

**Dauerstandverhalten von Mauerwerk  
aus Porenbeton-Plansteinen mit  
Rohdichten kleiner  $0,4 \text{ kg/dm}^3$**

**T 3126**

T 3126

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.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006

ISBN-10: 3-8167-7258-7

ISBN-13: 978-3-8167-7258-3

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**Univ. -Prof. Dr.-Ing.  
Ludger Lohaus**

Institut für Baustoffe  
Fakultät für Bauingenieur-  
wesen und Geodäsie

Appelstraße 9A und  
Nienburger Straße 3  
30167 Hannover

Tel.:  
+49 (0)511.762-3722  
Fax:  
+49 (0)511.762-4001

E-mail:  
institut@baustoff.uni-  
hannover.de

Datum: 24.07.2006

Sachbearbeiterin:  
**Dr.-Ing.  
Katrin Brummermann**

Tel.:  
+49 (0)511.762-5341

## **Forschungsauftrag-Nr.: FP6**

**„Dauerstandverhalten von Mauerwerk  
aus Porenbeton-Plansteinen  
mit Rohdichten  $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$ “**

### **Schlussbericht**

**Auftraggeber:** Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)  
Kolonnenstr. 30 L  
10829 Berlin

**Auftrag vom:** 08.04.2002

**Geschäftszeichen:** P 32-5-15.46-1023/02

Der Schlussbericht umfasst 47 Seiten und 49 Anlagen.

Der Schlussbericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden. Auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Zustimmung des Instituts.

Die Ergebnisse beziehen sich nur auf das geprüfte Probematerial.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Motivation.....	3
2	Hintergrund und Stand der Kenntnisse .....	4
3	Eigene experimentelle Untersuchungen .....	9
3.1	Allgemeines .....	9
3.2	Übersicht des Untersuchungsprogramms .....	9
3.3	Prüfmaterialien.....	9
3.4	Versuchsdurchführung.....	10
3.4.1	Allgemeines .....	10
3.4.2	Teil 1 - Eingangskontrolle.....	11
3.4.3	Teil 2 – Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung .....	11
3.4.3.1	Allgemeines .....	11
3.4.3.2	Untersuchungsreihen zum Vergleich unterschiedlicher Vorlagerungen .....	11
3.4.3.3	Untersuchungsreihe zum Einfluss der Lagerungsdauer im Normklima 20/65.....	13
3.4.3.4	Ermittlung unterschiedlicher Porenbetoneigenschaften nach 90-tägiger Lagerung im Normklima 20/65 .....	14
3.4.4	Teil 3 – Mauerwerksdruck- und zugehörige Stein- und Mörtelprüfungen .....	15
3.4.4.1	Mörtelprüfungen .....	15
3.4.4.2	Steinprüfungen.....	15
3.4.4.3	Mauerwerksdruckversuche .....	15
3.4.5	Teil 4 – Langzeitversuche und zugehörige Kurzzeitprüfungen.....	16
3.4.5.1	Dauerlaststände .....	16
3.4.5.2	Probenvorlagerung und zugehörige Kurzzeitversuche.....	16
3.4.5.3	Dauerstand-, Kriech- und Schwindversuche .....	17
3.5	Versuchsergebnisse .....	19
3.5.1	Allgemeines .....	19
3.5.2	Teil 1 - Eingangskontrolle.....	19
3.5.3	Teil 2 - Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung.....	20
3.5.3.1	Allgemeines .....	20
3.5.3.2	Untersuchungsreihen zum Vergleich unterschiedlicher Vorlagerungen .....	20
3.5.3.3	Untersuchungsreihe an Steinsorte Nr. 1a und 3 zum Einfluss der Lagerungsdauer im Normklima 20/65 .....	23
3.5.3.4	Nach 90-tägiger Lagerung im Normklima 20/65 ermittelte Eigenschaften .....	25
3.5.4	Teil 3 – Mauerwerksdruck- und zugehörige Stein- und Mörtelprüfungen .....	27
3.5.4.1	Mörtelprüfungen .....	27
3.5.4.2	Steinprüfungen.....	28
3.5.4.3	Mauerwerksdruckversuche .....	30
3.5.5	Teil 4 – Langzeitversuche .....	34
3.5.5.1	Zugehörige Kurzzeitversuche und Lastermittlung für Langzeitversuche .....	34
3.5.5.2	Dauerstandversuche .....	36
3.5.5.3	Kriech- und Schwindversuche.....	38
4	Zusammenfassende Bewertung und Folgerungen .....	39
5	Zusammenfassung und Ausblick .....	44
6	Unterschriften .....	45
7	Anlagenverzeichnis .....	46
8	Literaturverzeichnis .....	46

## 1 Einführung und Motivation

Das Institut für Baustoffe der Universität Hannover wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin, mit Schreiben vom 10.04.2002 mit Geschäftszeichen P32-5-15.46-1023/02 beauftragt, das Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten  $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$  zu untersuchen.

Am 28.02.2000 wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) erstmals Porenbeton-Plansteine der Druckfestigkeitsklasse 2 und der Rohdichteklasse 0,30 allgemein bauaufsichtlich zugelassen. Die Ergebnisse der im Rahmen der Zulassungsverfahren durchgeführten Dauerstandversuche führten zur Festlegung eines Grundwerts  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannung von  $0,30 \text{ MN/m}^2$  bei Standsicherheitsnachweisen nach DIN 1053-1:1996-11 für Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen dieser Druckfestigkeitsklasse-Rohdichteklasse-Kombination. Der in den bauaufsichtlichen Zulassungen vorgegebene Grundwert  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannung ist also nur halb so groß wie der übliche von  $0,60 \text{ MN/m}^2$  für Mauerwerk aus Steinen der Festigkeitsklasse 2 mit Dünnbettmörtel in der DIN 1053-1:1996-11 (Tabelle 4b der DIN). Für Porenbeton-Plansteine der Festigkeitsklasse 2 mit etwas höherer Rohdichte, die der Rohdichteklasse 0,35 zuzuordnen sind, sind hingegen keine bauaufsichtlichen Zulassungen notwendig und darf in Standsicherheitsnachweisen der doppelt so große Grundwert  $\sigma_0$  der DIN 1053-1:1996-11 angesetzt werden. Die Untersuchungen im Rahmen der Zulassungsverfahren gaben Anlass zu der Befürchtung, dass die Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannungen für genormte Porenbeton-Plansteine mit geringfügig höheren Rohdichten zu unsicher sind. Diese Befürchtung gilt ebenfalls für Nachweise nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren in Eurocode 6 Teil 3, bei denen sich die charakteristische Festigkeit  $f_k$  aus Multiplikation von  $\sigma_0$  nach DIN 1053-1:1996-11 mit dem Faktor 3,14 ergibt [s. z.B. REEH und SCHLUNDT, 2005].

Ursprüngliches Ziel des Forschungsvorhabens war daher, eingehendere Kenntnisse über das Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten  $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$  zu gewinnen und die für Mauerwerk aus derartigen Steinen zulässigen Druckspannungen in DIN 1053-1 zu überprüfen. Dazu sollten sowohl Kriech- und Schwindversuche als auch Dauerstandversuche sowie für Übereinstimmungsnachweise übliche Kurzzeitdruckversuche an Würfeln, Prismen, Steinen oder Mauerwerkskörpern durchgeführt und weitere Parameter, wie die Spaltzugfestigkeit, ermittelt werden.

Veranlasst durch die Fachdiskussion im Sachverständigenausschuss „Wandbauelemente“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zu Beginn des Forschungsvorhabens wurden die Aufgabenstellung und das Untersuchungsprogramm sowohl im Hinblick auf die Auswahl und Anzahl der zu untersuchenden Steine als auch auf die durchzuführenden Prüfungen modifiziert. Es wurde insbesondere die Carbonatisierung als mögliche Einflussgröße auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten der Porenbeton-Plansteine zusätzlich im Programm berücksichtigt.

Bereits bei den Vorversuchen mit unterschiedlichen Vorlagerungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens, die in Kapitel 3.4.3 und 3.5.3 dieses Berichts dokumentiert sind, kristallisierte sich die entscheidende Bedeutung der Carbonatisierung heraus. Da ihr Einfluss im vorgesehenen Umfang dieses Forschungsvorhabens zum Dauerstandverhalten nicht ausreichend untersucht werden konnte, vergab das Deutsche Institut für Bautechnik zusätzlich das Forschungsvorhaben „Auswirkungen der Carbonatisierung auf die Druckfestigkeiten und Verformungen von Porenbeton-Plansteinen“ mit Geschäftszeichen 52-5-15.61-1113/04 und das Ergänzungsvorhaben mit Geschäftszeichen ZP52-15.61.1-1150/05. Diese Forschungsvorhaben liefern weitere Erkenntnisse zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen.

In Kapitel 2 dieses Schlussberichts wird der Hintergrund zum Forschungsvorhaben beschrieben. Außerdem werden Informationen zum Stand der Kenntnisse gegeben. Kapitel 3 enthält eine Übersicht des experimentellen Untersuchungsprogramms, Angaben zu den Prüfmaterialien, zur Versuchsdurchführung und die Untersuchungsergebnisse. In Kapitel 4 werden die Untersuchungsergebnisse, zusammengefasst, bewertet und Schlussfolgerungen gezogen. In Kapitel 5 folgt eine Zusammenfassung des Berichts mit einem Ausblick.

## 2 Hintergrund und Stand der Kenntnisse

Für die Bemessung von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Dünnbettmörtel sind für genormte Steine die in Tabelle 1 zusammengestellten Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel nach DIN 1053-1:1996-11 zu verwenden. In der Tabelle 1 sind außerdem die in DIN 4165 für die jeweiligen Steinfestigkeitsklassen möglichen Rohdichteklassen angegeben. In Tabelle 2 sind die aktuell gültigen bauaufsichtlichen Zulassungen für Porenbeton-Plansteine und die darin enthaltenen zulässigen Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannungen zusammengestellt. In den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind die Grundwerte  $\sigma_0$  demnach geringer als die jeweiligen Werte für gleiche Festigkeitsklassen in der Norm.

Steinfestigkeitsklasse	zugehörige Rohdichteklassen für PP nach DIN 4165:1996-11	Grundwert $\sigma_0$
2	0,35 0,40 0,45 0,50	0,6
4	0,55 0,60 0,65 0,70 0,80	1,1
6	0,65 0,70 0,80	1,5
8	0,80 0,90 1,00	2,0
12	-	2,2
20	-	3,2
28	-	3,7

**Tabelle 1:** Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel nach DIN 1053-1:1996-11

Nr.	Antragsteller	Zulassungsnr. und –gegenstand	Geltungsdauer	Grundwert $\sigma_0$ in Zulassung
1	Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.	Z-17.1-630 PP W 4-0,50	22.04.2004 bis 07.05.2005	1,0 MN/m <sup>2</sup>
2	EUROPOR Massivhaus GmbH	Z-17.1-717 PP 4-0,50 und PP 6-0,60	19.01.2001 bis 17.08.2005	1,0 und 1,4 MN/m <sup>2</sup>
3	Hebel AG	Z-17.1-540 PP 4-0,50 und PP 6-0,60	11.07.2000 bis 10.07.2005	1,0 und 1,4
4	Xella Porenbeton GmbH	Z-17.1-828 PP W 1,6-0,30 und 0,35	07.05.2004 bis 06.05.2009	0,4 MN/m <sup>2</sup>
5	Xella Porenbeton GmbH	Z-17.1-540 PP W 4-0,50 und 0,55 PP W 6-0,60 und 0,65	09.11.2004 bis 08.11.2009	1,0 und 1,4 MN/m <sup>2</sup>
6	YTONG Deutschland Aktiengesellschaft	Z-17.1-543 PP 4-0,50	21.07.2000 bis 31.10.2005	1,0 MN/m <sup>2</sup>

**Tabelle 2:** Übersicht der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Porenbeton-Plansteine mit Angabe der Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk

JÄGER und HOFFMANN [2005] erläutern, dass in der DIN 1053-100:2004-08 mit der Bemessung von Mauerwerk nach dem Teilsicherheitskonzept bei der Umrechnung der Grundwerte der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk in den charakteristischen Wert der Druckfestigkeit der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der verminderten Druckfestigkeit bei Langzeitbeanspruchung in Anlehnung an EC6 nicht angesetzt wurde.

Gegenüber DIN 1053-1:1996-11 sei dies ein Traglastgewinn auf Kosten der Sicherheit. Der Dauerstandfaktor ist der Quotient aus größtmöglicher langfristig tragbarer Druckspannung und Kurzzeitfestigkeit. Zum Ansatz eines Dauerstandfaktors bestehen bauartübergreifend in der Fachwelt unterschiedliche Sicherheitsphilosophien und Meinungen. Im Mauerwerksbau sind die Dauerstandfaktoren aus Mangel an eigenen Untersuchungsergebnissen bisher in Anlehnung an Versuche aus dem Betonbau festgelegt worden. In Abschnitt 8.9.1.1 und 9.9.1.1 der DIN 1053-100:2004-08 wurde zunächst eine sicherheitsorientierte Lösung gewählt, indem bei der Ermittlung des Bemessungswertes der Druckfestigkeit von Mauerwerk im vereinfachten und genaueren Verfahren explizit ein Abminderungsfaktor  $\eta$  eingeführt wurde. Er ist im Allgemeinen für Mauerwerk mit 0,85 anzusetzen, was genau der implizit in DIN 1053-1:1996-11 enthaltenen Anforderung entspricht. Der Bemessungswert der Druckfestigkeit  $f_d$  ergibt sich somit zu:

$$f_d = \eta \times f_k / \gamma_M$$

mit:

- $\eta$  Abminderungsfaktor, im Allgemeinen 0,85
- $f_k$  charakteristischer Wert der Festigkeit
- $\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaften

SELL und ZELGER [1967] berichten über Versuche zur Dauerstandfestigkeit von Leichtbetonen, u.a. auch von Porenbeton. Die Dauerstandversuche wurden an ca. 300 Tage altem Porenbeton durchgeführt. Zu Beginn der Dauerstandversuche wurden die Kurzzeitdruckfestigkeiten und die Raumgewichte des Porenbetons ermittelt. Zur Art der Lagerung während der 300 Tage, zu den Feuchtegehalten oder weiteren Materialparametern werden keine Angaben gemacht. SELL und ZELGER stellten große Streuungen der Kurzzeitdruckfestigkeit fest. Da sie nicht an einem Probekörper sowohl Kurzzeitdruckfestigkeit und Dauerstandzeit ermitteln konnten, reichten nach ihrer Einschätzung die durchgeführten Versuche für zahlenmäßige Auswertungen der Dauerstandfestigkeit nicht aus. Einige Körper brachen schon vor Erreichen der angestrebten Dauerspannung, andere brachen während der Beobachtungszeit gar nicht.

WITTMANN und ZAITSEV [1974] untersuchten die Verformung und den Bruchvorgang poröser Baustoffe bei kurzzeitiger Belastung und Dauerlast. Sie machen zunächst Modellbetrachtungen zum Gefüge poröser Baustoffe, erläutern dann Grundlagen der mathematischen Risstheorie bei kurzzeitiger Belastung, unter Dauerlast und während Kriechvorgängen. Sie beschreiben experimentelle Untersuchungen an Zementstein, an Beton, an Leichtbeton, an Mörtelproben und an Porenbeton. Sie konnten das Verhalten aller von ihnen untersuchten Stoffe außer dem des Porenbetons mit Hilfe ihrer Theorie zur Spannungsverteilung und Rissausbreitung und den angenommenen Vereinfachungen näherungsweise mathematisch beschreiben. Der Porenbeton zeigte hingegen unter kurzzeitiger Belastung und unter hoher Dauerlast ein völlig anderes Verhalten. WITTMANN und ZAITSEV meinen, dass das charakteristische Gefüge des Porenbetons nicht mit ihren Modellbetrachtungen wiedergegeben werden kann, weil die verhältnismäßig großen durch dünne Wände voneinander getrennten Poren im Porenbeton grundsätzlich anders modelliert werden müssen.

Sie vermuten, dass im Gefüge des Porenbetons nicht die Rissausbreitung sondern vielmehr die Stabilität der kugelförmigen Schalen um die Poren entscheidend sind.

KRUMML [1983] untersuchte das Kriechverhalten von drei Typen von Porenbeton mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Dichte und mit variierten relativen Luftfeuchten bei der Lagerung und variierten Normalspannungen. KRUMML konnte die Zeitabhängigkeit des Kriechens für alle drei untersuchten Porenbetontypen und alle angewendeten Feuchte-lagerungsbedingungen vor Aufbringen der Dauerlastspannung ausreichend genau mit einer Exponentialfunktion beschreiben. Die Feuchtebedingungen in der ersten Phase der Belastungsversuche wirkten sich deutlich auf die Kriechbeiwerte auf. Probenbrüche traten in den Langzeitversuchen ab Normalspannungen von 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit auf.

SCHUBERT und BEER [2002] berichten über Prüfungen an Porenbeton-Plansteinen der Festigkeitsklasse 1,6 und Rohdichteklasse 0,30 und 0,35 im Auftrag des Produzenten. Die Untersuchungen dienten der Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik. Das Untersuchungsprogramm beinhaltete unter anderem Dauerstandversuche mit Belastungen von 90 % und 80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit an jeweils drei Probezylindern. Die Proben wurden mittig aus den Porenbeton-Plansteinen entnommen und bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte im Normklima 20/65 gelagert. Für die Dauerstandversuche mit Normalspannungen in Höhe von 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit wurden die Feuchtedehnungen unbelasteter Vergleichskörper gemessen. Fünf von sieben Proben in den Dauerstandversuchen mit Normalspannungen von 90 % der Kurzzeitdruckfestigkeit hatten kurze Standzeiten von wenigen Minuten bis zu rd. 7 Tagen, die beiden übrigen wurden nach vergleichbaren Zeiten abgebrochen. Bei Dauerstandversuchen mit einer Normalspannung von 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit geben SCHUBERT und BEER für die Porenbeton-Plansteine PP 1,6-0,30 Gesamtdehnungen im Bereich von 2 mm/m nach 60 Tagen und für PP 1,6/0,35 Gesamtdehnungen im Bereich von 2,7 mm/m nach rd. 215 Tagen an. Die Dehnungen waren zu den angegebenen Zeiten noch nicht abgeklungen.

DASCHNER und ZILCH [2002] berichten über Untersuchungen zum Kriech- und Schwindverhalten von unbewehrtem Porenbeton, die sie ergänzend zu firmeneigenen Untersuchungen von Mitgliedern des Bundesverbandes der Porenbetonindustrie zur Beurteilung der Langzeitdurchbiegung bewehrter Porenbetonbauteile durchgeführt haben. Aus ihren Kriech- und Schwindversuchen an Prismen der Abmessungen 400 mm x 150 mm x 150 mm von zwei unterschiedlichen Herstellern mit Ausgleichsfeuchte und einem Feuchtegehalt von 20 M.-% mit Kriechspannungen von etwa 45 % der Bruchspannung leiten sie extrapolierte Kriechbeiwerte ab. Bei Ausgleichsfeuchte lagen die Verformungen nach 1000 Tagen im Bereich von 1,7 bis 2,9 ‰ und bei einer Feuchte von ca. 20 M.-% im Bereich von 1,3 bis 1,9 ‰.

MARZAHN und KÖNIG [2003] untersuchten in einem Forschungsvorhaben das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Kalksandstein- und Porenbeton-Planblöcken. Sie ermittelten eine lineare Beziehung zwischen kriecherzeugenden Lasten und Kriechverformungen und



### 3 Eigene experimentelle Untersuchungen

#### 3.1 Allgemeines

#### 3.2 Übersicht des Untersuchungsprogramms

Die Untersuchungen gliedern sich in folgende vier Teile:

**Teil 1:** Eingangskontrolle

**Teil 2:** Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung

**Teil 3:** Mauerwerksdruckversuche mit zugehörigen Mörtel- und Steinprüfungen

**Teil 4:** Langzeitversuche als Dauerstand-, Kriech- und Schwindversuche

Die in den einzelnen Teilen durchgeführten Prüfungen sind in Anlage 1 zusammengestellt.

#### 3.3 Prüfmaterialien

Es wurden die vier in Tabelle 3 angegebenen Steinsorten untersucht. Alle Steine haben die Abmessungen  $624 \times 240 \times 249 \text{ mm}^3$  mit Nut- und Federausprägung der Stoßfugen und sind mit Griffaschen ausgestattet. Die Hersteller wurden in der 51. Sitzung des Sachverständigenausschusses „Wandbauelemente“ B1 und B2 am 4. Juni 2002 in Berlin festgelegt. Porenbeton-Plansteine der Rohdichteklasse 0,30 waren auf dem Markt nicht verfügbar und konnten daher nicht in das Untersuchungsprogramm eingebunden werden. Für die Mauerwerksdruckversuche an den Steinen der Sorten Nr. 1a und 3 wurde für die ersten Versuche der vom Hersteller A vorgesehene Planstein-Mörtel zur Herstellung von Plansteinmauerwerk der Festigkeitsklassen PP 2, PP 4 und PP 6 im Dünnbettverfahren verwendet. Der Mörtel ist durch das Institut für Bautechnik bauaufsichtlich zugelassen. Es handelt sich um einen mineralischen Dünnbettmörtel. Die Druckfestigkeit entspricht nach Herstellerangabe der Mörtelgruppe III nach DIN 1053. Für die späteren Mauerwerksdruckversuche wurde ein marktüblicher Dünnbettmörtel eines anderen Herstellers eingesetzt, der im örtlichen Baustoffhandel verfügbar war. Tabelle 4 enthält die Liefertermine und Liefermengen des Probenmaterials.

Nr.	Bezeichnung	Hersteller
1a	PP 2-0,35	A
1b	PP 2-0,35	B
2	PP 4-0,50	C
3	PP 4-0,60	A

**Tabelle 3:** Untersuchte Steinsorten

Probenbezeichnung		Bezug	Liefertermin	Liefermenge
Nr. 1a:	PP 2-0,35	vom Hersteller auf Veranlassung durch DIBt	14.10.2002	312 Stück
Nr. 1b:	PP 2-0,35	über Baustoffhändler <sup>1)</sup>	01.08.2002	24 Stück
			29.08.2002	48 Stück
		vom Hersteller	02.12.2002	72 Stück
Nr. 2:	PP 4-0,5	vom Hersteller, Entnahme zusätzlicher Steine bei Fremdüberwachung	10.07.2002	50 Stück
Nr. 3:	PP 4-0,60	vom Hersteller auf Veranlassung durch DIBt	14.10.2002	216 Stück
	Planstein-Mörtel	vom Hersteller	26.02.2003	40 kg
		aus örtlichem Baustoffhandel von einem anderen Hersteller	August 2004	80 kg

<sup>1)</sup> Die Steine der 1. und 2. Lieferung über den Baustoffhandel erfüllten in der Eingangskontrolle die Anforderungen an die Rohdichte nicht, daher wurde eine weitere Bestellung direkt über den Hersteller vorgenommen.

**Tabelle 4:** Probenliefertermine und –mengen

Die Steine der Steinsorten Nr. 1b und 2 wurden nach der Lieferung luftdicht verpackt, um den Anlieferungszustand zu konservieren. Von den Steinen der Sorten Nr. 1a und 3 wurde ein Teil ebenfalls luftdicht verpackt und für die Mauerwerkprüfungen und die zugehörigen Steinprüfungen ein Teil ausgepackt, auf Leisten gelagert und vor Witterung geschützt der Außenluft ausgesetzt.

## 3.4 Versuchsdurchführung

### 3.4.1 Allgemeines

Die in der Übersicht in Anlage 1 aufgeführten Prüfungen wurden soweit wie möglich gemäß den einschlägigen Regelwerken aber bedingt durch die Ziele des Forschungsvorhabens mit einigen davon abweichenden Prüfbedingungen durchgeführt. Abweichungen betreffen insbesondere die Probenanordnung im Stein sowie die Probengeometrie und –abmessungen. Für einen Teil der Prüfungen wurden z.B. keine für die Überwachung üblichen Würfel mit 100 mm Kantenlänge, sondern zum Zweck der Vergleichbarkeit mit den Langzeitversuchen im Teil 4 senkrecht zur Treibrichtung aus den Steinen entnommene Prismen mit den Abmessungen 250 × 100 × 100 mm<sup>3</sup> verwendet. Für die Dauerstand- und Kriechversuche in Teil 4 sind diese Abmessungen nämlich im Hinblick auf das Verhältnis zwischen Probenhöhe und Belastungsfläche notwendig.

In Abschnitt 3.4.2 bis 3.4.5 wird die Versuchsdurchführung für die vier Untersuchungsteile beschrieben. Alle Probekörper wurden mit einer Bandsäge aus den Porenbeton-Plansteinen herausgesägt.

### 3.4.2 Teil 1 - Eingangskontrolle

Die Eingangskontrolle mit Ermittlung der Maße, Trockenrohddichte, Steindruckfestigkeit und des Feuchtegehalts wurde nach DIN 4165:1996-11 bzw. E DIN 4165:2001-03 durchgeführt.

Die Druckfestigkeit der Steine wurde gemäß Vorgabe der E DIN 4165:2001-03 im lufttrockenen Zustand bei einer Feuchte von  $6 \pm 2$  M.-% ermittelt. Dazu wurden die Steine im Trockenofen bei 40 °C auf eine Feuchte zwischen 4 M.-% und 8 M.-% getrocknet. Die Steine der Sorte Nr. 1b aus der Lieferung vom 02.12.2002 wurden vor Beginn der Ofentrocknung bereits im normalen Raumklima vorgetrocknet.

Bei der ersten Lieferung der Steinsorten Nr. 1b vom 01.08.2003 und bei der Steinsorte Nr. 2 wurden die Trockenrohddichten nicht nur an Prismen, sondern zusätzlich an halben Steinen ermittelt.

Die Feuchtegehalte der Steine bei der Druckfestigkeitsprüfung wurden unter Zugrundelegung der an Prismen und halben Steinen ermittelten Trockenrohddichten nur indirekt bestimmt.

### 3.4.3 Teil 2 – Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung

#### 3.4.3.1 Allgemeines

Die Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung wurden gegenüber der ursprünglichen Planung unter Berücksichtigung von Zwischenergebnissen in Abstimmung mit dem Auftraggeber nach Art und Umfang erheblich modifiziert und erweitert. Sie können unabhängig von der chronologischen Reihenfolge der Durchführung inhaltlich aufgeteilt werden in

- Untersuchungsreihen mit unterschiedlichen Vorlagerungen,
- Zeitreihen zum Einfluss der Lagerungsdauer in Normklima 20/65 (nur für Steinsorte Nr. 1a und 3) und
- Untersuchungen nach 3-monatiger Lagerungsdauer im Normklima 20/65 mit weiteren Parametern wie Würfeldruck- und Spaltzugfestigkeit, die die direkten Bezugswerte für die in Abschnitt 3.4.5 erläuterten Langzeitversuche bilden.

#### 3.4.3.2 Untersuchungsreihen zum Vergleich unterschiedlicher Vorlagerungen

Zunächst wurde an allen vier Steinsorten der Einfluss der Carbonatisierung auf die Prismendruckfestigkeit und die Trockenrohddichte nach vier unterschiedlichen in Tabelle 5 aufgeführten Vorlagerungen untersucht. Die Untersuchungen wurden an senkrecht zur Treibrichtung entnommenen Prismen mit Abmessungen von ca.  $250 \times 100 \times 100$  mm<sup>3</sup> durchgeführt. Da es sich ausschließlich um Plansteine handelte, wurden die über die ganze Stein-

höhe entnommenen Prismen zur Druckfestigkeitsermittlung nicht geschliffen. Die Zuordnung der Prismen zum Stein und zur Lage im Stein wurde nicht dokumentiert.

