgesetzt werden.

Es ergäbe sich dann folgende Staffelung:

K=0,60 bei Verwendung von Vollsteinen und Einsteinmauerwerk;

K=0,55 wie vor, jedoch bei Verwendung von Hochlochsteinen mit Lochanteil ≤ 45 %

K=0,50 bei Verwendung von Vollsteinen und Verbandsmauerwerk

K=0,45 wie vor, jedoch bei Verwendung von Hochlochsteinen mit Lochanteil ≤ 45 %

Die sich mit $K = 0,45$ ergebenden Kurvenverläufe sind als "EC 6, 0,45 (Vorschlag)" in die Bilder 42 bis 45 (Anlagen A61 bis A64) eingezeichnet. Man sieht in Bild 42, daß damit die in diesem Bericht gebrachten Versuchsergebnisse für Mauerziegel abgedeckt sind und daß die Ergebnisse von Pume wenigstens zum Teil mit erfaßt sind.

Abschließend ist festzustellen, daß es hier nicht gelungen ist, die Ergebnisse von Pume mit den eigenen Ergebnissen in Einklang zu bringen. Hierzu bedürfte es offensichtlich weiterer Überlegungen und Untersuchungen, wobei insbesondere an Vergleichsuntersuchungen mit den gleichen Steinen in mindestens zwei Versuchsanstalten zu denken wäre.

Verzeichnis der Anlagen

Bild 1	Charakteristische Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit von der Steifigkeit bei MG II	1	
Bild 2	Charakteristische Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit von der Steifigkeit bei MG IIa	2	
Bild 3	Charakteristische Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit von der Steifigkeit bei MG III	3	
Bild 4	Charakteristische Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit von der Steifigkeit bei MG IIIa	4	
Tabelle 1	Versuchsprogramm	5	
Bild 5	Prüfkörper 1	7	
Bild 6	Prüfkörper 2	7	
Bild 7	Prüfkörper 3	8	
Bild 8	Prüfkörper 4	9	
Tabelle 2	Hochlochziegel HLz 20	10	
Tabelle 3	Kalksandstein KSL 12	11	
Tabelle 4	Yali	12	
Bild 9	Lochbilder der verwendeten Steine	13	
Tabelle 5	Mörtelzusammensetzung	14	
Tabelle 6	Mauersand	15	
Bild 10	Sieblinie des Mauersandes	15	
Tabelle 7	Frischmörteleigenschaften	16	
Tabelle 8	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten HLz 1	17
Tabelle 9	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten HLz 3	18
Tabelle 10	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten HLz 4	18
Tabelle 11	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten KSL 3	19
Tabelle 12	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten KSL 4	19
Tabelle 13	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten Yali 1	20
Tabelle 14	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten Yali 2	20
Tabelle 15	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten Yali 3	21
Tabelle 16	Festmörteleigenschaften	Versuchsvarianten Yali 4	22
Tabelle 17	Fugendruckfestigkeiten	Versuchsvarianten HLz 1	23
Tabelle 18	Fugendruckfestigkeiten	Versuchsvarianten KSL 3	24
Tabelle 19	Fugendruckfestigkeiten	Versuchsvarianten Yali 1	25
Tabelle 20	Fugendruckfestigkeiten	Versuchsvarianten Yali 3	26
Tabelle 21	Fugendruckfestigkeiten	Versuchsvarianten Yali 4	27
Tabelle 22	Ergebnisse der Mauerwerksprüfungen	28	

Tabelle 23	Versuchsvariante 1	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 1	29
Tabelle 24	Versuchsvariante 1	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 2	30
Tabelle 25	Versuchsvariante 1	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 3	31
Tabelle 26	Versuchsvariante 2	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 1	32
Tabelle 27	Versuchsvariante 2	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 2	33
Tabelle 28	Versuchsvariante 2	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 3	34
Tabelle 29	Versuchsvariante 3	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 1	35
Tabelle 30	Versuchsvariante 3	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 2	36
Tabelle 31	Versuchsvariante 3	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 3	37
Tabelle 32	Versuchsvariante 4	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 1	38
Tabelle 33	Versuchsvariante 4	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 2	39
Tabelle 34	Versuchsvariante 4	HLz 20	Mauerwerksprüfkörper 3	40
Tabelle 35	Versuchsvariante 1	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 1	41
Tabelle 36	Versuchsvariante 1	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 2	42
Tabelle 37	Versuchsvariante 1	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 3	43
Tabelle 38	Versuchsvariante 3	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 1	44
Tabelle 39	Versuchsvariante 3	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 2	45
Tabelle 40	Versuchsvariante 4	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 1	46
Tabelle 41	Versuchsvariante 4	KSL 12	Mauerwerksprüfkörper 2	47
Tabelle 42	Versuchsvariante 1	Yali	Mauerwerksprüfkörper 1	48
Tabelle 43	Versuchsvariante 1	Yali	Mauerwerksprüfkörper 2	49
Tabelle 44	Versuchsvariante 1	Yali	Mauerwerksprüfkörper 3	50
Tabelle 45	Versuchsvariante 2	Yali	Mauerwerksprüfkörper 1	51
Tabelle 46	Versuchsvariante 2	Yali	Mauerwerksprüfkörper 2	52
Tabelle 47	Versuchsvariante 2	Yali	Mauerwerksprüfkörper 3	53
Tabelle 48	Versuchsvariante 3	Yali	Mauerwerksprüfkörper 1	54
Tabelle 49	Versuchsvariante 3	Yali	Mauerwerksprüfkörper 2	55
Tabelle 50	Versuchsvariante 3	Yali	Mauerwerksprüfkörper 3	56
Tabelle 51	Versuchsvariante 4	Yali	Mauerwerksprüfkörper 1	57
Tabelle 52	Versuchsvariante 4	Yali	Mauerwerksprüfkörper 2	58
Tabelle 53	Versuchsvariante 4	Yali	Mauerwerksprüfkörper 3	59
Tabelle 54	Zusammenfassung der Festmörteleigenschaften und der Mauerwerkseigenschaften			60
Bild 42	Neuer Vorschlag für MG IIa und neue Versuchsergebnisse			61
Bild 43	Neuer Vorschlag für MG II			62
Bild 44	Neuer Vorschlag für MG III			63
Bild 45	Neuer Vorschlag für MG IIIa			64

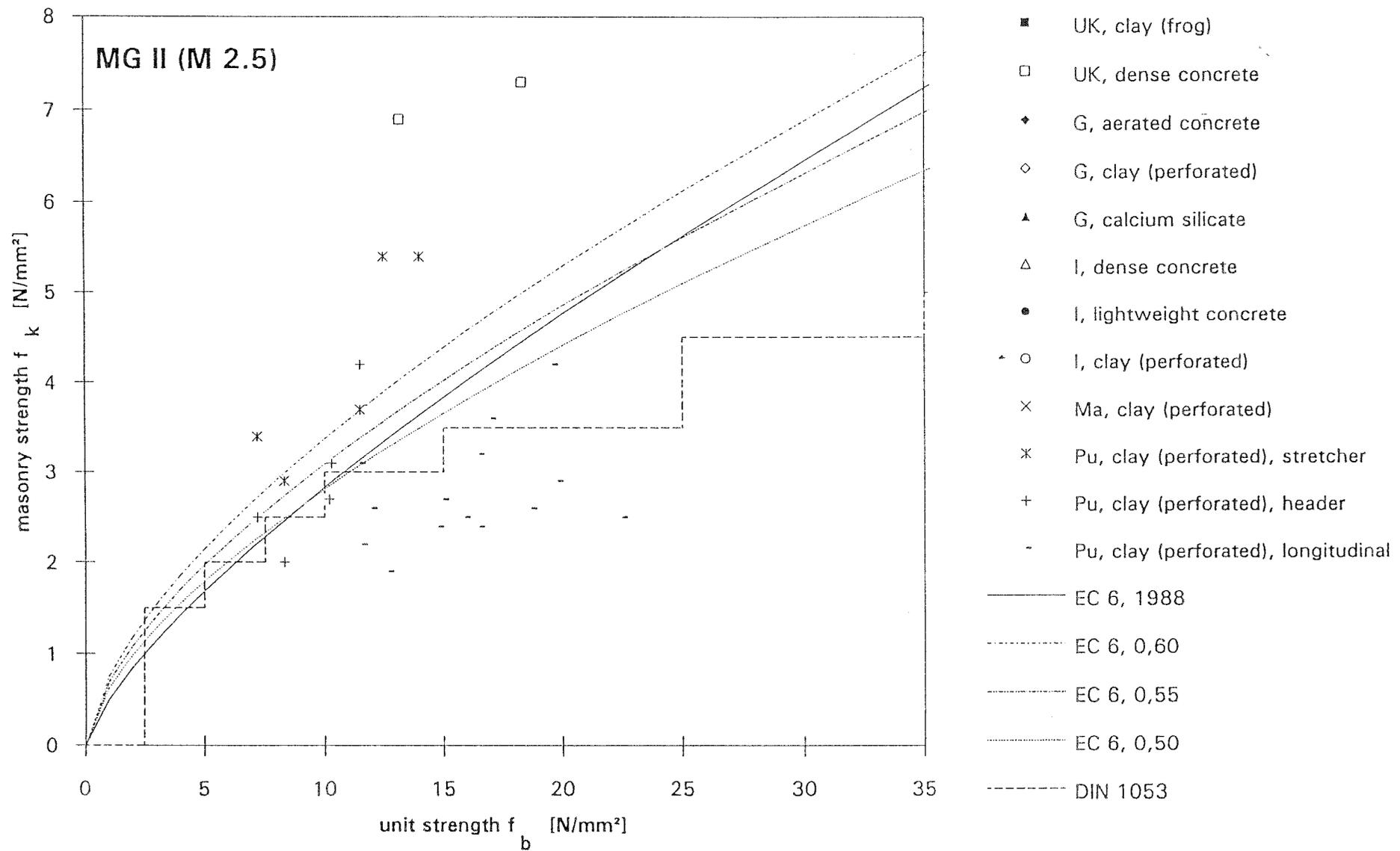


Bild 1: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b) bei (using) MG II (M 2.5)

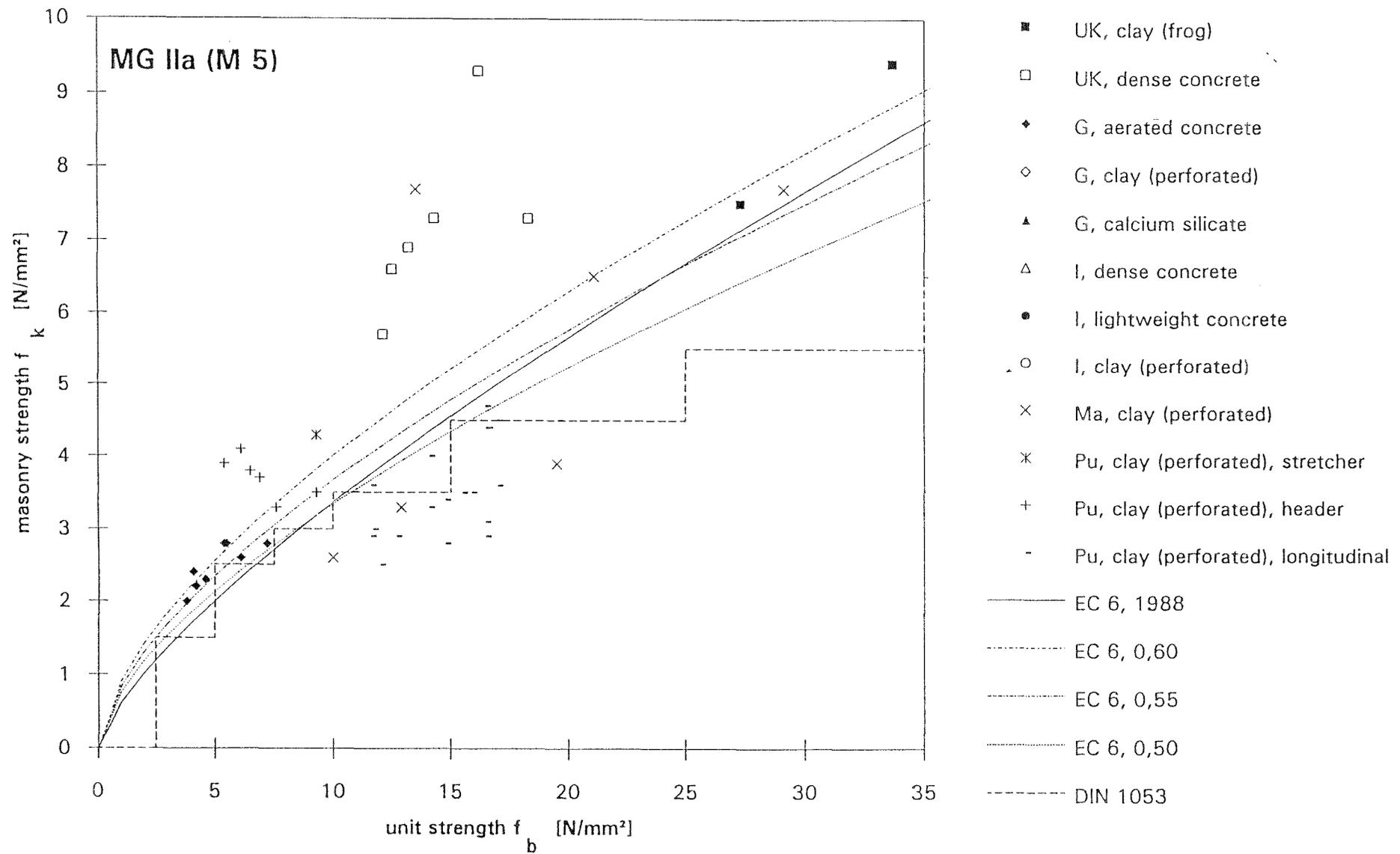


Bild 2: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b) bei (using) MG IIa (M 5)

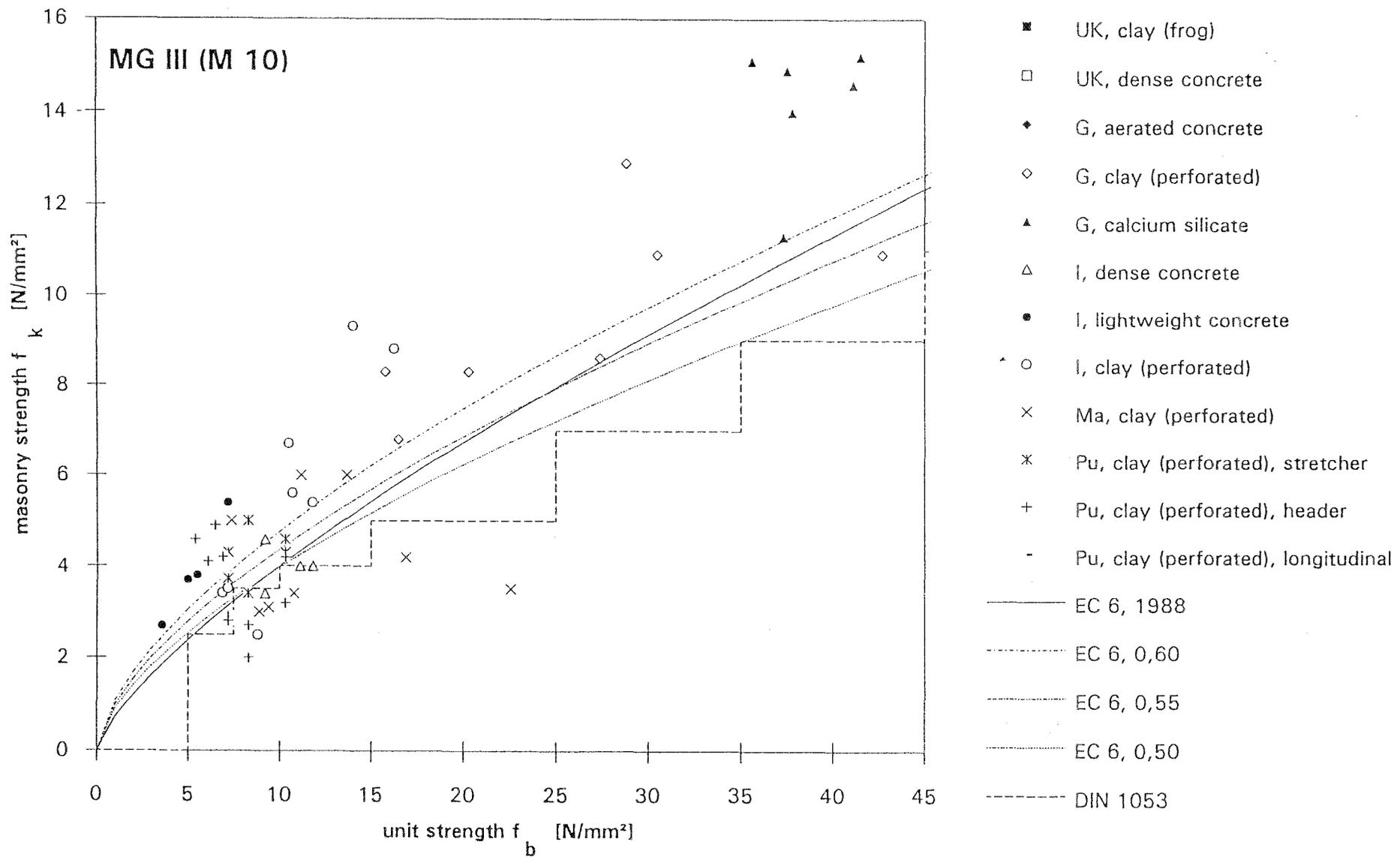


Bild 3: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b) bei (using) MG III (M 10)

