

Überprüfung der Festlegung der DIN 1053 zu den Grundwerten der zulässigen Spannung und des Eurocodes 6 zu den charakteristischen Werten der Druckfestigkeit für Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen mit Griffhilfen

T 3088

T 3088

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2005, ISBN 3-8167-6925-X

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

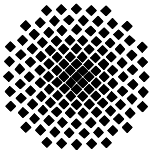
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de



Materialprüfungsanstalt · Universität Stuttgart
Postfach 801140 · D-70511 Stuttgart

Notifizierte Stelle 0672

Deutsches Institut für Bautechnik
Postfach 62 02 29
10792 Berlin

Telefon +49 (0)711-685-2253
Telefax +49 (0)711-685-6828
E-mail alfons@po.uni-stuttgart.de
Abteilung Mineralische Baustoffe
Dienstgebäude Pfaffenwaldring 4 c
D-70569 Stuttgart
07.04.2005

Geschäftszeichen: ZP 32-5-15.52-1050/03

Forschungsbericht

900 455 2000/Schr

„Überprüfung der Festlegung der DIN 1053 zu den Grundwerten der zulässigen Spannung und des Eurocodes 6 zu den charakteristischen Werten der Druckfestigkeit für Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen mit Griffhilfen“

1. BEAUFTRAGUNG, PRÜFPROGRAMM UND FORSCHUNGSZIEL

Am 18.03.2003 wurde zwischen dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin, und der Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart MPA der Forschungsvertrag P 32-5-15.52-1050/03 mit folgender Projektbeschreibung abgeschlossen:

„In den letzten Jahren wurden zur Erhöhung der wärmedämmenden Wirkung Porenbetonsteine mit verändertem Porengefüge und reduzierter Rohdichte produziert. Außerdem wurden in den großformatigen Steinen zum leichteren Verarbeiten Griffhilfen angeordnet. Bei Versuchen zur Beurteilung des Tragverhaltens von Mauerwerk aus wärmedämmenden Porenbetonplansteinen 4-0,50 und 6-0,70 wurde festgestellt, dass die in DIN 1053 - Mauerwerk Teil 1: Berechnung und Ausführung -, Ausgabe November 1996, angegebenen Grundwerte der zulässigen Druckspannung nicht mit ausreichender Sicherheit abgedeckt werden, siehe Forschungsauftrag GZ: P 32-5-15.42-556/00 des DIBt. Außerdem wurde festgestellt, dass bei Verwendung von Porenbetonplansteinen mit Griffhilfen das Tragverhalten weiter reduziert wird. Es ist zu vermuten, dass im Bereich der Griffhilfen die Querkzugfestigkeit der Plansteine örtlich deutlich kleiner ist und damit das Tragverhalten der Wände ungünstig beeinflusst wurde.“

Um den Einfluss von Griffhilfen in Porenbetonplansteinen auf das Tragverhalten von Mauerwerk aufzuzeigen, wurden speziell für dieses Projekt Plansteine hergestellt und die Hälfte dieser Plansteine mit Griffhilfen versehen.

Für das vom Auftraggeber finanzierte Forschungsprojekt wurden die Steinsorten 4-0.50 und 6-0.65 und mit einem Zusatzauftrag der herstellenden Firma Haniel Baustoff-Industrie Technologie- und Forschungs-GmbH, zusätzlich die Sorte 2-0.40 in das Prüfprogramm aufgenommen.

Vom 19.7.2004 bis 21.7.2004 wurden von Mitarbeitern der Firma Haniel Baustoff-Industrie Technologie- und Forschungs-GmbH, am Otto-Graf-Institut der MPA-Universität Stuttgart geschosshohe Wände errichtet. Nach 28 Tagen wurden die Mauerwerksdruckfestigkeit und das Verformungsverhalten der Wände geprüft, sowie die Materialkennwerte der Porenbetonsteine und des Dünnbettmörtels nach den zugehörigen Normen untersucht.

2. HERSTELLUNG DER STEINE UND PROBENAHME

Am 11.05.2004 wurden die Porenbeton-Plansteine im Werk Rheinau-Freistett produziert. Ein Mitarbeiter der MPA war an diesem Tag anwesend. Die Kennzeichnung der Steine erfolgte mit einem Stempel der MPA-Universität Stuttgart, der sich nach dem Sägen in die noch weichen, frischen Steine eindrücken ließ. Je Sorte wurden 2 Formen hergestellt, gesägt und jeweils die Hälfte der Steine mit Griffhilfen versehen. Eine bearbeitete Form und das Werkzeug zur Einarbeitung der Griffhilfen sind in Bild 1 und Bild 2, Beilage 1 zu sehen.

Entnahmedaten

Entnahmedatum: 11.05.2004
 anwesend von der Firma: Herr Ermuth, Herr Blaschke
 anwesend von der MPA: Herr Schroeter
 entnommene Sorten:

Sorte / Bezeichnung	Stück- zahl	Festig- keits- klasse	Roh- dichte- klasse	Länge mm	Breite mm
2 -0.40 ¹⁾	120	2	0.40	499	240
2 -0.40 GH ²⁾	120			499	240
4 -0.50 ¹⁾	120	4	0.50	499	240
4 -0.50 GH ²⁾	120			499	240
6 -0.65 ¹⁾	120	6	0.65	499	240
6 -0.65 GH ²⁾	120			499	240

¹⁾ Porenbetonplansteine ohne Griffhilfe
²⁾ Porenbetonplansteine mit Griffhilfe

Einlieferungsdatum: 08.06.2004

3. MATERIALIEN, EIGENSCHAFTEN UND BEWERTUNG

3.1 Mauersteine

3.1.1 Prüfung der Maße, der Rohdichte, der Druckfestigkeit, der Ebenheit und der Planparallelität

An den entnommenen Porenbetonplansteinen mit Griffhilfe und ohne Griffhilfe wurden die Maße, die Rohdichte, die Ebenheit sowie die Planparallelität und die Druckfestigkeit nach DIN V 4165 [1] ermittelt.

Die Prüfkörper für die Druckfestigkeit wurden bei 60 °C auf einen Feuchtegehalt von rd. 6 M.-% getrocknet und die Druckflächen anschließend mit einer dünnen Zementmörtelschicht (MV 1:1) abgeglichen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 bis Tabelle 6, Beilage 8 bis Beilage 13 zusammengefasst. Eine Palette mit Steinen der Sorte 2-0.40 aus der Herstellform 1 kam bei der Anlieferung zu Schaden, so dass nicht ausreichend Steine zur Verfügung standen und die Einzelsteinprüfung nur an zwei Steinen durchgeführt werden konnte.

Die untersuchten Eigenschaften erfüllten die Anforderungen der DIN V 4165 [1].

Nachfolgende Tabelle vergleicht die Ergebnisse der Rohdichte und der Steifigkeit der jeweiligen 2 Formen jeder Sorte (Bezugspunkt Form 1 = 100%).

Bezeichnung	Mittelwerte aus je 6 Plansteinen	
	Trockenrohddichte ρ_{tr} kg/dm ³	Druckfestigkeit β_{St} N/mm ²
2 -0.40 Form 1	0.37	3.3
2 -0.40 Form 2	0.36	3.1
Unterschied zwischen den Formen	-2.7%	-6.1%
4 -0.50 Form 1	0.47	5.5
4 -0.50 Form 2	0.46	5.1
Unterschied zwischen den Formen	-2.1%	-6.1%
6 -0.65 Form 1	0.65	8.7
6 -0.65 Form 2	0.62	8.0
Unterschied zwischen den Formen	-4.6%	-8.8%

3.2 Dünnbettmörtel

3.2.1 Allgemeines

Die Mörtelherstellung erfolgte durch Mitarbeiter der Firma Haniel. Zum Aufmauern der Wände wurde der Dünnbettmörtel „YTONG Dünnbettmörtel“ verwendet, siehe Bild 3, Beilage 2. Dieser wurde aus Säcken mit rd. 14,5 kg Inhalt entnommen, die die Aufschrift trugen: „Ytong Dünnbettmörtel für Porenbetonplansteine“ und mit einem Übereinstimmungszeichen versehen waren. An den 3 Herstellungstagen (19.07.04 bis 21.07.04) wurden an jeder Mischung die Frischmörteleigenschaften ermittelt und jeweils 3 Prismenformen 40 x 40 x 160 mm zur Ermittlung von Festmörtelkennwerten hergestellt.

3.2.2 Mörtelherstellung

Der Dünnbettmörtel wurde unter Verwendung von Leitungswasser auf ein Wasser-Trockenmörtelverhältnis (massebezogen) von rd. 0,27 eingestellt. Der Frischmörtel wurde in einem Kübel mit einem Rührgerät mit niedriger Umdrehungszahl bis zur augenscheinlichen Homogenität gemischt (rd. 2,5 min). Die Mörtelaufbereitung ist in Bild 4, Beilage 2 zu sehen.

3.2.3 Prüfung des Dünnbettmörtels

3.2.3.1 Frischmörtelkennwerte

An dem verwendeten Dünnbettmörtel wurden das Ausbreitmaß und die Frischmörtelrohichte nach DIN 18555-2 [2] bestimmt. Die ermittelten Kennwerte sind der Tabelle 7, Beilage 14 zu entnehmen.