Bezeichnung	Art der Vorlagerung
A	Anlieferungszustand
O	Ofentrocknung bei 40 °C
K <sub>x</sub>	Normklima 20/65 über Dauer x
S <sub>x</sub> +K <sub>y</sub>	Schnellcarbonatisierung bei erhöhtem CO <sub>2</sub> -Gehalt über Dauer x und Normklima 20/65 über Dauer y

**Tabelle 5:** Arten der Probenvorlagerung zur Untersuchung der Carbonatisierung

Zu den in Tabelle 5 aufgelisteten Arten der Vorlagerung werden im folgenden noch einige Hinweise gegeben:

- **Anlieferungszustand (A):** Die Proben wurden bis zur Prüfung zur Konservierung des Anlieferungszustandes in Folie verpackt.
- **Ofentrocknung bei 40 °C (O):** Zusätzlich zum ursprünglich vereinbarten Versuchsprogramm wurden Prismen im Trockenschrank bei 40 °C auf eine Feuchte zwischen rd. 4 und 8 M.-% getrocknet. Die Feuchtegehalte wurden indirekt über die im Rahmen der Eingangskontrolle ermittelten Trockenrohdsichten ermittelt.
- **Lagerung bei Normklima (K):** Die Prismen wurden in einem Klimaraum mit Normklima 20/65 gelagert. Zunächst wurden Prismen aller vier Steinsorten bis zum Erreichen des lufttrockenen Zustands mit Feuchtegehalten zwischen 4 und 8 M.-% gelagert. In gewissen Abständen wurden Phenolphthaleintests durchgeführt. Am Ende der Vorlagerungszeit wurden an gleich gelagerten Reserveproben die unter Umständen carbonatisierungsbedingt veränderten Trockenrohdsichten ermittelt und für die Ermittlung der Feuchtegehalte zugrundegelegt.
- **Schnellcarbonatisierung (S):** Die Proben wurden durch Lagerung in einem speziellen Gasschrank mit Temperaturen von ca. 20° C, einer angestrebten Luftfeuchtigkeit von 65 % relativer Luftfeuchte und einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von etwa 3 Vol.-% CO<sub>2</sub> beschleunigt carbonatisiert. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 3 Vol.-% entspricht etwa der 100-fachen natürlichen Konzentration. Dazu wurden Kohlendioxid und Druckluft in einem stufenlos regelbaren Gasmischgerät gemischt und dem Gasschrank über ein Nadelventil mit Durchflussmengenmesser in solchen Mengen zugeführt, wie es der Verbrauch der Prismen an CO<sub>2</sub> erforderte. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration und die relative Luftfeuchte im Schrank wurden über Messgeräte von außen überprüft. Wegen der hohen Anfangsfeuchtegehalte der Prismen stieg die relative Luftfeuchte im Schrank deutlich über 65 % an. Deswegen wurde Trocknungsmittel zur Reduzierung verwendet, wobei auch mit Trocknungsmittel keine rel. Luftfeuchte von 65 % erreicht wurde. In gewissen Abständen wurden Phenolphthaleintests durchgeführt. Nach Feststellung einer vollständig unverfärbten Bruchfläche nach Aufsprühen mit Phenolph-

thalein wurden die Prismen bis zum Erreichen eines Feuchtegehaltes zwischen 4 und 8 M.-% in einem Klimaraum mit Normklima 20/65 gelagert. Nach der Carbonatisierung wurden zusätzlich die veränderten Trockenrohdsichten ermittelt und für die Feuchtegehaltsermittlung zugrundegelegt. Hierzu wurden noch verfügbare Reserveprismen verwendet werden.

Die Druckfestigkeiten der vorgelagerten Prismen und die Trockenrohdsichten von in gleicher Weise vorgelagerten Reserveprismen wurden nach den Vorgaben der DIN 4165:1996-11 bzw. E DIN 4165:2001-03 ermittelt. Nur die Entnahmestellen der Probekörper im Stein wichen von den Vorgaben der Norm ab. Die Feuchtegehalte der Prismen wurden für die meisten Prismen unter Ansatz der an den Reserveproben ermittelten Trockenrohdsichten indirekt rechnerisch abgeschätzt. Nach Feststellung der Ungenauigkeit und Nachteile dieser Vorgehensweise wurden für die noch ausstehenden Prüfungen die Trockenrohdsichten und Feuchtegehalte direkt durch Ofentrocknung bei 105 °C ermittelt.

Bei den Phenolphthaleintests wurden Bruchflächen der unterschiedlich vorgelagerten Proben nach der vorläufigen RILEM-Empfehlung CPC 18 „Measurement of hardened concrete – Carbonation depth“ mit einer Phenolphthaleinlösung als Indikator untersucht. Die Farbe einer Phenolphthaleinlösung schlägt im Bereich von pH > 9 von farblos auf rot-violett um. An frischen Bruchflächen von Normalbeton, für den dieses Prüfverfahren üblicherweise zur Anwendung kommt, bleibt beim Aufsprühen der Lösung der carbonatisierte Bereich unverfärbt, während sich der nichtcarbonatisierte Bereich rot-violett verfärbt. Für Porenbeton ist der Phenolphthaleintest allerdings nur bedingt aussagefähig. Eine Bruchfläche einer Porenbetonprobe enthält nämlich einen erheblichen Anteil freigelegter Porenwänden und nur einen kleinen Teil Feststoff zwischen den Poren. Außerdem ist die bei der Carbonatisierung von Porenbeton überwiegend stattfindende Umwandlung der CSH-Phase Tobermorit nicht mit einer Änderung des pH-Wertes vom alkalischen in den neutralen Bereich verbunden wie die bei der Carbonatisierung von Normalbeton überwiegend stattfindende Umwandlung von Calciumhydroxid in Calciumkarbonat. Die für Porenbeton besser geeignete, aber erheblich aufwändigere Ermittlung des Carbonatisierungsgrads mit TG-Analyse konnte im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt werden und bleibt den in der Einleitung genannten nachfolgenden Forschungsvorhaben zur Carbonatisierung von Porenbeton-Plansteinen vorbehalten.

An allen vier Steinsorten wurde der Freikalkgehalt im Anlieferungszustand in Anlehnung an DIN EN 459-2 an jeweils zwei Teilproben ermittelt.

### **3.4.3.3 Untersuchungsreihe zum Einfluss der Lagerungsdauer im Normklima 20/65**

Prismen der Steinsorten Nr. 1a und 3 wurden einen, drei, sechs und zwölf Monate lang im Normklima 20/65 gelagert und jeweils die Trockenrohdsichten und Druckfestigkeiten ermittelt. Zur Probenanordnung, -geometrie und -vorbereitung gelten die gleichen Angaben wie in Abschnitt 3.4.3.2.

#### 3.4.3.4 Ermittlung unterschiedlicher Porenbetoneigenschaften nach 90-tägiger Lagerung im Normklima 20/65

Da für alle Langzeitversuche in Teil 4 als Vorlagerung der Prismen eine 90-tägige bzw. 3-monatige Lagerung im Normklima 20/65 festgelegt wurde, wurden für diese Vorlagerung für alle vier untersuchten Steinsorten umfangreichere Untersuchungen durchgeführt.

Es wurden wie bei den in Abschnitt 3.4.3.2 und 3.4.3.3 beschriebenen Versuchsserien Trockenrohlichten, Prismendruckfestigkeiten und unter Zugrundelegung der Trockenrohlichten indirekt Feuchtegehalte ermittelt. Zur Probenanordnung, -geometrie und -vorbereitung gelten die gleichen Angaben wie in Abschnitt 3.4.3.2.

Weiterhin wurden Druck- und Spaltzugfestigkeiten von Würfeln mit einer Kantenlänge von 100 mm bestimmt. Die Würfeldruckfestigkeiten wurden nach DIN 4165:1996-11 bzw. E DIN 4165:2001-03 ermittelt, die Würfel allerdings nach dem Schnitt nicht geschliffen. Die Spaltzugfestigkeiten wurden in Anlehnung an DIN EN 12390-6 an Würfeln mit einer Kantenlänge von 100 mm mit der in Bild 2 dargestellten Prüfeinrichtung bestimmt. Die Lasteinleitung erfolgte senkrecht zur Treibrichtung über Quadratstähle 20 x 20 mm<sup>2</sup> und 20 mm breite und 5 mm dicke Lastverteilungstreifen aus Hartfilz der Härte F5 nach DIN 61200. Die Belastungsgeschwindigkeit betrug rd. 0,005 N/(mm<sup>2</sup> x s).

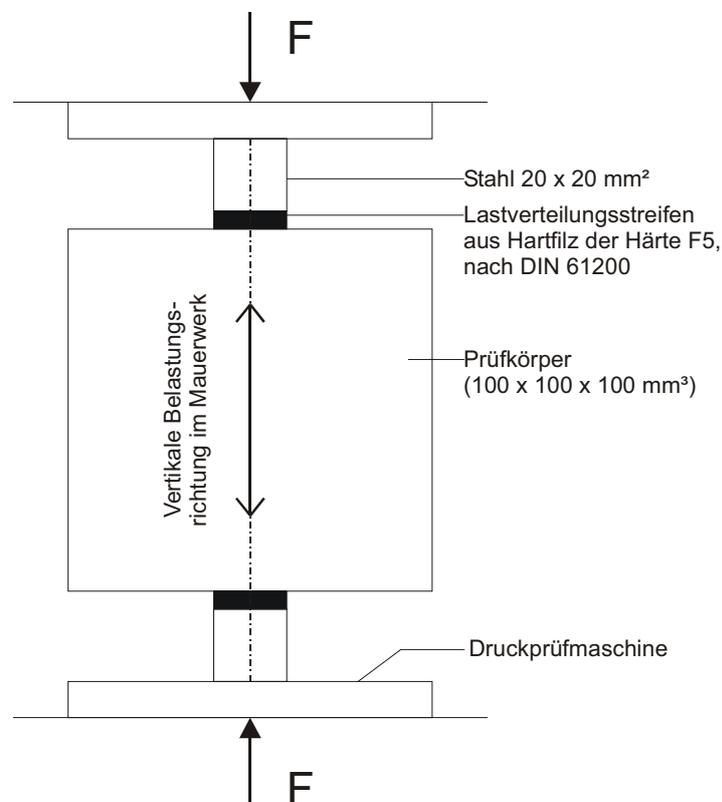


Bild 2: Prüfeinrichtung zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit

### 3.4.4 Teil 3 – Mauerwerksdruck- und zugehörige Stein- und Mörtelprüfungen

#### 3.4.4.1 Mörtelprüfungen

Zur Herstellung der Mauerwerksprüfkörper wurde der Planstein-Mörtel sackweise mit einem Rührquirl angemischt. Begleitend zu den Wanddruckversuchen wurden die Rohdichte und die Druckfestigkeit des Mörtels ermittelt. Dazu wurden beim Herstellen der Wandprüfkörper zwei Sätze von je drei Mörtelprismen 40 mm x 40 mm x 160 mm entsprechend DIN 18155 hergestellt und gelagert.

#### 3.4.4.2 Steinprüfungen

Begleitend zu den an Steinsorte Nr. 1a und 3 nach unterschiedlich langer Lagerung im überdachten, der Witterung ausgesetzten Außenlager durchgeführten Wanddruckversuchen wurden die Maße der Steine und die Trockenrohden von in Treibrichtung entnommenen Prismen nach DIN 4165:1996-11 bzw. E DIN 4165:2001-03 und daraus die Feuchtegehalte ermittelt. Wenn die Steine bei den Wanddruckversuchen noch nicht lufttrocken waren, wurden die Druckfestigkeiten im Feuchtezustand wie in den Wandprüfkörpern und zusätzlich nach Ofentrocknung bei 40 °C im lufttrockenen Zustand bestimmt. Die zugehörigen Feuchtegehalte wurden ebenfalls ermittelt. An einigen Steinen wurden Phenolphthaleintests wie in Abschnitt 3.4.3.2 beschrieben durchgeführt. Zusätzlich wurden die Trockenrohden, die Steindruckfestigkeit und die Feuchtegehalte von Steinen nach einjähriger Lagerung im Außenlager bestimmt, um einen Vergleich mit den Eigenschaften von Prismen zu ermöglichen, die ein Jahr im Normklima 20/65 vorgelagert wurden (s. Abschn. 3.4.3.3).

#### 3.4.4.3 Mauerwerksdruckversuche

Es wurden Mauerwerksdruckversuche an Steinen der Sorte Nr. 1a und 3 nach unterschiedlich langer Lagerung im überdachten, der Witterung ausgesetzten Außenlager durchgeführt. Es wurden jeweils drei Wandprüfkörper mit den Abmessungen  $l / b / h = \text{ca. } 1,25 \text{ m} / 0,24 \text{ m} / 2,5 \text{ m}$  in einer Halle des Instituts hergestellt. Die Wände wurden in einer Länge von 2 Steinen und einer Höhe von 10 Schichten mit einem Überbindemaß von einer halben Steinlänge im Läuferverband errichtet. Die erste Schicht jeder Wand wurde in Zementmörtel auf eine ebene Stahlplatte gesetzt. Die weiteren Schichten wurden mit Dünnbettmörtel aufgemauert. Die Stossfugen blieben unvermörtelt. Ergänzungssteine waren vorab mit einer Steinsäge geschnitten worden. Auf die oberste Schicht jeder Wand wurde abschließend eine Abgleichschicht aus Zementmörtel (MV 1:1 in RT) aufgezogen.

Bis zu ihrer Prüfung standen die Wände in einer Prüfhalle bei ca. 20° C und ca. 40 bis 70 % rel. Luftfeuchte. Die Prüfung der Wände nach DIN 18554, Teil 1, erfolgte etwa sieben Tage nach ihrer Herstellung. Dazu wurden sie mitsamt ihrer Grundplatte aus Stahl in eine 6000 kN-Druckprüfmaschine eingebaut. Auf die Abgleichschicht des Wandkopfes wurde

zusätzlich eine Abgleichschicht aus Stuckgips aufgebracht, in die sofort die obere Druckplatte der Prüfmaschine abgesetzt wurde. Nach Aushärtung der Gipsschicht wurde die Vertikallast zentrisch in gleich großen Laststufen aufgebracht. Nach Erreichen jeder Laststufe wurde die Druckkraft ca. 90 s konstant gehalten, um die vertikalen Verformungen der Wände aufnehmen zu können. Die Belastungsgeschwindigkeit zum Erreichen jeder Laststufe betrug etwa  $\beta_{D,mw}/300$  je Sekunde (mit  $\beta_{D,mw}$  = Druckfestigkeit der Wände).

Auf beiden Seitenflächen der Wandprüfkörper waren Messstrecken von ca. 1380 mm Messlänge gemäß DIN 18554 angebracht worden. Die vertikalen Verformungen wurden über induktive Wegaufnehmer gemessen. Während der Belastung wurden die Prüfkörper auf Rissbildung beobachtet.

Nach Absprache mit dem Auftraggeber wurden für Steinsorte Nr. 1a zwei unterschiedliche Vorlagerungszeiten gewählt, nämlich rd. 4 bis 5 Monate und etwa 20 Monate bis zum sicheren Erreichen des lufttrockenen Zustands in trockener Sommerphase, und für Steinsorte Nr. 3 nur eine, nämlich die längere. Aus eigenen Mitteln wurden zusätzlich ein Wandprüfkörper der Steinsorte Nr. 1a nach ca. 26,5 Monaten im Außenlager und ein Wandprüfkörper der Steinsorte Nr. 3 aus direkt aus der eingeschweißten Palette entnommenen Steinen geprüft.

### **3.4.5 Teil 4 – Langzeitversuche und zugehörige Kurzzeitprüfungen**

#### **3.4.5.1 Dauerlaststände**

Für die Versuche wurden die im Institut verfügbaren Belastungs- bzw. Kriechstände modernisiert und der Lastbereich für kleinere Lasten erweitert. Anlage 11 zeigt Fotos der Dauerlaststände und der Steuerungseinheit. In jeden Dauerlaststand können bis zu drei Proben übereinander eingebaut und mit derselben Normalkraft hydraulisch auf Druck beansprucht werden. Der maximal mögliche Öldruck beträgt 400 bar. Der jeweils gewählte Solldruck wird über eine automatische elektronische Regelung mit einer Genauigkeit von  $\pm 2$  bar konstant gehalten. Die Belastungseinrichtung ist so ausgelegt, dass die Hydraulikzylinder einfach gewechselt werden und für die jeweils erforderliche Normalkraft und Regelungsgenauigkeit geeignete verwendet werden können. Die Regeleinheit ist für sechs Dauerlaststände ausgelegt, wobei für alle sechs Stände unterschiedliche Solldrücke aufgebracht werden können. Insgesamt stehen zwölf Dauerlaststände zur Verfügung, die jeweils mit maximal drei Proben also insgesamt 36 Proben belegt werden können.

#### **3.4.5.2 Probenvorlagerung und zugehörige Kurzzeitversuche**

Die Prismen für die Kriech-, Schwind- und Dauerstandversuche wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber alle einheitlich 90 Tage im Normklima 20/65 vorgelagert. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass alle Proben gleich lange der Carbonatisierung ausgesetzt wurden und bei Beginn der Langzeitversuche einen lufttrockenen Zustand aufwiesen. Die Vergleichsschwindproben wurden nach der 90-tägigen Vorlagerung wegen der Ver-

gleichbarkeit mit den belasteten Proben an den beiden Stirnseiten mit Epoxidharz versiegelt. Außerdem wurden mittig auf die Stirnseiten Messzapfen geklebt.

Zusätzlich zu den Prismen für die Langzeitversuche wurden Prismen vorgelagert, an denen nach der 90-tägigen Vorlagerung im Normklima 20/65 wie bereits in Abschnitt 3.4.3.4 beschrieben Trockenrohrichten und Prismendruckfestigkeiten ermittelt wurden. Die ermittelten Druckfestigkeiten dienten als Grundlage für die Ermittlung der für die Kriech- und Dauerstandversuche erforderlichen Kräfte. Weiterhin wurden Reserveproben während der Langzeitversuche in demselben Klimaraum gelagert, die beim Ausbau der Langzeitversuche für weitere Kurzzeitversuche zur Verfügung standen. Bei diesen Proben waren allerdings anders als bei den Proben der Kriech-, Schwind- und Dauerstandversuche alle sechs Seiten einschließlich der beiden Stirnseiten und nicht nur vier Seitenflächen dem Klima ausgesetzt.

#### **3.4.5.3 Dauerstand-, Kriech- und Schwindversuche**

Es wurden folgende bereits in der Übersicht in Anlage 1 angegebenen Langzeitversuche in Anlehnung an DIN EN 1355 „Bestimmung der Kriechverformungen unter Druckbeanspruchung von dampfgehärtetem Porenbeton und von haufwerksporigem Leichtbeton“ durchgeführt:

- für Steinsorte Nr. 1b und 2 Dauerstandversuche mit Normaldruckspannungen von 90 und 80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit sowie Kriechversuche mit Normaldruckspannungen von einem Drittel der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit und parallel Schwindversuche ohne Last
- für Steinsorte Nr. 1a und 3 nur Dauerstandversuche bei 75 % der Nenndruckfestigkeit der Porenbeton-Plansteine

Es wurden generell jeweils mindestens drei Proben je Steinsorte und Last untersucht, bei den Dauerstandversuchen aber für die Steine der Sorte Nr. 1a und 3 mit Normalspannungen von 75 % der Nennfestigkeit je eine zusätzliche vierte Probe und bei den Dauerstandversuchen für die Steinsorte Nr. 2 mit Normalspannungen von 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit drei zusätzliche Proben untersucht. Da bei den Dauerstandversuchen wegen der Höhe der Last ein Bruch der Proben erwartet wurde, wurden bei ausreichender Verfügbarkeit von Belastungsständen nur eine Porenbetonprobe je Stand und zwei um ein Vielfaches festere Dummies aus Stahl oder Beton eingebaut. Dadurch wird verhindert, dass beim Bruch einer Probe die übrigen Proben durch den plötzlichen Lastabfall und erneute Belastung gestört, entlastet und danach wieder belastet werden. Die Vergleichsschwindproben wurden in demselben Klimaraum wie die Proben in den Belastungsständen gelagert.

Die Versuche wurden im Normklima 20/65 durchgeführt. Bedingt durch gerätetechnische Probleme mit der Feuchteregulierung der vor den Langzeitversuchen neu installierten Klimaanlage wurden die vorgegebenen Feuchtigkeitsgrenzen während der Versuchslaufzeit

einige Male unterschritten und die Versuchsergebnisse dadurch möglicherweise zeitweise beeinträchtigt.

Die Abmessungen der Prismen betragen  $100 \times 100 \times 250 \text{ mm}^3$ . Da die Probenhöhe der Höhe der Porenbeton-Plansteine entsprach, konnten die in DIN EN 1355 vorgeschlagenen Probenabmessungen von  $100 \times 100 \times 300 \text{ mm}^3$  nicht eingehalten werden. Die Belastungsflächen der Proben wurden nicht geschliffen.

Auf zwei gegenüberliegenden Längsseiten der belasteten Proben wurden die Längenänderungen im mittleren Bereich der Längsachsen mit Anfangsmesslängen von 100 mm gemessen. Dazu wurden mit geeigneten Halterungen angebrachte Messuhren mit einer Messgenauigkeit von 0,001 mm verwendet (s. Anlage 11). Die Längenänderungen der Vergleichsschwindproben wurden mit Hilfe der Messzapfen und einer für Probenlängen von 250 mm geeigneten Messeinrichtung nach Graf/Kaufmann mit einer Messgenauigkeit von 0,001 mm ermittelt.

Die Messuhren der Proben in den Belastungsständen wurden mindestens vor der Belastung, unmittelbar nach der Belastung, nach einem, zwei, drei ungefähr 7, 14 und 28 Tagen und dann mindestens einmal monatlich abgelesen. Bei erkennbaren Verformungszuwächsen wurden insbesondere bei den Dauerstandversuchen geringere Messabstände gewählt. Außerdem wurden arbeitstäglich die vorhandenen Lasten und das Klima kontrolliert. So konnten Unregelmäßigkeiten und Brüche der Proben zeitnah festgestellt und darauf reagiert werden. Die unbelasteten Vergleichsschwindproben wurden jeweils zeitgleich mit den belasteten Proben gemessen.

Bei den Dauerstandversuchen wurden nach Möglichkeit die Standzeiten bis zum Eintreten des Bruchs ermittelt. Einige Versuche wurden am Ende der zur Verfügung stehenden Zeit ohne Bruch abgebrochen, so dass für diese Proben keine Standzeiten angegeben werden können. Wenn die Proben nicht bereits während der Belastung oder kurze Zeit danach brachen, wurden zunächst die sofortigen Verformungen infolge Belastung  $\varepsilon_{t0}$  als Differenz der Ablesung vor und unmittelbar nach der Belastung ermittelt. Außerdem wurden die Verformungen abhängig von der Zeit als Differenz aus der gesamten Verformung  $\varepsilon_{\text{tot},t}$  und der sofortigen Verformung infolge Belastung  $\varepsilon_{t0}$  ermittelt und abhängig von der Belastungsdauer grafisch dargestellt.

Bei den Kriech- und Schwindversuchen wurden die Kriechverformungen  $\varepsilon_{\text{cc},t}$  zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  in mm/m folgendermaßen ermittelt:

$$\varepsilon_{\text{cc},t} = \varepsilon_{\text{cc,tot},t} - \varepsilon_{\text{ci},t0} - \varepsilon_{\text{cs},t}$$

mit:

- $\varepsilon_{\text{cc,tot},t}$  Gesamtverformung der belasteten Kriechprobekörper im betrachteten Zeitraum  $t$  seit der ersten Ablesung im unbelasteten Zustand unmittelbar vor dem Aufbringen der endgültigen Dauerbelastung
- $\varepsilon_{\text{ci},t0}$  sofortige Verformung infolge aufgebrachtter Belastung (Differenz der Ablesung unmittelbar vor und nach der Belastung)

$\varepsilon_{cs,t}$  Mittelwert der Gesamtverformung der unbelasteten Vergleichsschwindprobekörper vom Zeitpunkt der Belastung der Kriechprobekörper bis zum betrachteten Zeitpunkt t

Zusätzlich wurde das spezifische Kriechmaß  $\varepsilon_{cc,t} / \sigma$  zum betrachteten Zeitpunkt t als Quotient aus der Kriechverformung  $\varepsilon_{cc,t}$  und der Dauerspannung  $\sigma$  in  $10^{-6}$  je  $N/mm^2$  ermittelt.

### 3.5 Versuchsergebnisse

#### 3.5.1 Allgemeines

Im folgenden werden die Versuchsergebnisse beschrieben. Zur besseren Lesbarkeit sind im eigentlichen Berichtsteil nur zusammenfassende Tabellen und grafische Darstellungen enthalten und die Detailergebnisse in Anlagen angefügt. Zusammengefasst und bewertet werden die Ergebnisse erst in Abschnitt 4.

#### 3.5.2 Teil 1 - Eingangskontrolle

Die Ergebnisse der Eingangskontrolle sind getrennt für die vier Steinsorten in den Anlagen 2.1 bis 2.5 im einzelnen zusammengestellt. Es sind jeweils die Maße Länge, Breite, Höhe und Ebenheit, sowie die ermittelten Trockenrohichten und die Steindruckfestigkeiten mit den zugehörigen Feuchtegehalten und die jeweiligen Anforderungen nach DIN 4165 angegeben. In Tabelle 6 sind die Mittelwerte der Feuchtegehalte bei Anlieferung, der Trockenrohichten, der Steindruckfestigkeiten und der Feuchtegehalte bei der Druckprüfung zusammengefasst. Die beiden Lieferungen der Steinsorte Nr. 1b vom August 2002 erfüllen gemäß Anlage 2.2 die Anforderungen der DIN 4165 an die Trockenrohichte nicht. Die Lieferung der Steinsorte Nr. 1b vom Dezember 2002 und die übrigen Steinsorten erfüllen die Anforderungen an die Maße, die Steindruckfestigkeiten und die Trockenrohichten. Lediglich ein Stein der Sorte Nr. 1b und drei Steine der Sorte Nr. 3 sind etwas zu lang.

Steinsorte Nr.	1a	1b <sup>1)</sup>	2	3
Bezeichnung	PP 2-0,35	PP 2-0,35	PP 4-0,5	PP 4-0,60
Mittlerer Feuchtegehalt bei Anlieferung in M.-%	ca. 38	ca. 39	ca. 35	ca. 29
Mittlere Trockenrohichte der Prismen in $kg/dm^3$	0,346	0,345	0,488	0,572
Anforderungen <sup>2)</sup> an Mittelwert in $kg/dm^3$	$> 0,30$ $\leq 0,35$	$> 0,30$ $\leq 0,35$	$> 0,45$ $\leq 0,50$	$> 0,55$ $\leq 0,60$
Mittlere Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ in $N/mm^2$	2,6	2,6	5,3	6,0
Anforderungen an Mittelwert <sup>2)</sup> in $N/mm^2$	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$
Mittlerer Feuchtegehalt bei Druckprüfung in M.-%	5,4	4,8	6,4	6,0

<sup>1)</sup> Lieferung vom 02.12.2002

<sup>2)</sup> nach DIN 4165

**Tabelle 6:** Übersicht der Ergebnisse der Eingangskontrolle

### **3.5.3 Teil 2 - Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung**

#### **3.5.3.1 Allgemeines**

Es werden zunächst getrennt für die Steinsorten alle Untersuchungsergebnisse an Prismenproben zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung in Anlagen zusammengestellt, nämlich in Anlage 3.1 bis 3.2 für Steinsorte Nr. 1a, in Anlage 4 für Steinsorte Nr. 1b, in Anlage 5 für Steinsorte Nr. 2 und in Anlage 6.1 bis 6.2 für Steinsorte Nr. 3. Es werden jeweils erst die Ergebnisse für den Anlieferungszustand (A), dann für die Ofentrocknung (O), dann für die Lagerung bei Normklima 20/65 (K) und abschließend für die Schnellcarbonatisierung (S) angegeben.

In den folgenden Abschnitten 3.5.3.2 bis 3.5.3.4 werden die jeweils relevanten Ergebnisse getrennt für die bereits in Abschnitt 3.4.3.1 genannten inhaltlichen Untersuchungskriterien zusammengestellt und erläutert. In Abschnitt 3.5.3.4 werden bei den Untersuchungen nach 3-monatiger bzw. 90-tägiger Lagerung im Normklima auch die Ergebnisse der Würfeldruck- und Spaltzugfestigkeitsuntersuchungen angegeben, die in den Anlagen 3.1 bis 3.2, 4, 5 und 6.1 bis 6.2 nicht enthalten sind.

#### **3.5.3.2 Untersuchungsreihen zum Vergleich unterschiedlicher Vorlagerungen**

In Anlage 3.1 bis 3.2, 4, 5 und 6.1 bis 6.2 sind die Ergebnisse der Untersuchungen nach unterschiedlichen Vorlagerungen getrennt für die vier Steinsorten im einzelnen zusammengestellt. In Tabelle 7 sind die Mittelwerte der Prismendruckfestigkeiten ohne Umrechnung mit Formfaktoren mit Angabe der Spannweiten angegeben. Außerdem enthält die Tabelle die Mittelwerte der Trockenrohdsichten, der Feuchtegehalte, der Breite der farblosen Ränder im Phenolphthaleintest für die vier Steinsorten nach unterschiedlichen Vorlagerungen und für den Anlieferungszustand die mittleren Anteile „freien Kalks“ aus je zwei Teilproben. Die Trockenrohdsichten wurden an anderen Proben derselben Vorlagerung und zum Teil nur an einer Probe ermittelt. Aufgrund der dadurch enthaltenen Abweichungen von den Prismen der Druckfestigkeitsprüfungen sind die Werte nur in Klammern angegeben. Die ebenfalls in Klammern angegebenen Feuchtegehalte wurden ebenfalls indirekt über die Trockenrohdsichten ermittelt, wodurch Ungenauigkeiten verursacht wurden. Die Werte der Trockenrohdsichten und Feuchtegehalte können daher nur mit gewissen Einschränkungen in die Bewertung der Ergebnisse einbezogen werden. In Bild 3 sind die mittleren und in Bild 4 die relativen mittleren Prismendruckfestigkeiten, Trockenrohdsichten und Feuchtegehalte, bezogen auf die mittleren Werte nach Ofentrocknung als Balkendiagramme dargestellt.