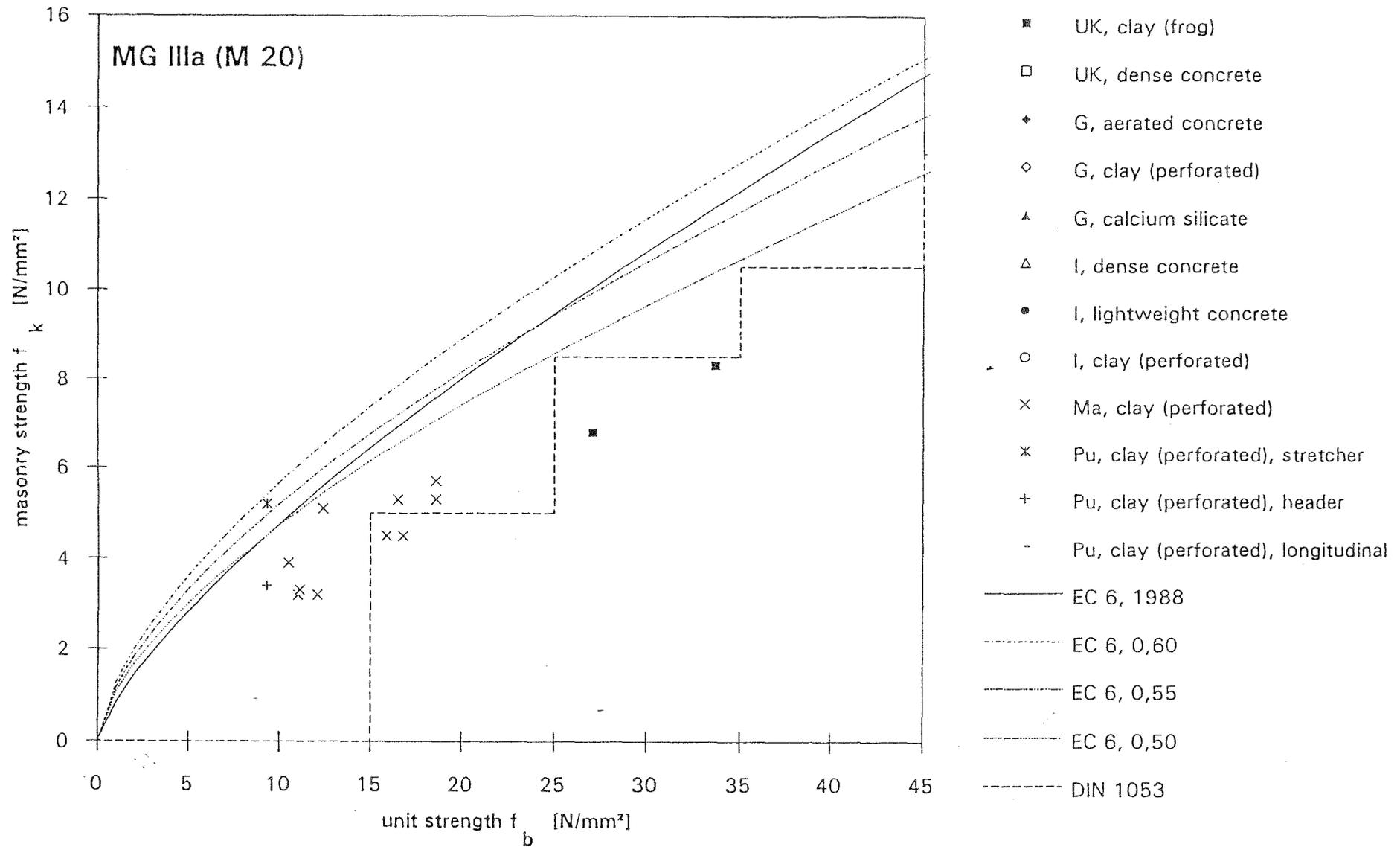


Bild 4: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b) bei (using) MG IIIa (M 20)

Tabelle 1: Versuchsprogramm

3 verschiedene Steinarten

4 Versuchsvarianten (Mauerwerksverbände) gemäß Bilder 5,6,7 und 8

Prüfungen:

Mauerstein	<ul style="list-style-type: none"> - Abmessungen - Rohdichte lufttrocken - Trockenrohddichte - Scherbenrohddichte (nur bei HLz) - Steindruckfestigkeit - Lochanteil
Frischmörtel	<ul style="list-style-type: none"> - Rohdichte im LP-Topf - Ausbreitmaß
Festmörtel	<ul style="list-style-type: none"> - Rohdichte trocken und lufttrocken - Biegezug- und Druckfestigkeit
Mörtel-Stein-Prüfkörper	<ul style="list-style-type: none"> - Fugendruckfestigkeit nach dem Würfeldruckverfahren <ul style="list-style-type: none"> a) mit den verwendeten Mauersteinen b) mit Referenzsteinen nach DIN 1053 Teil 1
Mauerwerk	<ul style="list-style-type: none"> - je Versuchsvariante 3 bzw. 2 Prüfkörper nach DIN 18554 Teil 1

Weitere Angaben und Übersichten siehe S. A6

Tabelle 1 (Fortsetzung) : Versuchsprogramm

Versuchs - variante	Mauerwerksprüfkörper		Steineigenschaften		Mörtel -	Frischmörtel -	Festmörtel -	Fugendruck -	Mauerwerkseigenschaften	
	nach Bild Nr	Anzahl			zusammensetzung	kennwerte	eigenschaften	festigkeit		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HLz 1	5	3	Tab.2	Bild 9	Tab.5	Tab.7	Tab.8	Tab.17	Tab.23-25	Bilder 11-13
HLz 2	6	3					-	-	Tab.26-28	Bilder 14-16
HLz 3	7	3					Tab.9	-	Tab.29-31	Bilder 17-19
HLz 4	8	3					Tab.10	-	Tab.32-34	Bilder 20-22
KSL 1	5	3	Tab.3	"	"	"	-	-	Tab.35-37	Bilder 23-25
KSL 3	7	2					Tab.11	Tab.18	Tab.38,39	Bilder 26,27
KSL 4	8	2					Tab.12	-	Tab.40,41	Bilder 28,29
Yali 1	5	3	Tab.4	"	"	"	Tab.13	Tab.19	Tab.42-44	Bilder 30-32
Yali 2	6	3					Tab.14	-	Tab.45-47	Bilder 33-35
Yali 3	7	3					Tab.15	Tab.20	Tab.48-50	Bilder 36-38
Yali 4	8	3					Tab.16	Tab.21	Tab.51-53	Bilder 39-41
							Zusammenfassung der Festmörteleigenschaften und der Mauerwerkseigenschaften: Tab.54			
									Zusammenfassung der Mauerwerkseigenschaften: Tab.22	

A 7

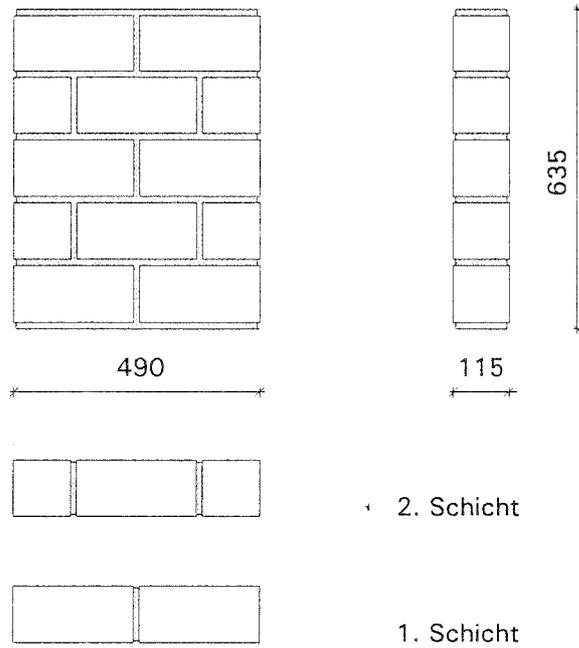


Bild 5: Prüfkörper 1

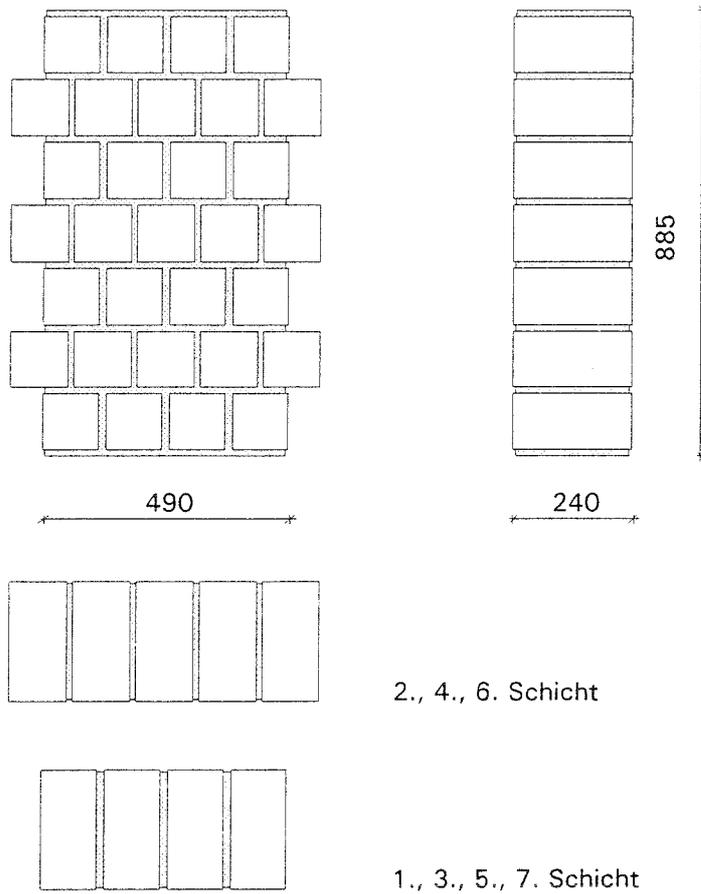
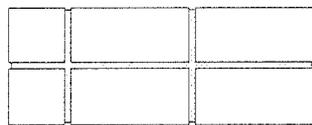
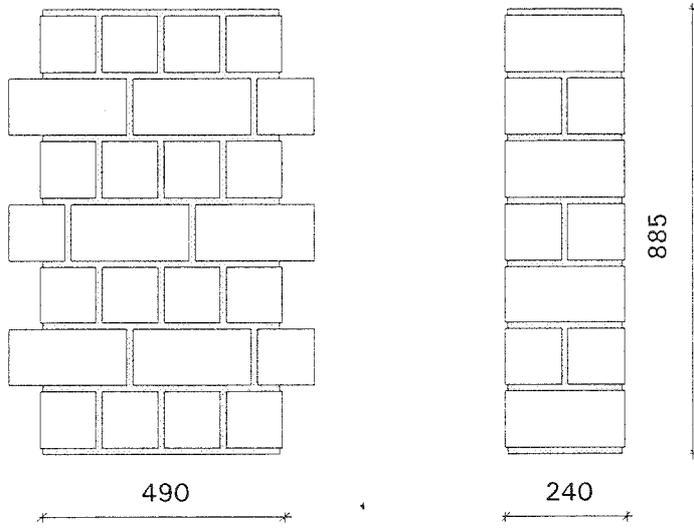
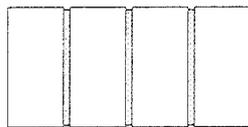


Bild 6: Prüfkörper 2



4. Schicht



1., 3., 5., 7. Schicht

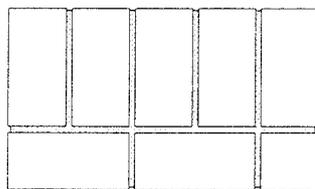
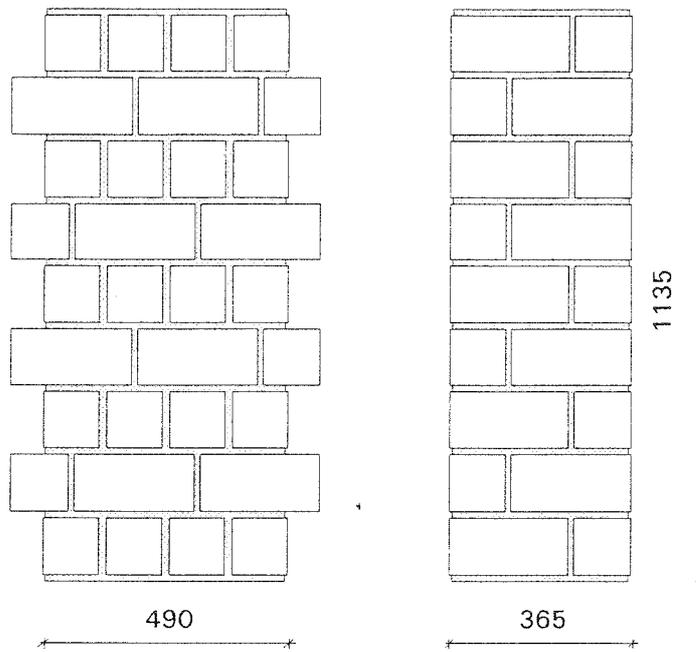


2., 6. Schicht

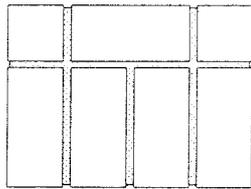


1., 3., 5., 7. Schicht

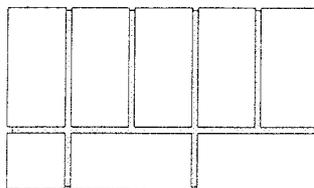
Bild 7: Prüfkörper 3



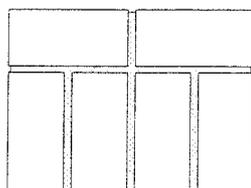
4., 8. Schicht



3., 7. Schicht



2., 6. Schicht



1., 5., 9. Schicht

Bild 8: Prüfkörper 4

Tabelle 2 : Hochlochziegel HLz 20

Abmessungen

Rohdichte lufttrocken ρ_l Trockenrohddichte ρ_d Scherbenrohddichte ρ_s Steindruckfestigkeit $\beta_{D,st}$

Stein Nr.	Abmessungen			ρ_l kg/m ³	ρ_d kg/m ³	$\beta_{D,st}$ N/mm ²
	l mm	b mm	h mm			
1	236	111	114	1075	1074	31,30
2	236	111	114	1073	1073	34,00
3	234	110	112	1112	1111	40,00
4	235	111	114	1079	1079	30,70
5	236	111	114	1079	1079	32,50
6	236	111	114	1075	1074	32,10
Mittelwert (1-6)	236	111	114	1082	1082	33,43

Stein Nr.	Abmessungen			ρ_l kg/m ³	ρ_d kg/m ³	ρ_s kg/m ³
	l mm	b mm	h mm			
7	235	110	113	1093	1093	1820
8	236	111	113	1081	1081	1800
9	235	111	114	1079	1079	1810
Mittelwert (7-9)	235	111	113	1084	1084	1810