3.2.3.2 Festmörtelkennwerte

An den drei Herstellungstagen der Wände wurden aus dem verwendeten Dünnbettmörtel Mörtelprismen nach DIN 18555-3 [3] hergestellt und gelagert. Die Prüfung der Biegezug- und Druckfestigkeit dieser Prismen erfolgte jeweils am Tag der Mauerwerksprüfung, d.h. im Alter von 28 Tagen. Bei einer Serie wurden zusätzlich die Festigkeiten nach 2, 7 und 90 Tagen ermittelt.

Die Ergebnisse der Festmörtelprüfungen und die ermittelten Kennwerte sind der Tabelle 7, Beilage 14 zu entnehmen.

Die mittleren Dünnbettmörtel-Druckfestigkeiten zum Prüfzeitpunkt der Wände (28 Tage) lagen zwischen 17.7 und 19.6 N/mm² und erfüllten somit die Anforderungen der Druckfestigkeit bei Normallagerung an einen Dünnbettmörtel nach DIN 1053-1 [4] bei der Güteprüfung.

4. ERMITTLUNG DER TRAGFÄHIGKEIT DES MAUERWERKS BEI ZENTRISCHER DRUCKBEANSPRUCHUNG

4.1 Allgemeines

Die geschosshohen Wände wurden von Mitarbeitern der Firma Haniel errichtet. Je Steinsorte wurden jeweils 3 geschosshohe Wände aus Steinen mit Griffhilfen und je 3 geschosshohe Wände aus Steinen ohne Griffhilfen mit dem im Abschnitt 3.2 beschriebenen „YTONG Dünnbettmörtel“ gemauert und im Alter von 28 Tagen die Druckfestigkeit und der Elastizitätsmodul des Mauerwerks in Anlehnung an DIN 18554-1 [5] geprüft. Die Maße der Wände betragen:

Höhe: rd. 250 cm (10 Steinschichten, $\lambda_{\text{quer}} = 10,4$)

Breite: rd. 24 cm (Steinbreite)

Länge: rd. 125 cm (2.5 mal Steinlänge)

Für jede Rohdichteklasse wurden 2 Herstellformen hergestellt und jeweils zur Hälfte mit Griffhilfen versehen. Die Zuordnung der Ergebnisse der Einzelsteinprüfungen zu den Herstellformen ergab Unterschiede in der Rohdichte und Steinfestigkeit. Um möglichst homogene Prüfkörper vergleichen zu können, wurden die Wände jeweils aus Steinen der gleichen Form errichtet. In Tabelle 10, Bei-

lage 19 sind die Wände den Herstellformen und den Druckfestigkeiten der Einzelsteinprüfungen an Steinen dieser Formen zugeordnet.

4.2 Errichten und Lagerung der Wände

Beim Errichten der Wände wurde die unterste Steinschicht auf einen an der Unterseite eben geschliffenen, biegesteifen Stahlträger in Zementmörtel (MV 1:1) verlegt. Die übrigen Steinschichten wurden im Otto-Graf-Institut mit dem in Abschnitt 3.2 beschriebenen Dünnbettmörtel mittels Zahnkelle aufgemauert. Bild 5 und Bild 6, Beilage 3, zeigen die Herstellung der Prüfkörper. Das Plansteinmauerwerk wurde im Läuferverband mit einem Überbindemaß von einer halben Steinlänge (rd. 250 mm) errichtet, wobei die Lager- und Stoßflächen mit Mörtel verklebt wurden. Die dafür erforderlichen Halbsteine waren gesägt worden. Die Dicke der Lagerfugen betrug 1 bis 3 mm. Nach ausreichender Erhärtung des Mauerwerks der geschosshohen Wände wurde auf die oberste Steinschicht mit Zementmörtel (MV 1:1) ein an der Oberseite eben geschliffener Stahlträger verlegt.

Die Wände wurden bis zur Prüfung im Alter von 28 Tagen in einem geschlossenen Raum bei einer Temperatur von 15 bis 25 °C und einer relativen Luftfeuchte von rd. 40 bis 70 % gelagert.

4.3 Versuchsdurchführung bei der Tragfähigkeitsprüfung

4.3.1 Tragfähigkeit der Wände

Die Wände wurden in einer 5000 kN-Druckprüfmaschine, Güteklasse 1, Kraftmessbereich 2500 kN, bei zentrischer, gleichmäßig verteilter Belastung geprüft, siehe Bild 7, Beilage 4.

In Anlehnung an DIN 18554-1 [5] wurde die Druckkraft stufenlos mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit aufgebracht. Die Belastungsgeschwindigkeit wurde so gewählt, dass die Höchstkraft im Mittel nach einer Prüfdauer von rd. 20 min erreicht wurde.

Während der Prüfung wurden die Wandflächen auf das Auftreten von Rissen bzw. Veränderungen beobachtet. Die ersten deutlichen Bruchgeräusche traten meist bei rd. 90 bis 98 % der Bruchlast auf. Oft verlief der Versuch auch ohne Ankündigung in Form von Bruchgeräuschen, d.h. der Bruch erfolgte schlagartig, wobei vorwiegend auf den Wandflächen senkrechte Risse auftraten bzw. die Wand im oberen oder unteren Wandabschnitt versagte. In Bild 9 bis Bild 14, Beilagen 5 bis 7 sind die Bruchbilder der geprüften Wandprüfkörper angegeben.

Die Druckfestigkeit $\beta_{D,MW}$ wurde aus der Bruchkraft F_{\max} und dem Wandquerschnitt A_W nach folgender Formel errechnet:

$$\beta_{D, MW} = \frac{F_{\max}}{A_W}$$

Die Maße, das Prüfalter, die Bruchlast, die Druckfestigkeit und die durch Zurücktrocknen von entnommenen Porenbeton-Bruchstücken aus den geprüften Wänden ermittelte Restfeuchte der Mauerwerksprüfkörper sind in Tabelle 8, Beilage 15 zusammengefasst.

4.4 Ermittlung der Verformungen und des Elastizitätsmoduls

Die lotrechten Verformungen (Längsstauchung) wurden an jeweils zwei 100 cm langen Messstrecken und die waagrechten Verformungen (Querdehnung) an jeweils einer 50 cm langen Messstrecke je Wandseitenfläche mit induktiven Wegaufnehmern W10TS, Genauigkeitsklasse 0,4 der Firma HBM, Darmstadt, ermittelt. Die Verformungen und die Kraft wurden durch eine rechnergestützte Messsoftware kontinuierlich aufgezeichnet. Aus Bild 7 und Bild 8, Beilage 4, sind der Messaufbau bzw. die Bezeichnung und Lage der Messstrecken ersichtlich.

In der Tabelle 9, Beilage 16 sind die gemessenen, mittleren lotrechten Längsstauchungen und waagrechten Querdehnungen sowie der Elastizitätsmodul der zentrisch beanspruchten Wände, der aus den bei etwa 1/3 der Wanddruckfestigkeit gemessenen, mittleren lotrechten Verformungen errechnet wurde, zusammengestellt. Bild 15 bis Bild 17, Beilage 17 und Beilage 18 zeigen die ermittelten Spannungs-Dehnungsdiagramme.

4.5 Vergleich mit den Grundwerten der zulässigen Spannung

Mit Hilfe des rechnerischen Ansatzes nach [6] wurde die Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta'_{D,MW}$ aus der Druckfestigkeit der Wände und den ermittelten Steifigkeiten je Form und Sorte nach folgender

Formel ermittelt:

$$\beta'_{D,MW} = \beta_{D,MW} \cdot \left(\frac{\min \beta_{St}}{\beta_{St}} \right)^{0,84}$$

Hierbei wurde der Einfluss des Dünnbettmörtels auf die Mauerwerksdruckfestigkeit vernachlässigt. Die Schlankheit der geprüften geschosshohen Wände betrug $\lambda_{\text{quer}} \approx 10,4$, so dass kein Korrekturfaktor für eine abweichende Schlankheit angesetzt werden musste. Die in der Tabelle 10, Beilage 19 angegebenen Sicherheitsbeiwerte wurden nach folgender

Formel berechnet:

$$\gamma' = \frac{\beta'_{D,MW}}{\sigma_0}$$

Die Mauerwerksdruckfestigkeiten $\beta'_{D,MW}$ wurden hierbei durch die Grundwerte der zulässigen Druckspannung σ_0 nach DIN 1053-1 [4], Tabelle 4b, geteilt. Die ermittelten mittleren Sicherheitsbeiwerte der einzelnen Prüfserien liegen zwischen 2.5 und 2.8.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Unter Verwendung von Porenbetonplansteinen der Festigkeitsklasse 2, 4 und 6 wurden Wände errichtet, um auf Grundlage von Messwerten den Einfluss von Griffhilfen im Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen darzustellen.

- Die Anforderungen der DIN 4165 [1] wurden hinsichtlich der Maße, der Trockenrohdichte und der Druckfestigkeit von den untersuchten Plansteinen erfüllt.
- Der zum Aufmauern der Wände verwendete Dünnbettmörtel wies im Alter von 28 Tagen Druckfestigkeiten von 17.7 N/mm² bis 19.6 N/mm² auf.

- Es wurden 18 geschosshohe Wände nach 28 Tagen auf Druckfestigkeit geprüft und hierbei die Verformung der Prüfkörper gemessen.
- Die aus den geprüften Wänden entnommenen Bruchstücke der Porenbetonplansteine wiesen einen Feuchtegehalt zwischen 12.6 bis 15.6 M.-% auf.
- Mit den in Bild 2, Beilage 1 zugrunde gelegten Abmessungen der Griffhilfen berechnet sich deren festigkeitsvermindernder Flächenanteil zu rd. 5.8 %.