Steinsorte	Probenvorlagerung	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>		Trockenroh-dichte <sup>1)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>	Feuchtegehalt <sup>2)</sup> in M.-%	Farb-loser Rand im pH-Test in mm	Anteil Frei-kalk <sup>3)</sup> in %
		Mittelwert	Spannweite				
Nr. 1a PP 2-0,35	Anlieferung A	2,5	2,2 bis 2,8	(0,346)	(33,6)	rd. 0	1,05
		2,5	2,2 bis 2,7	(0,329)	(34,9)	rd. 0	
	Ofen 40 °C O	2,3	2,1 bis 2,7	(0,346)	(3,2)	rd. 32	-
	Normklima 20/65 K <sub>ca. 90 Tage</sub>	2,1	1,7 bis 2,5	(0,365)	(7,9)	rd. 38	-
		2,4	2,1 bis 2,7	(0,364)	(9,0)	rd. 29	
Schnellcarbonatisierung S <sub>30 Tage</sub> + K <sub>4 Tage</sub>	1,1	1,0 bis 1,3	(0,411)	(5,5)	vollflächig	-	
Nr. 1b PP 2-0,35	Anlieferung A	2,1	1,9 bis 2,3	(0,345)	(38,5)	rd. 0	0,34
	Ofen 40 °C O	2,7	2,4 bis 3,0	(0,345)	(5,3)	rd. 20	-
	Normklima 20/65 K <sub>47 Tage und 90 Tage</sub>	2,4	2,1 bis 2,6	(0,363)	(3,4)	rd. 36	-
		2,6	2,3 bis 2,9	(0,356)	(4,7)	rd. 44	
Schnellcarbonatisierung S <sub>13 Tage</sub> + K <sub>42 Tage</sub>	2,2	1,8 bis 2,4	(0,385)	(4,4)	vollflächig	-	
Nr. 2 <sup>4)</sup> PP 4-0,50	Anlieferung A	3,5	3,1 bis 4,0	(0,484)	(38,4)	rd. 0	0,32
	Ofen 40 °C O	4,3	3,7 bis 4,9	(0,510)	(6,6)	rd. 18	-
	Normklima 20/65 K <sub>83 und 90 Tage</sub>	4,6	3,7 bis 5,1	(0,496)	(8,1)	rd. 34	-
		4,7	3,8 bis 5,9	(0,513)	(0,5)	rd. 36	
Schnellcarbonatisierung S <sub>30 Tage</sub> + K <sub>60 Tage</sub>	4,2	4,0 bis 4,4	(0,496)	(8,3)	vollflächig	-	
Nr. 3 PP 4-0,60	Anlieferung A	4,3	3,8 bis 4,7	(0,572)	(28,7)	rd. 0	0,38
		4,7	4,4 bis 5,0	(0,574)	(29,2)		
	Ofen 40 °C O	5,2	4,6 bis 5,6	(0,572)	(4,0)	rd. 20	-
	Normklima 20/65 K <sub>70 Tage</sub>	4,0	3,6 bis 4,3	(0,585)	(5,1)	rd. 36	-
	Schnellcarbonatisierung S <sub>30 Tage</sub> + N <sub>55 Tage</sub>	3,0	2,5 bis 3,8	(0,613)	(5,4)	vollflächig farblos	-

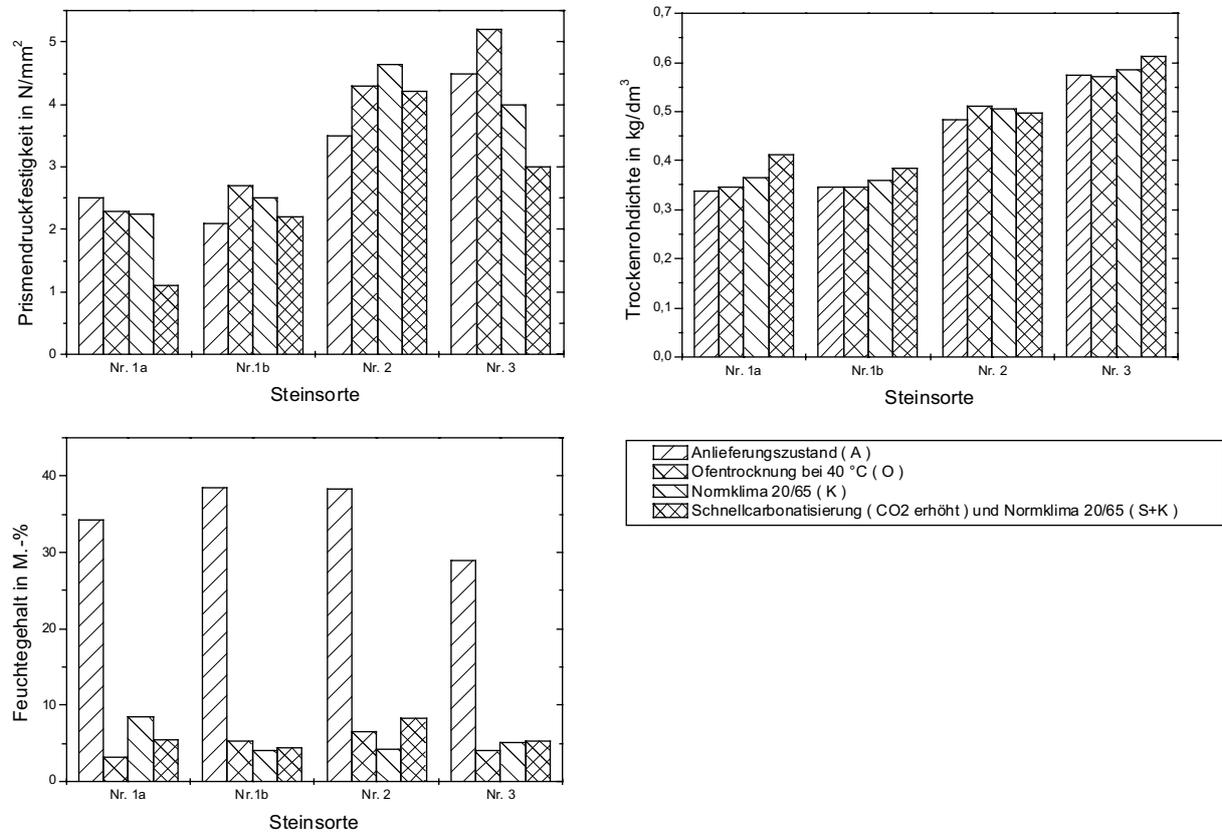
<sup>1)</sup> aus Eingangskontrolle oder an ein oder zwei weiteren Proben aus gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>2)</sup> in Klammern angegebene Werte nur indirekt über Trockenroh-dichte ermittelt

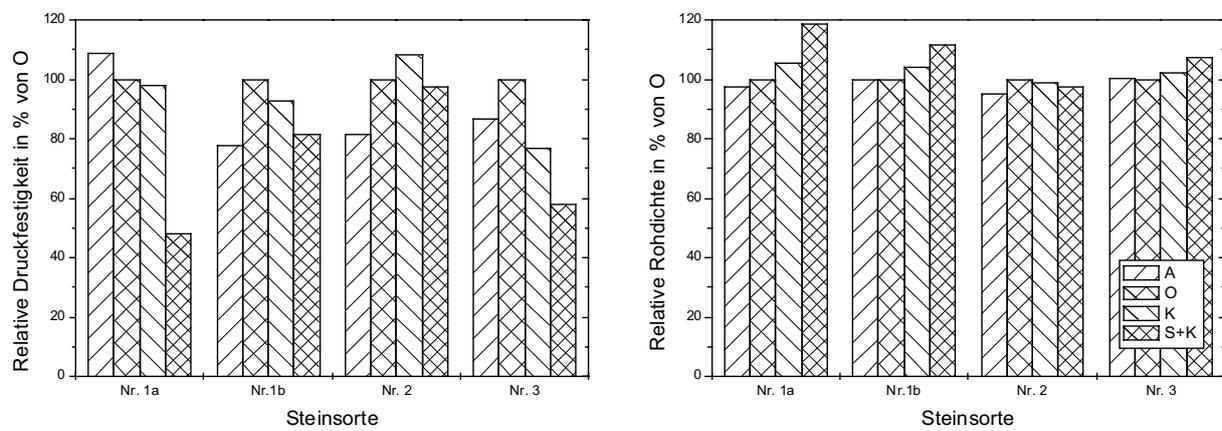
<sup>3)</sup> nur im Anlieferungszustand an zwei Teilproben ermittelt

<sup>4)</sup> an einigen Proben nach dem Bruch im Inneren Bindemittelknoten festgestellt

**Tabelle 7:** Übersicht der Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse zum Carbonatisierungseinfluss nach unterschiedlichen Vorlagerungen



**Bild 3:** Mittlere Prismendruckfestigkeit, Trockenrohichte und Feuchte für alle vier Steinsorten nach unterschiedlichen Vorlagerungen



**Bild 4:** Mittlere relative Prismendruckfestigkeit und Trockenrohichte für alle vier Steinsorten nach unterschiedlichen Vorlagerungen bezogen auf die Werte nach Ofentrocknung

Die Feuchtegehalte im Anlieferungszustand lagen im Bereich von etwa 30 bis 40 M.-%, nach der Ofentrocknung etwa im Bereich von 3 bis 6 %. Im Vergleich dazu sind die Feuchtegehalte nach Normklimalagerung und Schnellcarbonatisierung eher etwas höher als nach Ofentrocknung, wobei die Ungenauigkeiten durch die indirekte Ermittlung eine eindeutige Aussage erschweren. Nach maximal 90-tägiger Normklimalagerung ergeben sich keine eindeutigen Änderungen der Prismendruckfestigkeit gegenüber der Ofentrocknung. Bei Steinsorte Nr. 1a und 1b sind die Werte etwa gleich, bei Steinsorte Nr. 2 etwas höher und bei Steinsorte Nr. 3 deutlich geringer. Nach der Schnellcarbonatisierung weisen insbesondere Steinsorte Nr. 1a und 3 relative Druckfestigkeitswerte in der Größenordnung von 50 % im Vergleich zur Ofentrocknung, Steinsorte Nr. 1b relative Werte von ca. 80 % und Steinsorte Nr. 2 etwa gleich große Werte wie nach Ofentrocknung auf. Die Prismendruckfestigkeiten sind mit dem hohen Feuchtegehalt im Anlieferungszustand außer bei Steinsorte Nr. 1a im Bereich zwischen rd. 10 und 20 % geringer als nach Ofentrocknung. Die mittleren Trockenrohddichten nehmen außer bei Steinsorte Nr. 2 durch die Lagerung im Normklima leicht und noch ausgeprägter bei vorheriger Schnellcarbonatisierung zu. Die Trockenrohddichten nehmen nach Schnellcarbonatisierung bei Steinsorte Nr. 1a um ca. 20 % und bei Steinsorte Nr. 1b und 3 um ca. 10 % zu, wobei die Anzahl der untersuchten Proben sehr gering war. Die Veränderungen der Trockenrohddichten und der Prismendruckfestigkeiten sind zum Teil so groß, dass die Anforderungen der DIN 4165 für die jeweilige Rohdichte- und Festigkeitsklasse nicht mehr eingehalten werden. Insbesondere bei Steinsorte Nr. 1a ist auch zu beachten, dass die Vorlagerung mit Schnellcarbonatisierung die Bildung sichtbarer Risse verursachte, die auch negative Auswirkungen auf die Festigkeit haben und die Spannweiten der Ergebnisse beeinflussen können. Die Einflüsse aus den Vorlagerungen werden auch durch Streuungen infolge Materialinhomogenitäten, z.B. durch Unterschiede in Bezug zur Lage der Prismenprobe in Treibrichtung, durch Unterschiede zwischen den Steinen, durch sonstige Inhomogenitäten, wie Bindemittelknollen bei Steinsorte Nr. 2, und durch unterschiedliche Feuchtegehalte überlagert. Eine eindeutige Trennung der Faktoren ist nicht ohne weiteres möglich. Die Anteile an Freikalk betragen bei Proben im Anlieferungszustand maximal rd. 1 %, wodurch die Aussagekraft des Phenolphthaleintests relativiert wird.

### **3.5.3.3 Untersuchungsreihe an Steinsorte Nr. 1a und 3 zum Einfluss der Lagerungsdauer im Normklima 20/65**

In Anlage 3.1 bis 3.2 sind für Steinsorte Nr. 1a und in Anlage 6.1 bis 6.2 für Steinsorte Nr. 3 die Ergebnisse der Untersuchungen nach unterschiedlicher Lagerungszeit im Normklima 20/65 im einzelnen zusammengestellt. In Tabelle 8 sind die Mittelwerte der Prismendruckfestigkeit, der Trockenrohddichte und die zugehörigen überwiegend nur indirekt über die Trockenrohddichte ermittelten Feuchtegehalte für beide Steinsorten nach unterschiedlich langer Lagerung im Normklima 20/65 zusammengefasst und in Bild 5 die Ergebnisse abhängig von der Lagerungsdauer grafisch dargestellt.

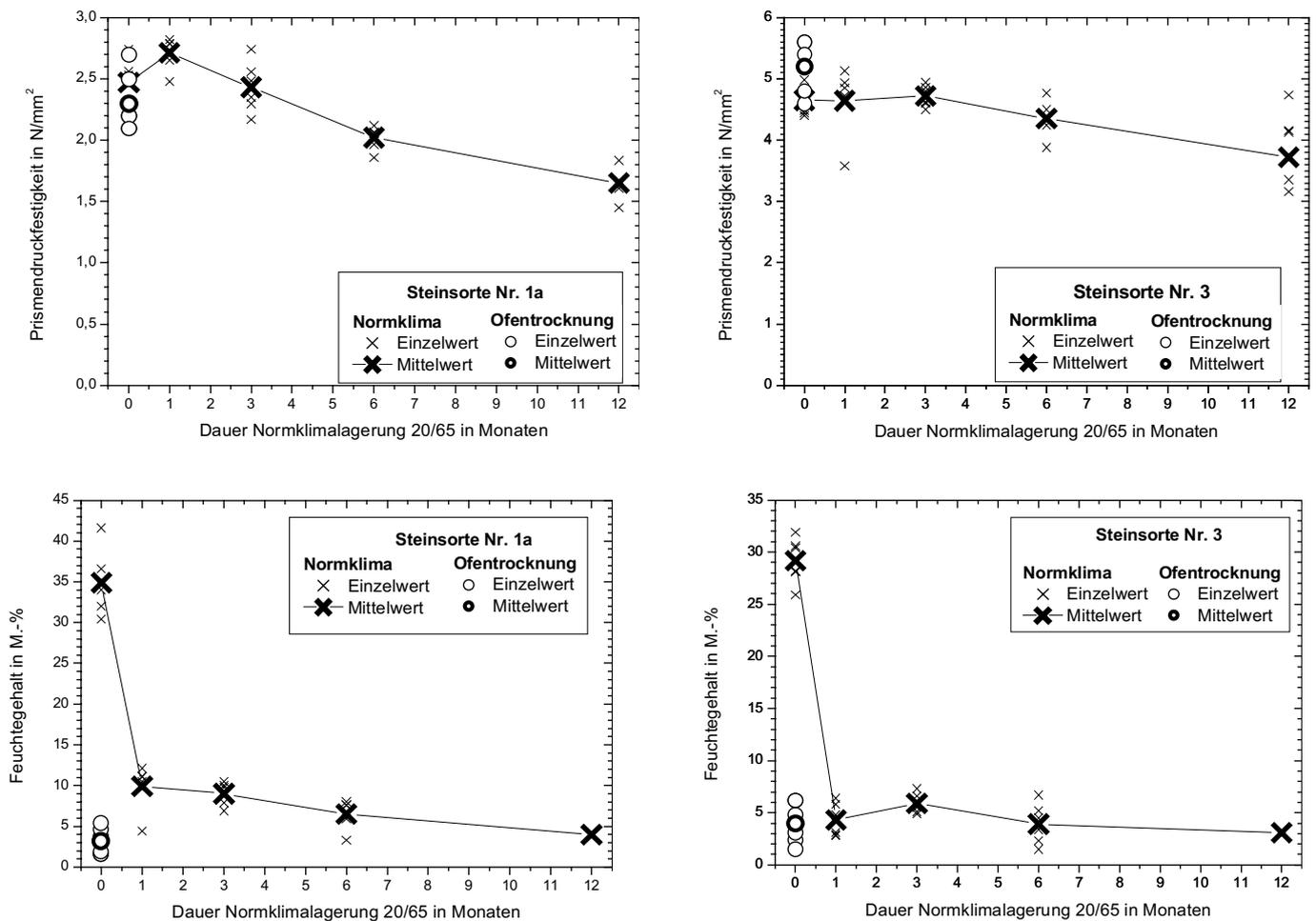


Im ersten Monat der Lagerung nehmen die Feuchtegehalte deutlich auf Werte zwischen 5 und 10 % ab und danach nur noch geringfügig, wobei auch hier die möglichen Fehler durch die indirekte Ermittlung zu beachten sind. Im ersten Monat der Normklimalagerung nehmen die Druckfestigkeiten zunächst tendentiell zu. Im Zeitraum zwischen 6 und 12 Monaten Lagerungsdauer nehmen die Feuchtegehalte nur noch leicht ab, und es sind merkliche Druckfestigkeitsabnahmen zu erkennen.

		Dauer Normklimalagerung 20/65	0 Tage		30 Tage	90 Tage	6 Monate	12 Monate
			Anlieferung	Ofen 40 °C				
Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Mittelwert	2,47	2,3	2,71	2,43	2,02	1,65
		Spannweite	2,24 bis 2,74	2,1 bis 2,7	2,48 bis 2,82	2,17 bis 2,74	1,86 bis 2,12	1,45 bis 1,84
	Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>	0,329	0,346	0,352	0,364	0,376	0,402	
	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	34,9	3,2	(9,9)	(9,0)	(6,5)	4,0	
	Breite des farblosen Rands im Phenolphthaleintest in mm	rd. 0	rd. 0	rd. 28	rd. 29	rd. 45	-	
Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Mittelwert	4,65	5,2	4,64	4,72	4,35	3,88
		Spannweite	4,40 bis 4,98	4,6 bis 5,6	3,58 bis 5,13	4,50 bis 4,94	3,88 bis 4,77	3,16 bis 4,73
	Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>	0,574	0,572	0,577	0,586	0,595	0,607	
	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	29,2	4,0	4,3	5,9	3,9	3,1	
	Breite des farblosen Rands im Phenolphthaleintest in mm	rd. 0	rd. 20	rd. 34	rd. 39	-	-	

<sup>1)</sup> in Klammern angegebene Werte nur indirekt über Trockenrohddichte ermittelt

**Tabelle 8:** Übersicht der Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Lagerungsdauer im Normklima 20/65 an Prismen der Steinsorte Nr. 1a und 3



**Bild 5:** Prismendruckfestigkeiten und zugehörige Feuchtegehalte (überwiegend nur indirekt ermittelt) der Steinsorten Nr. 1a und 3 abhängig von der Dauer der Lagerung im Normklima 20/65

### 3.5.3.4 Nach 90-tägiger Lagerung im Normklima 20/65 ermittelte Eigenschaften

In Anlage 7.1 bis 7.4 sind die nach 90-tägiger Vorlagerung im Normklima 20/65 ermittelten Prismendruckfestigkeiten und E-Moduli, die Würfeldruckfestigkeiten und Spaltzugfestigkeiten sowie jeweils die Trockenrohddichten und zugehörigen Feuchtegehalte getrennt für jede Steinsorte im einzelnen zusammengestellt. In Tabelle 9 sind die mittleren Ergebnisse für alle vier Steinsorten zusammengefasst und in Bild 6 die Festigkeiten und in Bild 7 die relativen Festigkeiten bezogen auf die Prismendruckfestigkeit grafisch dargestellt.

Die Würfeldruckfestigkeiten liegen – anders als erwartet - etwa im Bereich der Prismendruckfestigkeiten mit maximalen Abweichungen von ca. 10 % nach oben und unten, also im Bereich der üblichen u.a. durch Inhomogenitäten und Unterschiede in den Feuchtegehalten bedingten Streuungen. Es ist allerdings auch hier zu beachten, dass die Feuchtegehalte nur indirekt ermittelt wurden und entsprechend ungenau sind. Die Spaltzugfestigkeiten aller vier

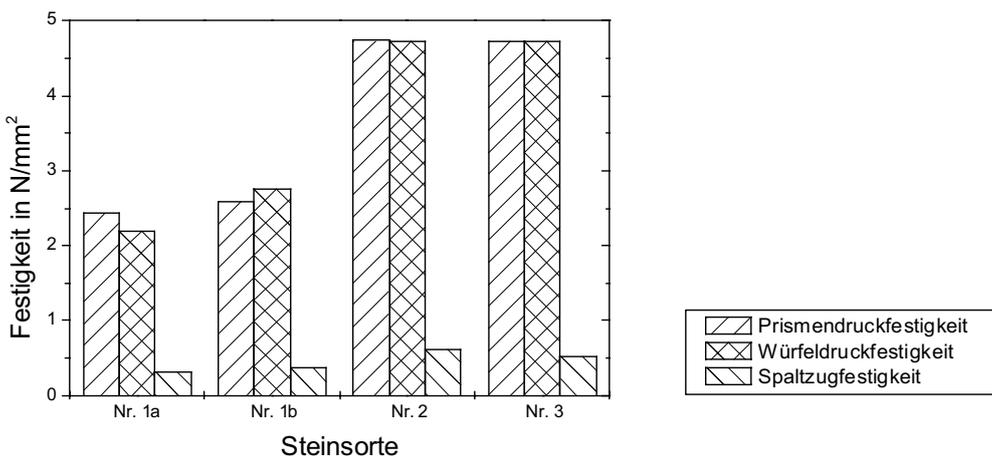
Steinsorten liegen im Bereich von 10 bis 15 % der Prismendruckfestigkeiten nach gleicher Vorlagerung. Die Prismendruckfestigkeiten dienen als Grundlage für die Festlegung der Lasten in den Langzeitversuchen.

	Festigkeit in N/mm <sup>2</sup>			Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>
	Art	Mittelwert	Spannweite		
Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35	Prismendruckfestigkeit	2,43	2,17 bis 2,74	(9,0)	0,364
	Würfeldruckfestigkeit	2,20	2,04 bis 2,37	(8,6)	
	Spaltzugfestigkeit	0,31	0,24 bis 0,35	(8,5)	0,367
Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35	Prismendruckfestigkeit	2,58	2,43 bis 2,91	(4,7)	0,356
	Würfeldruckfestigkeit	2,75	2,61 bis 2,85	(5,0)	
	Spaltzugfestigkeit	0,37	0,34 bis 0,40	(3,3)	0,358
Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,50	Prismendruckfestigkeit	4,74	3,84 bis 5,90	(0,5)	0,513
	Würfeldruckfestigkeit	4,73	4,46 bis 5,05	(5,2)	
	Spaltzugfestigkeit	0,62	0,53 bis 0,70	(4,8)	0,489
Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60	Prismendruckfestigkeit	4,72	4,50 bis 4,94	(5,9)	0,586
	Würfeldruckfestigkeit	4,72	4,42 bis 5,04	(3,8)	
	Spaltzugfestigkeit	0,52	0,38 bis 0,59	(3,9)	0,594

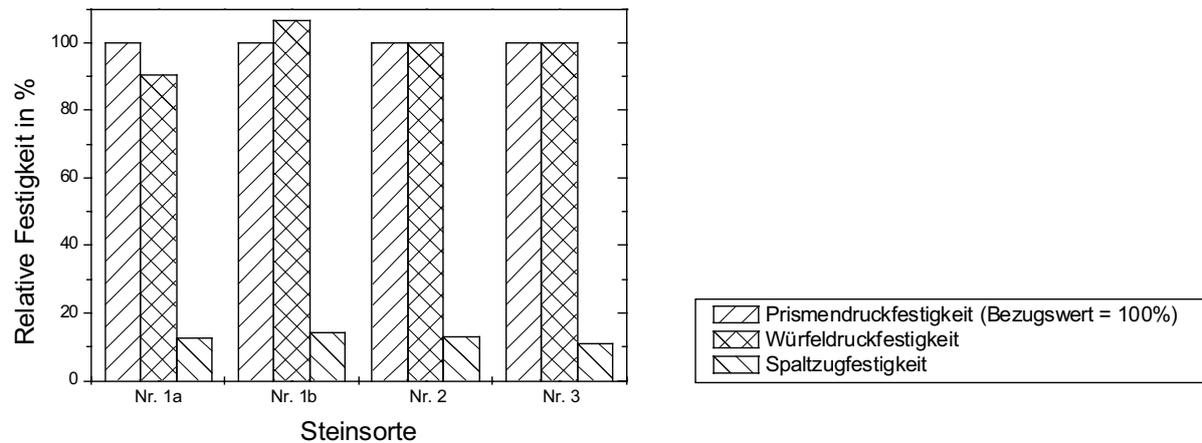
<sup>1)</sup> nur indirekt über die Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> an jeweils drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln ermittelt

**Tabelle 9:** Übersicht der Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse nach 90 Tagen Normklimalagerung 20/65



**Bild 6:** Mittlere Prismendruck-, Würfeldruck- und Spaltzugfestigkeiten aller vier Steinsorten nach 90 Tagen Normklimalagerung 20/65



**Bild 7:** Relative mittlere Prismendruck-, Würfeldruck und Spaltzugfestigkeiten aller vier Steinsorten bezogen auf die Prismendruckfestigkeit

### 3.5.4 Teil 3 – Mauerwerksdruck- und zugehörige Stein- und Mörtelprüfungen

#### 3.5.4.1 Mörtelprüfungen

In Anlage 8.1 bis 8.2 sind die Ergebnisse der Mörtelprüfungen im einzelnen zusammengestellt. In Tabelle 10 sind die mittlere Rohdichte, Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit mit Angabe der Zuordnung zu den Mauerwerksdruckversuchen zusammengefasst. Die mittleren Druckfestigkeiten sind bei den Ergebnissen der Mauerwerksprüfungen noch einmal wiedergegeben. Die mittlere Mörteldruckfestigkeit betrug für den Dünnbettmörtel des Herstellers ca. 10 N/mm<sup>2</sup> und für den Dünnbettmörtel aus dem Baustoffhandel ca. 15 bis 18 N/mm<sup>2</sup>.