Tabelle 3 : Kalksandstein KSL 12

Abmessungen

Rohdichte lufttrocken ρ_l Trockenrohichte ρ_d Steindruckfestigkeit $\beta_{D,st}$

Stein Nr.	Abmessungen			ρ_l kg/m ³	ρ_d kg/m ³	$\beta_{D,st}$ N/mm ²
	l mm	b mm	h mm			
1	240	112	113	1302	1263	-
2	240	112	113	1294	1255	-
3	240	113	112	1263	1202	-
4	239	114	112	1254	1212	-
5	240	114	112	1269	1247	-
6	240	113	112	1254	1221	-
Mittelwert (1-6)	240	113	112	1273	1233	-
1	240	115	111	-	-	17,4
2	240	114	111	-	-	15,7
3	241	114	111	-	-	15,8
4	240	115	112	-	-	16,2
5	241	1133	111	-	-	15,2
6	241	114	111	-	-	14,6
Mittelwert (1-6)						15,8
1	240	114	113	-	-	17,9
2	240	113	113	-	-	17,0
3	240	113	113	-	-	17,9
4	240	113	113	-	-	18,4
5	241	113	113	-	-	16,5
6	240	114	113	-	-	17,5
Mittelwert (7-12)						17,5
Mittelwert (1-12)						16,7

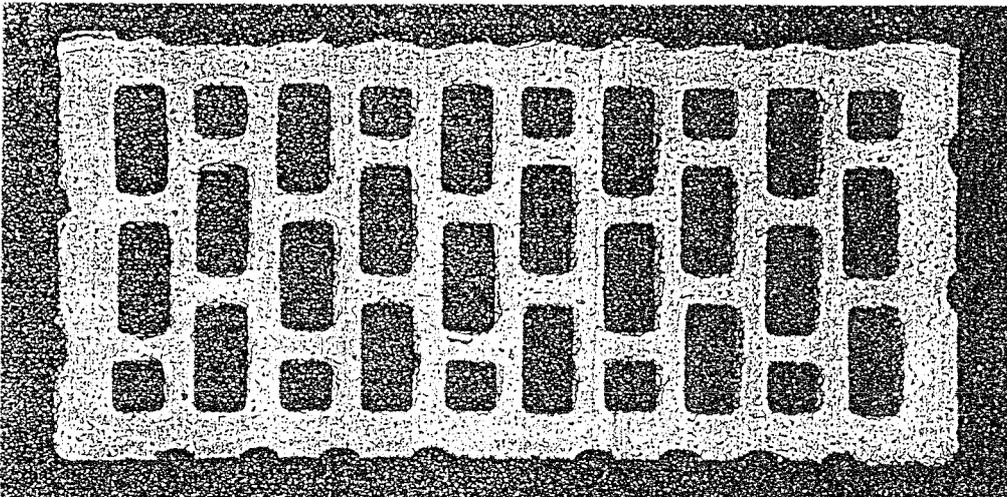
Tabelle 4 : Yali

Abmessungen

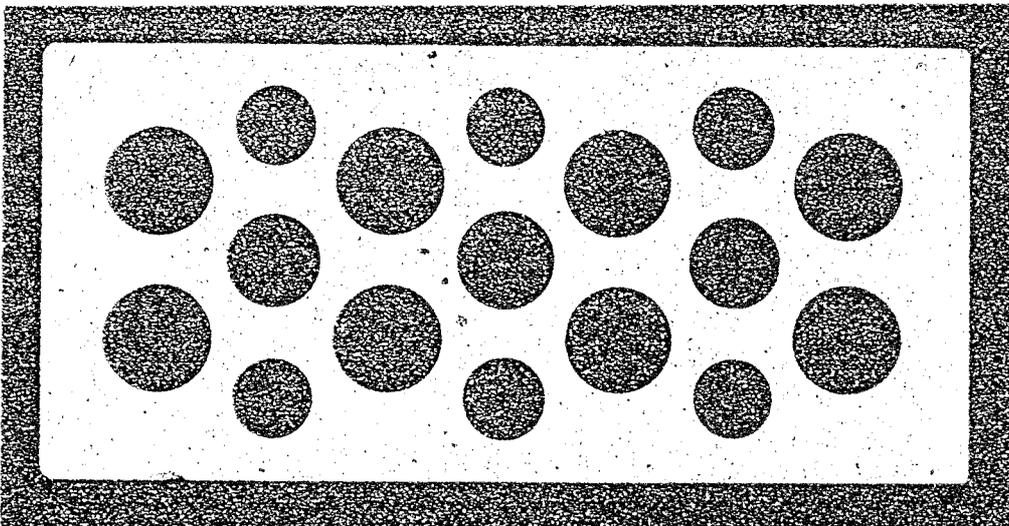
Rohdichte lufttrocken ρ_l Trockenrohddichte ρ_d Steindruckfestigkeit $\beta_{D,st}$

Stein Nr.	Abmessungen			ρ_l kg/m ³	$\beta_{D,st}$ N/mm ²
	l mm	b mm	h mm		
1	241	115	113	834	5,92
2	239	115	113	831	6,88
3	240	115	112	832	5,80
4	241	115	113	840	5,33
5	240	115	112	828	7,86
6	241	115	113	823	5,92
Mittelwert (1-6)	240	115	113	831	6,29

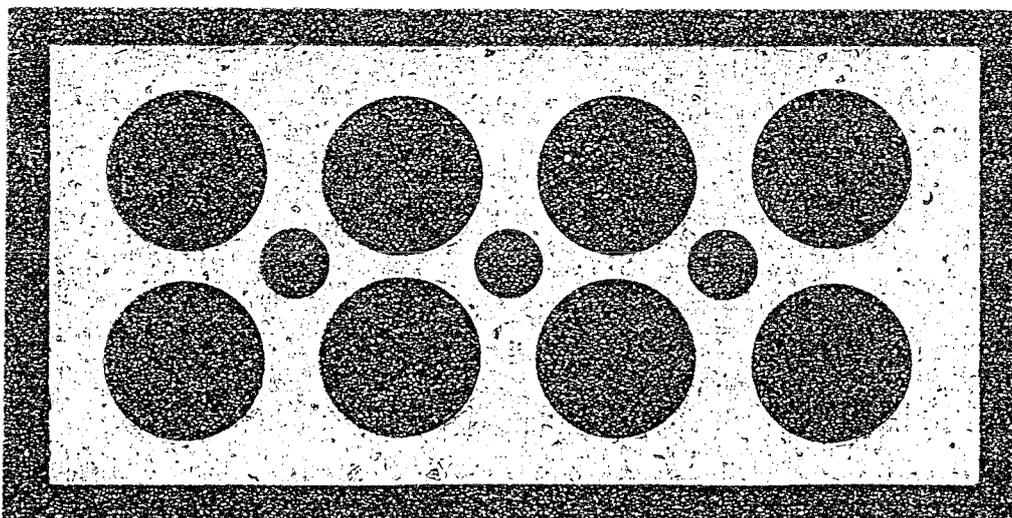
Stein Nr.	Abmessungen			ρ_l kg/m ³	ρ_d kg/m ³
	l mm	b mm	h mm		
7	241	114	112	867	782
8	240	115	113	836	760
9	241	115	112	852	770
10	241	114	112	859	778
11	240	115	112	842	768
12	241	114	112	854	779
Mittelwert (7-9)	241	115	112	852	773



HLz 20 Lochanteil 38,1 %



KSL 12 Lochanteil 32,2 %



Yali Lochanteil 42,7 %

Bild 9: Lochbilder der verwendeten Steine

Tabelle 5: Mörtelzusammensetzung

Zusammensetzung, Einwaagen, Mischzeiten

Versuchsvariante	Mischung	Sand kg	Zement PZ 35 F kg	Kalkhydrat kg	Wasser kg	Mischzeit s
HLz 1	1	42,0	6,0	2,5	9,9	90
HLz 2	1	85,0	12,0	5,0	20,5	90
	2	104,0	16,0	6,7	26,9	90
HLz 3	1	104,0	16,0	6,7	26,9	90
HLz 4	1	173,2	24,0	10,0	49,0	90
	2	57,2	8,0	4,0	12,8	90
KSL 1	1	42,0	6,0	2,5	11,2	150
KSL 3	1	126,0	18,0	7,5	34,5	150
KSL 4	1	63,0	9,0	3,8	17,3	150
Yali 1	1	42,0	6,0	2,5	11,2	150
Yali 2	1	84,0	12,0	5,0	20,1	150
Yali 3	1	84,0	12,0	5,0	20,6	150
Yali 4	1	84,0	12,0	5,0	21,5	150
	2	105,0	15,0	6,3	26,9	150

Tabelle 6 : Mauersand 0 / 4

Eigenfeuchte

Zuschlaggewicht feucht:	5000 g
Zuschlaggewicht trocken:	4770 g
Eigenfeuchte:	4,6 %

Siebversuch

Versuch	Gesamt-rückstand g	Rückstand in g auf dem Sieb					
		0,125	0,25	0,5	1	2	4
1	1000	950	685	240	57	15	3
2	1000	959	719	283	75	22	4
3	1000	955	724	293	79	24	6
Summe	3000	2864	2128	816	211	61	13
Rückstand in %		95,5	70,9	27,2	7,0	2,0	0,4
Durchgang in %		4,5	29,1	72,8	93,0	98,0	99,6

Siebdurchgang in M.-%

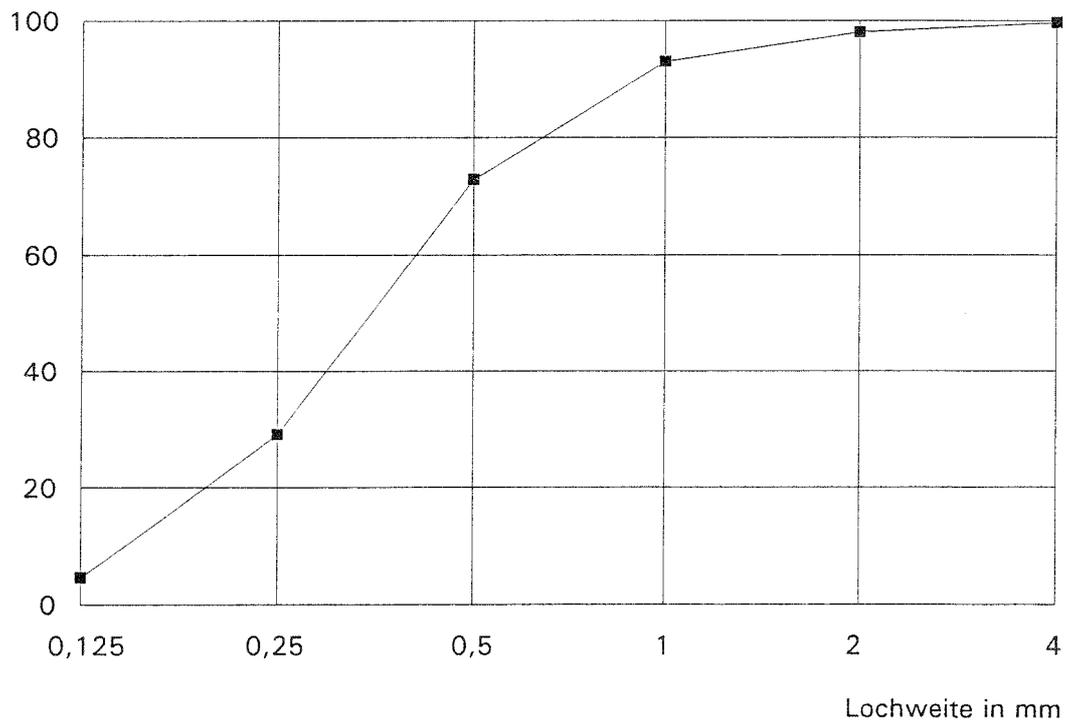


Bild 10 : Sieblinie des verwendeten Sandes

Tabelle 7: Mauermörtel

Frischmörteleigenschaften: Ausbreitmaß a

Frischmörtelrohddichte ρ_{fr} im LP-Topf

Versuchsvariante	Mischung	a mm	ρ_{fr} kg/dm ³
HLz 1	1	188	2,016
HLz 2	1	189	2,050
	2	187	2,040
HLz 3	1	187	2,040
HLz 4	1	188	2,047
	2	189	2,051
KSL 1	1	185	2,020
KSL 3	1	188	2,018
KSL 4	1	187	2,017
Yali 1	1	178	2,010
Yali 2	1	181	2,015
Yali 3	1	186	2,012
Yali 4	1	185	2,022
	2	185	2,018

Tabelle 8 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften:

Rohdichte lufttrocken ρ_l Trockenrohddichte ρ_d Biegezugfestigkeit β_{BZ} Druckfestigkeit β_D

Versuchsvariante HLz 1

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,79	-	2,20	7,94
2	1,81	-	2,10	7,82
3	1,83	-	2,50	7,59
Mittelwert (1-3)	1,81	-	2,27	7,47
4	1,82	1,74	-	7,82
5	1,84	1,75	-	7,59
6	1,83	1,75	-	7,47
Mittelwert (4-6)	1,83	1,75	-	7,70

Tabelle 9 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften

Versuchsvariante HLz 3

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,88	-	2,10	7,82 8,41
2	1,88	-	2,25	8,41 8,06
3	1,88	-	2,39	8,30 8,18
Mittelwert (1-3)	1,88	-	2,25	8,20
4	1,83	1,76	-	-
5	1,84	1,77	-	-
6	1,84	1,76	-	-
Mittelwert (4-6)	1,84	1,76	-	-

Tabelle 10 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften

Versuchsvariante Hlz 4

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,86	-	2,21	7,47 7,47
2	1,86	-	2,29	7,35 7,47
3	1,86	-	2,03	7,59 7,47
Mittelwert (1-3)	1,86	-	2,18	7,47
4	1,85	1,77	-	-
5	1,86	1,78	-	-
6	1,85	1,77	-	-
Mittelwert (4-6)	1,85	1,77	-	-

Tabelle 11 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften

Versuchsvariante KSL 3

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,86	-	1,70	6,76 6,52
2	1,85	-	1,61	6,52 6,76
3	1,86	-	1,63	6,64 6,88
Mittelwert (1-3)	1,86	-	1,65	6,68
4	1,85	1,75	-	-
5	1,85	1,75	-	-
6	1,86	1,78	-	-
Mittelwert (4-6)	1,85	1,76	-	-

Tabelle 12 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften

Versuchsvariante KSL 4

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,86	-	1,70	6,64 6,52
2	1,82	-	1,64	6,52 6,64
3	1,84	-	1,50	6,52 6,41
Mittelwert (1-3)	1,84	-	1,61	6,54
4	1,86	1,76	-	-
5	1,86	1,76	-	-
6	1,85	1,76	-	-
Mittelwert (4-6)	1,86	1,76	-	-

Tabelle 13 : Mauer Mörtel; Festmörtel Eigenschaften

Versuchsvariante Yali 1

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,80	-	1,80	6,29 6,41
2	1,77	-	2,00	6,29 6,17
3	1,79	-	2,00	6,41 6,17
Mittelwert (1-3)	1,79	-	1,93	6,29
4	1,79	1,74	-	-
5	1,78	1,73	-	-
6	1,78	1,73	-	-
Mittelwert (4-6)	1,78	1,73	-	-

Tabelle 14 : Mauer Mörtel; Festmörtel Eigenschaften

Versuchsvariante Yali 2

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,78	-	1,90	5,69 5,69
2	1,79	-	1,90	5,58 5,69
3	1,75	-	1,70	5,69 5,69
Mittelwert (1-3)	1,77	-	1,83	5,67
4	1,76	1,71	-	-
5	1,76	1,71	-	-
6	1,75	1,70	-	-
Mittelwert (4-6)	1,76	1,71	-	-

Tabelle 15 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften

Versuchsvariante Yali 3

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,81	-	1,76	5,93 5,69
2	1,81	-	1,60	5,93 5,81
3	1,81	-	1,72	5,81 5,69
Mittelwert (1-3)	1,81	-	1,69	5,81
4	-	1,74	-	-
5	-	1,75	-	-
6	-	1,74	-	-
Mittelwert (4-6)	-	1,74	-	-

Tabelle 16 : Mauermörtel; Festmörteleigenschaften

Versuchsvariante Yali 4 / 1

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,80	-	2,05	6,00 6,10
2	1,80	-	1,87	5,59 6,00
3	1,79	-	1,90	6,00 5,79
Mittelwert (1-3)	1,80	-	1,94	5,91
4	1,79	1,72	-	- -
5	1,80	1,73	-	- -
6	1,80	1,73	-	- -
Mittelwert (4-6)	1,80	1,73	-	-