Die Druckfestigkeit des Mauerwerks $\beta_{D,MW}$, die unter Berücksichtigung der Steinfestigkeit umgerechnete Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta'_{D,MW}$ sowie der nach DIN 1053-1 [4] ermittelte Sicherheitsbeiwert γ' sind in nachfolgender Tabelle angegeben.

Bezeichnung	Mittelwerte aus je 3 Wand-Prüfkörpern		
	Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta_{D,MW}$ N/mm ²	umgerechnete Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta'_{D,MW}$ N/mm ²	ermittelter Sicherheitsbeiwert γ' -
2 -0.40	2.03	1.67	2.8
2 -0.40 GH	1.90	1.53	2.5
Veränderung Griffhilfe ¹⁾	-6.8%	-8.4%	
4 -0.50	3.29	3.12	2.8
4 -0.50 GH	2.98	2.83	2.6
Veränderung Griffhilfe ¹⁾	-9.4%	-9.3%	
6 -0.65	4.49	4.06	2.7
6 -0.65 GH	4.30	3.89	2.6
Veränderung Griffhilfe ¹⁾	-4.3%	-4.2%	
¹⁾ bezogen auf die Variante ohne Griffhilfen			

Bei der umgerechneten Mauerwerksdruckfestigkeit, bei der die Steinfestigkeit berücksichtigt wird, betrug der festigkeitsvermindernde Anteil der Griffhilfen bei den 3 geprüften Sorten zwischen 4.2 % und 9.3 %. Der Sicherheitsbeiwert γ' betrug bei den Prüfwänden ohne Griffhilfen zwischen 2.7 und 2.8 und bei den Prüfwänden mit Griffhilfen zwischen 2.5 und 2.6.

Auf eine statistische Aufbereitung der Messergebnisse wird mit Hinblick auf die geringe Anzahl der Prüfkörper verzichtet.

Literatur

- [1] DIN V 4165 - Porenbetonsteine - Plansteine und Planelemente -, Ausgabe Juni 2003
- [2] DIN 18555-2 - Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts -, Ausgabe September 1982
- [3] DIN 18555-3 - Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte -, Ausgabe September 1982
- [4] DIN 1053-1 - Mauerwerk; Berechnung und Ausführung -, Ausgabe November 1996
- [5] DIN 18554-1 - Prüfung von Mauerwerk; Ermittlung der Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls -, Ausgabe Dezember 1985
- [6] Schubert, P.; Meyer, U.: Druckfestigkeit von Porenbeton- und Leichtbetonmauerwerk. Berlin: Ernst & Sohn. In: Mauerwerk-Kalender 25 (1993), S. 627 - 634

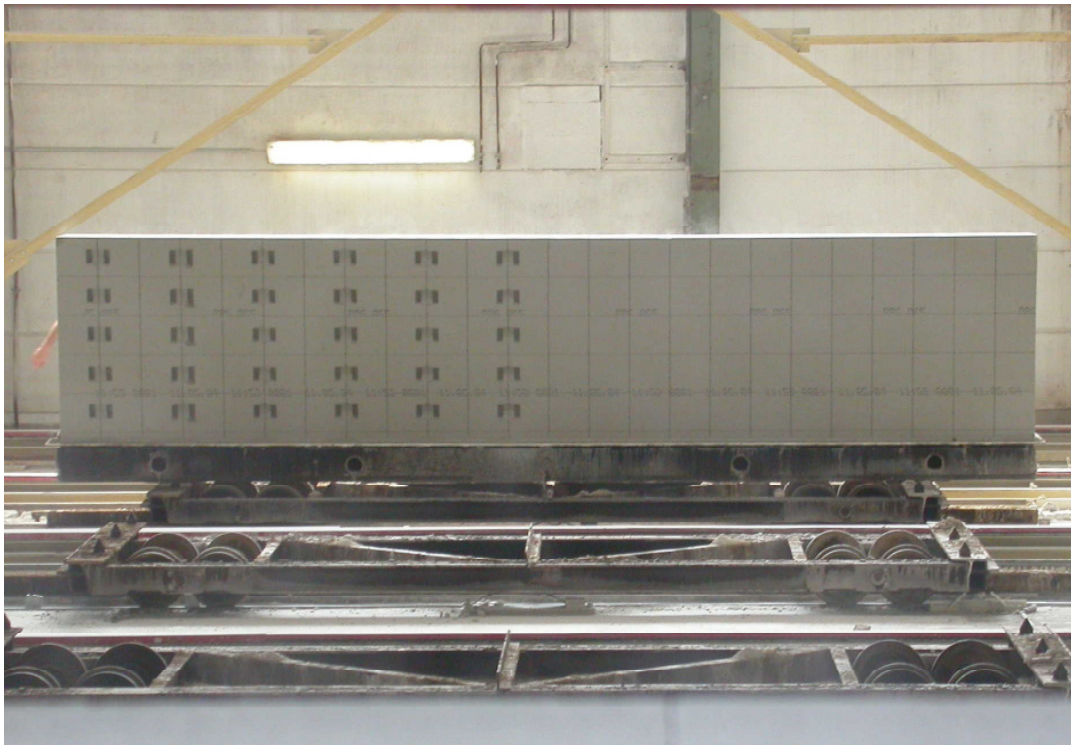


Bild 1: bearbeitete Form auf dem Weg zum Autoklav

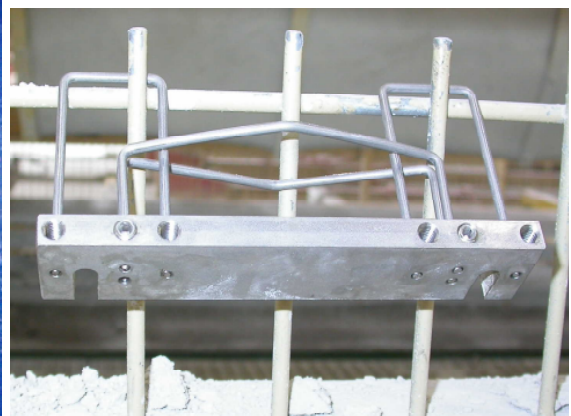
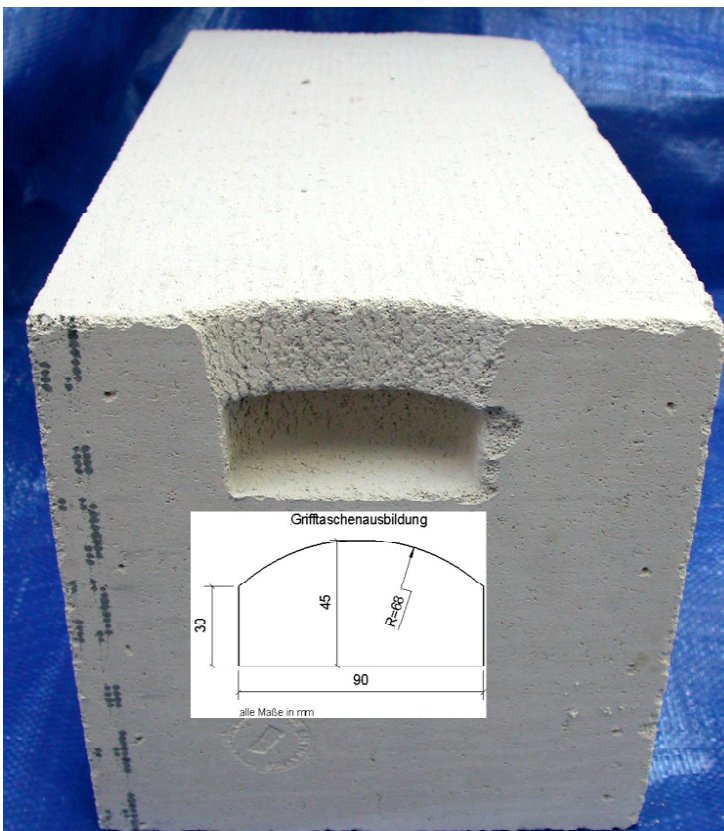