Steinsorte des Mauerwerks	Nr. 1A			Nr. 3	
	Anlage mit zugehörigen Mauerwerksprüfungen	10.1 bis 10.3	10.4 bis 10.6	10.7	10.8
Dünnbettmörtel	vom Hersteller	Dünnbettmörtel aus Baustoffhandel			
Mittlere Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>	1,34	1,50	1,52	1,47	-
Mittlere Biegezugfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	1,72	3,40	2,54	3,05	3,60
Mittlere Druckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	9,8	15,3	16,0	16,5	17,7

**Tabelle 10:** Mittlere Festmörtelkennwerte zum Zeitpunkt der Mauerwerksprüfungen

### 3.5.4.2 Steinprüfungen

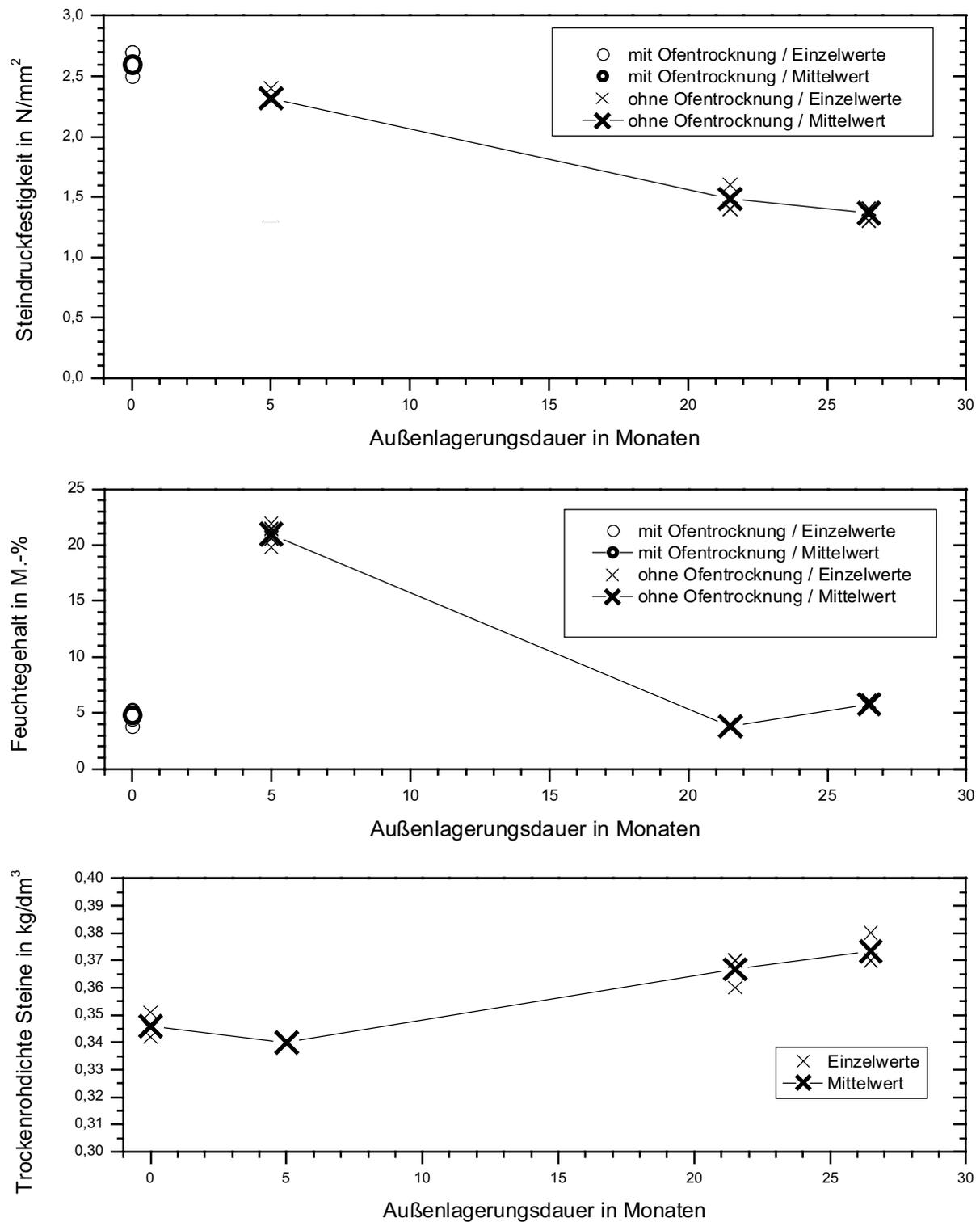
In Anlage 9.1 bis 9.8 sind die Ergebnisse der Steinprüfungen für Steinsorte Nr. 1a und 3 nach unterschiedlich langer Lagerung im Außenlager im einzelnen zusammengestellt und der visuelle Zustand der Steine zum Teil fotografisch dokumentiert. In Tabelle 11 sind die ermittelten mittleren Trockenrohddichten, die mittleren Steindruckfestigkeiten im Zustand zum Zeitpunkt der Mauerwerksprüfungen sowie ggf. nach zusätzlicher Ofentrocknung bei 40 °C und die zugehörigen mittleren Feuchtegehalte zusammengefasst. In Bild 8 sind für Steinsorte Nr. 1a und in Bild 9 für Steinsorte Nr. 3 die Steindruckfestigkeiten, die Trockenrohddichten und die Feuchtegehalte abhängig von der Lagerungsdauer im Außenlager grafisch dargestellt.

Bei Steinsorte Nr. 1a sind die Trockenrohddichten nach 5 Monaten Außenlager etwa gleich groß wie in der Eingangskontrolle, nach 21,5 Monaten aber merklich höher; die Druckfestigkeit nimmt nach 21,5 Monaten Außenlager deutlich um 35 % gegenüber den Werten nach 5 Monaten ab, obwohl der Feuchtegehalt im gleichen Zeitraum von ca. 20 auf 4 M.-% abnimmt. Bei Steinsorte Nr. 3 ist nach 12 Monaten Außenlager ein gewisser Anstieg der Trockenrohddichte zu erkennen. Die Druckfestigkeiten nehmen von 12 bis 21,5 Monaten Außenlagerungsdauer merklich um mehr als 10 % ab, wobei die Feuchtegehalte nahezu unverändert bleiben.

		Außenlagerungsdauer in Monaten		0		ca. 5	ca. 12	ca. 21,5	ca. 26,5
		zusätzlich Ofentrocknung bei 40 °C		Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35	Steindruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	2,6	-	2,3	-	1,5	1,4		
	Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>	0,35	-	0,34	-	0,37	0,37		
	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	5,4	-	20,9	-	3,8	5,8		
Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60	Steindruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	6,0	6,3	5,9	-	5,7	5,0		
	Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>	0,57	0,58	0,58	-	0,59	0,59	0,59	
	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	6,0	3,0	22,9	-	3,2	3,2		

<sup>1)</sup> in Klammern angegebene Werte nur indirekt über Trockenrohddichte ermittelt

**Tabelle 11:** Mittlere Steindruckfestigkeiten, Trockenrohddichten und Feuchtegehalte nach unterschiedlich langer Lagerung von Steinen der Sorte Nr. 1a und 3 im überdachten Außenlager



**Bild 8:** Mittlere Steindruckfestigkeiten, Trockenrohrichten und Feuchtegehalte abhängig von der Lagerungsdauer im Außenlager für Steinsorte Nr. 1a



Mauerwerksdruckfestigkeiten, die bereits in Abschnitt 3.5.4.2 erläuterten Steindruckfestigkeiten sowie die aus den Steindruckfestigkeiten rechnerisch abgeschätzten Mauerwerksdruckfestigkeiten abhängig von der Lagerungsdauer im Außenlager grafisch dargestellt.

Die Abschätzung der Mauerwerksdruckfestigkeit aus der Steindruckfestigkeit erfolgte nach den von SCHUBERT im MauerwerkKalender 1997 (MW 1997) und 2005 (MW 2005) für Porenbeton-Plansteine und Dünnbettmörtel vorgeschlagenen Rechenansätzen

$$\beta_{D,mw} = a \times \beta_{D,st}^b \times \beta_{D,mö}^c$$

- mit  $\beta_{D,mw}$  Mauerwerksdruckfestigkeit,  
 $\beta_{D,st}$  Steindruckfestigkeit, ermittelt nach jeweiliger Norm oder Zulassung,  
 $\beta_{D,mö}$  Mörteldruckfestigkeit, ermittelt nach DIN 18555 Teil 3,  
a nach MW 1997 = 0,81 oder 0,89 sowie nach MW 2005 = 0,62  
b nach MW 1997 = 0,84 sowie nach MW 2005 = 1,00  
c = 0.

Die Rechenansätze nach MauerwerkKalender 2005 ergeben insbesondere für Steine der niedrigeren Festigkeitsklasse 2,0 deutlich niedrigere Schätzwerte der Mauerwerksdruckfestigkeiten als die Rechenansätze nach MauerwerkKalender 1997. Die Rechenansätze im MauerwerkKalender 1997 beruhen auf einem Beitrag im MauerwerkKalender 1993 von MEYER und SCHUBERT [1993] und nicht veröffentlichten Auswertungen aus dem Jahr 1994 von IBAC und YTONG [1994]. Der vorsichtiger Rechenansatz im MauerwerkKalender 2005 wurde aus einem neueren Forschungsbericht von SCHUBERT und BEER [2003] abgeleitet.

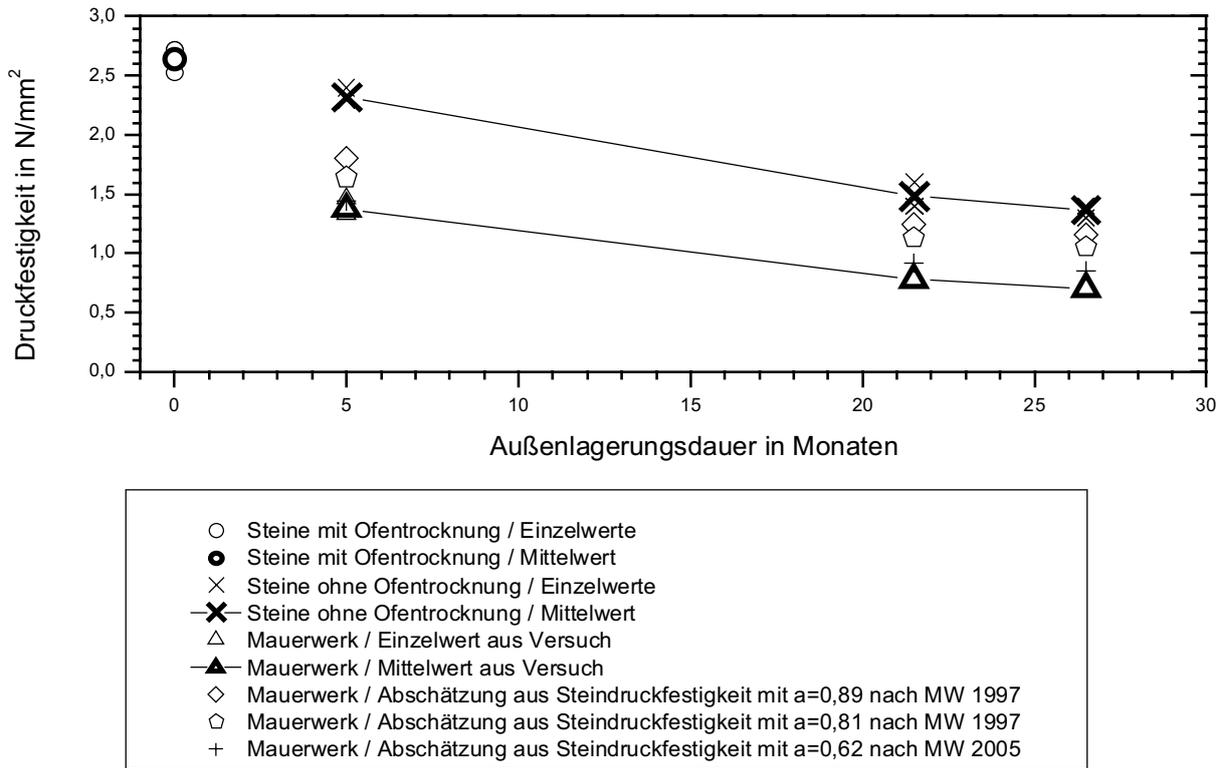
Die Mauerwerksdruckfestigkeiten nehmen mit zunehmender Lagerungsdauer im Außenlager trotz abnehmender Feuchtegehalte ab. Die experimentell ermittelten Mauerwerksdruckfestigkeiten liegen mit Abweichungen von rd. 15 bis zu 40 % deutlich unter den nach Schubert im MauerwerkKalender 1997 (MW 1997) rechnerisch aus den jeweiligen Steindruckfestigkeiten abgeschätzten Mauerwerksdruckfestigkeiten. Für Steinsorte Nr. 1a und 3 sind die Erfahrungswerte weit auf der unsicheren Seite. Bei der Ermittlung nach Schubert im MauerwerkKalender 2005 (MW 2005) liegen die experimentell ermittelten Werte für Steinsorte Nr. 1a PP2-0,35 nach 5 Monaten Lagerung im Außenlager geringfügig rd. 4 % unter den rechnerisch abgeschätzten, die Differenz zwischen experimentell ermittelten und rechnerisch abgeschätzten Werten nimmt mit zunehmender Dauer der Außenlagerung auf ca. 20 % nach ca. 2 Jahren zu. Bei Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60 liegen die Differenzen sowohl ohne Lagerung im Außenlager als auch nach rd. 2-jähriger Lagerung im Außenlager etwa bei 20 % und damit auf der unsicheren Seite, und zwar sowohl nach den von Schubert im MauerwerkKalender 1997 (MW 1997) als auch im MauerwerkKalender 2005 (MW 2005) rechnerisch abgeschätzten Mauerwerksdruckfestigkeiten.

		Außenlagerungsdauer in Monaten	0	ca. 5	ca. 21,5	ca. 26,5
Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35	experimentell		-	1,37	0,78	0,70 <sup>2)</sup>
	Mauerwerksdruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	aus Steindruckfestigkeit rechnerisch geschätzt	-	MW 1997: 1,63 bis 1,79  MW 2005: 1,42	MW 1997: 1,14 bis 1,25  MW 2005: 0,93	MW 1997: 1,07 bis 1,18  MW 2005: 0,87
	Trockenrohichte <sup>1)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>		-	0,34	0,37	0,37
	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%		-	ca. 21	ca. 4	ca. 6
Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60	experimentell		3,02 <sup>2)</sup>	-	2,48	-
	Mauerwerksdruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	aus Steindruckfestigkeit rechnerisch geschätzt	MW 1997: 3,6 bis 3,95  MW 2005: 3,8	-	MW 1997: 3,13 bis 3,44  MW 2005: 3,1	-
	Trockenrohichte <sup>1)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>		0,58	-	0,59	-
	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%		ca. 23	-	ca. 3	-

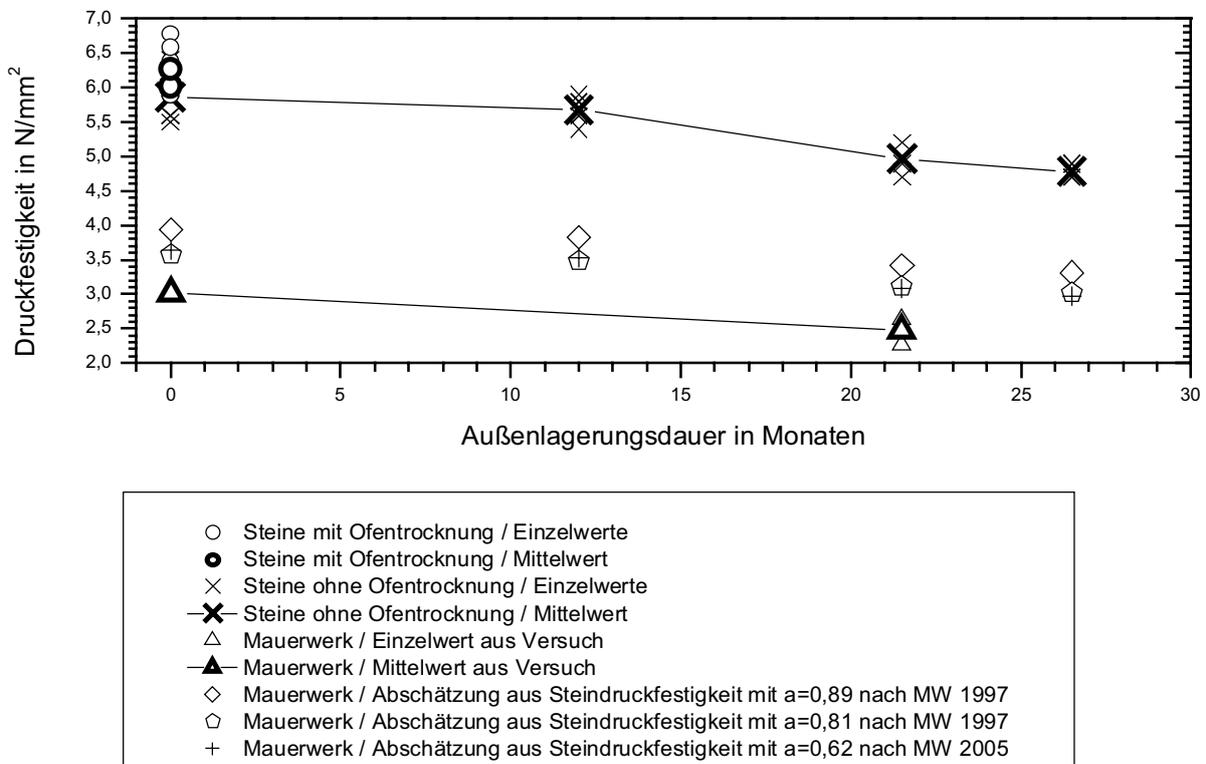
<sup>1)</sup> aus zugehörigen Steinprüfungen in Abschnitt 3.5.4.2

<sup>2)</sup> nur 1 Wandprüfkörper

**Tabelle 12:** Mittlere experimentelle ermittelte und rechnerisch abgeschätzte Mauerwerksdruckfestigkeiten, Trockenrohichten und Feuchtegehalte nach unterschiedlichen Lagerungszeiten der Steinsorten Nr. 1a und 3 im überdachten Außenlager



**Bild 10:** Stein- und Mauerwerksdruckfestigkeiten abhängig von der Lagerungsdauer im Außenlager für Steinsorte Nr. 1a



**Bild 11:** Stein- und Mauerwerksdruckfestigkeiten abhängig von der Lagerungsdauer im Außenlager für Steinsorte Nr. 3

### **3.5.5 Teil 4 – Langzeitversuche**

#### **3.5.5.1 Zugehörige Kurzzeitversuche und Lastermittlung für Langzeitversuche**

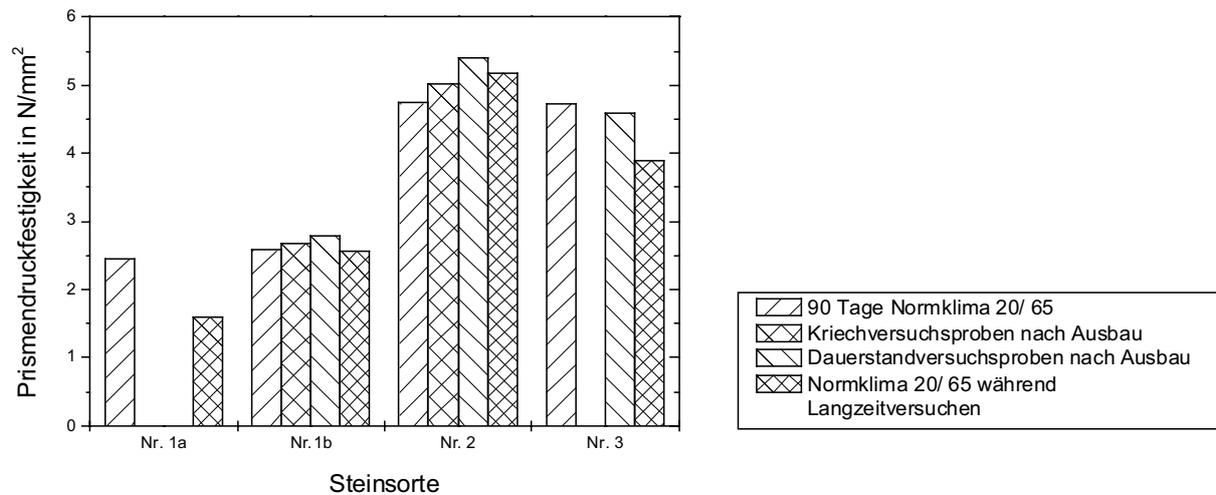
In Anlage 12.1 bis 12.4 sind die Ergebnisse der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche an Prismen aller vier Steinsorten zusammengestellt. In Tabelle 13 sind die mittleren Ergebnisse zusammengefasst. Tabelle 14 enthält die für die Langzeitversuche aus den Kurzzeit- und Nenndruckfestigkeiten ermittelten Normalspannungen. Bei Steinsorte Nr. 2 war die Spannweite der Kurzzeitdruckfestigkeiten nach 90 Tagen Lagerung im Normklima 20/65 sehr groß, wodurch insbesondere die Aussagekraft der Dauerstandversuche eingeschränkt wird. Durch die Streuungen können sich für einzelne Proben bei Verwendung der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit als Bezugswert erhebliche Abweichungen von den angestrebten Relationen in Höhe von 90 %, 80 % und 33 % zu ihrer Kurzzeitdruckfestigkeit ergeben. Für die Ermittlung der Normalspannungen der Langzeitversuche an Steinsorte Nr. 2 wurde der mit Abstand größte Wert für Probe Nr. 14 nicht mit berücksichtigt und als Bezugswert für die Langzeitversuche der Mittelwert der übrigen fünf Proben zugrunde gelegt, was bei der Interpretation der Versuchsergebnisse zu beachten ist.

Stein sorte	Angaben zu den Proben	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>		Feuchte- gehalt <sup>2)</sup> in M.-%	Trocken- rohdichte in kg/dm <sup>3</sup>
		Mittel	Spann- weite		
Nr. 1a PP 2-0,35	90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung der Langzeitversuchsproben	2,46	2,17 bis 2,74	(9,0)	0,354 <sup>1)</sup>
	etwa gleich lange im Normklima 20/65 wie Dauerstandversuchsprobe Nr. 14 mit 75 % der Nenndruckfestigkeit	1,6	1,51 bis 1,72	3,9	0,396
Nr. 1b PP 2-0,35	90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung der Langzeitversuchsproben	2,58	2,34 bis 2,91	(4,7)	0,356 <sup>1)</sup>
	Kriechversuchsproben nach Ausbau	2,68	2,42 bis 2,85	3,5	0,369
	Dauerstandversuchsproben mit 80 % der Kurzzeitfestigkeit nach Ausbau	2,79	2,77 bis 2,83	3,9	0,372
	gleich lange im Normklima 20/65 wie Dauerstandversuche mit 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	2,56	2,45 bis 2,69	3,5	0,365
Nr. 2 PP 4-0,50	90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung der Langzeitversuchsproben	4,74 bzw. 4,50 ohne Probe 14	3,84 bis 5,90 bzw. 4,99 ohne Pr. 14	(0,5)	0,513 <sup>1)</sup>
	Kriechversuchsproben nach Ausbau	5,02	4,29 bis 5,92	2,8	0,498
	Dauerstandversuchsprobe mit 80 % der Kurzzeitfestigkeit nach Ausbau	5,40	-	3,4	0,523
	gleich lange im Normklima 20/65 wie Kriechversuche und ungefähr so lange wie Dauerstandversuchsprobe Nr. 24 mit 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	5,18	4,51 bis 5,62	3,1	0,506
Nr. 3 PP 4-0,60	90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung Proben für Langzeitversuche	4,72	4,50 bis 4,94	(5,9)	0,586 <sup>1)</sup>
	Dauerstandversuchsprobe nach Ausbau	4,6	-	2,9	0,621
	ungefähr gleich lange im Normklima 20/65 wie Dauerstandversuchsprobe Nr. 13 mit 75 % der Nenndruckfestigkeit	3,9	3,37 bis 4,25	2,7	0,618

<sup>1)</sup> aus Eingangskontrolle oder an ein oder zwei weiteren Proben aus gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>2)</sup> in Klammern angegebene Werte nur indirekt über Trockenrohdichte ermittelt

**Tabelle 13:** Mittlere Prismendruckfestigkeiten, Trockenrohdichten und Feuchtegehalte der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche



**Bild 12:** Mittlere Prismendruckfestigkeiten der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche

Versuchsart		Steinsorte	Normalspannung in N/mm²
<b>Dauerstandversuch</b> mit Normalspannung in Höhe von	90 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit	<b>1b</b> PP 2-0,35	0,9 x 2,58 = 2,32
		<b>2</b> PP 4-0,5	0,9 x 4,5 = 4,05
	80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit	<b>1b</b> PP 2-0,35	0,8 x 2,58 = 2,06
		<b>2</b> PP 4-0,5	0,8 x 4,5 = 3,60
75 % der Nenndruckfestigkeit <sup>1)</sup>	<b>1a</b> PP 2-0,35	0,75 x 2,0 = 1,50	
	<b>3</b> PP 4-0,6	0,75 x 4,0 = 3,00	
<b>Kriechversuch</b> mit Normalspannung 1/3 der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit		<b>1b</b> PP 2-0,35	2,58 / 3 = 0,86
		<b>2</b> PP 4-0,5	4,50 / 3 = 1,50

1) entspricht bei Steinsorte Nr. 1a ca. 61 % und bei Steinsorte Nr. 3 ca. 64 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit

**Tabelle 14:** Normalspannungen der Langzeitversuche

### 3.5.5.2 Dauerstandversuche

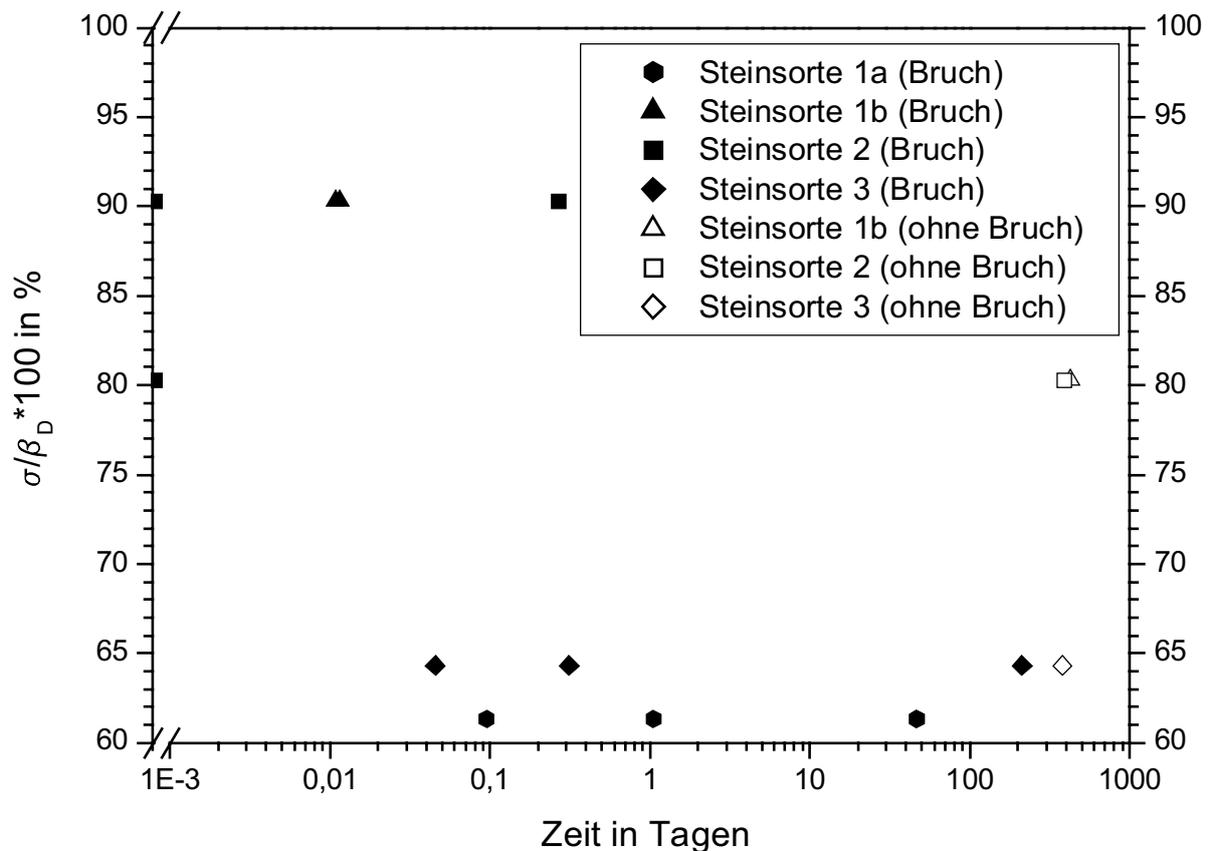
Tabelle 15 enthält eine Übersicht der durchgeführten Dauerstandversuche mit Angabe der ermittelten Standzeit und besonderen Anmerkungen. Anlage 11 enthält exemplarisch Fotos einer Probe aus einem Dauerstandversuch nach dem Bruch vor dem Ausbau. Für die Proben, bei denen der Bruch nicht unmittelbar während oder nach der Lastaufbringung auftrat, sind die ermittelten Dehnungen ohne den sofortigen elastischen Anteil abhängig von der Zeit in Anlage 13.1 bis 13.4 angegeben und dargestellt. Bild 13 zeigt die normierten auf die mittlere Kurzzeitdruckfestigkeit bezogenen Dauerlastspannungen abhängig von der Standzeit oder der Versuchszeit.