Versuchsvariante Yali 4 / 2

Prisma Nr.	Rohdichte lufttrocken ρ_l kg/dm ³	Trockenrohddichte ρ_d kg/dm ³	Biegezugfestigkeit β_{BZ} N/mm ²	Druckfestigkeit β_D N/mm ²
1	1,82	-	2,03	6,10 6,41
2	1,83	-	1,92	6,30 6,10
3	1,82	-	1,95	6,41 6,10
Mittelwert (1-3)	1,82	-	1,97	6,24
4	1,82	1,73	-	- -
5	1,82	1,73	-	- -
6	1,82	1,74	-	- -
Mittelwert (4-6)	1,82	1,73	-	-

Tabelle 17: Mauermörtel ; Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$
Versuchsvariante HLz 1

Prüfkörper	Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$	
	Stein	
	HLz 20	Referenzstein
Nr.	N/mm ²	N/mm ²
1	7,5	4,5
2	7,1	6,3
3	7,9	5,9
4	7,6	6,3
5	8,8	5,6
6	7,2	5,7
7	8,5	5,6
8	7,5	5,7
9	8,0	6,9
10	6,8	7,2
11	8,0	5,9
12	6,3	7,9
13	7,2	6,7
14	7,8	7,8
15	7,3	6,3
16	7,5	7,1
17	7,2	7,0
18	6,7	6,9
19	8,0	6,8
20	7,8	7,7
21	8,3	7,2
22	8,6	8,0
23	9,7	7,2
24	8,6	8,5
25	8,5	6,8
26	8,5	8,2
27	8,3	7,0
28	8,8	5,7
29	8,6	8,0
30	7,2	6,8
Mittelwert	7,8	6,8
Standard - abweichung	0,74	0,93
Variations - koeffizient [%]	9,4	13,7

Tabelle 18: Mauermörtel ; Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$
Versuchsvariante KSL 3

Prüfkörper	Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$	
	Stein	
	KSL 3	Referenzstein
Nr.	N/mm ²	N/mm ²
1	4,9	6,2
2	6,0	6,3
3	4,1	6,2
4	6,1	6,7
5	6,7	7,4
6	6,8	6,9
7	7,1	7,4
8	5,6	6,9
9	4,7	6,0
10	6,2	5,9
11	4,9	7,0
12	5,0	6,2
13	5,7	5,9
14	4,6	6,5
15	5,3	6,4
16	5,6	7,5
17	4,5	6,2
18	5,0	5,2
19	5,9	6,4
20	5,0	5,8
21	3,7	6,7
22	4,4	6,1
23	5,6	5,8
24	6,1	5,5
25	6,5	5,6
26	6,3	6,5
27	7,3	6,7
28	7,5	6,7
29	7,1	7,0
30	6,0	6,5
Mittelwert	5,7	6,4
Standard - abweichung	0,97	0,57
Variations - koeffizient [%]	17,2	8,9

Tabelle 19: Mauermörtel ; Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$
Versuchsvariante Yali 1

Prüfkörper	Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$	
	Stein	
	Yali 1	Referenzstein
Nr.	N/mm ²	N/mm ²
1	9,5	5,8
2	9,8	6,2
3	9,1	5,8
4	10,0	6,7
5	8,3	7,8
6	9,0	7,4
7	8,6	7,8
8	8,8	7,4
9	9,1	5,8
10	8,3	6,2
11	8,5	5,5
12	9,3	7,3
13	8,7	8,8
14	9,1	7,0
15	8,8	7,6
16	8,6	6,4
17	8,6	7,1
18	7,8	5,4
19	9,3	7,1
20	8,1	6,6
21	9,5	6,6
22	8,7	6,5
23	8,0	6,5
24	9,3	6,1
25	8,9	6,2
26	7,3	7,4
27	8,8	6,2
28	9,3	6,1
29	8,7	6,1
30	8,8	5,6
Mittelwert	8,8	6,6
Standard - abweichung	0,57	0,79
Variations - koeffizient [%]	6,5	11,9

Tabelle 20: Mauer Mörtel ; Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$
Versuchsvariante Yali 3

Prüfkörper	Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$	
	Stein	
	Yali 3	Referenzstein
Nr.	N/mm ²	N/mm ²
1	11,4	7,2
2	10,3	7,2
3	10,2	8,6
4	10,8	6,1
5	10,2	8,4
6	9,9	7,3
7	9,8	8,4
8	8,9	7,3
9	10,2	7,5
10	9,7	5,2
11	9,2	6,6
12	10,0	7,0
13	8,2	7,5
14	9,6	7,0
15	8,5	6,4
16	9,3	6,6
17	8,9	8,6
18	9,3	7,4
19	9,3	6,9
20	8,9	6,7
21	9,6	6,5
22	10,5	7,4
23	9,0	6,9
24	8,7	6,2
25	8,8	7,4
26	7,7	7,3
27	9,5	7,0
28	8,0	5,9
29	8,2	6,4
30	8,3	7,9
Mittelwert	9,4	7,1
Standard - abweichung	0,87	0,78
Variations - koeffizient [%]	9,3	11,0

Tabelle 21: Mauermörtel ; Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$
Versuchsvariante Yali 4

Prüfkörper	Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$	
	Stein	
	Yali 4	Referenzstein
Nr.	N/mm ²	N/mm ²
1	4,7	5,4
2	5,4	5,0
3	7,4	2,6
4	6,2	5,6
5	7,4	3,8
6	3,7	4,5
7	7,4	3,8
8	6,7	4,5
9	7,1	4,1
10	7,5	4,4
11	7,8	3,6
12	6,4	5,0
13	7,2	5,7
14	8,3	4,3
15	8,6	5,5
16	8,3	3,6
17	6,8	6,1
18	7,1	3,7
19	8,1	5,5
20	8,0	5,4
21	6,9	5,6
22	6,7	4,3
23	6,7	3,5
24	7,1	5,4
25	7,0	4,9
26	6,7	4,6
27	7,9	3,1
28	7,4	4,3
29	5,4	4,5
30	5,5	3,7
Mittelwert	6,9	4,5
Standard - abweichung	1,09	0,87
Variations - koeffizient [%]	15,7	19,3

Tabelle 22: Ergebnisse der Mauerwerksprüfungen

Rißspannung σ_r Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta_{D,mw}$ Längsdehnung bei 1/3 der Bruchlast ε_{33} Elastizitätsmodul E_{33}

Versuchsvariante		Prüfkörper	σ_r N/mm ²	$\beta_{D,mw}$ N/mm ²	ε_{33} mm/m	E_{33} N/mm ²
HLz 1	Läuferverband d = 115 mm	1	-9,9	-9,9	-0,420	7870
		2	-9,8	-9,8	-0,414	7860
		3	-9,2	-10,0	-0,502	6660
		MW	-9,6	-9,9	-0,445	7463
HLz 2	Binderverband d = 240 mm	1	-7,9	-10,2	-0,480	7060
		2	-8,1	-10,2	-0,502	6750
		3	-8,9	-9,6	-0,460	6980
		MW	-8,3	-10,0	-0,481	6930
HLz 3	Kreuzverband d = 240 mm	1	-8,8	-9,5	-0,418	7560
		2	-7,0	-8,8	-0,397	7380
		3	-7,0	-8,8	-0,383	7620
		MW	-7,6	-9,0	-0,399	7520
HLz 4	Kreuzverband d = 365 mm	1	-7,2	-8,6	-0,365	7810
		2	-7,7	-8,6	-0,384	7420
		3	-6,9	-9,2	-0,421	7260
		MW	-7,3	-8,8	-0,390	7497
KSL 1	Läuferverband d = 115 mm	1	-9,2	-9,2	-0,666	4580
		2	-7,8	-7,8	-0,514	5060
		3	-7,0	-7,0	-0,430	5430
		MW	-8,0	-8,0	-0,537	5023
KSL 3	Kreuzverband d = 240 mm	1	-8,2	-8,2	-0,409	6720
		2	-8,1	-8,4	-0,425	6600
		MW	-8,2	-8,3	-0,417	6660
KSL 4	Kreuzverband d = 365 mm	1	-8,0	-8,3	-0,390	7080
		2	-8,2	-8,8	-0,399	7330
		MW	-8,1	-8,6	-0,395	7205
Yali 1	Läuferverband d = 115 mm	1	-3,9	-4,2	-0,545	2570
		2	-3,5	-3,8	-0,491	2550
		3	-3,5	-4,0	-0,527	2510
		MW	-3,6	-4,0	-0,521	2543
Yali 2	Binderverband d = 240 mm	1	-3,7	-4,0	-0,444	3040
		2	-3,8	-4,1	-0,388	3550
		3	-3,2	-3,5	-0,426	2770
		MW	-3,6	-3,9	-0,419	3120
Yali 3	Kreuzverband d = 240 mm	1	-3,6	-4,0	-0,457	2930
		2	-4,0	-4,0	-0,416	3240
		3	-3,7	-4,0	-0,461	2920
		MW	-3,8	-4,0	-0,445	3030
Yali 4	Kreuzverband d = 365 mm	1	-3,6	-4,1	-0,402	3360
		2	-4,2	-4,2	-0,435	3210
		3	-3,7	-3,9	-0,406	3160
		MW	-3,8	-4,1	-0,414	3243

Tabelle 23: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
HLz 20 Versuchsvariante Nr. 1
Prüfkörper Nr. 1

Rißspannung -9,9 N/mm²
Bruchspannung -9,9 N/mm²
E-Modul 7870 N/mm²
Dehnung bei
1/3 der Bruchlast -0,420 mm/m

Last	Spannung	Spannung	Dehnungen				Mittelwert
		Bruchspannung	1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,2	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02
40	-0,7	0,07	-0,09	-0,09	-0,06	-0,06	-0,08
80	-1,5	0,15	-0,16	-0,20	-0,16	-0,17	-0,18
120	-2,2	0,22	-0,27	-0,31	-0,27	-0,31	-0,29
160	-3,0	0,30	-0,34	-0,38	-0,34	-0,42	-0,37
200	-3,7	0,37	-0,45	-0,45	-0,45	-0,56	-0,48
250	-4,6	0,47	-0,59	-0,63	-0,56	-0,71	-0,62
300	-5,6	0,56	-0,74	-0,81	-0,70	-0,88	-0,78
350	-6,5	0,66	-0,91	-0,99	-0,81	-1,06	-0,94
400	-7,4	0,75	-1,09	-1,17	-0,99	-1,28	-1,13
450	-8,4	0,84	-1,27	-1,52	-1,13	-1,60	-1,38
500	-9,3	0,94	-1,49	-1,95	-1,38	-2,06	-1,72

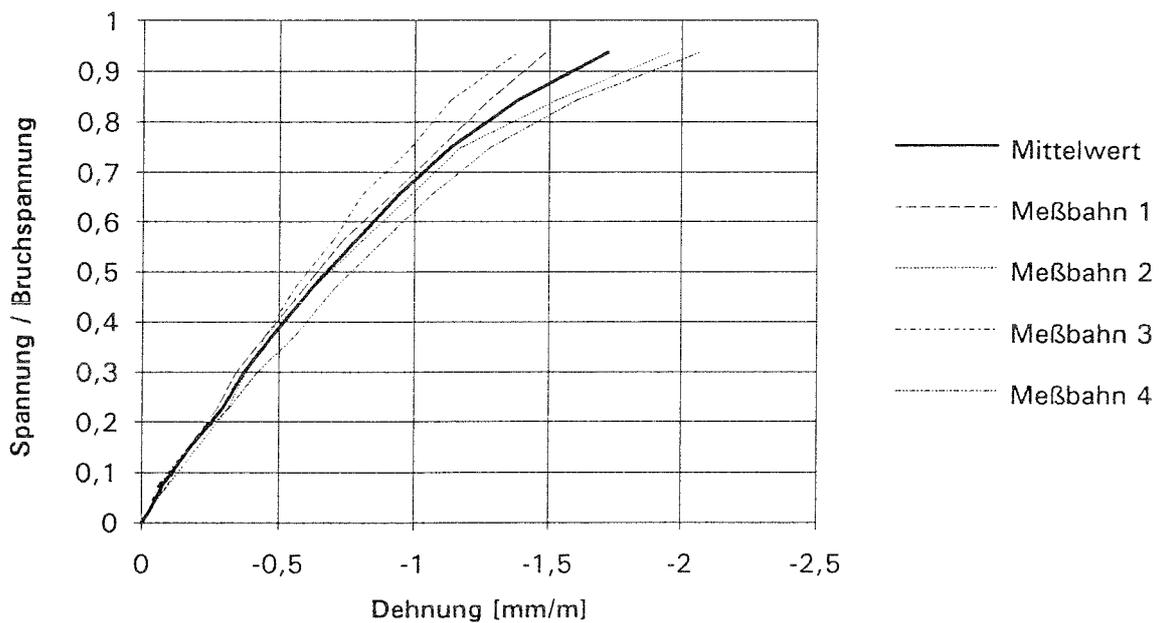


Bild 11: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 35: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
KSL 12 Versuchsvariante Nr. 1
Prüfkörper Nr. 1

Rißspannung -9,2 N/mm²
Bruchspannung -9,2 N/mm²
E-Modul 4580 N/mm²
Dehnung bei
1/3 der Bruchlast -0,666 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,2	0,02	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,04
40	-0,7	0,08	-0,14	-0,13	-0,15	-0,14	-0,14
80	-1,4	0,16	-0,29	-0,23	-0,35	-0,34	-0,30
120	-2,1	0,23	-0,39	-0,33	-0,55	-0,49	-0,44
160	-2,8	0,31	-0,59	-0,53	-0,75	-0,59	-0,61
200	-3,5	0,39	-0,74	-0,68	-1,00	-0,74	-0,79
240	-4,3	0,47	-0,89	-0,78	-1,20	-0,89	-0,94
280	-5,0	0,54	-1,04	-0,93	-1,35	-1,04	-1,09
320	-5,7	0,62	-1,19	-1,08	-1,60	-1,24	-1,28
360	-6,4	0,70	-1,34	-1,23	-1,80	-1,44	-1,45
400	-7,1	0,78	-1,49	-1,43	-2,15	-1,69	-1,69

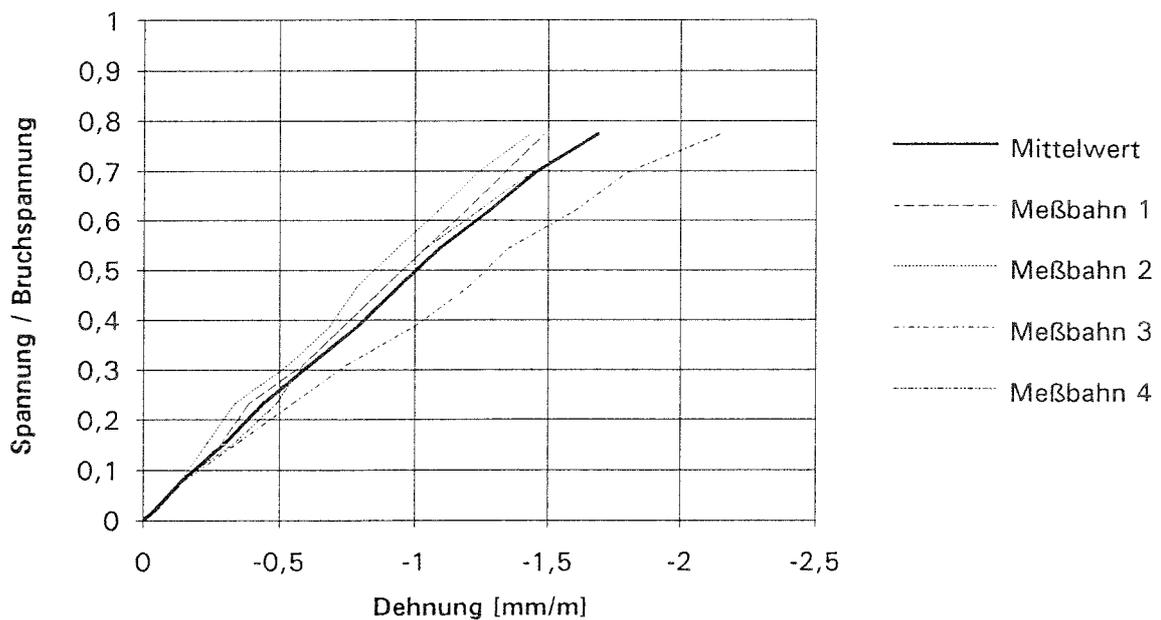


Bild 23: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 38: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 KSL 12 Versuchsvariante Nr. 3
 Prüfkörper Nr. 1