Bild 2: Darstellung der Griffhilfe und Werkzeug zum Einarbeiten der Griffhilfe



Bild 3: verwendeter Dünnbettmörtel – Sackware



Bild 4: Mörtelaufbereitung

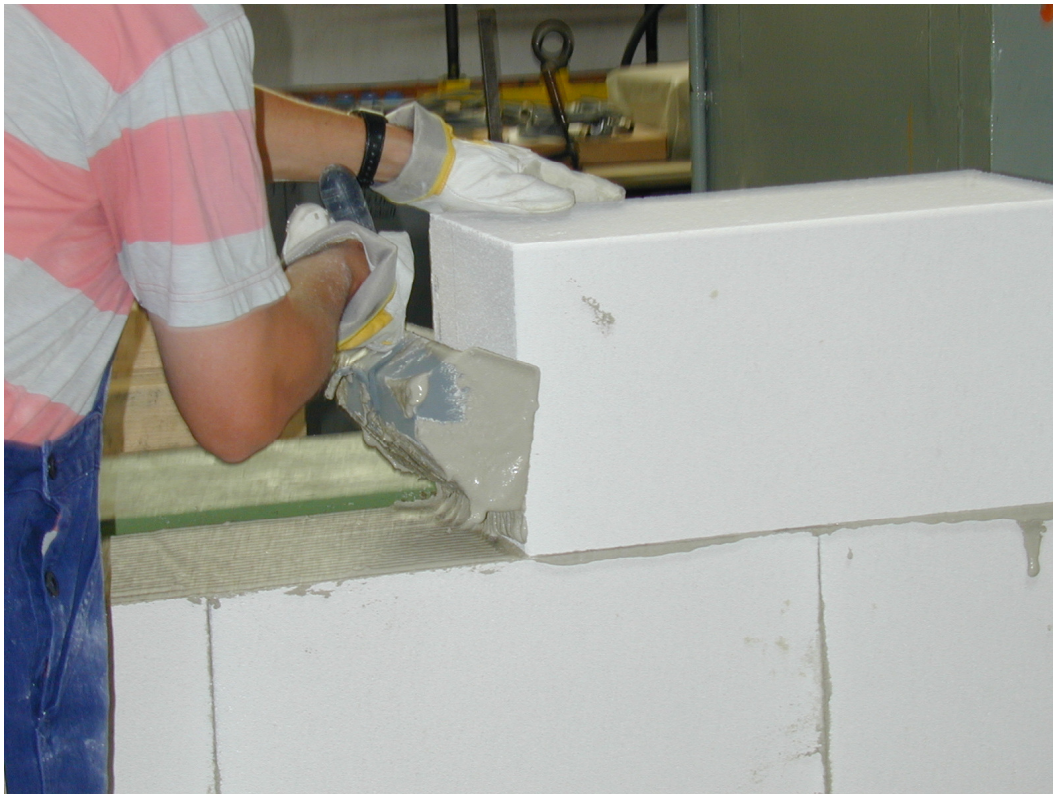


Bild 5: Vermörtelung der Mauersteine mit eine Zahnkelle



Bild 6: Herstellung der Prüfkörper



Bild 7: verwendete Druckprüfmaschine mit eingebautem Wandprüfkörper

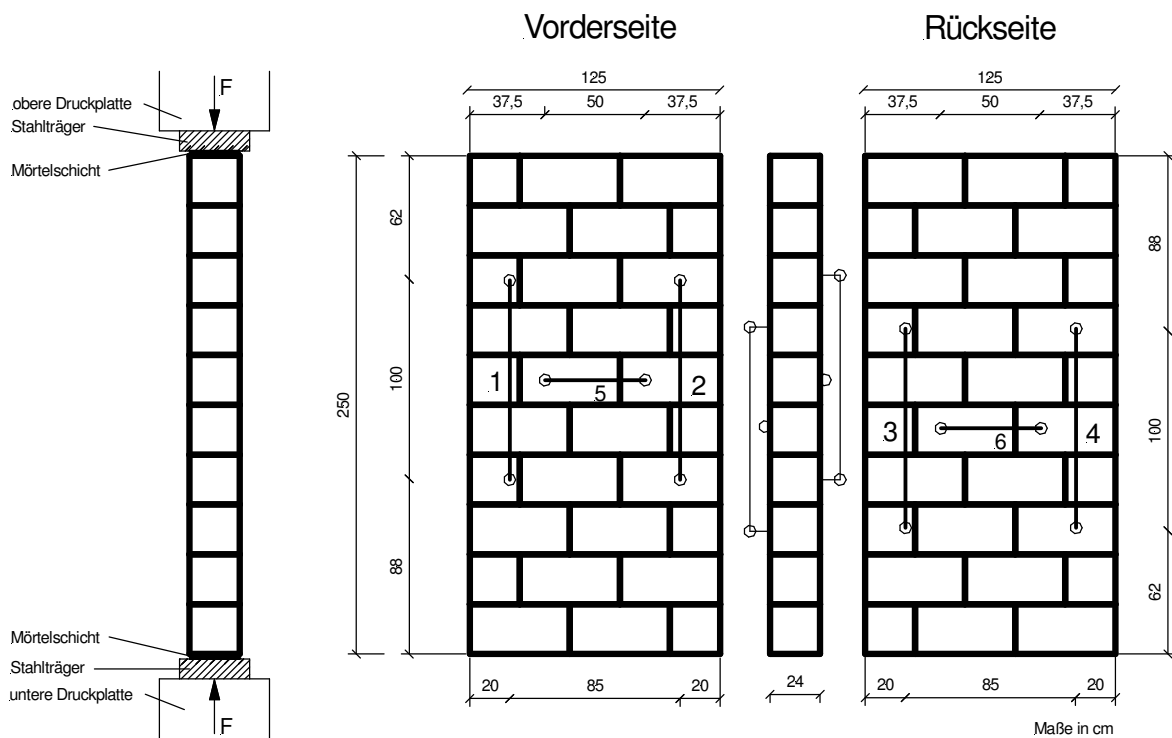


Bild 8 Maße, Lage und Bezeichnung der induktiven Wegaufnehmer bei der Wandprüfung



Bild 9: Prüfkörper mit nachgezeichnetem Rissverlauf der Sorte 2-0.4 ohne Griffhilfe

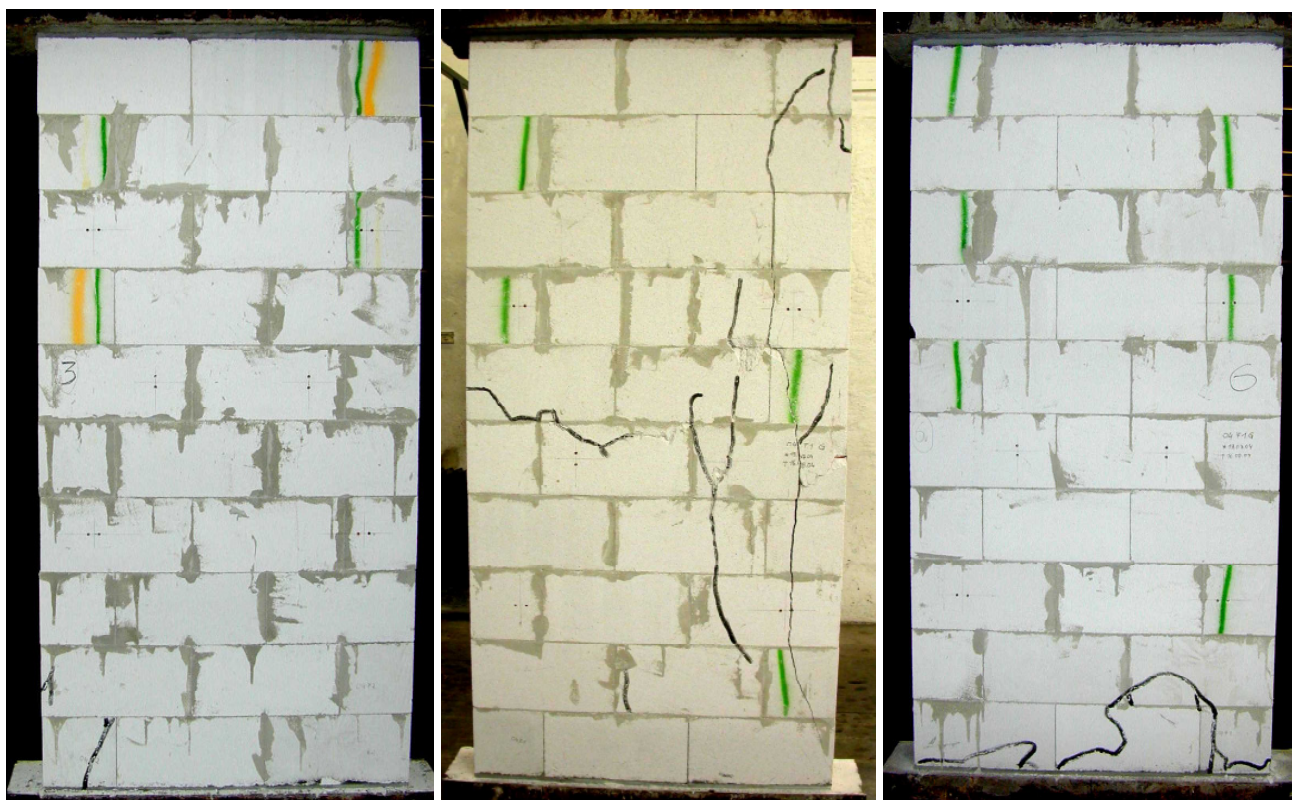


Bild 10: Prüfkörper mit nachgezeichnetem Rissverlauf der Sorte 2-0.4 mit Griffhilfe



Bild 11: Prüfkörper mit nachgezeichnetem Rissverlauf der Sorte 4-0.5 ohne Griffhilfe



Bild 12: Prüfkörper mit nachgezeichnetem Rissverlauf der Sorte 4-0.5 mit Griffhilfe