Steinsorte	Normalspannung	Proben-nr.	Standzeit	Verformungen	Bemerkungen <sup>1)</sup>
<b>Nr. 1a</b>	75 % der Nenndruckfestigkeit  = ca. 61 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	21	ca. 1 Tag	s. Anlage 13.1	Probe 21, 22 und 23 in einem Stand, 22 und 23 nach Bruch 21 neu belastet
		22	46 Tage		
		23	46 Tage		
		14	127 Minuten		
<b>Nr. 1b</b>	90 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	5	15 Minuten	-	
		6	14 Minuten		
		7	0		
	80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	21	> 429 Tage	s. Anlage 13.2	
		22	> 428 Tage		
		24	> 429 Tage		
<b>Nr. 2</b>	90 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	7	0	-	
		8	0		
		9	ca. 6 Stunden		
	80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	23	0	s. Anlage 13.3	
		24	> 423 Tage		
		27	0		
		21	3 Minuten		
		22	0		
<b>Nr. 3</b>	75 % der Nenndruckfestigkeit  = ca. 64 % der Kurzzeitdruckfestigkeit	16	213 Tage	s. Anlage 13.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16, 17 und 18 in einem Stand, 16 und 17 nach Bruch 18 neu belastet, 16 nach Bruch 17 neu belastet</li> <li>• am 20.04.04 Hydraulikzylinder defekt, Probe 16 in anderen Belastungsstand umgesetzt und neu belastet</li> </ul>
		17	ca. 7 Stunden		
		18	ca. 1 Stunde		
		13	> 389 Tage		

<sup>1)</sup> an einigen Tagen Feuchte außerhalb der zulässigen Toleranz für Normklima 20/65 wegen Anlaufschwierigkeiten der neuen Klimaanlage

**Tabelle 15:** Übersicht der Dauerstandversuche und ihrer Ergebnisse

Die Proben der Versuche bei 90 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit brachen entweder während oder einige Minuten nach der Belastung, nur eine der sechs Proben wies eine Standzeit von 6 Stunden auf. Bei Normalspannungen von 80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit trat bei Steinsorte Nr. 1b in der verfügbaren Zeit von etwa 420 Tagen bei keiner der drei Proben ein Bruch auf. Bei Steinsorte Nr. 2 brachen fünf der sechs Proben unmittelbar während oder nach der Belastung, nur eine Probe wies in der verfügbaren Zeit von ca. 420 Tagen keinen Bruch auf.



**Bild 13:** Normierte auf die Kurzzeitdruckfestigkeit  $\beta_D$  bezogene Dauerlastspannung  $\sigma$  abhängig von der Standzeit oder Versuchsdauer

Bei Steinsorte Nr. 1a brachen die vier Proben bei Normalspannungen von nur rd. 61 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit nach Standzeiten zwischen 2 Stunden und 46 Tagen. Bei Steinsorte Nr. 3 brachen zwei der vier Proben bei Normalspannungen von nur rd. 64 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit nach wenigen Stunden, eine nach rd. 210 Tagen und die vierte brach in der verfügbaren Zeit von rd. 390 Tagen nicht.

Bei Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35 betragen die um die sofortigen Verformungen reduzierten Verformungen nach 45 Tagen ca. -2,2 mm/m und bei Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60 nach rd. 30 Tagen rd. -1 mm/m und nach rd. 200 Tagen etwa -3,3 mm/m und bei einer Probe nach rd. 390 Tagen bei über -4 mm/m. Die Verformungen nähern sich bei beiden Steinsorten nicht asymptotisch einem Endwert, obwohl die Spannungen nur rd. 60 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit betragen. Bei Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35 liegen die Verformungen nach rd. 400 Tagen bei rd. -1,5 mm/m und bei Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,50 mit rd. -0,6 mm/m deutlich darunter.

### 3.5.5.3 Kriech- und Schwindversuche

Tabelle 16 enthält eine Übersicht der durchgeführten Kriech- und Schwindversuche mit Angabe der Dehnungen nach rd. 440-tägiger Belastungsdauer. In Anlage 14.1 und 14.2 sind die ermittelten Verformungen  $\varepsilon$  und die spezifischen Kriechmaße abhängig von der Zeit

angegeben und die mittleren Verformungen  $\varepsilon$  abhängig von der Zeit dargestellt. In Anlage 14.3 sind die mittleren Kriechverformungen und die spezifischen Kriechmaße abhängig von der Belastungszeit für die Steinsorten Nr. 1b und 2 im Vergleich dargestellt.

Steinsorte Nr.	Versuchstyp	Probenr.	Normalspannung $\sigma$	Verformungen und spezifische Kriechmaße abhängig von der Zeit	mittlere Kriechverformung $\varepsilon_{cc}$ , rd. 440 Tage in mm/m	mittleres spezifisches Kriechmaß $\varepsilon_{cc}$ , rd. 440 Tage / $\sigma$ in $10^{-6}$ je N/mm <sup>2</sup>
1b	K+S	17, 18, 19	$1/3 \times \beta_D$	s. Anlage 14.1 und 14.3	-0,593	-698
	S	4, 7, 8	0			
2	K+S	28, 29, 30	$1/3 \times \beta_D$	s. Anlage 14.2 und 14.3	-0,382	-255
	S	4, 5, 6	0			

K+S: Kriechen und Schwinden unter Normalspannung in Normklima 20/65

S: Schwinden ohne Normalspannung in Normklima 20/65

$\beta_D$ : Kurzzeitdruckfestigkeit

**Tabelle 16:** Übersicht der Kriech- und Schwindversuche und der mittleren Kriechverformungen und spezifischen Kriechmaße nach 440-tägiger Belastung

Bei Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35 ist die Kriechverformung nach 440 Tagen rd. -0,6 mm/m und das spezifische Kriechmaß rd. -700, bei Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,50 liegen die Werte mit -0,38 mm/m und -255 deutlich darunter. Die Verformungszuwächse sind bei Steinsorte Nr. 1b im letzten Teil der Versuchslaufzeit noch deutlich größer als bei Steinsorte Nr. 2, bei der im Zeitraum zwischen 400 und 440 Tagen die Verformungen nahezu konstant blieben.

## 4 Zusammenfassende Bewertung und Folgerungen

In Tabelle 17 bis 20 werden die Ergebnisse der vier Untersuchungsteile aus Abschnitt 3.5 zusammengefasst, bewertet und Folgerungen daraus gezogen.

Thema	Ergebniszusammenfassung	Bewertung und Folgerungen
Eingangskontrolle	alle Steinsorten Konformitätskriterien erfüllt, allerdings Steinsorte Nr. 1b Anforderung an Trockenrohddichte erst bei 2. Lieferung	bei Eingangskontrolle analog zu üblichen Konformitätsprüfungen nach DIN 4165 Probleme der Dauerhaftigkeit nicht zu erkennen

**Tabelle 17:** Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse von Untersuchungsteil 1 „Eingangskontrolle“

Thema	Ergebniszusammenfassung	Bewertung und Folgerungen
generell zu Teil 2 „Einfluss Vorlagerung und Carbonatisierung“	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuordnung der Prismen zur Lage im Stein und zum Stein nicht festgehalten</li> <li>• relativ große Streuungen innerhalb der Prüfserien</li> <li>• Feuchtegehalte nur indirekt über an anderen Prismen ermittelte Trockenrohddichten bestimmt, wegen der relativ großen Streuungen fehlerbehaftet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zur Verminderung der relativ großen Streuungen, bei zukünftigen Untersuchungsprogrammen Lage der Prismenprobe im Stein und Zuordnung zu Stein bei Versuchskonzept berücksichtigen</li> <li>• Einfluss der Feuchte auf Prüfergebnisse nur eingeschränkt bewertbar, daher Feuchtegehalte nach Druckfestigkeitsprüfung besser durch nachfolgende Ofentrocknung direkt an den Proben ermitteln</li> <li>• Massekonstanzkriterium als Abbruchkriterium für Dauer der Vorlagerung im Normklima nicht optimal, da sich die Massenabnahme durch Trocknung und die Massezunahme durch Carbonatisierung überlagern können</li> </ul>
unterschiedliche Vorlagerungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Steinsorte Nr. 1a deutliche Rohdichtezunahme und Druckfestigkeitsabnahme durch Schnellcarbonatisierung, nach Normklimalagerung nur geringfügige Änderungen</li> <li>• bei Steinsorte Nr. 1b merkliche, aber deutlich geringere Zunahme der Rohdichte und Abnahme der Druckfestigkeit nach Schnellcarbonatisierung, durch Normklimalagerung nur geringfügige Änderungen</li> <li>• bei Steinsorte Nr. 2 z.T. im Vergleich zu den anderen Steinsorten noch größere Streuungen innerhalb der Prüfserien und an einem Teil der Proben sichtbare Inhomogenitäten (Bindemittelknollen), in den Bruchflächen festgestellt, keine signifikanten Trockenrohddichtezunahmen und Festigkeitsabnahmen infolge Schnellcarbonatisierung und Normklimalagerung</li> <li>• bei Steinsorte Nr. 3 signifikante Festigkeitsabnahme durch Schnellcarbonatisierung, merkbare aber geringere Festigkeitsabnahme nach Normklimalagerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Einflüsse der unterschiedlichen Vorlagerungen sind nicht genau von den sonstigen Streuungen und den Einflüssen des Feuchtegehaltes zu trennen</li> <li>• Schnellcarbonatisierung insbesondere bei Steinsorte Nr. 1a und 3 eines Herstellers auffällig</li> <li>• für Normklima noch keine eindeutigen Aussagen möglich</li> <li>• Übertragbarkeit der Schnellcarbonatisierungsergebnisse auf reale Bauwerksbedingungen noch nicht möglich</li> </ul>
Dauer der Normklimalagerung für Steinsorte Nr. 1a und 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im ersten Monat starke Abnahme der Feuchtegehalte und eher zunehmende Druckfestigkeiten</li> <li>• nach drei Monaten nur noch leichte Feuchtegehaltsabnahmen, aber trotzdem merkliche Festigkeitsabnahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eindeutige Einflüsse durch Carbonatisierung frühestens nach 6 Monaten erkennbar, aber wiederum Überlagerung mit Streuungen und Feuchteinflüssen, weitere Analysen mit genauerer Feuchteermittlung und weiteren Analysen zum Carbonatisierungsgrad etc. notwendig</li> <li>• Normklima und kleinformatische Proben nicht unbedingt auf sicherer Seite, bei langsamerer Trocknung möglicherweise größere Carbonatisierungsfortschritte/grade möglich</li> </ul>
Eigenschaften nach 90-tägiger Lagerung in Normklima 20/65	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Prismen- und Würfeldruckfestigkeit, bei Steinsorte Nr. 1a Prisma etwas höher, bei Steinsorte Nr. 1b Würfel etwas höher, bei Steinsorte Nr. 2 und 3 etwa gleich</li> <li>• Spaltzugfestigkeit bei allen Steinsorten etwa 15 % der Prismendruckfestigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei 90-tägiger Vorlagerung möglicherweise noch keine Ausgleichsfeuchte erreicht</li> <li>• keine Formfaktoren zwischen Würfel- und Prismendruckfestigkeiten ableitbar, Festigkeiten annähernd gleich</li> </ul>

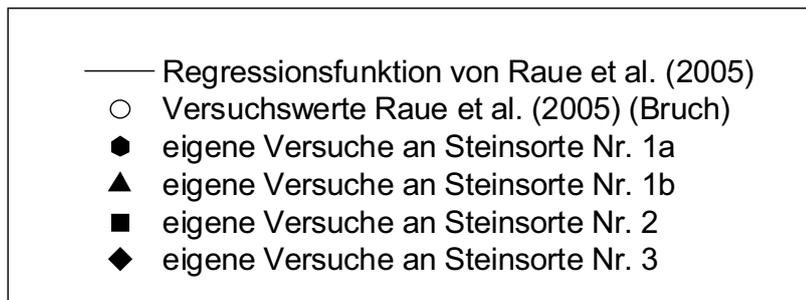
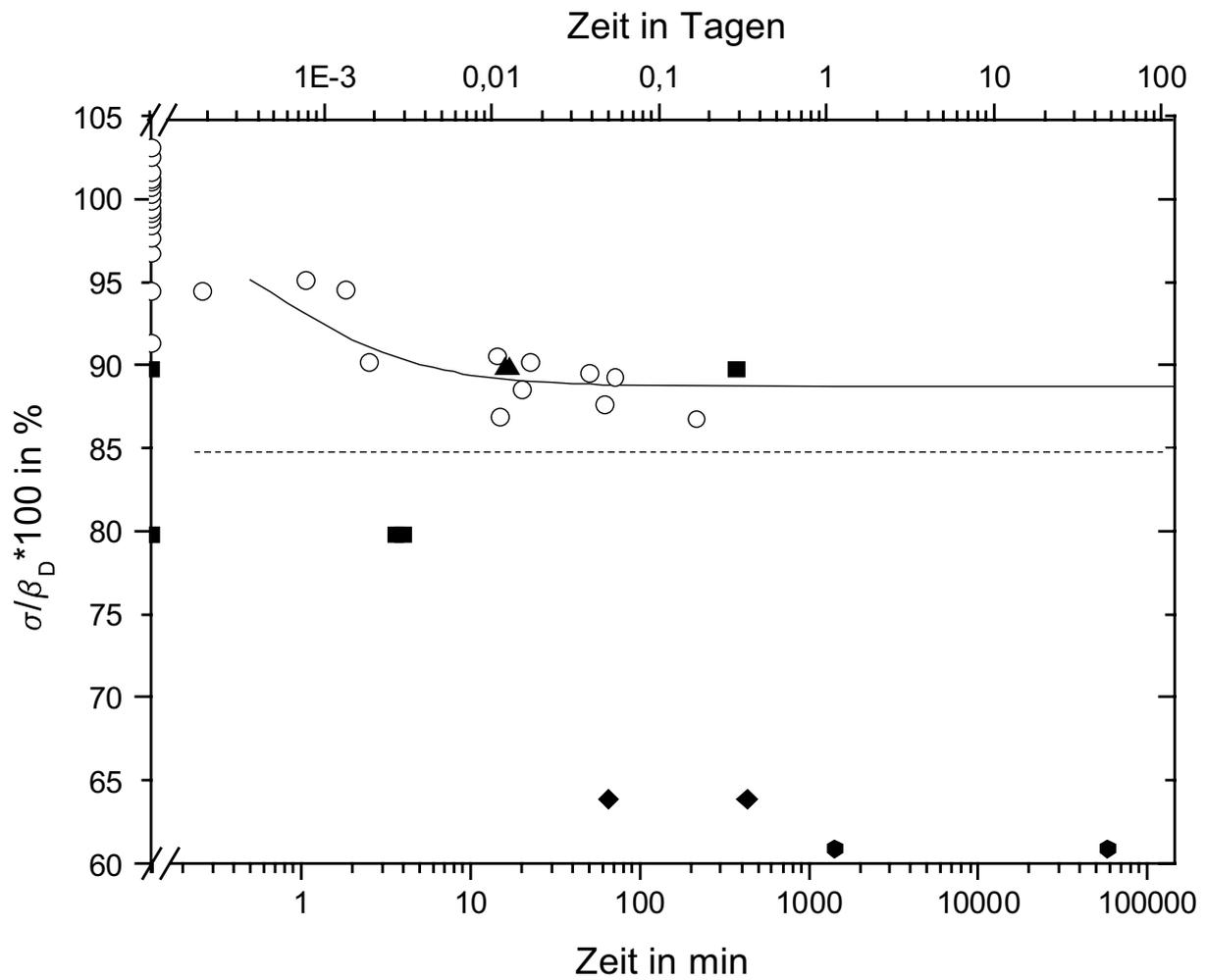
**Tabelle 18:** Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse von Untersuchungsteil 2 „Einfluss Vorlagerung und Carbonatisierung“

Thema	Ergebniszusammenfassung	Bewertung und Folgerungen
<p>Stein- und Mauerwerksprüfungen nach Außenlagerung für Steinsorte Nr. 1a und 3</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Steinsorte Nr. 1a nehmen die Stein- druckfestigkeiten bei Lagerung im über- dachten Außenlager signifikant ab, die Steine weisen sichtbare mit der Zeit zuneh- mende Risse auf, auch die Mauerwerks- druckfestigkeiten nehmen signifikant ab, wobei die experimentell ermittelten Mauer- werksdruckfestigkeiten überwiegend deut- lich unter den aus den empirischen Er- fahrungsformeln im MauerwerkKalender rechnerisch abgeschätzten Festigkeiten liegen</li> <li>• für Steinsorte Nr. 3 sind die Ergebnisse vom Trend mit Steinsorte Nr. 1a vergleichbar, die Festigkeitsabnahmen mit der Zeit sind aber relativ gesehen geringer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die vorsichtigere rechnerische Abschätzung der Mauerwerksdruckfestigkeit nach MauerwerkKalender 2005 stimmt besser mit den experimentell ermittelten Ergebnissen überein als die nach MauerwerkKalender 1997</li> <li>• bei Carbonatisierungsrisiko wie bei Stein- sorte Nr. 1a und 3 Abschätzungsformeln der Mauerwerksdruckfestigkeit aus Steindruck- festigkeit auch nach MauerwerkKalender 2005 zu unsicher (Schlankheit, Rissbildung)</li> <li>• Außenlagerungsbedingungen begünstigen offensichtlich im Vergleich zum Normklima 20/65 die Carbonatisierung, wobei im Rah- men dieses Vorhabens auch andere Pro- benabmessungen vorlagen (im Normklima Prismen, im Außenlager Steine) und die Einflüsse nicht genau zu trennen sind</li> <li>• bei den Probenabmessungen sind für die Carbonatisierung nicht nur das Oberflächen- Volumenverhältnis im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>- Aufnahme maßgebend, sondern auch die Geschwindigkeit der Feuchtegehaltszu- und abnahmen, was bei der Übertragung von Labor- auf in-situ-Bedingungen zu beachten ist</li> <li>• signifikante Festigkeitsabnahmen der Stein- und Mauerwerksdruckfestigkeit für Steinsorte Nr. 1a und 3, die bei normaler Überwachung der Kurzzeitdruckfestigkeiten nach Ofen- trocknung nicht zu erkennen sind, weitere Untersuchungen notwendig, ob es sich bei diesen Steinsorten eines Herstellers um ab- solute Einzelfälle handelt und wie das Risiko mit möglichst geringem Prüfaufwand er- kannt werden kann, zu diesen Fragen wur- den daher bereits weitere Forschungsvor- haben veranlasst</li> </ul>

**Tabelle 19:** Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse von Untersuchungsteil 3 „Stein- und Mauerwerksprüfungen“

Thema	Ergebniszusammenfassung	Bewertung und Folgerungen
Dauerstandversuche	<p>Ergebnisse in Bild 14 im Vergleich mit den Ergebnissen von RAUE et al. [2005] zusammenfassend dargestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Steinsorte Nr. 1a trotz niedriger Dauerlastspannung von 61% der Kurzzeitdruckfestigkeit niedrige Standzeiten und auffällig hohe Verformungen</li> <li>• bei Steinsorte Nr. 1b bei 90 % der Kurzzeitdruckfestigkeit Bruch der Proben entweder während oder kurz nach der Belastung, bei 80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit in verfügbarer Zeit von ca. 430 Tagen (ca. 14 Monate) kein Bruch</li> <li>• bei Steinsorte Nr. 2 bei 90 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit Bruch entweder während Belastung oder unmittelbar danach, bei 80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit extrem unterschiedliche Standzeiten der einzelnen Prismen</li> <li>• bei Steinsorte Nr. 3 mit 64 % der Kurzzeitdruckfestigkeit höhere Standzeiten als bei Nr. 1a, aber niedrigere als bei 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit bei Steinsorte Nr. 1b, ebenso wie bei Steinsorte Nr. 1a auffällig hohe Verformungen, die sich in der Versuchszeit nicht asymptotisch einem Endwert annähern</li> </ul>	<p>Für Steinsorte Nr. 1b liegt der Dauerstandfaktor vermutlich im Bereich zwischen 0,9 und 0,8 und damit im Bereich des üblichen für Normalbeton angesetzten Wertes von 0,85 und passt zu den Ergebnissen von RAUE et al. (2005).</p> <p>Für die Steinsorte Nr. 2 kann aufgrund der Inhomogenitäten und der geringen Versuchszahl kein Wertebereich für den Dauerstandfaktor abgeleitet werden.</p> <p>Für Steinsorte Nr. 1a und 3 werden die Versuche wesentlich durch die Carbonatisierung beeinflusst. Dauerstandfaktoren liegen bei den gewählten Prüfrandbedingungen signifikant unter 0,85.</p> <p>Bei zukünftigen Untersuchungen zum Dauerstandverhalten sollten die Bezugswerte für die Dauerlastspannung optimiert werden. Die als Bezugswerte verwendeten Kurzzeitdruckfestigkeiten sollten aus denselben Steinen und im Hinblick auf die Treibrichtung derselben Lage im Stein stammen. Je nach Untersuchungszweck sollten möglicherweise sowohl Dauerstandversuche an vor Feuchtigkeitsänderungen und Carbonatisierung geschützten eingepackten Proben und an nicht geschützten unverpackten Proben durchgeführt werden. Auch sollten Vergleichsproben für optionale weitere Analysen, wie zum Carbonisierungsgrad, eingeplant werden.</p> <p>Zur besseren Vergleichbarkeit unterschiedlicher Versuchsserien in der Fachliteratur sollten alle Prüfrandbedingungen, wie Probenvorlagerung, Klimabedingungen und Kennwerte der untersuchten Porenbetone in den Veröffentlichungen dokumentiert werden.</p>
Kriech- und Schwindversuche an Steinsorte Nr. 1b und 2	<p>bei Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35 deutlich größere Kriechverformungen und spezifische Kriechmaße als bei Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,50, nämlich nach 440 Tagen bei 1b Kriechverformung ca. 0,59 mm/m und bei 2 ca. 0,38 mm/m und Kriechmaß bei 1b ca. -700 und bei 2 ca. -255</p>	<p>noch keine repräsentative Auswahl von Steinen und auch nur kleine Probenzahl untersucht, bei diesen Untersuchungen bei Stein 1b mit kleinerer Rohdichte sowohl absolut als auch relativ zur Spannung größere Kriechverformungen</p>

**Tabelle 20:** Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse von Untersuchungsteil 4 „Langzeitversuche“



**Bild 14:** Normierte auf die Kurzzeitdruckfestigkeit  $\beta_D$  bezogene Dauerlastspannung  $\sigma$  abhängig von der Standzeit für die eigenen Versuche und die Versuche von Raue et al. im Bereich bis zu 100 Tagen Belastungsdauer

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Anlass des Forschungsvorhabens „Dauerstandverhalten von Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten“ waren Ergebnisse von Prüfungen im Rahmen von Zulassungsverfahren. Diese gaben zu der Befürchtung Anlass, dass die in DIN 1053 festgelegten Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannungen für die Bemessung von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten möglicherweise nicht auf der sicheren Seite liegen.

Es wurden vier Steinsorten, nämlich PP 2-0,35 mit der zu Untersuchungsbeginn kleinsten auf dem Markt verfügbaren Rohdichteklasse von zwei unterschiedlichen Herstellern und im Vergleich dazu zwei Steine der Festigkeitsklasse 4 mit höheren Rohdichteklassen von 0,50 und 0,60, auf ihr Dauerstandverhalten untersucht. Es wurde eine Eingangskontrolle mit Prüfungen nach DIN 4165 vorgenommen, weiterhin wurden umfangreichere Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und der Carbonatisierung durchgeführt als ursprünglich im Untersuchungsprogramm vorgesehen. Es wurden die Einflüsse von vier unterschiedlichen Vorlagerungen, nämlich Proben im Anlieferungszustand, nach Ofentrocknung bei 40 °C, nach Normklimalagerung 20/65 und nach Schnellcarbonatisierung mit erhöhten CO<sub>2</sub>-Beanspruchungen und nachgelagerter Normklimalagerung 20/65 untersucht. Außerdem wurde für zwei Steinsorten die Zeitdauer der Normklimalagerung variiert. An zwei Steinsorten wurden Stein- und Mauerwerksdruckfestigkeiten nach Lagerung der Steine im überdachten Außenlager ermittelt. An 90 Tage im Normklima 20/65 vorgelagerten Proben wurden Dauerstand-, Kriech- und Schwindversuche durchgeführt.

Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Alle vier Steinsorten erfüllten in der Eingangskontrolle die Anforderungen der DIN 4165 mit den Vorgaben für ihre Festigkeits- und Rohdichteklasse, eine Steinsorte erfüllte die Anforderungen an die Rohdichte allerdings erst bei der zweiten Lieferung.

Bei den Versuchen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung zeigten zwei Steinsorten eines Herstellers, nämlich Nr. 1a PP 2-0,35 und Nr. 3 PP 4-0,60, auffällige Veränderungen mit signifikanten Festigkeitsabnahmen und Rohdichtezunahmen infolge Schnellcarbonatisierung bei erhöhtem CO<sub>2</sub>-Gehalt. Bei diesen Steinen wurden auch bei längerer Normklimalagerung und bei längerer Lagerung im überdachten Außenlager negative Veränderungen mit signifikanten Festigkeitsabnahmen festgestellt, obwohl diese Steine die Eingangskontrolle bestanden haben. Auch in den Dauerstandversuchen mit Normalspannungen von rd. 60 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit zeigten diese beiden Steinsorten auffällig schlechte Ergebnisse mit niedrigen Standzeiten und hohen Verformungen. Die Annahme von Dauerstandfaktoren von 0,85 für die Bemessung von Mauerwerk liegt für diese beiden Steinsorten auf der unsicheren Seite.

Die beiden anderen Steinsorten, Nr. 1b PP 2-0,35 und Nr. 2 PP 4-0,5, zeigten keine auffälligen Veränderungen durch die Schnellcarbonatisierung. Allerdings wies Steinsorte Nr. 2 Inhomogenitäten auf, die relativ große Streuungen der Kurzzeitdruckfestigkeiten verur-

sachten und für die Lastfestlegungen der Langzeitversuche problematisch waren. Bei den Langzeitversuchen zeigten sich Unterschiede zwischen der Steinsorte Nr. 1b mit kleinerer Rohdichteklasse von 0,35 und der Steinsorte Nr. 2 der Rohdichteklasse 0,50. Bei Steinsorte Nr. 1b lassen die Ergebnisse der Dauerstandversuche darauf schließen, dass die Dauerstandfaktoren im Bereich zwischen 0,8 und 0,9 liegen, wie auch RAUE et al. [2005] aus ihren an Porenbeton durchgeführten Untersuchungen ableiten. Für Steinsorte Nr. 2 streuen die Untersuchungsergebnisse vermutlich aufgrund von Inhomogenitäten zu stark, um einen Dauerstandfaktor abschätzen zu können. Ohne durch Inhomogenitäten geschwächte Stellen weist Steinsorte Nr. 2 möglicherweise auch einen Dauerstandfaktor im Bereich von 0,85 auf.

In den Kriech- und Schwindversuchen wies Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35 sowohl absolut deutlich größere Kriechverformungen als auch relativ zur Normalspannung deutlich größere spezifische Kriechmaße auf als Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,50.

Eine generelle Absenkung der Grundwerte  $\sigma_0$  der zulässigen Druckspannung wird dem Problem nicht gerecht, weil dadurch unkritische Porenbetone benachteiligt würden. Die Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Porenbeton kann nicht alleine anhand von Dauerstand-, Kriech- und Schwindversuchen vorgenommen werden. Auch weitere Untersuchungen zur Carbonatisierung müssen in die Beurteilung einfließen. Diesem Zweck dienen weitere Forschungsvorhaben zum „Einfluss der Carbonatisierung auf die Druckfestigkeiten und die Verformungen von Porenbeton-Plansteinen“ und zur „Dauerhaftigkeit von Porenbeton-Plansteinen unter realitätsnahen Bedingungen“. In die Konzeption dieser Vorhaben sind die Erkenntnisse und Folgerungen aus den in diesem Schlussbericht dokumentierten Ergebnissen bereits eingeflossen. Aus den in diesem Schlussbericht dokumentierten Untersuchungen und den Untersuchungen der weiteren Vorhaben sollen gemeinsame Schlussfolgerungen zur Bewertung der Dauerhaftigkeit von Porenbeton-Plansteinen und zu den Auswirkungen auf die Produktnormen und Zulassungsverfahren gezogen werden.