Rißspannung -8,2 N/mm²
 Bruchspannung -8,2 N/mm²
 E-Modul 6720 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,409 mm/m

Last	Spannung	Spannung	Dehnungen				
		Bruchspannung	1	2	3	4	Mittelwert
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	-0,1	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
60	-0,5	0,06	-0,08	-0,08	-0,06	-0,08	-0,08
120	-1,0	0,12	-0,12	-0,16	-0,10	-0,16	-0,14
180	-1,5	0,18	-0,18	-0,24	-0,16	-0,22	-0,20
240	-2,0	0,24	-0,26	-0,32	-0,24	-0,32	-0,29
300	-2,5	0,31	-0,32	-0,40	-0,32	-0,40	-0,36
360	-3,0	0,37	-0,40	-0,50	-0,38	-0,60	-0,47
420	-3,5	0,43	-0,48	-0,60	-0,48	-0,60	-0,54
480	-4,0	0,49	-0,58	-0,68	-0,58	-0,72	-0,64
540	-4,5	0,55	-0,66	-0,78	-0,66	-0,80	-0,73
600	-5,1	0,61	-0,72	-0,86	-0,74	-0,90	-0,81
660	-5,6	0,67	-0,84	-1,00	-0,86	-1,04	-0,94
720	-6,1	0,73	-0,92	-1,08	-0,96	-1,16	-1,03
840	-7,1	0,86	-1,12	-1,32	-1,18	-1,40	-1,26
900	-7,6	0,92	-1,24	-1,50	-1,36	-1,66	-1,44

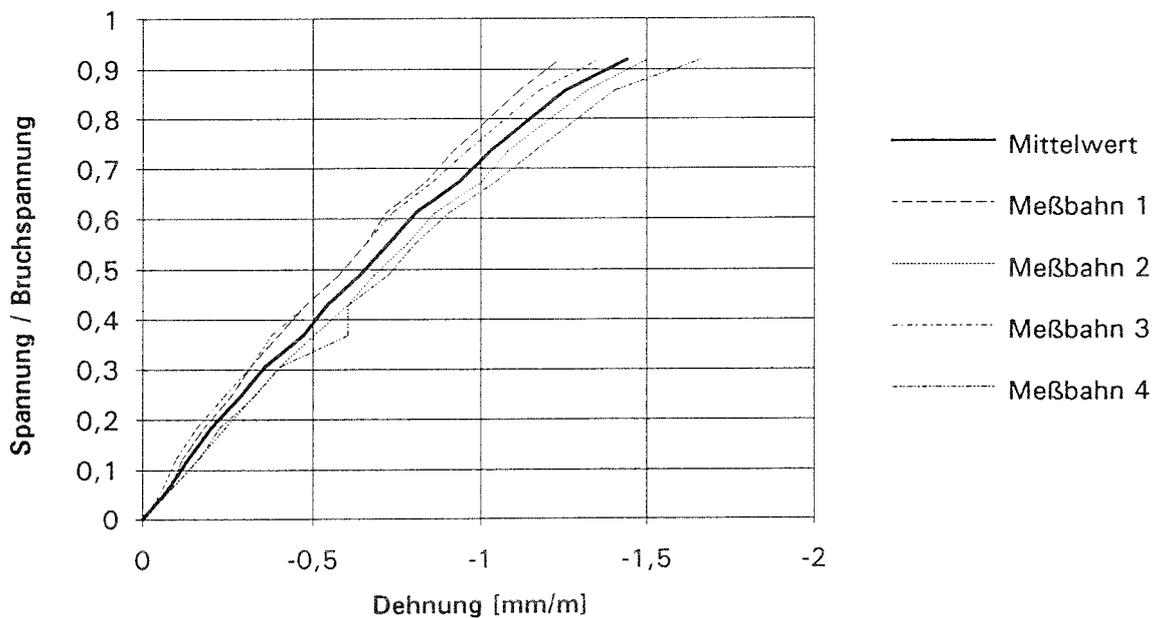


Bild 26: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 42: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 1
 Prüfkörper Nr. 1

Rißspannung -3,9 N/mm²
 Bruchspannung -4,2 N/mm²
 E-Modul 2570 N/mm²
 Dehnung bei 1/3 der Bruchlast -0,545 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,2	0,04	-0,06	-0,09	-0,06	-0,07	-0,07
20	-0,4	0,08	-0,16	-0,21	-0,10	-0,11	-0,14
40	-0,7	0,17	-0,22	-0,35	-0,22	-0,27	-0,26
60	-1,1	0,25	-0,34	-0,33	-0,36	-0,43	-0,36
80	-1,4	0,33	-0,46	-0,69	-0,46	-0,59	-0,55
100	-1,8	0,42	-0,58	-0,73	-0,70	-0,83	-0,71
120	-2,1	0,50	-0,74	-1,13	-0,82	-0,97	-0,91
140	-2,5	0,59	-0,90	-1,41	-1,02	-1,17	-1,12
160	-2,8	0,67	-1,14	-1,75	-1,28	-1,47	-1,41
180	-3,2	0,75	-1,30	-1,99	-1,46	-1,65	-1,60
200	-3,5	0,84	-1,54	-2,29	-1,66	-1,95	-1,86

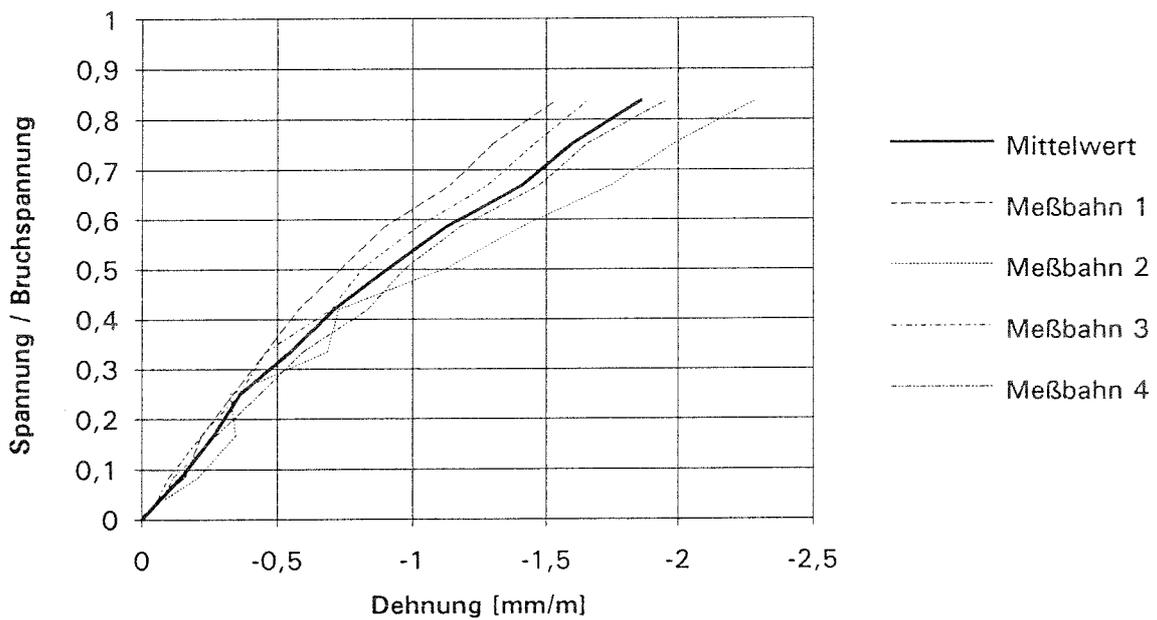


Bild 30: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 43: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
Yali Versuchsvariante Nr. 1
Prüfkörper Nr. 2

Rißspannung -3,5 N/mm²
Bruchspannung -3,8 N/mm²
E-Modul 2550 N/mm²
Dehnung bei
1/3 der Bruchlast -0,491 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,2	0,05	-0,07	-0,08	-0,05	-0,07	-0,07
20	-0,4	0,09	-0,23	-0,26	-0,05	-0,07	-0,24
40	-0,7	0,19	-0,27	-0,36	-0,21	-0,27	-0,28
60	-1,1	0,28	-0,39	-0,52	-0,33	-0,47	-0,43
80	-1,4	0,37	-0,55	-0,64	-0,41	-0,55	-0,54
100	-1,8	0,47	-0,71	-0,84	-0,57	-0,59	-0,68
120	-2,1	0,56	-0,95	-1,04	-0,73	-0,91	-0,91
140	-2,5	0,65	-1,15	-1,32	-0,93	-1,15	-1,14
160	-2,8	0,75	-1,37	-1,52	-1,09	-1,27	-1,31
180	-3,2	0,84	-1,63	-1,84	-1,37	-1,51	-1,59
200	-3,5	0,93	-2,03	-2,14	-1,69	-1,79	-1,91

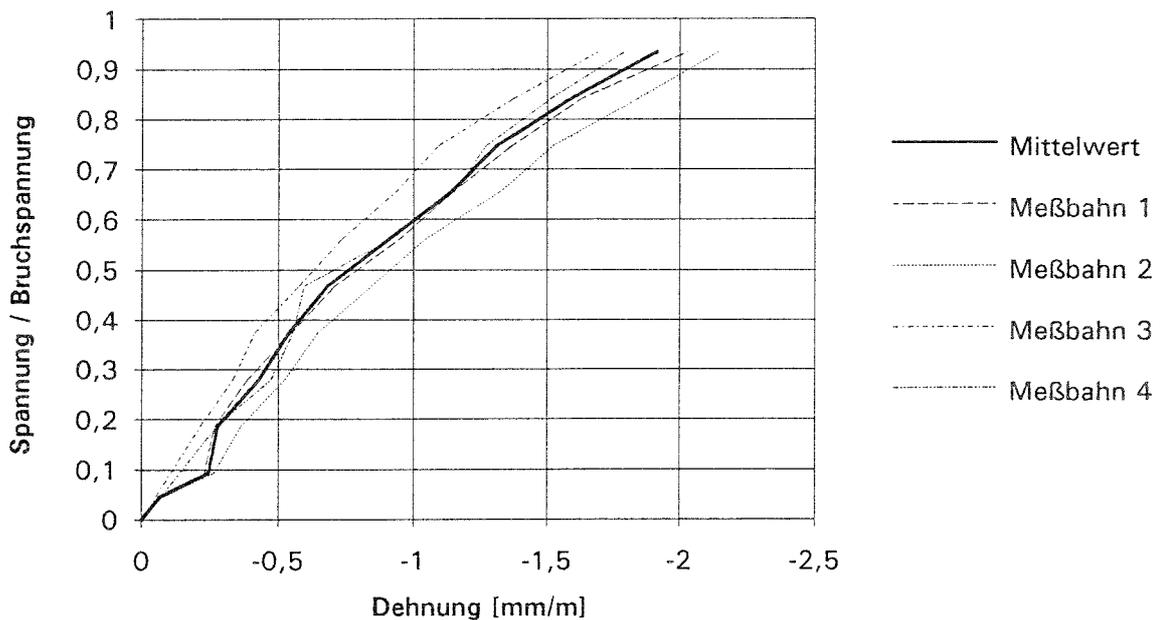


Bild 31: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 44: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 1
 Prüfkörper Nr. 3

Rißspannung -3,5 N/mm²
 Bruchspannung -4,0 N/mm²
 E-Modul 2510 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,527 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,2	0,04	-0,07	-0,10	-0,05	-0,06	-0,07
20	-0,4	0,09	-0,15	-0,22	-0,05	-0,06	-0,12
40	-0,7	0,18	-0,31	-0,46	-0,17	-0,18	-0,28
60	-1,1	0,27	-0,43	-0,62	-0,29	-0,34	-0,42
80	-1,4	0,35	-0,59	-0,78	-0,41	-0,46	-0,56
100	-1,8	0,44	-0,75	-0,98	-0,55	-0,66	-0,74
120	-2,1	0,53	-0,91	-1,18	-0,69	-0,86	-0,91
140	-2,5	0,62	-1,11	-1,50	-0,97	-1,18	-1,19
160	-2,8	0,71	-1,31	-1,70	-1,51	-1,34	-1,47
180	-3,2	0,80	-1,83	-2,12		-1,78	-1,91
200	-3,5	0,88	-2,19	-2,54		-2,10	-2,28

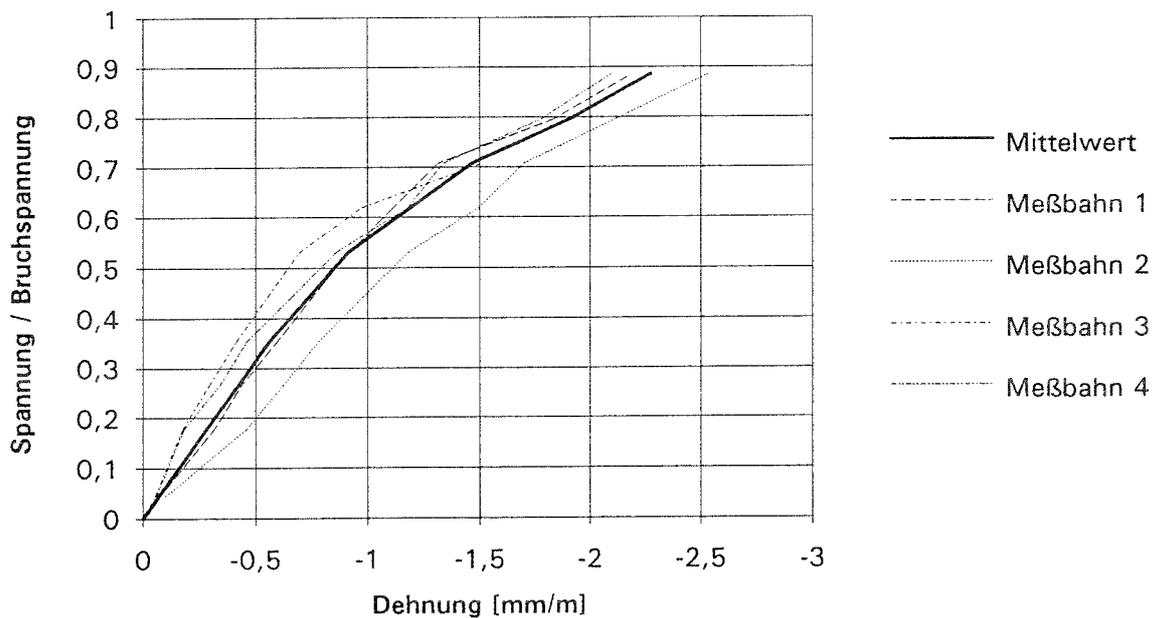


Bild 32: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 45: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 2
 Prüfkörper Nr. 1

Rißspannung -3,7 N/mm²
 Bruchspannung -4,0 N/mm²
 E-Modul 3040 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,444 mm/m

Last	Spannung	Spannung	Dehnungen				Mittelwert
		Bruchspannung	1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,1	0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
40	-0,3	0,08	-0,13	-0,13	-0,09	-0,09	-0,11
80	-0,7	0,17	-0,21	-0,23	-0,17	-0,19	-0,20
120	-1,0	0,25	-0,30	-0,35	-0,27	-0,31	-0,31
160	-1,4	0,34	-0,41	-0,47	-0,49	-0,43	-0,45
200	-1,7	0,42	-0,53	-0,61	-0,51	-0,55	-0,55
240	-2,0	0,50	-0,65	-0,76	-0,65	-0,70	-0,69
280	-2,4	0,59	-0,79	-0,92	-0,79	-0,85	-0,84
320	-2,7	0,67	-0,96	-1,07	-0,99	-1,03	-1,01
360	-3,1	0,76	-1,15	-1,33	-1,21	-1,23	-1,23
400	-3,4	0,84	-1,41	-1,39	-1,47	-1,51	-1,44