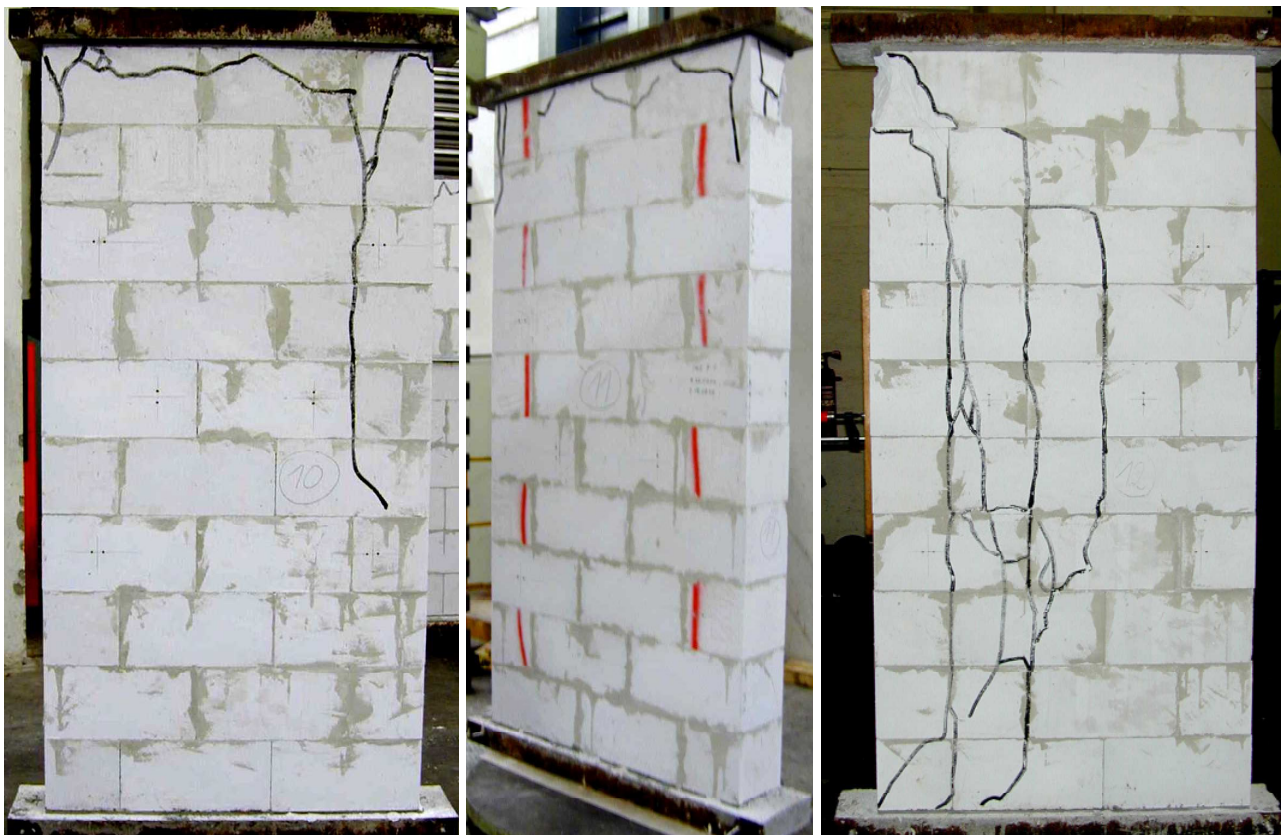


Bild 13: Prüfkörper mit nachgezeichnetem Rissverlauf der Sorte 5-0.65 ohne Griffhilfe

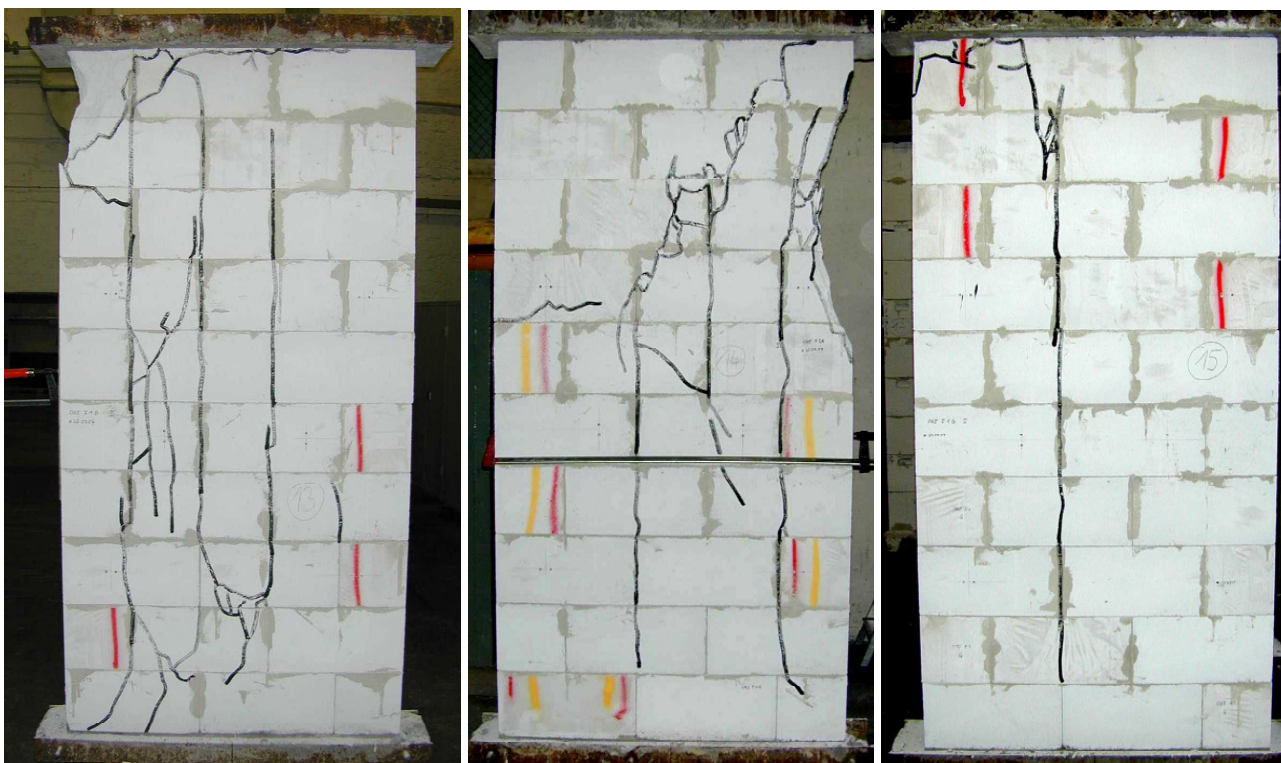


Bild 14: Prüfkörper mit nachgezeichnetem Rissverlauf der Sorte 5-0.65 mit Griffhilfe

Tabelle 1: Maße, Planparallelität, Ebenheit, Trockenrohdichte und Steinfestigkeit der geprüften Porenbeton-Plansteine der Sorte 2-0.4 aus Form 1.

Prüfkörper 2-04 F1 2)	Maße			Plan- paralleli- tät mm	Ebenheit		Trocken- rohdichte kg/dm ³	Stein- festigkeit 1) N/mm ²
	Länge mm	Breite mm	mittlere Höhe mm		Fläche 1 mm	Fläche 2 mm		
1	497.9	239.1	249.1	0.7	0.1	0.1	--	3.4
2	498.0	239.0	249.3	0.5	0.1	0.2	--	3.2
3	--	--	--	--	--	--	--	--
4	--	--	--	--	--	--	--	--
5	--	--	--	--	--	--	--	--
6	--	--	--	--	--	--	--	--
7	499	100	98	--	--	--	0.37	--
8	499	98	101	--	--	--	0.36	--
9	--	--	--	--	--	--	--	--
Mittel	498.0	239.1	249.2	--	--	--	0.37	3.3
kleinster Einzelwert	497.9	239.0	249.1	--	--	--	0.36	3.2
größter Einzelwert	498.0	239.1	249.3	0.7	0.1	0.2	0.37	3.4
Nennwert	499	240	249	--	--	--	0.40	2.0
Anforderung an den Einzelwert	± 1.5	± 1.5	± 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	>0.32 bis 0.43	≥ 2.0
Anforderung an den Mittelwert	--	--	--	--	--	--	>0.35 bis 0.40	≥ 2.5

1) unter Berücksichtigung des Formfaktors f = 1.0 ; Feuchtegehalt 6 ± 2 M.-%

2) nur 2 Steine prüfbar, da ein Teil dieser Sorte bei Anlieferung zerstört wurde

Tabelle 2: Maße, Planparallelität, Ebenheit, Trockenrohdichte und Steinfestigkeit der geprüften Porenbeton-Plansteine der Sorte 2-0.4 aus Form 2.

Prüfkörper 2-04 F2	Maße			Plan- paralleli- tät	Ebenheit		Trocken- rohdichte	Stein- festigkeit ¹⁾
	Länge mm	Breite mm	mittlere Höhe mm		Fläche 1 mm	Fläche 2 mm		
1	498.8	239.6	249.1	0.5	0.1	0.1	--	3.0
2	498.1	239.0	249.5	0.6	0.2	0.3	--	3.1
3	498.4	239.9	249.4	0.6	0.1	0.1	--	3.2
4	497.6	239.8	249.4	--	--	--	--	3.2
5	497.6	239.8	249.1	--	--	--	--	3.0
6	497.9	239.0	249.5	--	--	--	--	3.1
7	498	99	98	--	--	--	0.36	--
8	499	98	99	--	--	--	0.36	--
9	499	99	100	--	--	--	0.36	--
Mittel	498.1	239.5	249.3	--	--	--	0.36	3.1
kleinster Einzelwert	497.6	239.0	249.1	--	--	--	0.36	3.0
größter Einzelwert	498.8	239.9	249.5	0.6	0.2	0.3	0.36	3.2
Nennwert	499	240	249	--	--	--	0.40	2.0
Anforderung an den Einzelwert	± 1.5	± 1.5	± 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	>0.32 bis 0.43	≥ 2.0
Anforderung an den Mittelwert	--	--	--	--	--	--	>0.35 bis 0.40	≥ 2.5

¹⁾ unter Berücksichtigung des Formfaktors f = 1.0 ; Feuchtegehalt 6 ± 2 M.-%

Tabelle 3: Maße, Planparallelität, Ebenheit, Trockenrohdichte und Steinfestigkeit der geprüften Porenbeton-Plansteine der Sorte 4-0.5 aus Form 1.