## 6 Unterschriften

Hannover, 24.07.2006

---

Univ.-Prof. Dr.-Ing. L. Lohaus

---

Dr.-Ing. K. Brummermann

## 7 Anlagenverzeichnis

Anl. 1:	Übersicht des Untersuchungsprogramms
Anl. 2.1 bis 2.5:	Ergebnisse der Eingangskontrolle
Anl. 3.1 bis 3.2:	Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung an Prismen der Steinsorte Nr. 1a
Anl. 4:	Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung an Prismen der Steinsorte Nr. 1b
Anl. 5:	Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung an Prismen der Steinsorte Nr. 2
Anl. 6.1 bis 6.2:	Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung an Prismen der Steinsorte Nr. 3
Anl. 7.1 bis 7.4:	Ergebnisse der Untersuchungen nach 90-tägiger Normklimalagerung
Anl. 8.1 bis 8.2:	Ergebnisse der zu den Mauerwerksprüfungen gehörigen Mörtelprüfungen
Anl. 9.1 bis 9.8:	Ergebnisse der zu den Mauerwerksprüfungen gehörigen Steinprüfungen an Steinsorte Nr. 1a und 3
Anl. 10.1 bis 10.11:	Ergebnisse der Mauerwerksprüfungen an Steinsorte Nr. 1a und 3
Anl. 11:	Fotos der Dauerlaststände
Anl. 12.1 bis 12.4:	Ergebnisse der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche
Anl. 13.1 bis 13.4:	Ergebnisse der Dauerstandversuche
Anl. 14.1 bis 14.3:	Ergebnisse der Kriech- und Schwindversuche

## 8 Literaturverzeichnis

Daschner, F. Zilch, K.	2002	Kriechen von unbewehrtem Porenbeton, Heft 518, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStB), Beuth Verlag
DIN 1053-100	2004-08	Mauerwerk – Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts
DIN 4165	1996-11	Porenbeton-Blocksteine und Porenbeton-Plansteine
DIN EN 1355	1997-02	Bestimmung der Kriechverformungen unter Druckbeanspruchung von dampfgehärtetem Porenbeton und von haufwerksporigem Leichtbeton
DIN V 4165-100	2005-10	Porenbetonsteine – Teil 100: Plansteine und Planelemente mit besonderen Eigenschaften
DIN V 20000-404	2000-06	Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4:2005-05
IBAC YTONG	1994	Auswertung neuer Untersuchungsergebnisse zur Druckfestigkeit von Porenbeton-Planstein-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel, nicht veröffentlicht
Jäger, W.	2005	Bemessung von Mauerwerk nach dem Teilsicherheitskon-



## Übersicht des Untersuchungsprogramms

<b>Teil 1: Eingangskontrolle</b>  s. Abschnitt 3.4.2 und 3.5.2	für alle vier Steinsorten:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maße</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trockenrohddichte</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steindruckfestigkeit</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuchtegehalt</li> </ul>
<b>Teil 2: Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung</b>  s. Abschnitt 3.4.3 und 3.5.3	für alle Steinsorten <b>nach unterschiedlichen Vorlagerungen</b> (Anlieferungszustand, Ofentrocknung, Normklima 20/65 und Schnellcarbonatisierung):
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trockenrohddichte</li> <li>• Prismendruckfestigkeit</li> <li>• Feuchtegehalt</li> <li>• Phenolphthaleintest</li> <li>• Freikalkbestimmung (nur im Anlieferungszustand)</li> </ul>
	<b>Zeitreihe</b> für Steinsorten Nr. 1a und 3 <b>nach 0, 1, 3, 6 und 12 Monaten Vorlagerung</b> im Normklima 20/65:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trockenrohddichte</li> <li>• Prismendruckfestigkeit</li> <li>• Feuchtegehalt</li> <li>• Phenolphthaleintest</li> </ul>
<b>Teil 3: Mauerwerksdruckversuche</b>  und zugehörige Stein- und Mörtelprüfungen  s. Abschnitt 3.4.4 und 3.5.4	für alle Steinsorten <b>nach 90-tägiger Vorlagerung in Normklima 20/65:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trockenrohddichte</li> <li>• Prismendruckfestigkeit (<b>Bezugswerte für Langzeitversuche in Teil 4</b>)</li> <li>• Würfeldruckfestigkeit</li> <li>• Spaltzugfestigkeit</li> <li>• Feuchtegehalt</li> </ul>
	an Steinsorte Nr. 1a und 3 nach Lagerung an Außenluft vor Witterung geschützt mit ausgewählten Lagerungszeiten:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mauerwerksdruckfestigkeit</b> im zentrischen Druckversuch</li> <li>• Trockenrohddichte</li> <li>• Steindruckfestigkeit</li> <li>• Feuchtegehalt</li> </ul>
<b>Teil 4: Langzeitversuche</b>  an je 3 Prismen nach 90-tägiger Vorlagerung im Normklima 20/65  s. Abschnitt 3.4.5 und 3.5.5	Mörtelprüfung
	<b>Dauerstandversuche</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für Steinsorten Nr. 1b und 2 mit einer Normalkraft von 90 % und 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit</li> <li>• für Steinsorten Nr. 1a und 3 mit 75 % der Nenndruckfestigkeit der jeweiligen Steifestigkeitsklasse</li> </ul>
	<b>Kriechversuche</b> für Steinsorten Nr. 1b und 2 mit Normalkraft von einem Drittel der Kurzzeitdruckfestigkeit
	<b>Schwindversuche</b> für Steinsorten Nr. 1b und 2 ohne Normalkraft
zum Teil zugehörige Kurzzeitversuche am Ende der Langzeitversuche	

### Untersuchte Steinsorten

Nr.	Bezeichnung	Hersteller
1a	PP 2-0,35	A
1b	PP 2-0,35	B
2	PP 4-0,50	C
3	PP 4-0,60	A

## Ergebnisse der Eingangskontrolle an Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

### Maße

Probe Nr.	Länge	Breite	Höhe	Ebenheit <sup>1)</sup>
—	mm	mm	mm	mm
1	625,0	239,0	249,0	- 0,16
2	625,0	239,0	249,0	0,23
3	625,0	239,0	248,7	0,14
4	625,0	239,3	248,7	0,12
5	625,0	239,7	248,6	0,16
6	625,0	239,2	248,6	0,14
Anforderungen	624 ± 1,5	240 ± 1,5	249 ± 1	≤ 1,0 ≥ -1,0

<sup>1)</sup> „-“ konkav, „+“ konvex

### Anfangsfeuchtegehalte und Trockenrohddichten

Probe Nr.	Maße			Anfangs- feuchtegehalt	Trocken- rohddichte
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	M.-%	kg/dm <sup>3</sup>
1	248,7	100,4	99,2	38,5	0,346
2	248,6	100,7	100,6	37,0	0,342
3	248,9	100,7	99,7	36,7	0,345
4	248,6	100,0	99,3	37,8	0,351
im Mittel				<b>37,5</b>	<b>0,346</b>
Anforderungen an:				Mittelwert	> 0,30 ≤ 0,35
				Einzelwert	> 0,27 ≤ 0,38

### Steindruckfestigkeiten

Probenr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,0)	Feuchtegehalt
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	625,0	239,0	249,0	2,7	5,9
2	625,0	239,0	249,0	2,6	5,0
3	625,0	239,0	248,7	2,6	6,2
4	625,0	239,3	248,7	2,6	6,0
5	625,0	239,7	248,6	2,6	4,4
6	625,0	239,2	248,6	2,5	4,9
im Mittel				<b>2,6</b>	<b>5,4</b>
Anforderungen an:				Mittelwert	4 bis 8
				Einzelwert	
				≥ 2,5	
				≥ 2,0	

## Ergebnisse der Eingangskontrolle an Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35

### (Lieferungen im August 2002)

#### Maße

Probe Nr.	Länge	Breite	Höhe	Ebenheit <sup>1)</sup>
—	mm	mm	mm	mm
1	624,5	240,1	248,8	nicht bestimmt
2	624,2	239,1	248,8	nicht bestimmt
3	624,5	240,0	248,8	nicht bestimmt
4	624,0	239,1	248,7	nicht bestimmt
5	624,5	240,0	248,9	nicht bestimmt
6	624,6	239,8	249,3	nicht bestimmt
Anforderungen	624 ± 1,5	240 ± 1,5	249 ± 1	≤ 1,0 ≥ -1,0

<sup>1)</sup> „-“ konkav, „+“ konvex

#### Anfangsfeuchtegehalte und Trockenrohddichten

Probe Nr. <sup>1)</sup>	Maße			Anfangs- feuchtegehalt	Trocken- rohddichte
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	M.-%	kg/dm <sup>3</sup>
1	314,6	242,0	249,6	34,0	0,363
2	311,4	240,5	248,9	30,7	0,369
3	313,2	239,5	248,8	39,5	0,369
im Mittel				<b>34,7</b>	<b>0,367</b>
4	248,4	99,2	99,8	37,9	0,361
5	248,9	97,0	99,4	41,6	0,367
6	249,1	99,5	97,3	42,0	0,357
im Mittel				<b>40,5</b>	<b>0,362</b>
7	248,9	100,0	100,0	43,3	0,387
8	248,8	100,0	99,5	44,0	0,382
9	248,8	100,3	100,0	43,9	0,386
10	248,9	100,3	99,6	44,2	0,385
im Mittel				<b>43,9</b>	<b>0,385</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	-	> 0,30 ≤ 0,35
			Einzelwert	-	> 0,27 ≤ 0,38

<sup>1)</sup> Nr. 1-3 halbe Steine, Nr. 4-10 Prismen, Nr. 1-6 aus Lieferung am 01.08.2003, Nr. 7-10 aus Lieferung am 29.08.2003

Da die vorhandenen mittleren Trockenrohddichten die mittleren Höchsttrockenrohddichten von 0,35 kg/dm<sup>3</sup> überschreiten, wurden keine Steindruckfestigkeiten bestimmt.

## Ergebnisse der Eingangskontrolle an Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35

(Lieferung 2.12.2002)

### Maße

Probe Nr.	Länge	Breite	Höhe	Ebenheit <sup>1)</sup>
—	mm	mm	mm	mm
1	625,0	239,8	249,0	- 0,18
2	625,0	239,8	249,0	- 0,16
3	625,5	239,5	249,0	- 0,43
4	625,2	239,5	249,0	- 0,27
5	625,6	239,7	249,1	- 0,19
6	625,1	239,5	249,0	- 0,47
Anforderungen	624 ± 1,5	240 ± 1,5	249 ± 1	≤ 1,0 ≥ -1,0

<sup>1)</sup> „-“ konkav, „+“ konvex

### Anfangsfeuchtegehalte und Trockenrohddichten

Probe Nr.	Maße			Anfangsfeuchtegehalt	Trockenrohddichte
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	M.-%	kg/dm <sup>3</sup>
1	249,0	99,2	99,0	38,2	0,353
2	249,0	99,0	99,6	40,2	0,345
3	249,0	99,2	98,7	40,4	0,341
4	249,0	98,9	98,9	38,6	0,342
5	249,3	98,5	99,4	37,5	0,351
6	249,3	99,2	99,5	37,3	0,345
im Mittel				<b>39,4</b>	<b>0,345</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	-	> 0,30 ≤ 0,35
			Einzelwert	-	> 0,27 ≤ 0,38

### Steindruckfestigkeiten

Probe Nr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit	Feuchtegehalt
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	$\beta_{st}$ (f = 1,0) N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	625,0	239,8	249,0	2,6	5,3
2	625,0	239,8	249,0	2,7	5,2
3	625,5	239,5	249,0	2,6	3,8
4	625,2	239,5	249,0	2,7	5,1
5	625,6	239,7	249,1	2,5	5,2
6	625,1	239,5	249,0	2,6	4,4
im Mittel				<b>2,6</b>	<b>4,8</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	≥ 2,5	4 bis 8
			Einzelwert	≥ 2,0	

## Ergebnisse der Eingangskontrolle an Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,50

### Maße

Probe Nr.	Länge	Breite	Höhe	Ebenheit <sup>1)</sup>
—	mm	mm	mm	mm
1	624,2	240,4	249,9	- 0,09
2	624,3	240,4	249,3	- 0,14
3	624,9	239,6	249,6	- 0,16
4	624,6	240,5	249,2	0,32
5	624,9	239,9	249,4	-0,26
6	624,6	239,7	249,0	-0,05
Anforderungen	624 ± 1,5	240 ± 1,5	249 ± 1	≤ 1,0 ≥ -1,0

<sup>1)</sup> „-“ konkav, „+“ konvex

### Anfangsfeuchtegehalte und Trockenrohddichten

Probe Nr. <sup>1)</sup>	Maße			Anfangsfeuchtegehalt	Trockenrohddichte
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	M.-%	kg/dm <sup>3</sup>
1	311,5	240,3	249,1	30,8	0,490
2	310,4	239,7	248,9	37,1	0,489
3	308,1	240,1	249,8	34,4	0,486
im Mittel				<b>34,1</b>	<b>0,488</b>
4	100,4	101,3	249,0	41,0	0,480
5	100,9	99,5	248,7	41,1	0,487
6	100,4	101,9	249,1	23,4	0,473
im Mittel				<b>35,2</b>	<b>0,480</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	-	> 0,45 ≤ 0,50
			Einzelwert	-	> 0,42 ≤ 0,53

<sup>1)</sup> Nr. 1-3 halbe Steine, Nr. 4-6 Prismen

### Steindruckfestigkeiten

Probe Nr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,2)	Feuchtegehalt
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	624,2	240,4	249,9	5,3	6,1
2	624,3	240,4	249,3	5,6	4,6
3	624,9	239,6	249,6	5,0	6,7
4	624,6	240,5	249,2	5,5	7,5
5	624,9	239,9	249,4	4,8	7,8
6	624,6	239,7	249,0	5,3	5,6
im Mittel				<b>5,3</b>	<b>6,4</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	≥ 5,0	4 bis 8
			Einzelwert	≥ 4,0	

## Ergebnisse der Eingangskontrolle an Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60

### Maße

Probe Nr.	Länge	Breite	Höhe	Ebenheit <sup>1)</sup>
—	mm	mm	mm	mm
1	625,9	239,6	249,1	- 0,16
2	625,2	239,7	249,0	0,11
3	625,5	240,0	249,0	0,07
4	625,4	239,9	248,9	- 0,15
5	625,6	240,0	249,5	- 0,11
6	625,7	239,8	249,2	0,13
Anforderungen	624 ± 1,5	240 ± 1,5	249 ± 1	≤ 1,0 ≥ -1,0

<sup>1)</sup> „-“ konkav, „+“ konvex

### Anfangsfeuchtegehalte und Trockenrohddichten

Probe Nr.	Maße			Anfangs- feuchtegehalt	Trocken- rohddichte
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	M.-%	kg/dm <sup>3</sup>
1	99,2	100,1	248,6	28,9	0,573
2	99,6	100,0	248,9	29,5	0,575
3	99,0	100,0	248,8	28,2	0,569
4	99,6	99,4	248,6	28,2	0,571
im Mittel				<b>28,7</b>	<b>0,572</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	-	> 0,55 ≤ 0,60
			Einzelwert	-	> 0,52 ≤ 0,63

### Steindruckfestigkeiten

Probe Nr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,2)	Feuchtegehalt
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	625,9	239,6	249,1	6,1	4,9
2	625,2	239,7	249,0	6,0	5,4
3	625,5	240,0	249,0	6,1	4,9
4	625,4	239,9	248,9	5,9	6,5
5	625,6	240,0	249,5	6,0	7,3
6	625,7	239,8	249,1	6,1	6,7
im Mittel				<b>6,0</b>	<b>6,0</b>
Anforderungen an:			Mittelwert	≥ 5,0	4 bis 8
			Einzelwert	≥ 4,0	

Schlussbericht **FP6**

Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus  
Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten

Anlage 3.1



**Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Carbonatisierung**  
**Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35**

Vor-lagerung	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>	Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm
A	1	2,3	(34,4)	0,346	rd. 0
	2	2,4	(32,7)		
	3	2,7	(35,7)		
	4	2,3	(30,3)		
	5	2,8	(37,5)		
	6	2,2	(31,1)		
	im Mittel	<b>2,5</b>	<b>(33,6)</b>		
A	61	2,56	(34,9)	0,329	rd. 0
	62	2,31	(34,0)		
	63	2,24	(32,0)		
	64	2,46	(30,4)		
	66	2,53	(41,6)		
	67	2,74	(36,6)		
	im Mittel	<b>2,47</b>	<b>(34,9)</b>		
O <sub>3</sub> Tage	19 <sup>9)</sup>	2,1	(1,6)	0,346	rd. 32
	20 <sup>4)</sup>	2,2	(1,6)		
	21 <sup>4)</sup>	2,5	(1,9)		
	22	2,2	(3,8)		
	23	2,7	(4,6)		
	24 <sup>3)</sup>	2,1	(5,4)		
	im Mittel	<b>2,3</b>	<b>(3,2)</b>		
K <sub>30</sub> Tage	10	2,48	(4,4)	0,352	rd. 28
	54	2,79	(12,1)		
	56	2,73	(9,9)		
	57	2,82	(11,1)		
	58	2,65	(10,5)		
	60 E	2,78	(11,1)		
	im Mittel	<b>2,71</b>	<b>(9,9)</b>		
K <sub>89</sub> Tage	13	2,0	(8,0)	0,365	rd. 38
	14	1,9	(7,6)		
	15	2,1	(7,4)		
	16	2,5	(9,3)		
	17	1,7	(6,5)		
	18	2,2	(8,6)		
	im Mittel	<b>2,1</b>	<b>(7,9)</b>		

Schlussbericht **FP6**

Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus  
Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten

Anlage 3.2



**Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Carbonatisierung**

**Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35**

Vor-lagerung	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>	Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm
<b>K<sub>90</sub> Tage</b>	5	2,35	(10,0)	<b>0,364</b>	<b>rd. 29</b>
	6	2,74	(10,5)		
	7	2,30	(9,0)		
	8	2,48	(9,8)		
	9	2,56	(7,9)		
	10	2,17	(6,9)		
	<b>im Mittel</b>	<b>2,43</b>	<b>(9,0)</b>		
	27	1,96	(5,9)		
	28	2,06	(7,6)		
	29	2,06	(6,7)		
<b>K<sub>6</sub> Monate</b>	30	2,06	(7,6)	<b>0,376</b>	<b>rd. 45</b>
	31	1,86	(3,3)		
	32	2,12	(8,0)		
	<b>im Mittel</b>	<b>2,02</b>	<b>(6,5)</b>		
	45	1,67	4,2		
	47	1,61	3,9		
<b>K<sub>12</sub> Monate</b>	48	1,67	4,0	<b>0,402</b>	
	52	1,84	4,1		
	56	1,67	4,1		
	60	1,45	3,9		
	<b>im Mittel</b>	<b>1,65</b>	<b>4,0</b>		
	7 <sup>4)</sup>	1,3	(6,7)		
<b>S<sub>30</sub> Tage + K<sub>4</sub> Tage</b>	8 <sup>4)</sup>	1,1	(7,0)	<b>0,411</b>	<b>vollständig</b>
	9 <sup>4)</sup>	1,0	(3,7)		
	10 <sup>4)</sup>	1,1	(7,0)		
	11 <sup>4)</sup>	1,2	(6,4)		
	12 <sup>4)</sup>	1,0	(2,0)		
	<b>im Mittel</b>	<b>1,1</b>	<b>(5,5)</b>		

1) Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

2) für A und O aus Eingangskontrolle, für K und S jeweils an zwei zusätzlichen Prismen mit gleicher Vorlagerung ermittelt

3) Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma mit gleicher Vorlagerung ermittelt

4) nach Vorlagerung sichtbare Risse

**Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss der Carbonatisierung  
Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35 (Lieferung 02.12.2002)**

Vor-lagerung	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>			Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%					Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>			Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm		
		0	1	2	3	0	10	20	30	40	50	0,3		0,35	0,40
<b>A</b>	1			1,9											<b>rd. 0</b>
	2			2,1											
	3			2,3											
	4			2,0											
	5			2,0											
	6			2,1											
	<b>im Mittel</b>			<b>2,1</b>											
<b>O<sub>8</sub> Tage</b>	19			2,7											<b>rd. 20</b>
	20			2,4											
	21			2,8											
	22			2,8											
	23			2,7											
	24			3,0											
	<b>im Mittel</b>			<b>2,7</b>											
<b>K<sub>47</sub> Tage</b>	13			2,3											<b>rd. 36</b>
	14			2,4											
	15			2,6											
	16			2,4											
	17			2,1											
	18			2,3											
	<b>im Mittel</b>			<b>2,4</b>											
<b>K<sub>90</sub> Tage</b>	10			2,47											<b>rd. 44</b>
	11			2,43											
	12			2,34											
	13			2,53											
	14			2,91											
	15			2,82											
	<b>im Mittel</b>			<b>2,58</b>											
<b>S<sub>13</sub> Tage + K<sub>42</sub> Tage</b>	7			2,3											<b>vollständig</b>
	8			1,8											
	9			2,3											
	10			2,2											
	11			2,4											
	12			2,1											
	<b>im Mittel</b>			<b>2,2</b>											

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> für A und O aus Eingangskontrolle, für K und S jeweils an zwei zusätzlichen Prismen mit gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>3)</sup> Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma mit gleicher Vorlagerung ermittelt







Schlussbericht **FP6**

Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus  
Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten

Anlage 7.2



**Ergebnisse der Untersuchungen nach 90-tägiger Normklimalagerung**  
**Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35**

Eigenschaft	Probe Nr.	Festigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in Ml-%	Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>	Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm
Prismen- druck- festigkeit	10	2,47	(4,7)		rd. 44
	11	2,43	(3,1)		
	12	2,34	(3,1)		
	13	2,53 (1163)	(3,7)		
	14	2,91 (1027)	(6,0)		
	15	2,82 (1186)	(7,3)		
	<b>im Mittel</b>	<b>2,58 (1126)</b>	<b>(4,7)</b>	<b>0,356</b>	
Würfeldruck- festigkeit	1	2,72	(4,9)		vollflächig
	2	2,79	(6,0)		
	3	2,61	(3,9)		
	4	2,85	(5,1)		
	5	2,79	(4,9)		
		<b>im Mittel</b>	<b>2,75</b>	<b>(5,0)</b>	
Spaltzug- festigkeit	6	0,37	(4,3)		vollflächig
	7	0,37	(4,0)		
	8	0,34	(2,9)		
	9	0,40	(3,7)		
	10	0,36	(1,8)		
		<b>im Mittel</b>	<b>0,37</b>	<b>(3,3)</b>	

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> jeweils an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln nach gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>3)</sup> Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma nach gleicher Vorlagerung ermittelt

Schlussbericht **FP6**

Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten

Anlage 7.2



**Ergebnisse der Untersuchungen nach 90-tägiger Normklimalagerung**  
**Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35**

Eigenschaft	Probe Nr.	Festigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in Ml-%	Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>	Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm
Prismen- druck- festigkeit	10	2,47	(4,7)		rd. 44
	11	2,43	(3,1)		
	12	2,34	(3,1)		
	13	2,53 (1163)	(3,7)		
	14	2,91 (1027)	(6,0)		
	15	2,82 (1186)	(7,3)		
	<b>im Mittel</b>	<b>2,58 (1126)</b>	<b>(4,7)</b>	<b>0,356</b>	
Würfeldruck- festigkeit	1	2,72	(4,9)		vollflächig
	2	2,79	(6,0)		
	3	2,61	(3,9)		
	4	2,85	(5,1)		
	5	2,79	(4,9)		
		<b>im Mittel</b>	<b>2,75</b>	<b>(5,0)</b>	
Spaltzug- festigkeit	6	0,37	(4,3)		vollflächig
	7	0,37	(4,0)		
	8	0,34	(2,9)		
	9	0,40	(3,7)		
	10	0,36	(1,8)		
		<b>im Mittel</b>	<b>0,37</b>	<b>(3,3)</b>	

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> jeweils an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln nach gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>3)</sup> Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma nach gleicher Vorlagerung ermittelt

**Ergebnisse der Untersuchungen nach 90-tägiger Normklimalagerung**  
**Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,60**

Eigenschaft	Probe Nr.	Festigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	Trockenrohdichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>	Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm
Prismen- druck- festigkeit	11	4,40	(2,3)	0,513	rd. 36
	12	4,60	(1,8)		
	13	3,84	-(0,5)		
	14	5,90	(0,3)		
	15	4,99	(0,0)		
	16	4,70	-(0,8)		
	<b>im Mittel</b>	<b>4,74</b>	<b>(0,5)</b>		
Würfel- druck- festigkeit	9	4,75	(7,8)	0,489	vollflächig
	10	4,68	(3,7)		
	11	4,72	(5,1)		
	12	4,46	(3,6)		
	13	5,05	(5,6)		
		<b>im Mittel</b>	<b>4,73</b>		
Spaltzug- festigkeit	4	0,61	(5,6)	0,489	vollflächig
	5	0,68	(4,9)		
	6	0,70	(6,4)		
	7	0,53	(2,2)		
	8	0,60	(5,0)		
		<b>im Mittel</b>	<b>0,62</b>		

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohdichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> jeweils an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln mit gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>3)</sup> Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma mit gleicher Vorlagerung ermittelt

**Ergebnisse der Untersuchungen nach 90-tägiger Normklimalagerung**  
**Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60**

Eigenschaft	Probe Nr.	Festigkeit in N/mm <sup>2</sup>							Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%							Trockenrohddichte <sup>2)</sup> in kg/dm <sup>3</sup>		Breite aus pH-Test <sup>3)</sup> in mm	
		0	1	2	3	4	5	6	0	10	20	30	40	50	0,55	0,60	0,65		
Prismen- druck- festigkeit	2																		rd. 39
	3			4,86															
	4			4,62															
	5			4,80															
	6			4,50															
	7			4,94															
	im Mittel				<b>4,72</b>														
Würfel- druck- festigkeit	4																	vollflächig	
	5			5,04															
	6			4,64															
	7			4,42															
	8			4,45															
	9			5,02															
	im Mittel				<b>4,72</b>														
Spaltzug- festigkeit	10																	vollflächig	
	11			0,38															
	12			0,56															
	13			0,55															
	im Mittel				<b>0,52</b>														
	12			0,59															
	im Mittel				<b>0,52</b>														

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt  
<sup>2)</sup> jeweils an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln nach gleicher Vorlagerung ermittelt  
<sup>3)</sup> Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma oder Würfel nach gleicher Vorlagerung ermittelt

## Festmörtelkennwerte zum Zeitpunkt der Mauerwerksprüfungen

### Mörtel für Wandprobekörper mit Steinsorte Nr. 1a PP2-0,35 in Anlage 10.1 bis 10.3

Mauerwerks- prüfkörper	Probe Nr.	Alter	Rohdichte		Biegezug- festigkeit	Druckfestigkeit		
			lufttr.	trocken		N/mm <sup>2</sup>		
-	-	d	kg/dm <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		
1 bis 3	1	7	1,56	-	1,64	9,8	9,9	
	2		1,56	-	1,59	9,9	9,8	
	3		1,56	-	1,92	9,8	9,8	
		Mittel		<b>1,56</b>	-	<b>1,72</b>	<b>9,8</b>	
	4	7	1,57	1,35	-	-	-	
	5		1,56	1,34	-	-	-	
	6		1,56	1,34	-	-	-	
		Mittel		<b>1,56</b>	<b>1,34</b>	-	-	-

### Mörtel für Wandprobekörper mit Steinsorte Nr. 1a PP2-0,35 in Anlage 10.4 bis 10.6

Mauerwerks- prüfkörper	Probe Nr.	Alter	Rohdichte		Biegezug- festigkeit	Druckfestigkeit		
			lufttr.	trocken		N/mm <sup>2</sup>		
-	-	d	kg/dm <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		
1 bis 3	1	7	1,65	-	3,61	16,0	15,5	
	2		1,64	-	2,95	15,4	13,8	
	3		1,62	-	3,63	15,6	15,2	
		Mittel		<b>1,64</b>	-	<b>3,40</b>	<b>15,3</b>	
	4	7	1,63	1,50	-	-	-	
	5		1,64	1,50	-	-	-	
	6		1,63	1,49	-	-	-	
		Mittel		<b>1,63</b>	<b>1,50</b>	-	-	-

### Mörtel für Wandprobekörper mit Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35 in Anlage 10.7

Mauerwerks- prüfkörper	Probe Nr.	Alter	Rohdichte		Biegezug- festigkeit	Druckfestigkeit		
			lufttr.	trocken		N/mm <sup>2</sup>		
-	-	d	kg/dm <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		
1 bis 3	1	7	1,69	-	2,32	15,4	16,1	
	2		1,67	-	3,03	15,9	16,0	
	3		1,64	-	2,26	16,0	16,4	
		Mittel		<b>1,67</b>	-	<b>2,54</b>	<b>16,0</b>	
	4	7	1,69	1,54	-	-	-	
	5		1,67	1,52	-	-	-	
	6		1,64	1,50	-	-	-	
		Mittel		<b>1,67</b>	<b>1,52</b>	-	-	-

## Festmörtelkennwerte zum Zeitpunkt der Mauerwerksprüfungen

### Mörtel für Wandprobekörper mit Steinsorte Nr. 3 PP4-0,60 in Anlage 10.8

Mauerwerks- prüfkörper	Probe Nr.	Alter	Rohdichte		Biegezug- festigkeit	Druckfestigkeit	
			luftr. kg/dm <sup>3</sup>	trocken kg/dm <sup>3</sup>		N/mm <sup>2</sup>	
-	-	d			N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1 bis 3	1	7	1,62	-	2,88	16,9	16,7
	2		1,63	-	3,06	15,3	16,2
	3		1,64	-	3,20	16,9	16,9
	Mittel		<b>1,63</b>	-	<b>3,05</b>	<b>16,5</b>	
	4	7	1,62	1,46	-	-	-
	5		1,63	1,47	-	-	-
	6		1,64	1,48	-	-	-
Mittel		<b>1,63</b>	<b>1,47</b>	-	-	-	