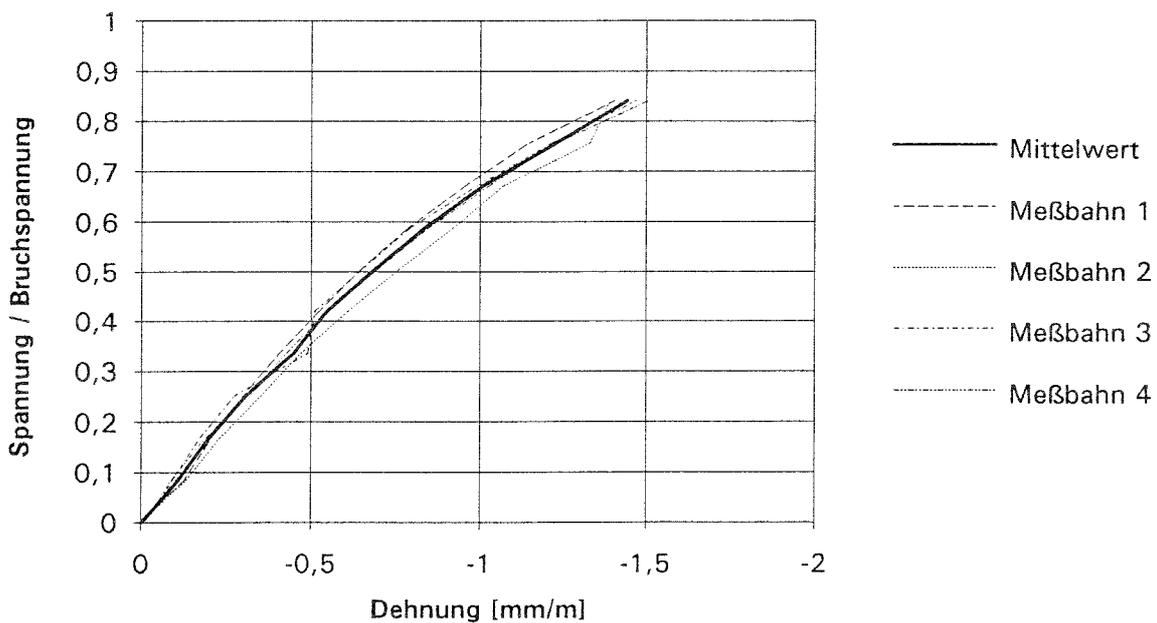


Bild 33: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 46: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 2
 Prüfkörper Nr. 2

Rißspannung -3,8 N/mm²
 Bruchspannung -4,1 N/mm²
 E-Modul 3550 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,388 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				
			1	2	3	4	Mittelwert
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,1	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02
40	-0,3	0,08	-0,08	-0,08	-0,06	-0,09	-0,08
80	-0,7	0,16	-0,16	-0,17	-0,16	-0,19	-0,17
120	-1,0	0,24	-0,24	-0,26	-0,26	-0,29	-0,26
160	-1,3	0,32	-0,36	-0,36	-0,36	-0,41	-0,37
200	-1,7	0,40	-0,47	-0,46	-0,48	-0,51	-0,48
240	-2,0	0,48	-0,60	-0,58	-0,62	-0,63	-0,61
280	-2,3	0,56	-0,75	-0,70	-0,76	-0,79	-0,75
320	-2,7	0,65	-0,94	-0,86	-0,92	-0,93	-0,91
360	-3,0	0,73	-1,14	-1,02	-1,08	-1,09	-1,08
400	-3,3	0,81	-1,48	-1,30	-1,36	-1,36	-1,38

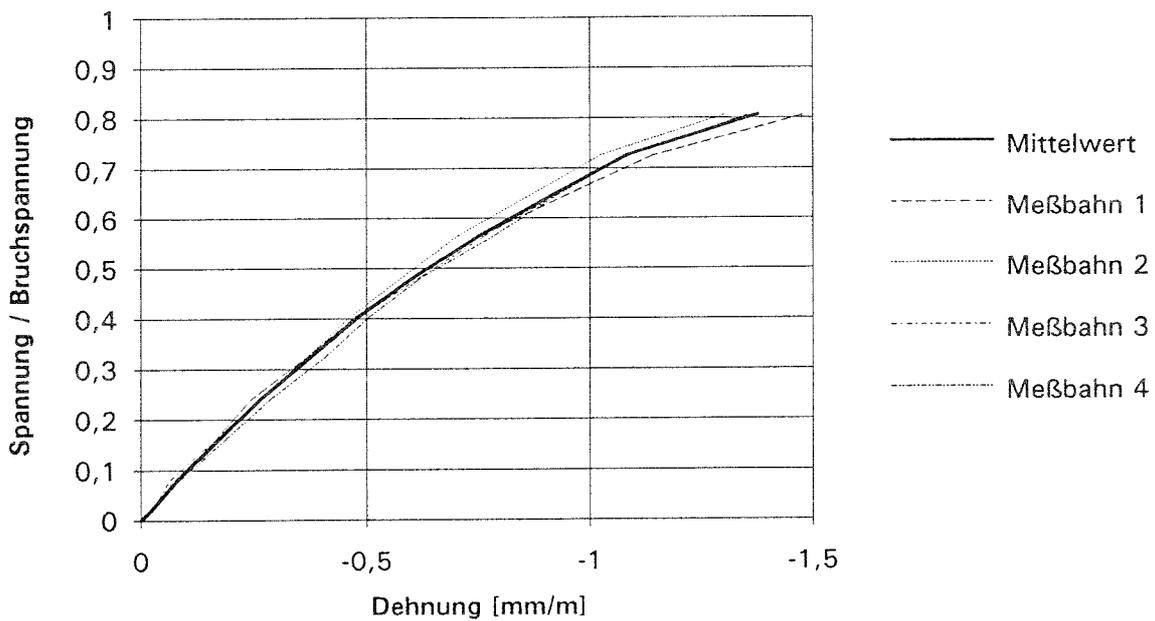


Bild 34: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 47: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 2
 Prüfkörper Nr. 3

Rißspannung -3,2 N/mm²
 Bruchspannung -3,5 N/mm²
 E-Modul 2770 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,426 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,1	0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03
20	-0,2	0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,08	-0,05
40	-0,3	0,10	-0,13	-0,09	-0,09	-0,14	-0,11
60	-0,5	0,14	-0,17	-0,15	-0,15	-0,20	-0,17
80	-0,7	0,19	-0,23	-0,21	-0,21	-0,26	-0,23
100	-0,8	0,24	-0,29	-0,23	-0,27	-0,34	-0,28
120	-1,0	0,29	-0,33	-0,29	-0,33	-0,42	-0,34
140	-1,2	0,33	-0,41	-0,37	-0,41	-0,52	-0,43
160	-1,3	0,38	-0,47	-0,39	-0,45	-0,56	-0,47
180	-1,5	0,43	-0,55	-0,47	-0,53	-0,64	-0,55
200	-1,7	0,48	-0,61	-0,53	-0,59	-0,72	-0,61
220	-1,9	0,52	-0,69	-0,59	-0,67	-0,80	-0,69
240	-2,0	0,57	-0,79	-0,65	-0,77	-0,92	-0,78
260	-2,2	0,62	-0,89	-0,75	-0,87	-1,04	-0,89
280	-2,4	0,67	-1,01	-0,83	-0,97	-1,18	-1,00
300	-2,5	0,71	-1,09	-0,91	-1,03	-1,26	-1,07
320	-2,7	0,76	-1,27	-1,03	-1,21	-1,48	-1,25

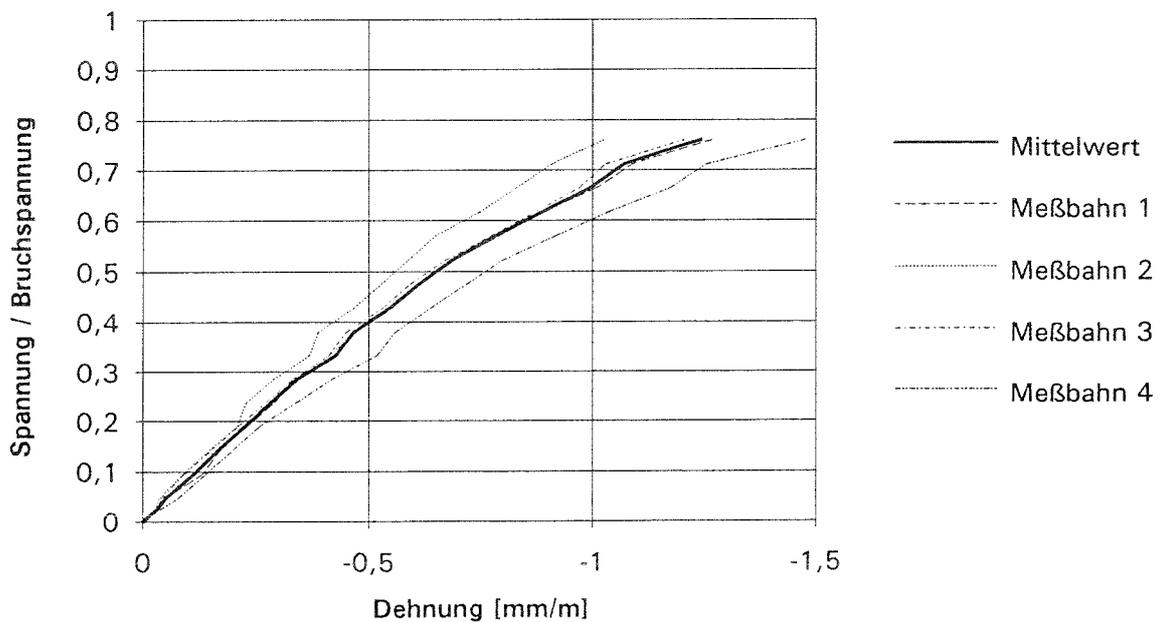


Bild 35: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 49: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
Yali Versuchsvariante Nr. 3
Prüfkörper Nr. 2

Rißspannung -4,0 N/mm²
Bruchspannung -4,0 N/mm²
E-Modul 3240 N/mm²
Dehnung bei
1/3 der Bruchlast -0,416 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-0,1	0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03
40	-0,3	0,08	-0,14	-0,10	-0,06	-0,09	-0,10
80	-0,7	0,17	-0,23	-0,23	-0,16	-0,21	-0,21
120	-1,0	0,25	-0,33	-0,33	-0,24	-0,31	-0,30
160	-1,3	0,33	-0,43	-0,45	-0,36	-0,43	-0,42
200	-1,7	0,42	-0,53	-0,57	-0,47	-0,56	-0,53
240	-2,0	0,50	-0,63	-0,69	-0,60	-0,69	-0,65
280	-2,4	0,58	-0,75	-0,85	-0,76	-0,89	-0,81
320	-2,7	0,67	-0,86	-0,98	-0,88	-1,01	-0,93
360	-3,0	0,75	-1,01	-1,15	-1,04	-1,19	-1,10
400	-3,4	0,83	-1,17	-1,33	-1,26	-1,53	-1,32

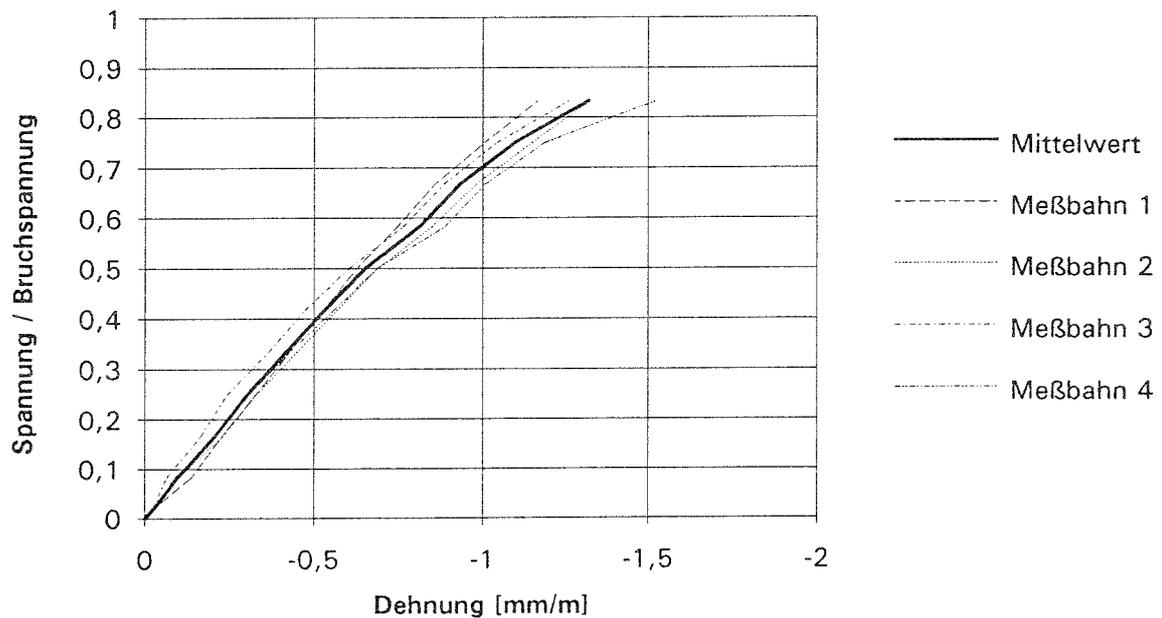


Bild 37: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 51: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
Yali Versuchsvariante Nr. 4
 Prüfkörper Nr. 1

Rißspannung -3,6 N/mm²
Bruchspannung -4,1 N/mm²
E-Modul 3360 N/mm²
Dehnung bei
1/3 der Bruchlast -0,402 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	-0,1	0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03
60	-0,3	0,08	-0,06	-0,11	-0,06	-0,11	-0,09
120	-0,7	0,16	-0,16	-0,23	-0,12	-0,23	-0,19
180	-1,0	0,24	-0,25	-0,34	-0,19	-0,35	-0,28
240	-1,3	0,33	-0,34	-0,47	-0,27	-0,49	-0,39
300	-1,7	0,41	-0,44	-0,60	-0,36	-0,62	-0,51
360	-2,0	0,49	-0,56	-0,74	-0,47	-0,75	-0,63
420	-2,3	0,57	-0,68	-0,91	-0,60	-0,91	-0,78
480	-2,6	0,65	-0,80	-1,06	-0,72	-1,07	-0,91
540	-3,0	0,73	-0,96	-1,28	-0,90	-1,29	-1,11
600	-3,3	0,82	-1,12	-1,47	-1,04	-1,49	-1,28
660	-3,6	0,90	-1,30	-1,75	-1,24	-1,83	-1,53

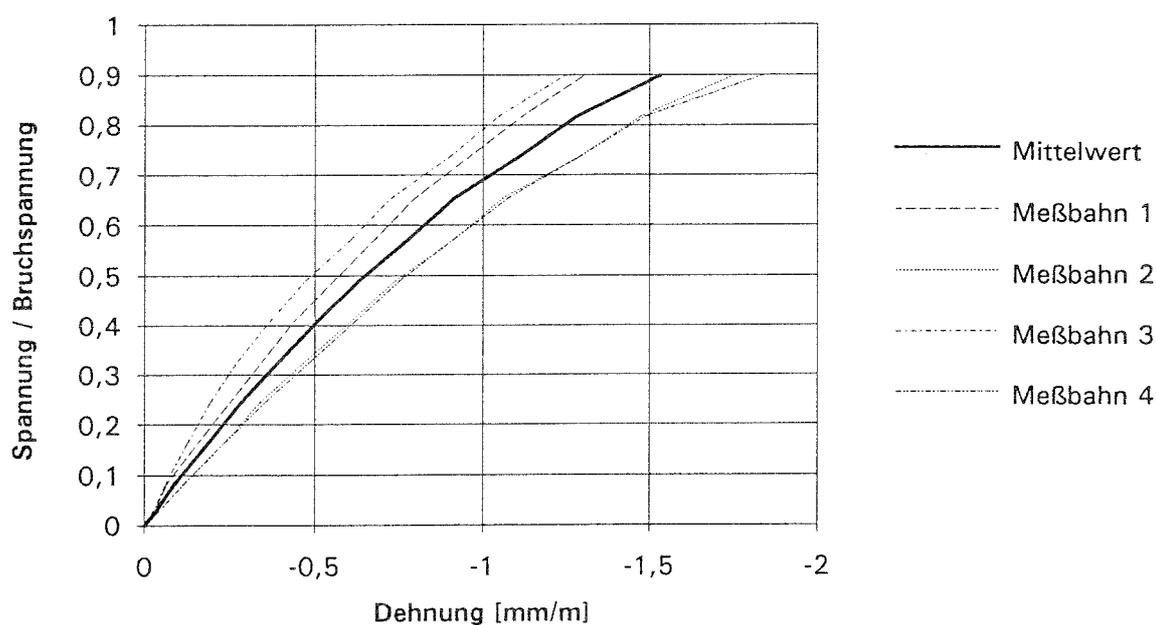


Bild 39: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 52: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 4
 Prüfkörper Nr. 2