Prüfkörper 4-05 F1	Maße			Plan- paralleli- tät	Ebenheit		Trocken- rohdichte	Stein- festigkeit 1)
	Länge	Breite	mittlere Höhe		Fläche 1	Fläche 2		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/dm ³	N/mm ²
1	498.5	239.9	249.4	0.5	0.1	0.2	--	5.8
2	498.3	239.9	249.4	0.8	0.1	0.2	--	5.0
3	498.4	239.6	250.0	0.8	0.1	0.1	--	5.6
4	499.5	240.5	249.3	--	--	--	--	5.5
5	498.5	239.9	249.4	--	--	--	--	5.8
6	498.3	239.9	249.4	--	--	--	--	5.0
7	499	99	100	--	--	--	0.47	--
8	499	99	100	--	--	--	0.47	--
9	499	99	100	--	--	--	0.47	--
Mittel	498.6	240.0	249.5	--	--	--	0.47	5.5
kleinster Einzelwert	498.3	239.6	249.3	--	--	--	0.47	5.0
größter Einzelwert	499.5	240.5	250.0	0.8	0.1	0.2	0.47	5.8
Nennwert	499	240	249	--	--	--	0.50	4.0
Anforderung an den Einzelwert	± 1.5	± 1.5	± 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	>0.42 bis 0.53	≥ 4.0
Anforderung an den Mittelwert	--	--	--	--	--	--	>0.45 bis 0.50	≥ 5.0

 1) unter Berücksichtigung des Formfaktors $f = 1.2$; Feuchtegehalt 6 ± 2 M.-%

Tabelle 4: Maße, Planparallelität, Ebenheit, Trockenrohdichte und Steinfestigkeit der geprüften Porenbeton-Plansteine der Sorte 4-0.5 aus Form 2.

Prüfkörper 4-05 F2	Maße			Plan- paralleli- tät	Ebenheit		Trocken- rohdichte	Stein- festigkeit 1)
	Länge	Breite	mittlere Höhe		Fläche 1	Fläche 2		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/dm ³	N/mm ²
1	498.4	239.8	249.4	0.6	0.1	0.2	--	5.4
2	498.4	239.8	249.4	0.7	0.2	0.3	--	4.9
3	498.3	239.5	249.9	0.7	0.1	0.2	--	5.4
4	499.3	240.6	249.2	--	--	--	--	4.9
5	498.5	239.8	249.5	--	--	--	--	5.0
6	498.5	239.9	249.3	--	--	--	--	5.0
7	498	99	100	--	--	--	0.46	--
8	499	99	100	--	--	--	0.46	--
9	499	99	100	--	--	--	0.46	--
Mittel	498.6	239.9	249.5	--	--	--	0.46	5.1
kleinster Einzelwert	498.3	239.5	249.2	--	--	--	0.46	4.9
größter Einzelwert	499.3	240.6	249.9	0.7	0.2	0.3	0.46	5.4
Nennwert	499	240	249	--	--	--	0.50	4.0
Anforderung an den Einzelwert	± 1.5	± 1.5	± 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	>0.42 bis 0.53	≥ 4.0
Anforderung an den Mittelwert	--	--	--	--	--	--	>0.45 bis 0.50	≥ 5.0

 1) unter Berücksichtigung des Formfaktors $f = 1.2$; Feuchtegehalt 6 ± 2 M.-%

Tabelle 5: Maße, Planparallelität, Ebenheit, Trockenrohdichte und Steinfestigkeit der geprüften Porenbeton-Plansteine der Sorte 6-0.65 aus Form 1.

Prüfkörper 6-065 F1	Maße			Plan- paralleli- tät	Ebenheit		Trocken- rohdichte	Stein- festigkeit 1)
	Länge	Breite	mittlere Höhe		Fläche 1	Fläche 2		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/dm ³	N/mm ²
1	499.0	239.2	249.2	0.6	0.1	0.1	--	8.7
2	498.8	238.7	249.6	0.8	0.1	0.1	--	9.1
3	499.1	239.5	249.3	0.3	0.2	0.1	--	8.1
4	498.4	240.5	249.8	--	--	--	--	8.6
5	499.0	239.2	249.2	--	--	--	--	8.7
6	498.8	238.7	249.6	--	--	--	--	9.1
7	498	101	98	--	--	--	0.65	--
8	498	99	99	--	--	--	0.65	--
9	500	99	98	--	--	--	0.66	--
Mittel	498.9	239.3	249.5	--	--	--	0.65	8.7
kleinster Einzelwert	498.4	238.7	249.2	--	--	--	0.65	8.1
größter Einzelwert	499.1	240.5	249.8	0.8	0.2	0.1	0.66	9.1
Nennwert	499	240	249	--	--	--	0.65	6.0
Anforderung an den Einzelwert	± 1.5	± 1.5	± 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	>0.57 bis 0.68	≥ 6.0
Anforderung an den Mittelwert	--	--	--	--	--	--	>0.60 bis 0.65	≥ 7.5

1) unter Berücksichtigung des Formfaktors $f = 1.2$; Feuchtegehalt 6 ± 2 M.-%

Tabelle 6: Maße, Planparallelität, Ebenheit, Trockenrohdichte und Steinfestigkeit der geprüften Porenbeton-Plansteine der Sorte 6-0.65 aus Form 2.

Prüfkörper 6-065 F2	Maße			Plan- paralleli- tät	Ebenheit		Trocken- rohdichte	Stein- festigkeit 1)
	Länge	Breite	mittlere Höhe		Fläche 1	Fläche 2		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/dm ³	N/mm ²
1	499.0	239.7	249.4	0.6	0.1	0.1	--	7.9
2	498.7	238.7	249.5	0.6	0.2	0.1	--	8.0
3	499.1	239.5	249.3	0.5	0.1	0.1	--	7.8
4	499.0	239.9	250.0	--	--	--	--	7.9
5	499.1	239.2	249.2	--	--	--	--	8.2
6	498.7	238.7	249.6	--	--	--	--	7.9
7	500	99	99	--	--	--	0.62	--
8	500	99	100	--	--	--	0.63	--
9	499	100	99	--	--	--	0.62	--
Mittel	498.9	239.3	249.5	--	--	--	0.62	8.0
kleinster Einzelwert	498.7	238.7	249.2	--	--	--	0.62	7.8
größter Einzelwert	499.1	239.9	250.0	0.6	0.2	0.1	0.63	8.2
Nennwert	499	240	249	--	--	--	0.65	6.0
Anforderung an den Einzelwert	± 1.5	± 1.5	± 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	>0.57 bis 0.68	≥ 6.0
Anforderung an den Mittelwert	--	--	--	--	--	--	>0.60 bis 0.65	≥ 7.5

 1) unter Berücksichtigung des Formfaktors $f = 1.2$; Feuchtegehalt 6 ± 2 M.-%

Tabelle 7: Mörtelkennwerte des Dünnbettmörtels, ermittelt nach DIN 18555-2 [2].

Lagerung des Mörtels	Herstellung / Bezeich- nung	Ausbreit- maß ¹⁾ a mm	Frisch- mörtel- rohddichte ¹⁾ ρ_{fr} kg/dm ³	Prüf- alter d	Festmörtel- rohddichte ρ kg/dm ³	Biegezug- festigkeit β_{Bz} N/mm ²	Druck- festigkeit β_D N/mm ²	
7 d 20/95 21 d 20/65	19.07.04 19-1	210	1.76	28	1.61	6.84	18.0	20.0
					1.60	5.81	19.7	20.0
					1.60	6.28	20.0	19.6
Mittel	-	-	-	-	1.60	6.31	19.6	
7 d 20/95 21 d 20/65	20.07.04 20-1	214	1.76	28	1.58	6.28	15.0	18.2
					1.58	6.14	18.8	17.7
					1.57	5.95	18.8	19.7
Mittel	-	-	-	-	1.58	6.12	18.0	
2 d 20/95	21.07.04 21-1-2	210	1.68	2	1.67	2.53	7.3	7.2
					1.67	2.48	7.3	7.4
					1.68	2.20	7.3	7.2
Mittel	-	-	-	-	1.67	2.40	7.3	
7 d 20/95	21.07.04 21-1-2	212	1.69	7	1.65	2.81	11.7	12.2
					1.66	3.47	12.2	12.2
					1.66	3.23	11.9	10.9
Mittel	-	-	-	-	1.66	3.17	11.9	
7 d 20/95 7 d 20/65	21.07.04 21-1-2	211	1.68	14	1.55	3.80	16.8	17.0
					1.57	3.75	16.2	16.5
					1.56	3.80	16.9	16.7
Mittel	-	-	-	-	1.56	3.78	16.7	
7 d 20/95 21 d 20/65	21.07.04 21-1	212	1.69	28	1.54	5.86	17.2	17.5
					1.54	5.67	18.5	17.8
					1.54	6.00	17.7	17.7
Mittel	-	-	-	-	1.54	5.84	17.7	
7 d 20/95 83 d 20/65	21.07.04 21-1-90	218	1.80	90	1.64	6.14	19.3	20.8
					1.65	5.95	20.5	20.2
					1.65	5.77	17.1	16.7
Mittel	-	-	-	-	1.65	5.95	19.1	