### Mörtel für Wandprobekörper mit Steinsorte Nr. 3 PP4-0,60 in Anlage 10.9 bis 10.11

Mauerwerks- prüfkörper	Probe Nr.	Alter	Rohdichte		Biegezug- festigkeit	Druckfestigkeit	
			luftr. kg/dm <sup>3</sup>	trocken kg/dm <sup>3</sup>		N/mm <sup>2</sup>	
-	-	d			N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1 bis 3	1	7	1,66	-	3,86	17,6	17,5
	2		1,68	-	3,45	17,7	17,6
	3		1,68	-	3,50	17,8	17,8
	Mittel		<b>1,67</b>	-	<b>3,60</b>	<b>17,7</b>	
	4	7	1,62	-	-	-	-
	5		1,64	-	-	-	-
	6		1,67	-	-	-	-
Mittel		<b>1,64</b>	-	-	-	-	

**Ergebnisse der Steinprüfungen an Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35  
nach ca. 5 Monaten im Außenlager  
wie bei Wandprüfkörpern in Anlage 10.1 bis 10.3**

**Trockenrohdsichten von Prismen**

Probe Nr.	Maße			Trockenrohdsichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	498,9	100,9	98,9	0,34
2	499,5	100,3	101,0	0,34
3	500,9	102,8	101,6	0,34
<b>Mittelwert</b>				<b>0,34</b>

**Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte**

Probenr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,0) N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt M.-%
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm		
7	625,4	239,2	248,7	2,3	19,8
8	625,3	239,3	248,7	2,4	21,4
9	625,1	239,2	248,3	2,3	20,6
10	625,1	239,2	248,3	2,3	21,5
11	625,5	239,3	248,6	2,3	20,6
12	625,3	239,1	248,6	2,3	21,9
<b>Mittelwert</b>	<b>625,3</b>	<b>239,2</b>	<b>248,5</b>	<b>2,3</b>	<b>20,9</b>

**Ergebnisse der Steinprüfungen an Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35  
nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager  
wie bei Wandprüfkörpern in Anlage 10.4 bis 10.6**

**Trockenrohddichten von Prismen**

Probe Nr.	Maße			Trockenrohddichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	509,3	100,0	100,2	0,37
2	490,2	99,8	99,7	0,37
3	509,4	100,2	100,0	0,36
Mittelwert				<b>0,37</b>

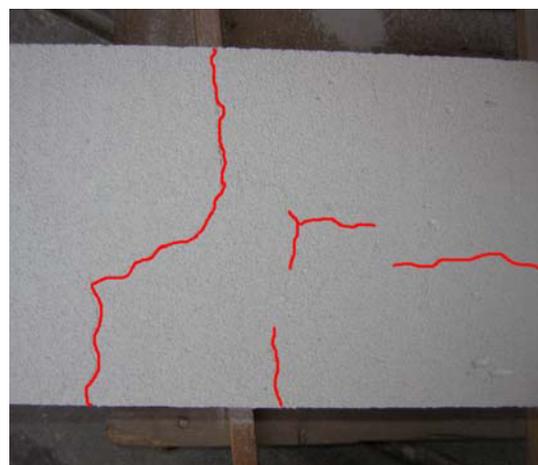
**Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte**

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ ( $f = 1,0$ ) N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt M.-%
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	624,3	238,5	247,9	1,4	3,8
2	624,8	238,5	248,0	1,5	3,7
3	624,7	238,5	248,0	1,4	3,7
4	624,4	239,0	248,4	1,5	3,8
5	624,5	238,8	247,9	1,5	3,9
6	625,1	238,8	248,3	1,6	4,0
<b>Mittelwert</b>	<b>624,6</b>	<b>238,7</b>	<b>248,1</b>	<b>1,5</b>	<b>3,8</b>

**Stein nach Vorlagerung mit Rissen**



↑  
Detail



Detail mit Kennzeichnung markanter Risse

**Ergebnisse der Steinprüfungen an Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35  
nach ca. 26,5 Monaten im Außenlager  
wie bei Wandprüfkörper in Anlage 10.7**

**Trockenrohdsichten von Prismen**

Probe Nr.	Maße			Trockenrohdsichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	513,0	100,1	99,7	0,37
2	503,2	100,1	100,1	0,37
3	513,2	100,4	100,5	0,38
<b>Mittelwert</b>				<b>0,37</b>

**Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte**

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ ( $f = 1,0$ ) N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt M.-%
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm		
1	625,6	239,1	249,0	1,4	6,1
2	625,4	239,1	249,4	1,4	6,0
3	624,9	239,0	249,1	1,4	5,7
4	625,3	239,0	249,4	1,3	5,7
5	625,5	238,7	248,1	1,3	5,6
6	625,3	238,9	248,6	1,4	5,6
<b>Mittelwert</b>	<b>625,3</b>	<b>239,0</b>	<b>248,9</b>	<b>1,4</b>	<b>5,8</b>

**Stein nach Vorlagerung im Außenlager**



**Ergebnisse der Steinprüfungen an Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6**  
**Lagerung in Anlieferungsverpackung**  
**wie bei Wandprüfkörper in Anlage 10.8**

**Trockenrohdsichten von Prismen**

Probe Nr.	Maße			Trockenrohdsichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	493,9	100,0	100,3	0,58
2	507,8	100,4	99,7	0,58
3	506,0	99,6	100,1	0,58
<b>Mittelwert</b>				<b>0,58</b>

**Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte**

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,2)	Feuchtegehalt
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	625,5	239,9	248,6	5,5	23,4
2	625,5	239,8	249,4	5,6	22,5
3	625,5	239,8	248,4	5,6	22,0
4	625,3	240,6	248,4	6,1	22,8
5	625,4	240,3	248,8	6,4	24,2
6	625,3	240,6	248,8	6,0	22,3
<b>Mittelwert</b>	<b>625,4</b>	<b>240,2</b>	<b>248,7</b>	<b>5,9</b>	<b>22,9</b>

**Ergebnisse der Steinprüfungen für Steinsorte Nr. 3 PP4-0,60**  
**Lagerung in Anlieferungsverpackung und Ofentrocknung 40 °C**

**Trockenrohichten von Prismen**

Probe Nr.	Maße			Trockenrohichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	493,9	100,0	100,3	0,58
2	507,8	100,4	99,7	0,58
3	506,0	99,6	100,1	0,58
<b>Mittelwert</b>				<b>0,58</b>

**Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte**

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,2)	Feuchtegehalt (indirekt)
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	625,7	240,1	249,0	5,9	5,2
2	627,1	239,7	248,9	6,8	3,1
3	625,8	240,2	249,3	6,4	2,6
4	626,6	239,7	248,9	6,6	2,7
5	626,3	240,9	248,8	6,0	1,5
6	625,2	240,3	248,8	6,0	2,6
<b>Mittelwert</b>	<b>626,1</b>	<b>240,2</b>	<b>249,0</b>	<b>6,3</b>	<b>3,0</b>

## Ergebnisse der Steinprüfungen für Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6 nach 12 Monaten im Außenlager

### Trockenrohddichten von Prismen

Probe Nr.	Maße			Trockenrohddichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	627,3	239,1	248,4	0,586
2	626,8	239,5	248,8	0,585
3	627,1	239,0	248,0	0,592
<b>Mittelwert</b>				<b>0,588</b>

### Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,2) N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt M.-%
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	626,3	240,2	250,0	5,6	3,0
2	626,3	239,6	249,7	5,4	2,8
3	626,6	239,4	249,7	5,8	3,5
4	625,7	240,1	249,6	5,6	3,0
5	626,9	240,0	249,3	5,9	3,3
6	626,5	239,2	249,9	5,8	3,6
<b>Mittelwert</b>	<b>625,7</b>	<b>240,0</b>	<b>249,0</b>	<b>5,7</b>	<b>3,2</b>

**Ergebnisse der Steinprüfungen an Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6  
nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager  
wie bei Wandprüfkörpern in Anlage 10.9 bis 10.11**

**Trockenrohichten von Prismen**

Probe Nr.	Maße			Trockenrohichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	529,9	101,6	100,3	0,59
2	522,9	100,0	100,0	0,59
3	525,1	100,2	99,9	0,59
<b>Mittelwert</b>				<b>0,59</b>

**Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte**

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,0)	Feuchtegehalt
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	M.-%
1	625,4	239,7	248,8	5,0	3,2
2	625,4	239,7	248,8	5,0	3,2
3	625,4	240,3	248,8	4,9	3,1
4	625,4	239,5	248,7	4,7	3,2
5	625,7	239,6	248,8	5,0	3,1
6	626,0	239,6	248,7	5,2	3,3
<b>Mittelwert</b>	<b>625,6</b>	<b>239,7</b>	<b>248,8</b>	<b>5,0</b>	<b>3,2</b>

## Ergebnisse der Steinprüfungen für Steinsorte Nr. 3 PP4-0,6 nach ca. 26,5 Monaten im Außenlager

### Trockenrohichten von Prismen

Probe Nr.	Maße			Trockenrohichte
	Länge	Breite	Höhe	
-	mm	mm	mm	kg/dm <sup>3</sup>
1	511,3	99,5	99,8	0,59
2	501,5	100,0	99,4	0,59
3	519,6	99,7	99,5	0,59
<b>Mittelwert</b>				<b>0,59</b>

### Steinmaße, -druckfestigkeiten und Feuchtegehalte

Probennr.	Abmessungen			Steindruckfestigkeit $\beta_{st}$ (f = 1,2) N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt M.-%
	Länge	Breite	Höhe		
-	mm	mm	mm		
1	625,7	240,1	249,0	4,7	3,9
2	626,2	239,8	248,9	4,9	4,1
3	625,5	240,0	249,2	4,8	4,2
4	625,5	240,0	248,9	4,9	3,9
5	625,4	240,4	249,0	4,7	4,0
6	625,8	239,9	249,0	4,7	4,3
<b>Mittelwert</b>	<b>625,7</b>	<b>240,0</b>	<b>249,0</b>	<b>4,8</b>	<b>4,1</b>

## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 1 nach ca. 5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten								
Vorlagerung: 150 Tage = ca. 21 Wochen = ca. 5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt								
Prüfalter: 7 Tage								
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 9,8 N/mm <sup>2</sup>								
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei Ausgleichsfeuchte = 2,6 N/mm <sup>2</sup>								
Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 21 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 2,3 N/mm <sup>2</sup>								
mit Phenolphthaleintest abgeschätzte Carbonatisierungstiefe = ca. 35 mm								
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke					Mittel
			1	2	3	4		
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	
l: 1252	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
b: 240	50	0,17	0,13	0,13	0,15	0,17	0,15	
h: 2451	100	0,33	0,35	0,35	0,35	0,39	0,36	
	150	0,50	0,58	0,58	0,55	0,62	0,58	
	200	0,67	0,83	0,81	0,78	0,87	0,82	
	250	0,83	1,07	1,05	0,99	1,11	1,05	
	300	1,00	1,36	1,32	1,23	1,39	1,32	
	350	1,16	1,67	1,60	1,47	1,67	1,60	
	400	1,33	3,36	2,22	1,28	3,77	2,66	

#### Prüfkörper Nr. 1 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 2 nach ca. 5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung: 150 Tage = ca. 21 Wochen = ca. 5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt							
Prüfalter: 7 Tage							
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 9,8 N/mm <sup>2</sup>							
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei Ausgleichsfeuchte = 2,6 N/mm <sup>2</sup> Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 21 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 2,3 N/mm <sup>2</sup> mit Phenolphthaleintest abgeschätzte Carbonatisierungstiefe = ca. 35 mm							
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1252	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
b: 240	40	0,13	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10
h: 2501	80	0,27	0,27	0,29	0,27	0,27	0,28
	120	0,40	0,44	0,48	0,45	0,44	0,45
	160	0,53	0,62	0,67	0,62	0,61	0,63
	200	0,67	0,81	0,87	0,80	0,80	0,82
	240	0,80	1,00	1,07	0,98	0,97	1,00
	280	0,93	1,22	1,31	1,19	1,17	1,23
	320	1,06	1,45	1,59	1,44	1,39	1,47
	360	1,20	1,73	1,91	1,75	1,67	1,76
	400	1,33	5,79	1,90	1,78	5,75	3,80

#### Prüfkörper Nr. 2 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 3 nach ca. 5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten								
Vorlagerung: 150 Tage = ca. 21 Wochen = ca. 5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt								
Prüfalter: 7 Tage								
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 9,8 N/mm <sup>2</sup>								
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei Ausgleichsfeuchte = 2,6 N/mm <sup>2</sup>								
Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 21 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 2,3 N/mm <sup>2</sup>								
mit Phenolphthaleintest abgeschätzte Carbonatisierungstiefe = ca. 35 mm								
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke					Mittel
			1	2	3	4		
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	
l: 1251	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
b: 240	40	0,13	0,11	0,10	0,12	0,11	0,11	
h: 2500	80	0,27	0,29	0,25	0,30	0,29	0,28	
	120	0,40	0,45	0,40	0,47	0,45	0,44	
	160	0,53	0,63	0,57	0,65	0,63	0,62	
	200	0,67	0,83	0,77	0,85	0,83	0,82	
	240	0,80	1,01	0,93	1,03	1,01	0,99	
	280	0,93	1,22	1,14	1,24	1,22	1,20	
	320	1,07	1,42	1,32	1,43	1,42	1,40	
	360	1,20	1,72	1,56	1,71	1,72	1,68	
	400	1,33	2,17	1,94	2,06	2,17	2,09	
	438	1,46	2,75	1,71	4,44	2,75	2,91	

#### Prüfkörper Nr. 3 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 1 nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung: 655 Tage = ca. 21,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt							
Prüfalter: 7 Tage							
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 15,3 N/mm <sup>2</sup>							
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 4 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 1,5 N/mm <sup>2</sup>							
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1253	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
b: 240	30	0,10	0,09	0,09	0,10	0,11	0,10
h: 2507	60	0,20	0,29	0,32	0,33	0,33	0,31
	90	0,30	0,47	0,52	0,54	0,53	0,52
	120	0,40	0,66	0,73	0,77	0,75	0,73
	150	0,50	0,87	0,96	1,02	1,00	0,96
	180	0,60	1,08	1,19	1,27	1,24	1,19
	210	0,70	1,36	1,47	1,62	1,57	1,51
	240	0,80	2,74	4,55	4,49	3,56	3,84

#### Prüfkörper Nr. 1 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 2 nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung: 655 Tage = ca. 21,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt							
Prüfalter: 7 Tage							
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 15,3 N/mm <sup>2</sup>							
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 4 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 1,5 N/mm <sup>2</sup>							
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1251	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
b: 240	25	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08
h: 2507	50	0,17	0,25	0,27	0,24	0,22	0,25
	75	0,25	0,42	0,45	0,42	0,39	0,42
	100	0,33	0,60	0,65	0,61	0,56	0,61
	125	0,42	0,78	0,84	0,79	0,73	0,79
	150	0,50	0,98	1,05	0,98	0,92	0,98
	175	0,58	1,22	1,30	1,19	1,14	1,21
	200	0,67	1,47	1,55	1,38	1,38	1,45
	225	0,75	5,03	1,87	0,98	5,47	3,34

#### Prüfkörper Nr. 2 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 3 nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung: 655 Tage = ca. 21,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt							
Prüfalter: 7 Tage							
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 15,3 N/mm <sup>2</sup>							
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 4 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 1,5 N/mm <sup>2</sup>							
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1252	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
b: 240	25	0,08	0,09	0,06	0,06	0,08	0,07
h: 2505	50	0,17	0,28	0,26	0,25	0,23	0,25
	75	0,25	0,46	0,44	0,44	0,40	0,44
	100	0,33	0,63	0,63	0,63	0,57	0,62
	125	0,42	0,83	0,83	0,83	0,75	0,81
	150	0,50	1,03	1,04	1,05	0,95	1,01
	175	0,58	1,26	1,29	1,30	1,16	1,25
	200	0,67	1,58	1,72	1,69	1,41	1,60
	225	0,75	2,01	2,96	2,98	1,80	2,44
	237	0,79	2,12	7,17	7,59	1,01	4,47

#### Prüfkörper Nr. 3 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

#### Wandprüfkörper Nr. 1 nach ca. 26,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung:		802 Tage = ca. 115 Wochen = ca. 26,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt					
Prüfalter:		7 Tage					
Mörtel:		Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 16,0 N/mm <sup>2</sup>					
Stein:		Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 6 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 1,4 N/mm <sup>2</sup>					
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1252 b: 240 h: 2509	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20	0,07	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05
	40	0,13	0,16	0,22	0,24	0,17	0,20
	60	0,20	0,26	0,38	0,42	0,29	0,34
	80	0,27	0,36	0,55	0,61	0,42	0,48
	100	0,33	0,46	0,72	7,77	0,52	2,37
	120	0,40	0,60	0,92	1,00	0,67	0,80
	140	0,47	0,81	1,25	1,36	0,09	0,88
	160	0,53	1,05	1,96	2,20	0,12	1,33
	180	0,60	1,28	2,56	2,84	1,44	2,03
	200	0,67	1,61	3,37	3,62	0,18	2,19
	209	0,70	0,15	8,30	0,85	2,25	2,89

#### Prüfkörper Nr. 1 nach Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6

### Wandprüfkörper Nr. 1 aus der Verpackung

Allgemeine Daten								
Vorlagerung: aus eingeschweißter Palette								
Prüfalter: 7 Tage								
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 16,5 N/mm <sup>2</sup>								
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 23 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 5,9 N/mm <sup>2</sup>								
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke					Mittel
			1	2	3	4		
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	
l: 1251	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
b: 240	70	0,23	0,11	0,11	0,16	0,16	0,13	
h: 2510	140	0,46	0,29	0,29	0,37	0,37	0,33	
	210	0,70	0,51	0,48	0,59	0,58	0,54	
	280	0,93	0,72	0,68	0,81	0,81	0,75	
	350	1,16	0,94	0,89	1,03	1,03	0,97	
	420	1,39	1,18	1,12	1,28	1,29	1,22	
	490	1,63	1,41	1,34	1,52	1,53	1,45	
	560	1,86	1,67	1,58	1,79	1,81	1,71	
	630	2,09	1,92	1,83	2,06	2,08	1,97	
	700	2,32	2,20	2,10	2,37	2,39	2,27	
	770	2,56	2,46	2,37	2,68	2,70	2,55	
	840	2,79	2,78	2,69	3,04	3,14	2,91	
	910	3,02	6,84	0,94	1,38	-2,02	1,79	

### Prüfkörper Nr. 1 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6

#### Wandprüfkörper Nr. 1 nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung: 656 Tage = ca. 21,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt							
Prüfalter: 7 Tage							
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 17,7 N/mm <sup>2</sup>							
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 3 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 5,0 N/mm <sup>2</sup>							
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1251	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
b: 240	70	0,23	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10
h: 2510	140	0,47	0,27	0,27	0,30	0,28	0,28
	210	0,70	0,46	0,46	0,51	0,47	0,47
	280	0,93	0,66	0,67	0,73	0,67	0,68
	350	1,17	0,88	0,89	0,96	0,88	0,90
	420	1,40	1,12	1,12	1,20	1,10	1,13
	490	1,63	1,36	1,36	1,45	1,34	1,38
	560	1,87	1,64	1,64	1,74	1,62	1,66
	630	2,10	1,82	1,82	1,93	1,81	1,85
	700	2,33	2,17	2,17	2,29	2,17	2,20
	770	2,56	2,90	2,58	2,70	2,89	2,77
	789	2,63	7,19	1,63	1,47	7,83	4,53

## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6

#### Wandprüfkörper Nr. 2 nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten								
Vorlagerung: 656 Tage = ca. 21,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt								
Prüfalter: 7 Tage								
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 17,7 N/mm <sup>2</sup>								
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 3 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 5,0 N/mm <sup>2</sup>								
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke					Mittel
			1	2	3	4		
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	
l: 1252	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
b: 240	70	0,23	0,13	0,13	0,15	0,15	0,14	
h: 2509	140	0,47	0,32	0,33	0,34	0,35	0,34	
	210	0,70	0,54	0,54	0,56	0,57	0,55	
	280	0,93	0,77	0,76	0,78	0,80	0,78	
	350	1,16	0,98	0,96	0,99	1,02	0,99	
	420	1,40	1,27	1,24	1,28	1,33	1,28	
	490	1,63	1,58	1,53	1,57	1,65	1,58	
	560	1,86	1,94	1,82	1,88	2,08	1,93	
	630	2,10	2,52	2,28	2,41	2,71	2,48	
	680	2,26	2,43	7,16	-3,24	2,89	2,31	

#### Prüfkörper Nr. 2 nach dem Bruchversagen



## Ergebnisse der Mauerwerksdruckprüfungen

### Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,6

#### Wandprüfkörper Nr. 3 nach ca. 21,5 Monaten im Außenlager

Allgemeine Daten							
Vorlagerung: 656 Tage = ca. 21,5 Monate im Außenlager vor Witterung geschützt							
Prüfalter: 7 Tage							
Mörtel: Druckfestigkeit $\beta_{D,m\ddot{o}}$ = 17,7 N/mm <sup>2</sup>							
Stein: Druckfestigkeit $\beta_{st}$ bei ca. 3 M.-% Feuchtegehalt wie im Wandprüfkörper = 5,0 N/mm <sup>2</sup>							
Abmessungen	Last F	Spannung	Dehnung (-) bei Messstrecke				
			1	2	3	4	Mittel
mm	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
l: 1251	16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
b: 240	70	0,23	0,12	0,11	0,16	0,16	0,14
h: 2506	140	0,47	0,30	0,30	0,38	0,37	0,34
	210	0,70	0,48	0,50	0,60	0,57	0,53
	280	0,93	0,68	0,70	0,83	0,78	0,75
	350	1,17	0,90	0,93	1,06	1,01	0,97
	420	1,40	1,14	1,17	1,32	1,26	1,22
	490	1,63	1,40	1,43	1,60	1,53	1,49
	560	1,87	1,69	1,72	1,89	1,80	1,77
	630	2,10	2,05	2,07	2,22	2,12	2,12
	700	2,33	2,49	2,51	2,62	2,52	2,54
	767	2,55	7,56	2,00	2,36	7,93	4,96

#### Prüfkörper Nr. 3 nach dem Bruchversagen



### Dauerlaststände mit Steuerungseinheit



### Probe aus Dauerstandversuch nach dem Bruch



### Ergebnisse der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche an Prismen Steinsorte Nr. 1a PP 2-0,35

Angaben zu den Proben	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>				Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%				Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>					
		0	1	2	3	0	10	20	30	40	50	0,30	0,35	0,40	
90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung Proben für Langzeit- versuche	5			2,35				(10,0)							
	6			2,74			(10,5)								
	7			2,30			(9,0)								
	8			2,48			(9,8)								
	9			2,56			(7,9)								
	10			2,17			(6,9)								
	<b>im Mittel</b>			<b>2,46</b>			<b>(9,0)</b>								
	in Normklima während Langzeit- versuchen bis 13.04.2005	35			1,72			4,1							0,404
		39			1,58			3,9							0,396
		40			1,51			3,7							0,387
	<b>im Mittel</b>			<b>1,60</b>			<b>3,9</b>							<b>0,364<sup>2)</sup></b>	

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> an drei zusätzlichen Prismen nach gleicher Vorlagerung ermittelt

### Ergebnisse der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche an Prismen Steinsorte Nr. 1b PP 2-0,35

Angaben zu den Proben	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>			Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>	
		0	1	2		3	0
90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung Proben für Langzeit- versuche	10	2,47			(4,7)		
	11	2,43			(3,1)		
	12	2,34			(3,1)		
	13	2,53			(3,7)		
	14	2,91			(6,0)		
	15	2,82			(7,3)		
	<b>im Mittel</b>	<b>2,58</b>			<b>(4,7)</b>		<b>0,356<sup>2)</sup></b>
Kriechver- suchsproben nach Ausbau am 12.04.2005	1b/17	2,78			3,5		0,376
	1b/18	2,85			3,6		0,371
	1b/19	2,42			3,4		0,369
	<b>im Mittel</b>	<b>2,68</b>			<b>3,5</b>		<b>0,369</b>
Proben aus Dauerstand- versuchen nach Ausbau am 12./13.04.2005	1b/21	2,83			3,7		0,368
	1b/22	2,77			4,5		0,371
	1b/24	2,77			3,6		0,376
	<b>im Mittel</b>	<b>2,79</b>			<b>3,9</b>		<b>0,372</b>
in Normklima während Langzeit- versuchen bis 13.04.2005	1b/25	2,53			3,4		0,359
	1b/29	2,45			3,5		0,367
	1b/30	2,69			3,5		0,368
	<b>im Mittel</b>	<b>2,56</b>			<b>3,5</b>		<b>0,365</b>

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln nach gleicher Vorlagerung ermittelt

Schlussbericht **FP6**

Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten

Anlage 12.3

**Ergebnisse der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche an Prismen  
Steinsorte Nr. 2 PP 4-0,60**

Angaben zu den Proben	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>						Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%					Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>		
		0	1	2	3	4	5	6	10	20	30	40		50	
90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung der Proben für Langzeitversuche	11		4,40												<b>0,513<sup>2)</sup></b>
	12		4,60												
	13		3,84												
	14		5,90												
	15		4,99												
	16		4,70												
	<b>im Mittel</b>		<b>4,74</b>												
Kriechversuchsproben nach Ausbau am 13.04.2005	28		4,84												0,494
	29		4,29												0,481
	30		5,92												0,519
	<b>im Mittel</b>		<b>5,02</b>												<b>0,498</b>
aus Dauerstandsversuch	13		5,40												0,523
im Normklima während Langzeitversuchen bis 13.04.2005	31		4,51												0,510
	41		5,62												0,490
	49		5,40												0,517
	<b>im Mittel</b>		<b>5,18</b>												<b>0,506</b>

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

<sup>2)</sup> an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln mit gleicher Vorlagerung ermittelt

Schlussbericht **FP6**

Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit kleinen Rohdichten

Anlage 12.4



Institut für Baustoffe

**Ergebnisse der zu den Langzeitversuchen gehörigen Kurzzeitversuche an Prismen**  
**Steinsorte Nr. 3 PP 4-0,60**

Angaben zu den Proben	Probe Nr.	Prismendruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	Feuchtegehalt <sup>1)</sup> in M.-%	Trockenrohddichte in kg/dm <sup>3</sup>
90 Tage in Normklima 20/65 wie Vorlagerung der Proben für Langzeitversuche	2	4,86	(4,9)	<b>0,586<sup>2)</sup></b>
	3	4,62	(5,5)	
	4	4,80	(5,1)	
	5 E	4,50	(5,8)	
	6 E	4,94	(7,3)	
	7 E	4,60	(6,6)	
	<b>im Mittel</b>	<b>4,72</b>	<b>(5,9)</b>	
aus Dauerstandsversuch	13	4,60	2,9	0,621
im Normklima während Langzeitversuchen bis 13.04.2005	38	3,37	2,6	0,614
	42	4,25	2,8	0,611
	62	4,09	2,6	0,629
	<b>im Mittel</b>	<b>3,90</b>	<b>2,7</b>	<b>0,618</b>

<sup>1)</sup> Angaben in Klammern nur indirekt über Trockenrohddichte abgeschätzt