Rißspannung -4,2 N/mm²
 Bruchspannung -4,2 N/mm²
 E-Modul 3210 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,435 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	-0,1	0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
60	-0,3	0,08	-0,15	-0,12	-0,12	-0,09	-0,12
120	-0,7	0,16	-0,22	-0,21	-0,20	-0,19	-0,20
180	-1,0	0,24	-0,35	-0,29	-0,29	-0,28	-0,30
240	-1,3	0,32	-0,44	-0,40	-0,40	-0,39	-0,41
300	-1,7	0,39	-0,56	-0,52	-0,52	-0,52	-0,53
360	-2,0	0,47	-0,67	-0,61	-0,61	-0,63	-0,63
420	-2,3	0,55	-0,79	-0,73	-0,75	-0,76	-0,76
480	-2,6	0,63	-0,96	-0,91	-0,91	-0,93	-0,93
540	-3,0	0,71	-1,11	-1,05	-1,08	-1,12	-1,09
600	-3,3	0,79	-1,30	-1,24	-1,27	-1,31	-1,28
660	-3,6	0,87	-1,50	-1,45	-1,48	-1,56	-1,50

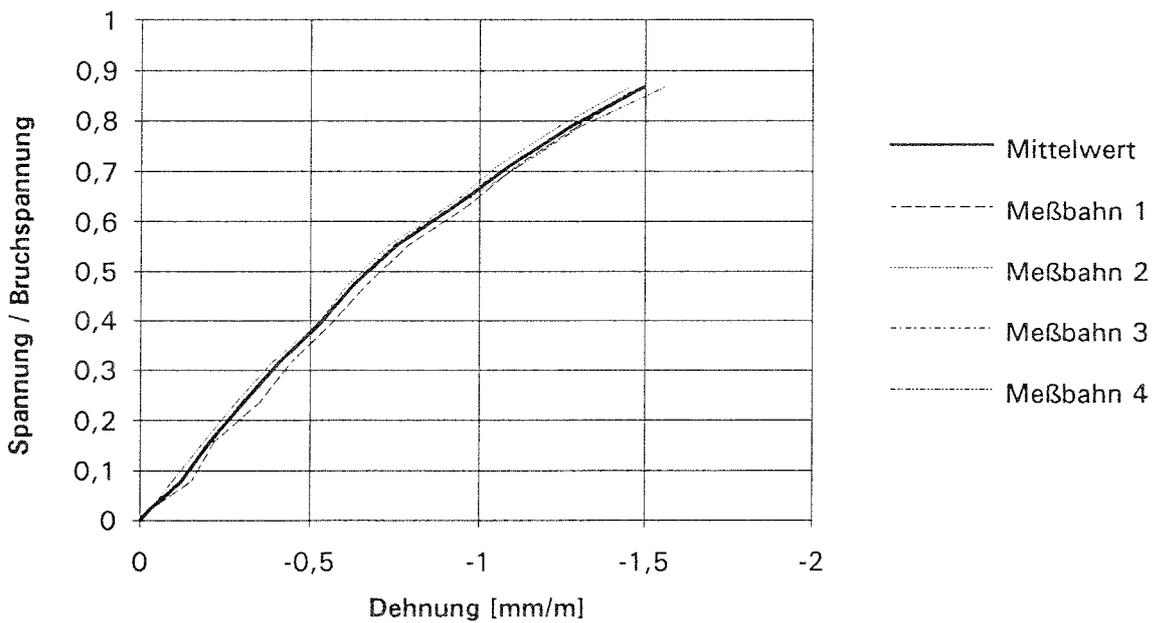


Bild 40: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 53: Mauerwerksprüfkörper nach DIN 18554 Teil 1
 Yali Versuchsvariante Nr. 4
 Prüfkörper Nr. 3

Rißspannung -3,7 N/mm²
 Bruchspannung -3,9 N/mm²
 E-Modul 3160 N/mm²
 Dehnung bei
 1/3 der Bruchlast -0,406 mm/m

Last	Spannung	Spannung Bruchspannung	Dehnungen				Mittelwert
			1	2	3	4	
kN	N/mm ²	-	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	-0,1	0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03
60	-0,3	0,09	-0,12	-0,14	-0,07	-0,11	-0,11
120	-0,7	0,17	-0,20	-0,26	-0,14	-0,22	-0,20
180	-1,0	0,26	-0,31	-0,38	-0,22	-0,34	-0,31
240	-1,3	0,34	-0,40	-0,50	-0,33	-0,46	-0,42
300	-1,7	0,43	-0,53	-0,65	-0,42	-0,58	-0,54
360	-2,0	0,52	-0,65	-0,78	-0,54	-0,72	-0,67
420	-2,3	0,60	-0,79	-0,95	-0,66	-0,87	-0,82
480	-2,7	0,69	-0,97	-1,21	-0,86	-1,10	-1,03
540	-3,0	0,78	-1,11	-1,34	-0,97	-1,26	-1,17
600	-3,3	0,86	-1,36	-1,53	-1,19	-1,55	-1,41
660	-3,7	0,95	-1,96	-1,74	-1,46	-1,98	-1,78

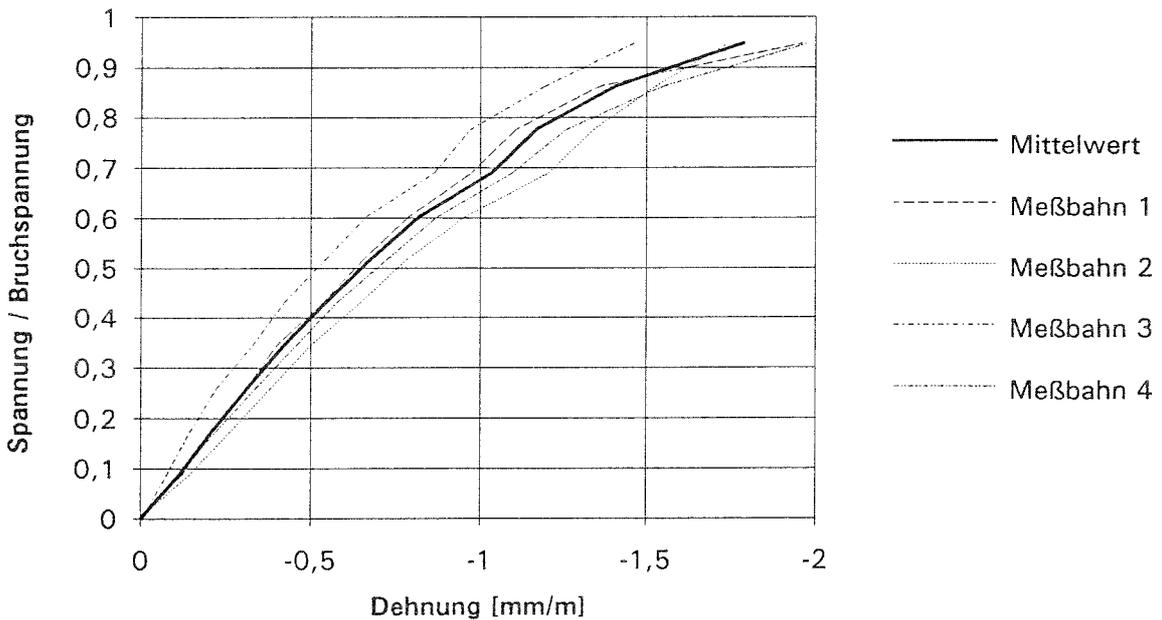


Bild 41: Auf die Bruchspannung bezogene Spannungs-Dehnungs-Linien

Tabelle 54: Zusammenfassung der Festmörteleigenschaften und der Mauerwerkseigenschaften

Festmörteleigenschaften: Rohdichte lufttrocken ρ_l Mauerwerksrißspannung σ_r
 Trockenrohddichte ρ_d Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta_{D,mw}$
 Biegezugfestigkeit β_{BZ} Elastizitätsmodul E_{33}
 Druckfestigkeit β_D
 Fugendruckfestigkeit $\beta_{D,F}$

Versuchsvariante	ρ_l	ρ_d	β_{BZ}	β_D	$\beta_{D,F}$		σ_r	$\beta_{D,mw}$	E_{33}
	kg/dm ³	kg/dm ³	N/mm ²	N/mm ²	Ziegel / Stein N/mm ²	Referenz- stein N/mm ²			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HLz 1	1,83	1,75	2,27	7,73	7,8	6,8	-9,6	-9,9	7463
HLz 2	-	-	-	-	-	-	-8,3	-10,0	6930
HLz 3	1,84	1,76	2,25	8,20	-	-	-7,6	-9,0	7520
HLz 4	1,85	1,77	2,18	7,47	-	-	-7,3	-8,8	7497
Mittelwert	1,84	1,76	2,23	7,80	7,8	6,8	-8,2	-9,4	7353
KSL 1	-	-	-	-	-	-	-8,0	-8,0	5023
KSL 3	1,85	1,76	1,65	6,68	5,7	6,4	-8,2	-8,3	6660
KSL 4	1,86	1,76	1,61	6,54	-	-	-8,1	-8,6	7205
Mittelwert	1,86	1,76	1,63	6,61	5,7	6,4	-8,1	-8,3	6296
Yali 1	1,78	1,73	1,93	6,29	8,8	6,6	-3,6	-4,0	2543
Yali 2	1,76	1,71	1,83	5,67	-	-	-3,6	-3,9	3120
Yali 3	1,81	1,74	1,69	5,81	9,4	7,1	-3,8	-4,0	3030
Yali 4	1,81	1,73	1,95	6,07	6,9	4,5	-3,8	-4,1	3243
Mittelwert	1,79	1,73	1,85	5,96	8,4	6,1	-3,7	-4,0	2984

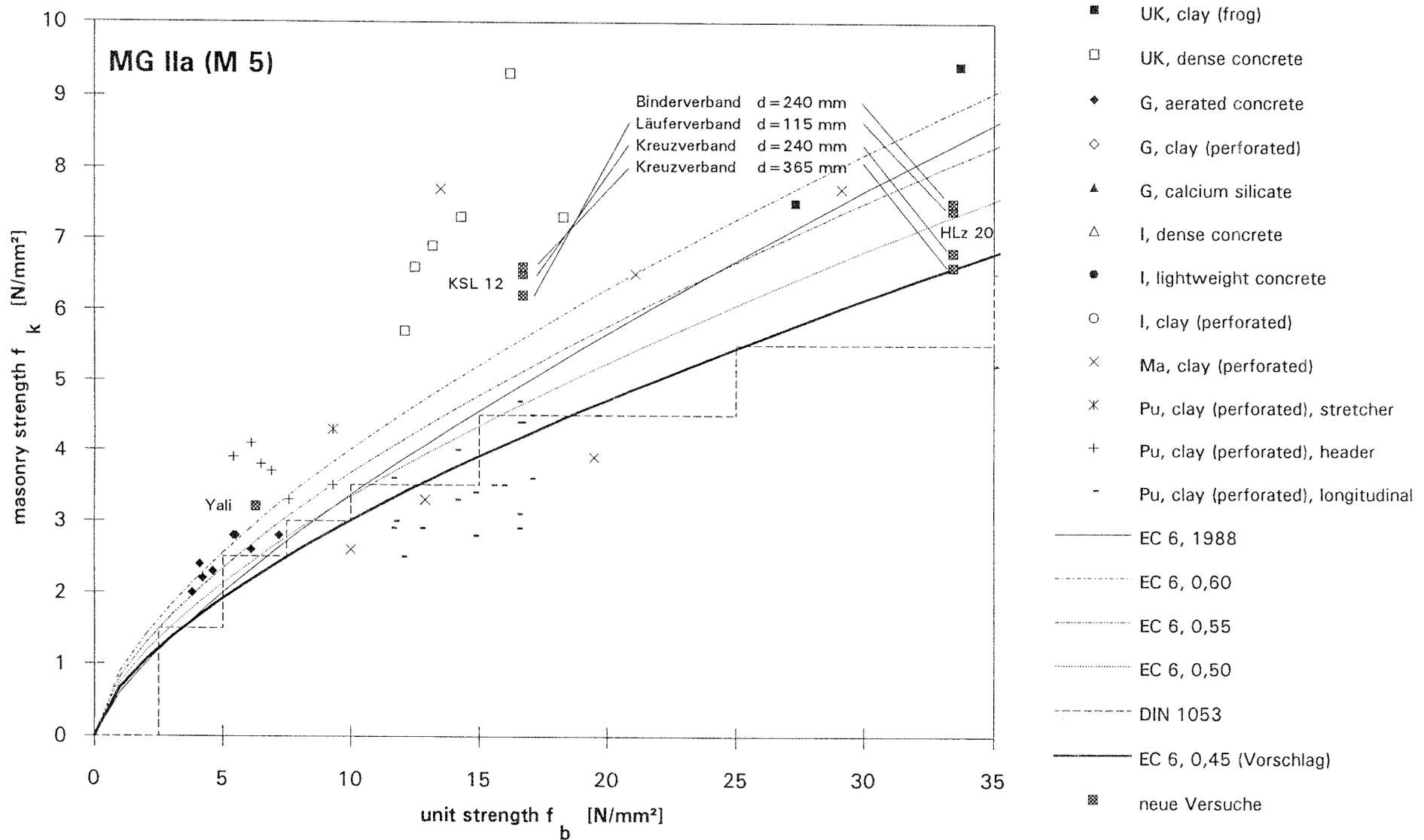


Bild 42: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b)
 Neuer Vorschlag für MG IIa (M5) und neue Versuchsergebnisse

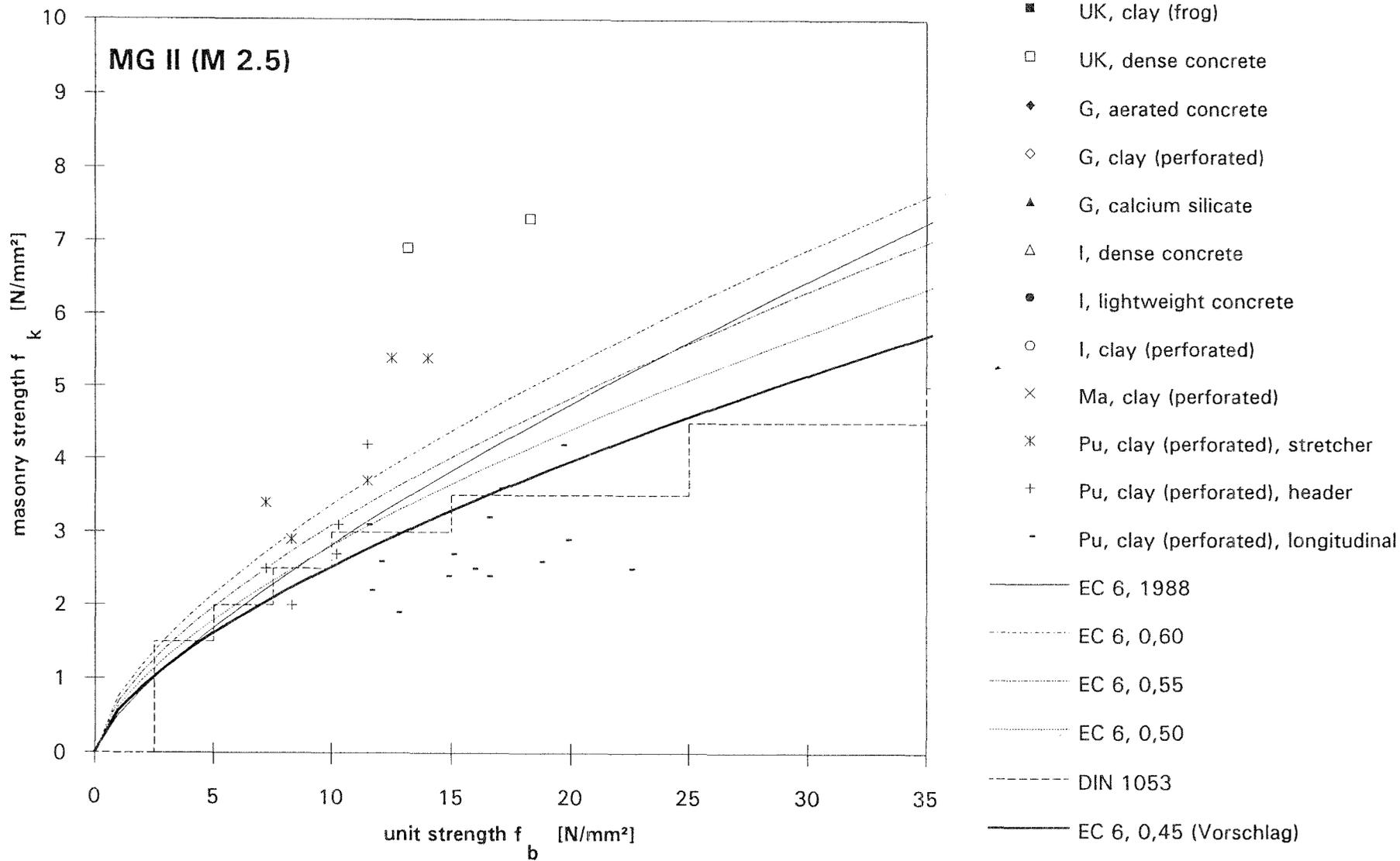


Bild 43: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b)
 Neuer Vorschlag für MG II (M 2.5)