¹⁾ abweichend von DIN 18555-2 [2] wurde der Mörtel mit einem Rührgerät angemischt

Tabelle 8: Maße, Prüfalter, Bruchlast, Druckfestigkeit und Restfeuchte von geschosshohen Wänden aus Porenbeton-Planstein-Mauerwerk

Bezeichnung	Maße des Prüfkörpers			Prüfalter ²⁾ d	Bruchlast F _{max} kN	Druckfestigkeit β _{D,MW} N/mm ²	Restfeuchte des Porenbetons ¹⁾ M-%	
	Länge cm	Breite cm	Höhe cm					
2-0.40	1	125.3	23.9	253.5	28	608	2.03	15.0
	2	125.4	24.0	253.5	28	577	1.92	15.6
	3	125.1	24.0	253.5	28	646	2.15	14.3
	Mittel	--	--	--	--	--	2.03	15.0
2-0.40 GH	1	125.2	24.0	253.7	28	543	1.81	12.6
	2	125.2	24.0	253.8	28	603	2.01	13.1
	3	125.0	24.0	254.5	28	560	1.87	14.0
	Mittel	--	--	--	--	--	1.90	13.2
4-0.50	1	125.0	24.0	253.7	28	991	3.30	15.5
	2	125.1	24.0	253.8	28	1041	3.47	13.4
	3	125.2	24.0	253.7	28	931	3.10	12.8
	Mittel	--	--	--	--	--	3.29	13.9
4-0.50 GH	1	125.0	24.0	253.6	28	941	3.14	13.2
	2	125.1	24.0	254.0	28	837	2.79	14.1
	3	125.2	24.0	254.1	28	906	3.02	13.7
	Mittel	--	--	--	--	--	2.98	13.7
6-0.65	1	124.9	24.0	254.1	28	1383	4.61	13.4
	2	125.0	24.0	253.9	28	1359	4.53	13.5
	3	125.0	24.0	253.7	28	1298	4.33	13.8
	Mittel	--	--	--	--	--	4.49	13.6
6-0.65 GH	1	125.2	24.0	253.7	28	1321	4.40	13.3
	2	125.0	24.0	253.5	28	1263	4.21	13.9
	3	125.1	24.0	254.1	28	1285	4.28	13.8
	Mittel	--	--	--	--	--	4.30	13.7

¹⁾ ermittelt an Bruchstücken aus den geprüften Wänden; Trocknungstemperatur 105 °C
²⁾ ± 1d

Tabelle 9: Last-Verformungs-Verhalten von geschosshohen Wänden aus Porenbeton-Planstein-Mauerwerk (10 Steinschichten; h = 250 cm; $\lambda_{\text{quer}} = 10,4$), ermittelt in Anlehnung an DIN 18554-1 [5]

Bezeichnung	Druckfestigkeit $\beta_{D,MW}$ N/mm ²	mittlere Längsstauchung		Elastizitätsmodul längs $E_{L33,MW}$ N/mm ²	mittlere Querdehnung		Querdehnungsmodul $E_{Q33,MW}$ N/mm ²	Querdehnungszahl $\mu_{33,MW}$ -	
		$\epsilon_{l,33,MW}$ mm/m	$\epsilon_{l,u,MW}$ mm/m		$\epsilon_{q,33,MW}$ mm/m	$\epsilon_{q,u,MW}$ mm/m			
2-0.40	1	2.03	0.52	1.90	1291	0.11	0.52	5974	0.216
	2	1.92	0.51	1.74	1252	0.10	0.52	5735	0.197
	3	2.15	0.56	1.87	1290	0.12	0.56	5326	0.210
	Mittel	2.03	0.53	1.83	1278	0.11	0.53	5679	0.208
2-0.40 GH	1	1.81	0.50	1.65	1219	0.10	0.49	5402	0.206
	2	2.01	0.54	1.83	1250	0.10	0.64	5985	0.190
	3	1.87	0.51	1.70	1223	0.11	0.50	5027	0.222
	Mittel	1.90	0.51	1.73	1231	0.11	0.54	5471	0.206
4-0.50	1	3.30	0.62	2.06	1789	0.12	0.51	5824	0.192
	2	3.47	0.61	2.15	1889	0.12	0.56	6074	0.193
	3	3.10	0.55	1.90	1864	0.13	0.51	5032	0.227
	Mittel	3.29	0.59	2.04	1847	0.12	0.53	5643	0.204
4-0.50 GH	1	3.14	0.58	1.98	1807	0.10	0.53	6609	0.173
	2	2.79	0.51	1.76	1839	0.11	0.44	5498	0.212
	3	3.02	0.56	1.91	1785	0.10	0.57	6440	0.175
	Mittel	2.98	0.55	1.89	1810	0.10	0.51	6182	0.187
6-0.65	1	4.61	0.54	1.74	2826	0.11	0.40	5099	0.210
	2	4.53	0.55	1.84	2764	0.10	0.49	6083	0.185
	3	4.33	0.57	1.98	2516	0.10	0.53	6535	0.176
	Mittel	4.49	0.55	1.86	2702	0.11	0.47	5906	0.190
6-0.65 GH	1	4.40	0.58	2.05	2531	0.10	0.89	6583	0.179
	2	4.21	0.57	2.04	2464	0.25	1.14	2694	0.444
	3	4.28	0.53	1.76	2717	0.12	2.12	5069	0.221
	Mittel	4.30	0.56	1.90	2590	0.18	1.63	3881	0.332

$\epsilon_{l,33,MW}$: mittlere Längsstauchung bei 1/3 der Höchstlast $E_{33,MW} = 1/3 \cdot \beta_{D,MW} / \epsilon_{l,33,MW}$

$\epsilon_{l,u,MW}$: mittlere Längsstauchung bei Höchstlast

$\epsilon_{q,33,MW}$: mittlere Querdehnung bei 1/3 der Höchstlast $\mu_{33,MW} = \epsilon_{q,33,MW} / \epsilon_{l,33,MW}$

$\epsilon_{q,u,MW}$: mittlere Querdehnung bei Höchstlast

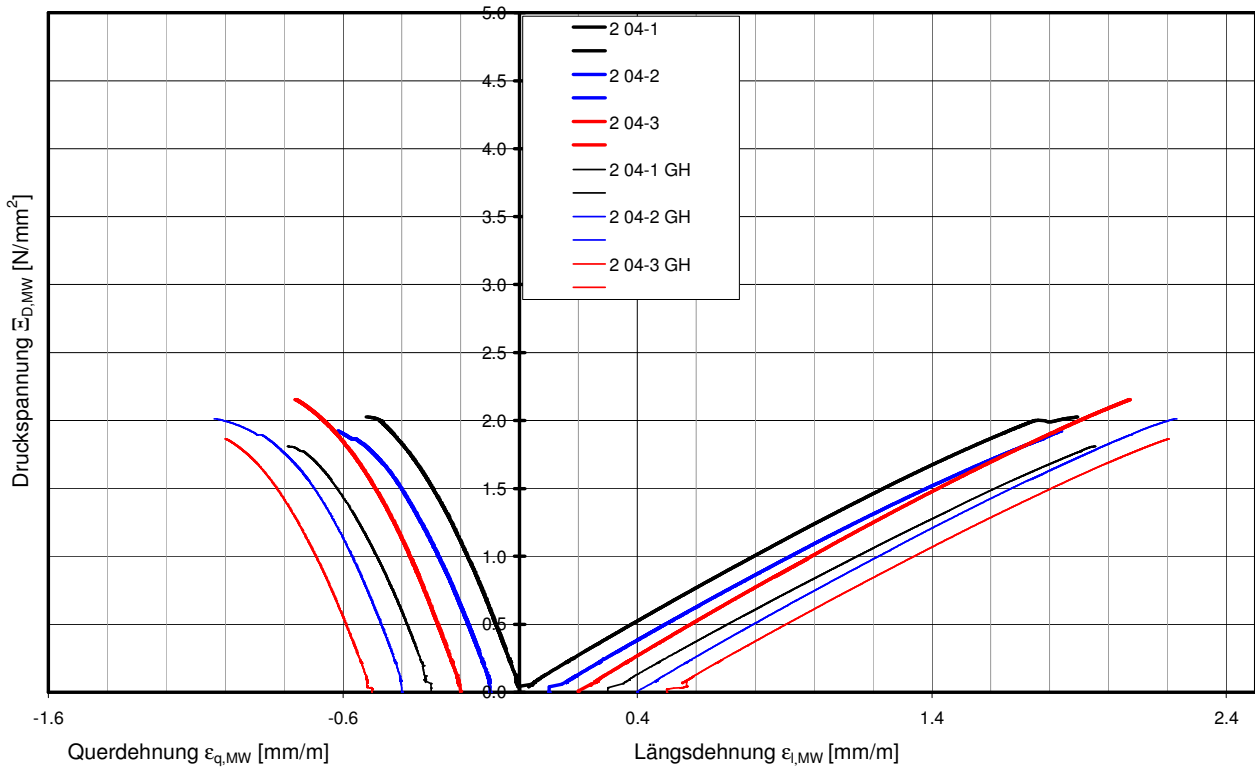


Bild 15: Spannungs-Dehnungslinien der Prüfkörper der Sorte 2-04 mit und ohne Griffhilfe