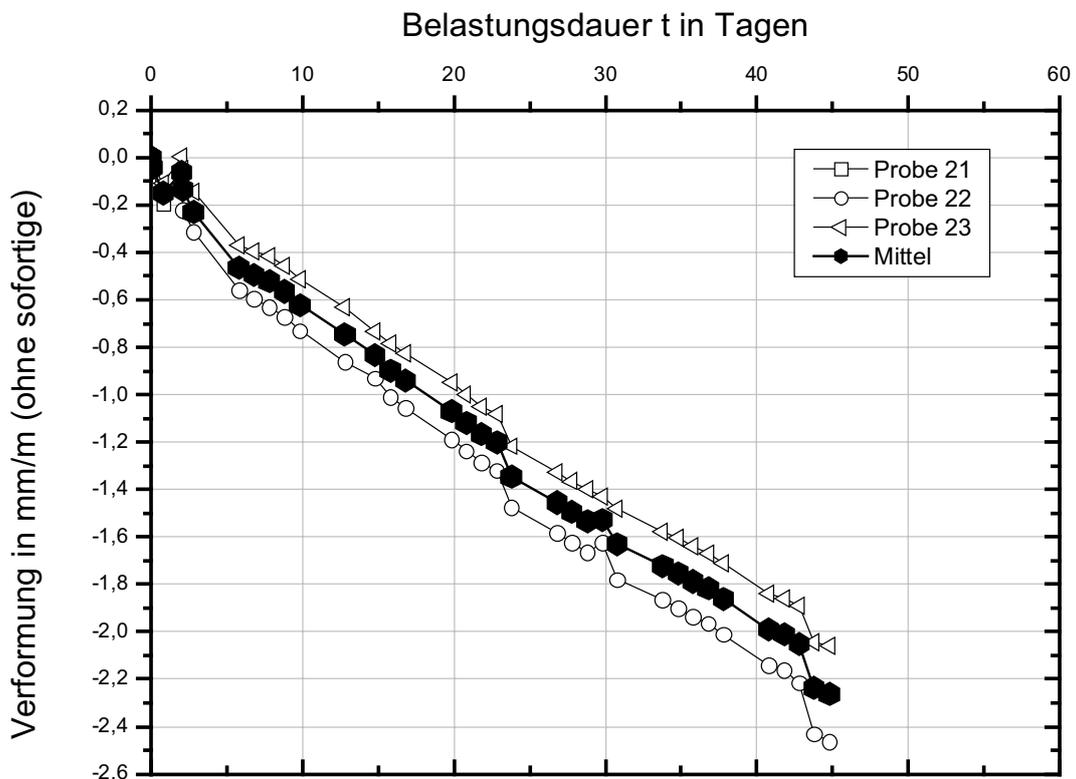
<sup>2)</sup> an drei zusätzlichen Prismen oder Würfeln nach gleicher Vorlagerung ermittelt

<sup>3)</sup> Breite des farblosen Randbereichs nach Besprühen mit Phenolphthalein, an einem weiteren Prisma oder Würfel nach gleicher Vorlagerung ermittelt

**Dauerstandversuche an Steinsorte Nr. 1a  
mit einer Normalspannung von 75 % der Nennfestigkeit**  
(entspricht ca. 61 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit)

Probenanzahl: 4, davon Probe Nr. 14 sofort gebrochen

Zeit t in Tagen	Verformung ohne sofortige Verformung $\epsilon_{t0}$ infolge Belastung $\epsilon_{tot,t} - \epsilon_{t0}$ in mm/m			
	Probe Nr. (sofortige Verformung $\epsilon_{t0}$ in mm/m)			
	21 (-1,950)	22 (-1,775)	23 (-1,740)	Mittel (-1,822)
1	-0,195	-0,145	-0,110	<b>-0,150</b>
2	Bruch	-0,220	-0,050	<b>-0,135</b>
3	-	-0,315	-0,145	<b>-0,230</b>
6	-	-0,560	-0,370	<b>-0,465</b>
13	-	-0,860	-0,630	<b>-0,745</b>
27	-	-1,585	-1,325	<b>-1,455</b>
45	-	-2,465	-2,060	<b>-2,263</b>
	-	Bruch	Bruch	-

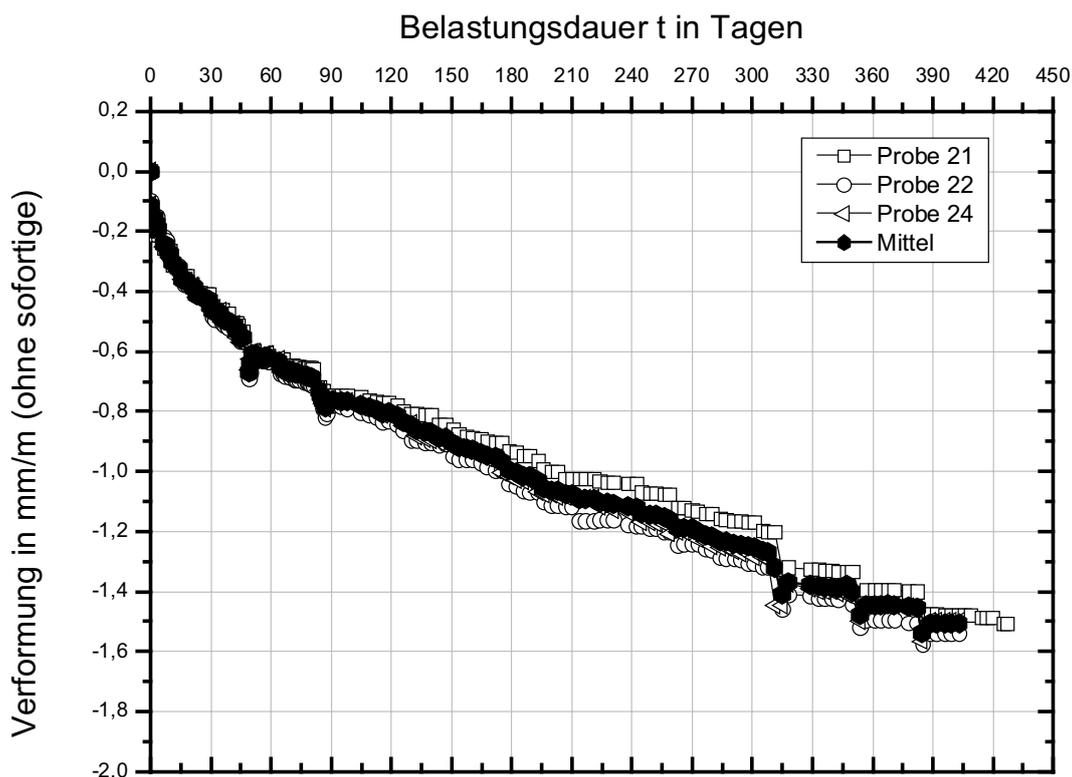


## Dauerstandversuche an Steinsorte Nr. 1b mit einer Normalspannung von 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit

Probenanzahl: 3, davon keine gebrochen

Zeit t <sup>1)</sup> in Tagen	Verformung ohne sofortige Verformung $\epsilon_{t0}$ infolge Belastung $\epsilon_{tot,t} - \epsilon_{t0}$ in mm/m			
	Probe Nr.			
	(sofortige Verformung $\epsilon_{t0}$ in mm/m)			
	21 (-0,955)	22 (-1,730)	24 (-1,800)	Mittel (-1,495)
1	-0,210	-0,180	-0,180	<b>-0,190</b>
2	-0,185	-0,145	-0,135	<b>-0,155</b>
3	-0,190	-0,150	-0,180	<b>-0,173</b>
7	-0,255	-0,220	-0,250	<b>-0,242</b>
14	-0,325	-0,315	-0,330	<b>-0,323</b>
28	-0,410	-0,425	-0,435	<b>-0,423</b>
56	-0,610	-0,630	-0,630	<b>-0,623</b>
84	-0,720	-0,745	-0,730	<b>-0,732</b>
119	-0,770	-0,830	-0,810	<b>-0,803</b>
147	-0,845	-0,910	-0,905	<b>-0,887</b>
175	-0,902	-0,995	-1,005	<b>-0,967</b>
203	-1,000	-1,113	-1,085	<b>-1,066</b>
231	-1,035	-1,163	-1,128	<b>-1,108</b>
259	-1,078	-1,200	-1,208	<b>-1,162</b>
287	-1,160	-1,290	-1,255	<b>-1,235</b>
315	-1,328	-1,458	-1,445	<b>-1,410</b>
343	-1,335	-1,428	-1,405	<b>-1,389</b>
371	-1,395	-1,495	-1,445	<b>-1,445</b>
399	-1,480	-1,540	-1,500	<b>-1,507</b>
429	Versuchsende			

<sup>1)</sup> einige kurzzeitige Unterschreitungen der Luftfeuchte



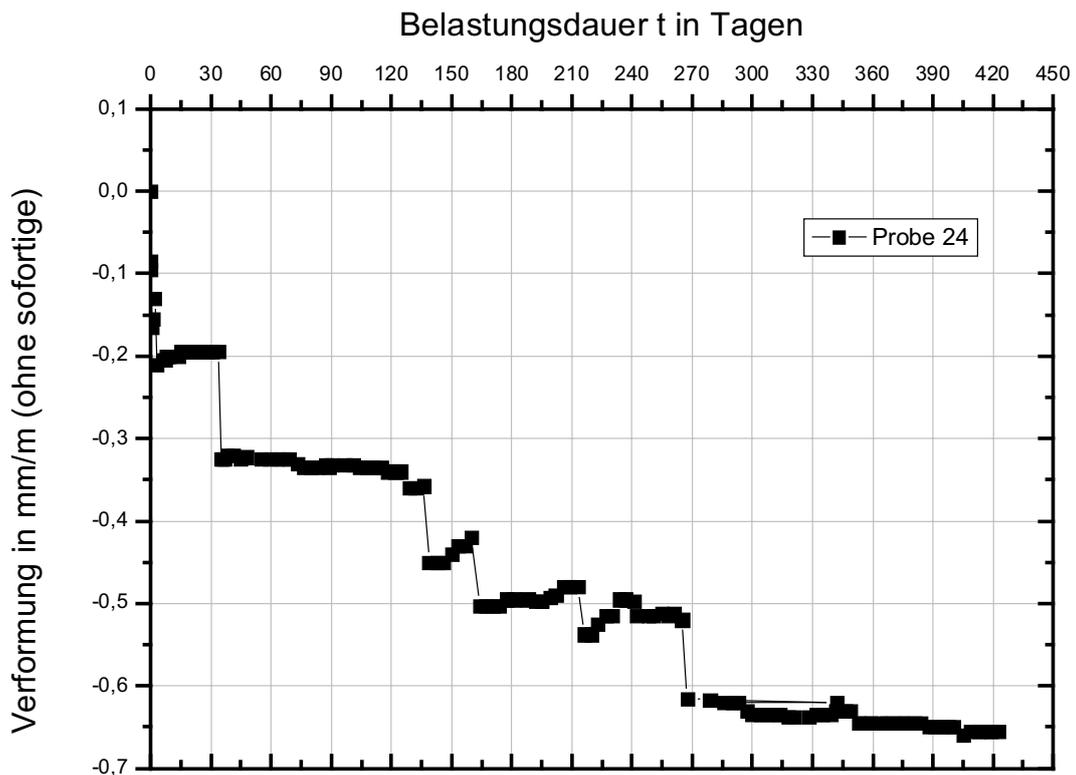
## Dauerstandversuche an Steinsorte Nr. 2 mit einer Normalspannung von 80 % der Kurzzeitdruckfestigkeit

Probenanzahl: 6, davon Proben Nr. 23,27,21,22,26 sofort gebrochen

Zeit t <sup>1)</sup> in Tagen	Verformung <sup>2)</sup> ohne sofortige Verformung $\epsilon_{t0}$ infolge Belastung $\epsilon_{tot,t} - \epsilon_{t0}$ in mm/m
	Probe Nr. (sofortige Verformung $\epsilon_{t0}$ in mm/m) <b>24</b> <b>(-2,055)</b>
1	-0,155
2	-0,130
3	-0,210
7	-0,205
14	-0,200
28	-0,195
55	-0,325
83	-0,335
118	-0,340
146	-0,450
174	-0,503
216	-0,538
243	-0,515
268	-0,615
300	-0,635
342	-0,630
370	-0,645
388	-0,645
423	Versuchsende

1) einige kurzzeitige Unterschreitungen der Luftfeuchte

2) Probleme der Lastkonstanthaltung, vermutlich Defekt im Belastungszyylinder und dadurch bedingte sprunghafte Lastregulierung und Verformungssprünge

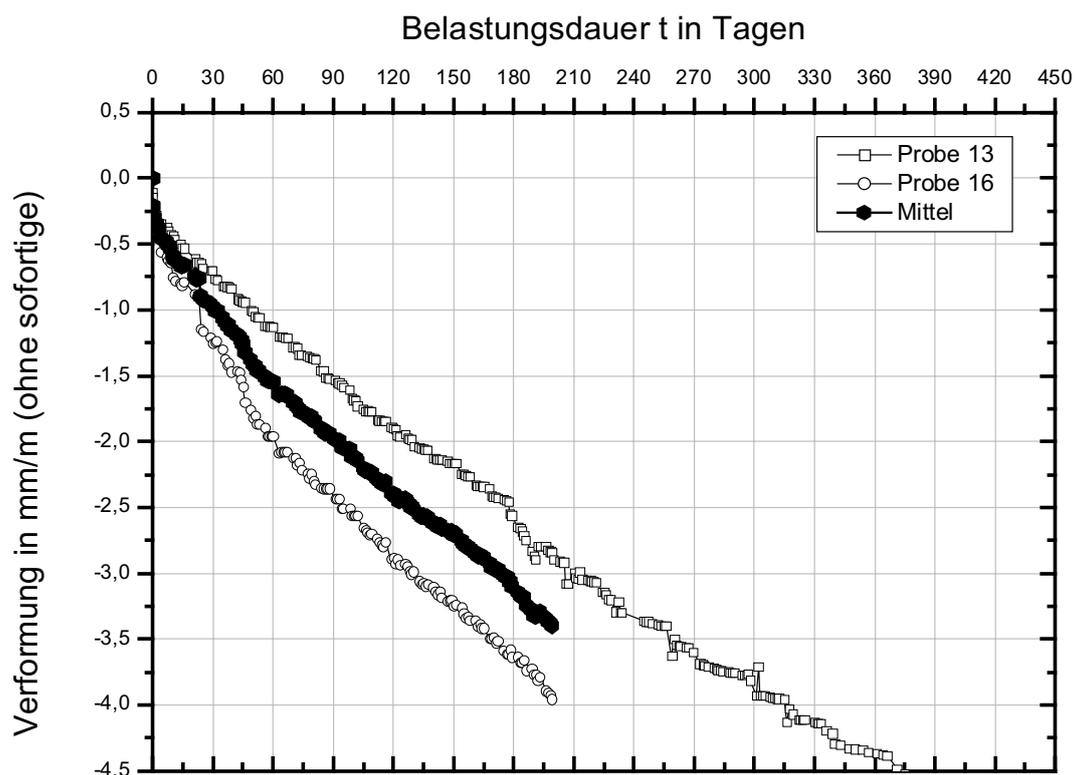


### Dauerstandversuche an Steinsorte Nr. 3 mit einer Normalspannung von 75 % der Nennfestigkeit (entspricht ca. 64 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit)

Probenanzahl: 4, davon Proben Nr. 17, 18 sofort gebrochen

Zeit t <sup>1)</sup> in Tagen	Verformung ohne sofortige Verformung $\varepsilon_{t0}$ infolge Belastung $\varepsilon_{tot,t} - \varepsilon_{t0}$ in mm/m		
	Probe Nr. (sofortige Verformung $\varepsilon_{t0}$ in mm/m)		
	13 (-2,320)	16 (-2,885)	Mittel (-2,603)
1	-0,245	-0,350	<b>-0,298</b>
2	-0,280	-0,415	<b>-0,348</b>
3	-0,345	-0,415	<b>-0,380</b>
7	-0,370	-0,600	<b>-0,485</b>
14	-0,500	-0,800	<b>-0,650</b>
29	-0,700	-1,210	<b>-0,955</b>
57	-1,120	-1,955	<b>-1,538</b>
85	-1,465	-2,355	<b>-1,910</b>
113	-1,838	-2,760	<b>-2,299</b>
141	-2,125	-3,105	<b>-2,615</b>
169	-2,413	-3,490	<b>-2,951</b>
197	-2,825	-3,905	<b>-3,365</b>
225	-3,145	Bruch	-
253	-3,395	-	-
281	-3,725	-	-
309	-3,945	-	-
336	-4,195	-	-
354	-4,340	-	-
389	Versuchsende	-	-

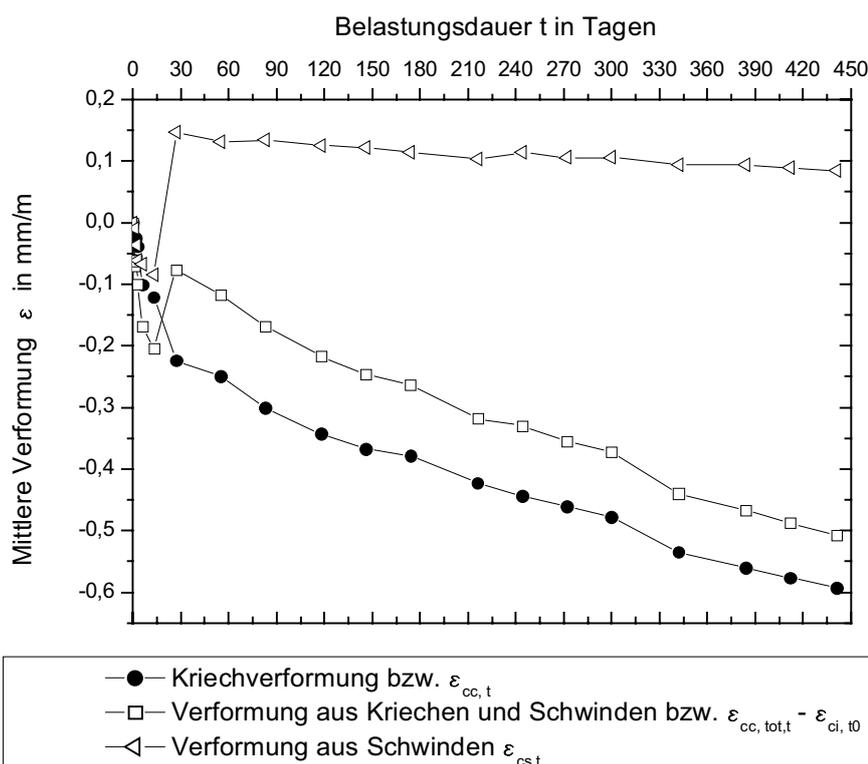
<sup>1)</sup> einige kurzzeitige Unterschreitungen der Luftfeuchte



### Kriech- und Schwindversuche an Steinsorte Nr. 1b

Zeit <sup>1)</sup> t in Tagen	Verformung aus Kriechen und Schwinden ohne sofortige Verformung $\epsilon_{ci,t0}$ infolge Belastung $\epsilon_{cc,tot,t} - \epsilon_{ci,t0}$ in mm/m				Verformung der Schwindprobekörper $\epsilon_{cs,t}$ in mm/m				Kriech- verformung $\epsilon_{cc,t}$ in mm/m	Kriech- maß $\epsilon_{cc,t}/\sigma$ $\sigma = 0,86$ in $10^{-6}$ je N/mm <sup>2</sup>
	Probe Nr. (sofortige Verformung $\epsilon_{ci,t0}$ in mm/m)				Probe Nr.				Mittel	Mittel
	17 (-0,675)	18 (-0,660)	19 (0,670)	Mittel (-0,668)	4	7	8	Mittel		
0	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0</b>
1	-0,050	-0,050	-0,110	<b>-0,070</b>	-0,038	0,008	0,002	<b>-0,009</b>	<b>-0,061</b>	<b>-71</b>
2	-0,070	-0,075	-0,040	<b>-0,062</b>	-0,070	-0,018	-0,022	<b>-0,037</b>	<b>-0,025</b>	<b>-29</b>
3	-0,095	-0,095	-0,110	<b>-0,100</b>	-0,090	-0,038	-0,054	<b>-0,061</b>	<b>-0,039</b>	<b>-46</b>
6	-0,160	-0,165	-0,180	<b>-0,168</b>	-0,098	-0,048	-0,056	<b>-0,068</b>	<b>-0,101</b>	<b>-119</b>
13	-0,200	-0,205	-0,210	<b>-0,205</b>	-0,128	-0,080	-0,044	<b>-0,084</b>	<b>-0,121</b>	<b>-142</b>
27	-0,070	-0,075	-0,085	<b>-0,077</b>	0,106	0,153	0,183	<b>0,147</b>	<b>-0,224</b>	<b>-263</b>
55	-0,120	-0,105	-0,125	<b>-0,117</b>	0,108	0,116	0,173	<b>0,132</b>	<b>-0,249</b>	<b>-293</b>
83	-0,172	-0,155	-0,175	<b>-0,168</b>	0,144	0,120	0,137	<b>0,134</b>	<b>-0,301</b>	<b>-354</b>
118	-0,220	-0,200	-0,230	<b>-0,217</b>	0,128	0,120	0,131	<b>0,126</b>	<b>-0,343</b>	<b>-404</b>
146	-0,250	-0,230	-0,260	<b>-0,247</b>	0,124	0,122	0,119	<b>0,122</b>	<b>-0,368</b>	<b>-433</b>
174	-0,270	-0,240	-0,283	<b>-0,264</b>	0,117	0,112	0,113	<b>0,114</b>	<b>-0,378</b>	<b>-440</b>
216	-0,328	-0,295	-0,333	<b>-0,318</b>	0,100	0,108	0,104	<b>0,104</b>	<b>-0,423</b>	<b>-492</b>
244	-0,343	-0,303	-0,345	<b>-0,330</b>	0,104	0,118	0,119	<b>0,114</b>	<b>-0,444</b>	<b>-522</b>
272	-0,370	-0,325	-0,370	<b>-0,355</b>	0,104	0,106	0,108	<b>0,106</b>	<b>-0,461</b>	<b>-543</b>
300	-0,388	-0,340	-0,388	<b>-0,372</b>	0,104	0,110	0,104	<b>0,106</b>	<b>-0,478</b>	<b>-562</b>
342	-0,460	-0,405	-0,455	<b>-0,440</b>	0,092	0,098	0,092	<b>0,094</b>	<b>-0,535</b>	<b>-630</b>
384	-0,485	-0,430	-0,485	<b>-0,467</b>	0,092	0,098	0,092	<b>0,094</b>	<b>-0,561</b>	<b>-660</b>
412	-0,510	-0,450	-0,505	<b>-0,488</b>	0,088	0,090	0,088	<b>0,089</b>	<b>-0,577</b>	<b>-679</b>
441 (vor Ausbau)	-0,530	-0,470	-0,525	<b>-0,508</b>	0,082	0,086	0,086	<b>0,085</b>	<b>-0,593</b>	<b>-698</b>

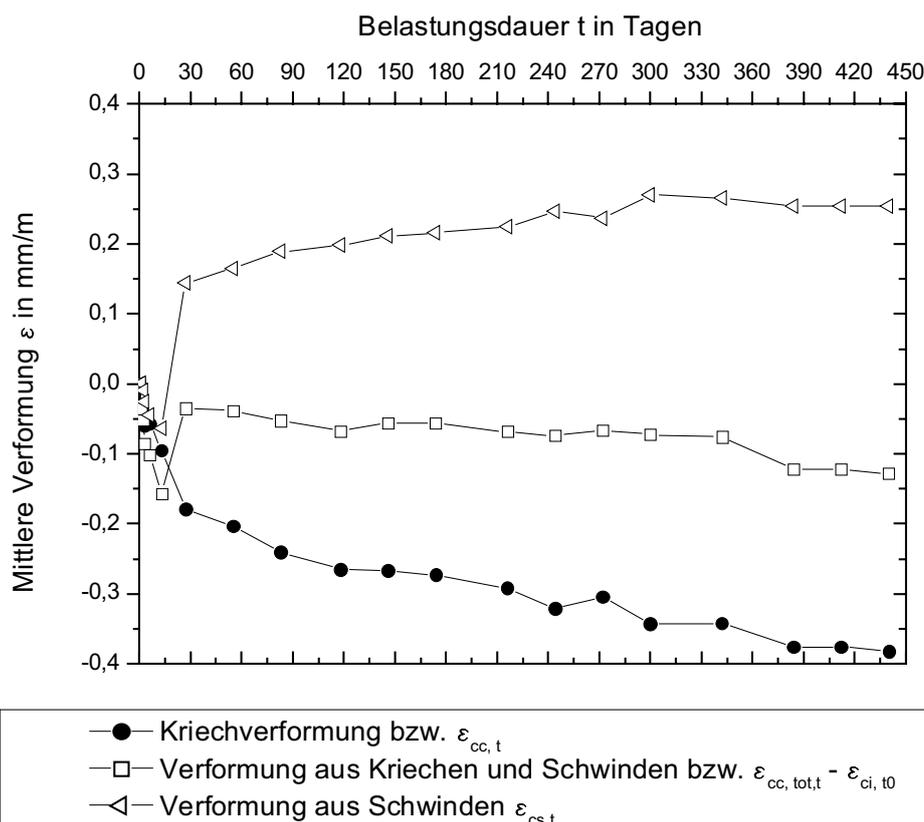
<sup>1)</sup> einige kurzzeitige Unterschreitungen der Luftfeuchte



### Kriech- und Schwindversuche an Steinsorte Nr. 2

Zeit <sup>1)</sup> t in Tagen	Verformung aus Kriechen und Schwinden ohne sofortige Verformung $\epsilon_{ci,t0}$ infolge Belastung $\epsilon_{cc,tot,t} - \epsilon_{ci,t0}$ in mm/m				Verformung der Schwindprobekörper $\epsilon_{cs,t}$ in mm/m				Kriech- verformung $\epsilon_{cc,t}$ in mm/m	Kriech- maß $\epsilon_{cc,t}/\sigma$ $\sigma = 1,50$ in $10^{-6}$ je N/mm <sup>2</sup>
	Probe Nr. (sofortige Verformung $\epsilon_{ci,t0}$ in mm/m)				Probe Nr.				Mittel	Mittel
	28 (-0,815)	29 (-0,825)	30 (-0,710)	Mittel (-0,783)	4	5	6	Mittel		
0	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	0,000	0,000	0,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0
1	-0,030	-0,045	-0,030	<b>-0,035</b>	0,002	0,002	-0,002	<b>0,001</b>	<b>-0,036</b>	-24
2	-0,045	-0,065	-0,045	<b>-0,052</b>	-0,004	-0,008	-0,014	<b>-0,009</b>	<b>-0,043</b>	-29
3	-0,105	-0,090	-0,060	<b>-0,085</b>	-0,024	-0,026	-0,026	<b>-0,025</b>	<b>-0,060</b>	-40
6	-0,090	-0,125	-0,090	<b>-0,102</b>	-0,046	-0,046	-0,042	<b>-0,045</b>	<b>-0,057</b>	-38
13	-0,145	-0,185	-0,140	<b>-0,157</b>	-0,060	-0,066	-0,062	<b>-0,063</b>	<b>-0,094</b>	-63
27	-0,010	-0,090	-0,005	<b>-0,035</b>	0,140	0,140	0,152	<b>0,144</b>	<b>-0,179</b>	-119
55	-0,015	-0,095	-0,005	<b>-0,038</b>	0,166	0,158	0,170	<b>0,165</b>	<b>-0,203</b>	-135
83	-0,025	-0,112	-0,020	<b>-0,052</b>	0,194	0,182	0,191	<b>0,189</b>	<b>-0,241</b>	-161
118	-0,037	-0,130	-0,035	<b>-0,067</b>	0,210	0,180	0,205	<b>0,198</b>	<b>-0,265</b>	-177
146	-0,025	-0,117	-0,025	<b>-0,056</b>	0,222	0,194	0,217	<b>0,211</b>	<b>-0,267</b>	-178
174	-0,030	-0,115	-0,025	<b>-0,057</b>	0,228	0,206	0,213	<b>0,216</b>	<b>-0,273</b>	-182
216	-0,040	-0,125	-0,040	<b>-0,068</b>	0,230	0,208	0,233	<b>0,224</b>	<b>-0,292</b>	-195
244	-0,045	-0,133	-0,045	<b>-0,074</b>	0,256	0,230	0,255	<b>0,247</b>	<b>-0,321</b>	-214
272	-0,035	-0,127	-0,037	<b>-0,066</b>	0,250	0,218	0,243	<b>0,237</b>	<b>-0,304</b>	-202
300	-0,040	-0,130	-0,047	<b>-0,072</b>	0,268	0,254	0,289	<b>0,270</b>	<b>-0,343</b>	-229
342	-0,045	-0,133	-0,050	<b>-0,076</b>	0,264	0,250	0,285	<b>0,266</b>	<b>-0,342</b>	-228
384	-0,090	-0,180	-0,095	<b>-0,122</b>	0,252	0,238	0,273	<b>0,254</b>	<b>-0,376</b>	-251
412	-0,090	-0,180	-0,095	<b>-0,122</b>	0,254	0,238	0,271	<b>0,254</b>	<b>-0,376</b>	-251
440 (vor Ausbau)	-0,095	-0,190	-0,100	<b>-0,128</b>	0,252	0,240	0,269	<b>0,254</b>	<b>-0,382</b>	-255

<sup>1)</sup> einige kurzzeitige Unterschreitungen der Luftfeuchte



### Vergleich der Kriechverformungen und -maße von Steinsorte Nr. 1b und 2