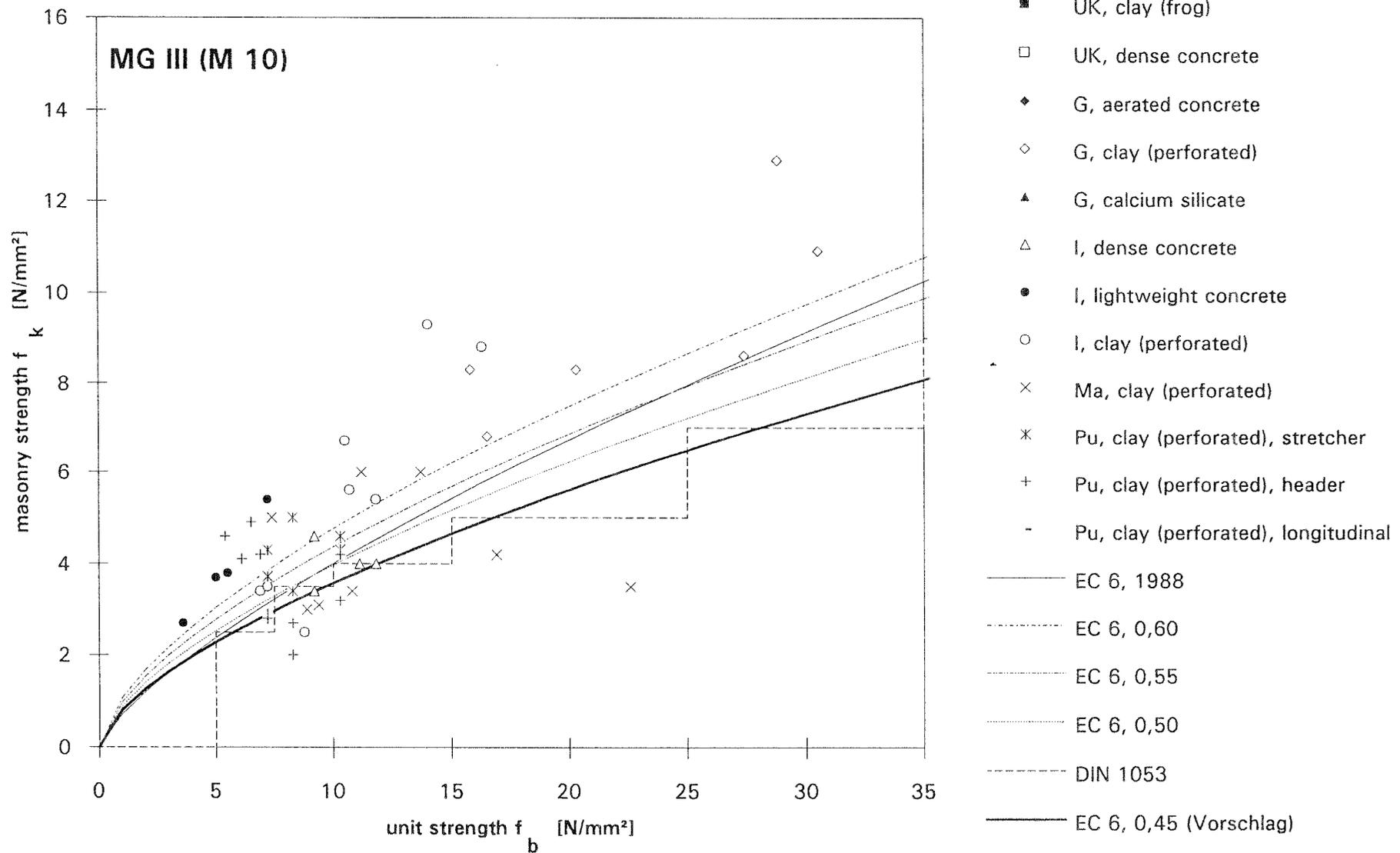


Bild 44: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b)
Neuer Vorschlag für MG III (M 10)

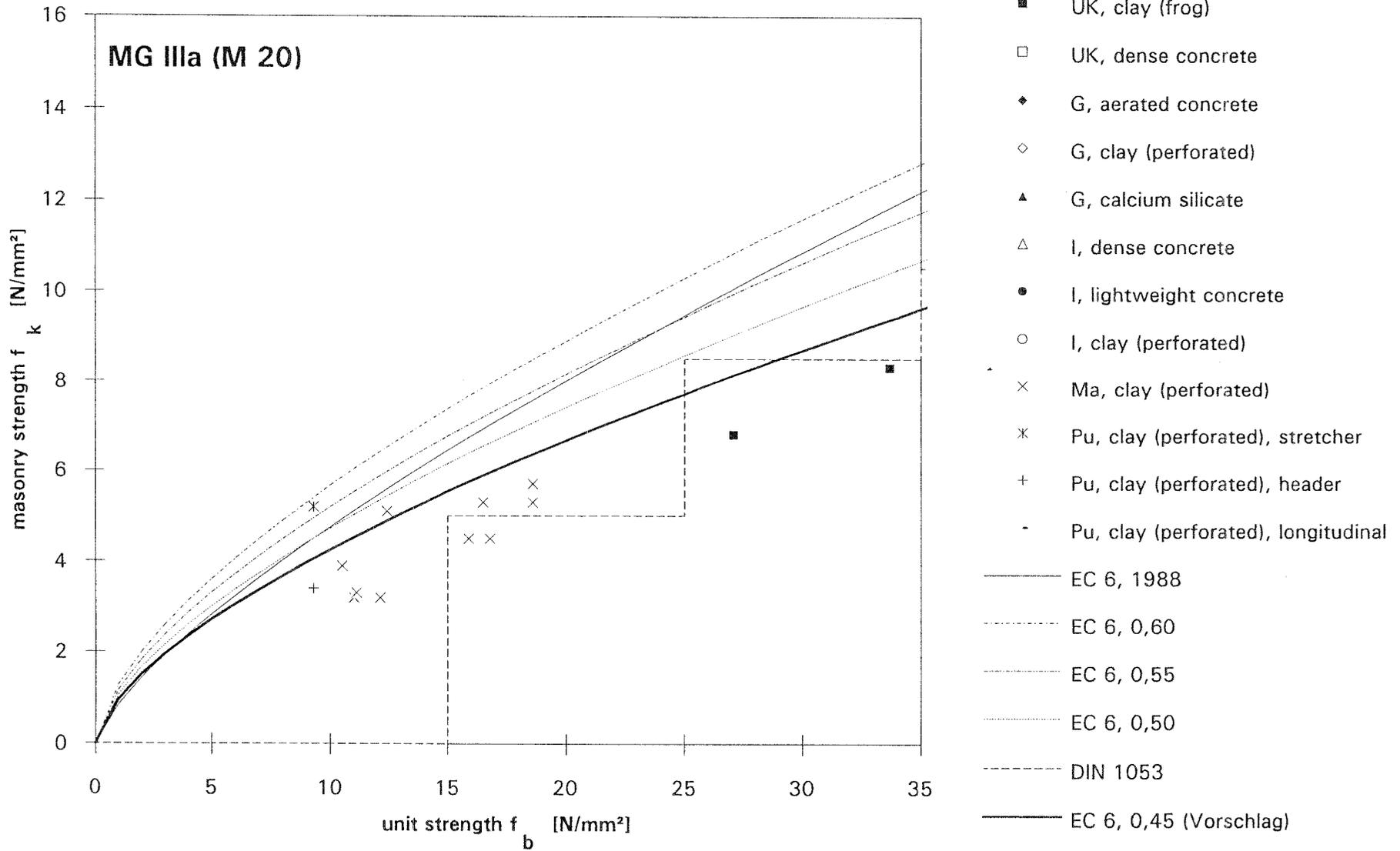


Bild 45: Charakteristische Mauerwerksfestigkeit (masonry strength f_k) in Abhängigkeit (versus) von der Steinfestigkeit (unit strength f_b)
 Neuer Vorschlag für MG IIIa (M 20)

Summary

The assessments in the present (July 1993) revised draft of Eurocode 6 imply that the compressive strength of masonry with longitudinal mortar joints is diminished by approximately 15% in comparison with the compressive strength of masonry without longitudinal mortar joints. Test results which were provided by the Czech Technical University Prague (Dr. Pume), however, give reasons to diminish the compressive strength of masonry without longitudinal mortar joints even up to 50%. They, moreover, show that there should be made a difference in strength between masonry built in stretcher or header bond.

In Germany there were no test results available on this subject, and other countries declared to have no experimental results, either.

With financial support of the "Deutsches Institut für Bautechnik", Berlin, tests were now performed by the "Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung" of the University of Hannover in June 1993.

For the tests three types of units were used. The mortar was a lime-cement-mortar M 5.

The three types of units were:

1. Perforated clay units with 38,1 % of vertical holes and a compressive strength of 33,4 N/mm² (HLz)
2. Calcium silicate units with 32,2 % of vertical holes and a compressive strength of 16,7 N/mm² (KSL)
3. Calcium silicate units "Yali" with 42,7 % of vertical holes and a compressive strength of 6,3 N/mm² (Yali)

The masonry test specimens were built in four different types of bonding:

1. stretcher bond t = 115 mm
2. header bond t = 240 mm
3. cross bond t = 240 mm
4. cross bond t = 365 mm (t=thickness of the walletes)

The slenderness of the specimens was between 3 and 5.

For each type three masonry specimens were tested in compression.

The determined characteristic compressive strengths of the masonry were:

		HLz	KSL	Yali	
1.	stretcher bond t = 115 mm :	7,4	6,2	3,2	N/mm ²
2.	header bond t = 240 mm :	7,5	-	3,1	N/mm ²
3.	cross bond t = 240 mm :	6,8	6,5	3,2	N/mm ²
4.	cross bond t = 365 mm :	6,6	6,7	3,2	N/mm ²

The compressive strengths of the specimens using calcium silicate units were for both types higher than given in the draft for Eurocode 6.

The compressive strength of the specimens using the clay units were little lower than given in the draft for Eurocode 6.

Between stretcher and header bonding there were no significant differences resulting.

For clay units the relation between masonry strength of specimens with longitudinal mortar joints and without longitudinal mortar joints was 0,9.

In the case of both types of calcium silicate units there were no differences in masonry strength between the specimens with or without longitudinal mortar joints.

As result of the tests and considering the test results presented by Dr. Pume from Prague, a K - value of 0,45 is suggested for masonry with Group 2 units with longitudinal mortar joints. Thus the classification in EC 6 is proposed to be:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

with f_b compressive strength of the masonry units
 f_m compressive strength of the mortar
 f_k characteristic compressive strength of the masonry

K = 0,60 for Group 1 masonry units
when the thickness of the masonry is equal to the width or length of the masonry units so that there is no longitudinal mortar joint through all or part of the length of the wall

K = 0,55 for Group 2 masonry units
when the thickness of the masonry is equal to the width or length of the masonry units so that there is no longitudinal mortar joint through all or part of the length of the wall provided that,
when the volume of the holes in the units exceeds 45 %

K = 0,50 when, for Group 1 masonry units, there is a longitudinal mortar joint through all or part of the length of the masonry

K = 0,45 when, for Group 2 masonry units, there is a longitudinal mortar joint through all or part of the length of the masonry,
when the volume of the holes in the units exceeds 45 %.

Résumé

Les déterminations dans le projet de l'Eurocode 6 (juillet 1993) actuellement en remaniement prévoient que la résistance à la compression de la maçonnerie composite (Verbandsmauerwerk) doit être réduite de 15 % environ par rapport à celle de la maçonnerie monolithe (Einsteinmauerwerk). Les résultats des essais effectués à l'Université de Prague (Dr. Pume) pourtant donnent lieu à une réduction de la résistance à la compression de la maçonnerie composite jusqu'à 50 %. En outre, en ce qui concerne la maçonnerie monolithe il faut encore différencier entre l'appareil à boutisses et l'appareil à panneresses.

Du côté allemand, on ne disposait pas d'essais utilisables à ce sujet; d'autres pays n'avaient non plus effectué des essais.

Avec le soutien financier du "Deutsches Institut für Bautechnik" à Berlin quelques essais ont été effectués en juin 1993 à l'"Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung" de l'Université de Hanovre (R.F.A.).

Pour ces essais trois sortes de blocs ont été utilisés.

Voici les trois sortes de blocs:

1. Blocs perforés de terre cuite (à alvéoles verticales) d'après DIN 105, **dénommés** HLz 20-1,2-2 DF, avec un taux de vides de 38,1% et avec une résistance à la compression du bloc de 33,4 N/mm² (HLz),
2. Blocs silico-calcaires d'après DIN 106, dénommés KSL 12-1,4-2DF, avec un taux de vides de 32,2% et avec une résistance à la compression du bloc de 16,7 N/mm² (KSL).
3. Blocs à coller silico-calcaires "Yali", 2 DF, avec un taux de vides de 42,7% et avec une résistance à la compression du bloc de 6,3 N/mm² (Yali).

Les murets d'essai ont été montés en quatre différents appareils:

- | | | |
|----------------------------|-----------|----------------------|
| 1. Appareil à panneresses, | e= 115 mm | |
| 2. Appareil à boutisses, | e= 240 mm | |
| 3. Appareil croisé, | e=240 mm | |
| 4. Appareil croisé, | e= 365 mm | e = épaisseur |

L'élançement des murets d'essai était entre 3 et 5. Trois essais de résistance à la compression ont été effectués pour chaque variante d'essai.

Voici les résultats des résistances à la compression caractéristiques de la maçonnerie:

	HLZ	KSL	Yali
1. Appareil à panneresses, e= 115 mm	7,4	6,2	3,2 N/mm ²
2. Appareil à boutisses, e= 240 mm	7,5	--	3,1 N/mm ²
3. Appareil croisé, e=240 mm	6,8	6,5	3,2 N/mm ²
4. Appareil croisé, e= 365 mm	6,6	6,7	3,2 N/mm ²

Les résultats des essais avec les blocs Yali et KSL se situent au-dessus des valeurs du projet de l'Eurocode 6, tandis que ceux des blocs perforés de terre cuite sont légèrement au-dessous des valeurs du projet de l'Eurocode 6.

Entre l'appareil à panneresses et l'appareil à boutisses il n'y avait pas de différences.

Le rapport des résistances à la compression de la maçonnerie composite et de la maçonnerie monolithe était de 0,9.

En ce qui concerne les blocs Yali et les blocs silico-calcaires une différence entre la maçonnerie monolithe et la maçonnerie composite ne s'est pas produite.

Comme résultat de ces essais et en tenant compte des résultats obtenus par Dr. Pume de Prague nous proposons une valeur de K= 0,45 pour la maçonnerie composite de blocs du groupe 2 de l'Eurocode 6.

Il s'ensuit l'échelonnement suivant dans l'Eurocode 6:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$$

f_b désigne la résistance à la compression du bloc,
 f_m la résistance à la compression du mortier et
 f_k la résistance à la compression caractéristique de la maçonnerie

K= 0,60	Blocs du groupe 1 et maçonnerie monolithe
K= 0,55	Blocs du groupe 2 avec un taux de vides maximum de 45% et maçonnerie monolithe
K= 0,50	Blocs du groupe 1 et maçonnerie composite
K= 0,45	Blocs du groupe 2 avec un taux de vides maximum de 45% et maçonnerie composite