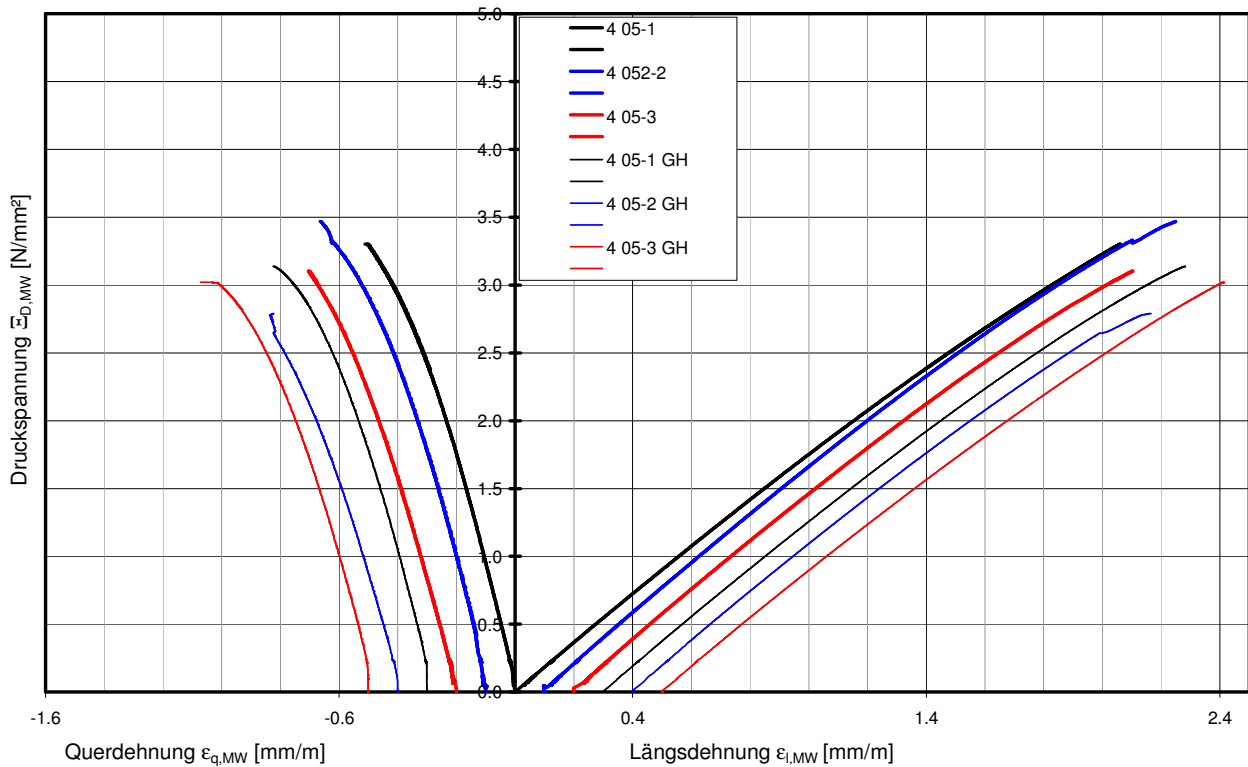


Bild 16: Spannungs-Dehnungslinien der Prüfkörper der Sorte 4-05 mit und ohne Griffhilfe

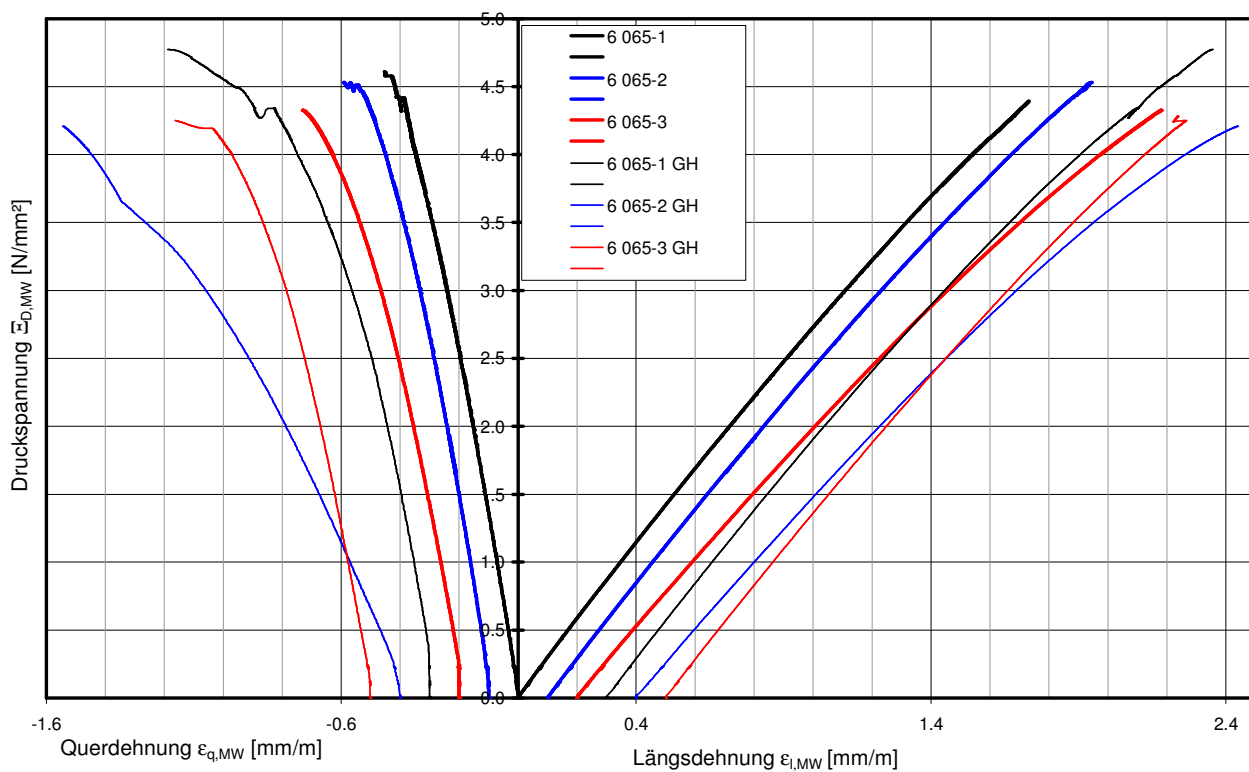


Bild 17: Spannungs-Dehnungslinien der Prüfkörper der Sorte 6-065 mit und ohne Griffhilfe

Tabelle 10: Plansteindruckfestigkeit, Mörteldruckfestigkeit, Mauerwerksdruckfestigkeit, umgerechnete Mauerwerksdruckfestigkeit und Ermittlung des Sicherheitsbeiwertes.

Bezeichnung	Form	Druckfestigkeit der Plansteine	Druckfestigkeit des Dünnbettmörtels	Mauerwerksdruckfestigkeit	umgerechnete Mauerwerksdruckfestigkeit ¹⁾		Grundwert der zul. Druckspannung nach DIN 1053-1 σ_0 N/mm ²	Sicherheitsbeiwert ²⁾ γ' -
		β_{St} N/mm ²	$\beta_{D,Mö}$ N/mm ²	$\beta_{D,MW}$ N/mm ²	$\beta'_{D,MW}$ N/mm ²	$\beta'_{D,MW}/3$ N/mm ²		
2-0.40	1	2	3.1	--	2.03	1.69	0.6	2.8
	2	2	3.1		1.92	1.61		2.7
	3	1	3.3		2.15	1.71		2.8
	Mittel		3.2		2.03	1.67		2.8
2-0.40 GH	1	1	3.3	19.6	1.81	1.43	0.6	2.4
	2	1	3.3		2.01	1.59		2.7
	3	2	3.1		1.87	1.56		2.6
	Mittel		3.2		1.90	1.53		2.5
4-0.50	1	2	5.1	--	3.30	3.24	1.1	2.9
	2	1	5.5		3.47	3.23		2.9
	3	1	5.5		3.10	2.89		2.6
	Mittel		5.3		3.29	3.12		2.8
4-0.50 GH	1	1	5.5	18.0	3.14	2.92	1.1	2.7
	2	1	5.5		2.79	2.60		2.4
	3	2	5.1		3.02	2.96		2.7
	Mittel		5.3		2.98	2.83		2.6
6-0.65	1	1	8.7	--	4.61	4.06	1.5	2.7
	2	1	8.7		4.53	3.99		2.7
	3	2	8.0		4.33	4.12		2.7
	Mittel		8.5		4.49	4.06		2.7
6-0.65 GH	1	1	8.7	17.7	4.40	3.88	1.5	2.6
	2	2	8.0		4.21	4.01		2.7
	3	1	8.7		4.28	3.77		2.5
	Mittel		8.5		4.30	3.89		2.6

¹⁾ $\beta'_{D,MW} = \beta_{D,MW} \cdot \left(\frac{\min \beta_{St}}{\beta_{St}} \right)^{0.84}$

²⁾ $\gamma' = \frac{\beta'_{D,MW}}{\sigma_0}$