

Untersuchung und Auswertung zu Prüfverfahren für die Ermittlung der Mörteldruckfestigkeit in Kontakt mit Mauersteinen

T 2826

T 2826

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

1998, ISBN 3-8167-5515-1

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

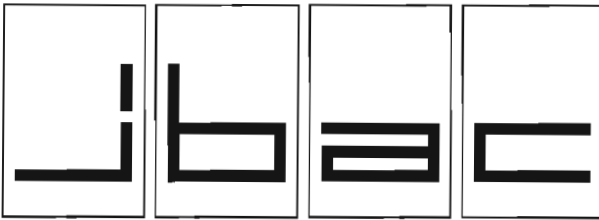
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

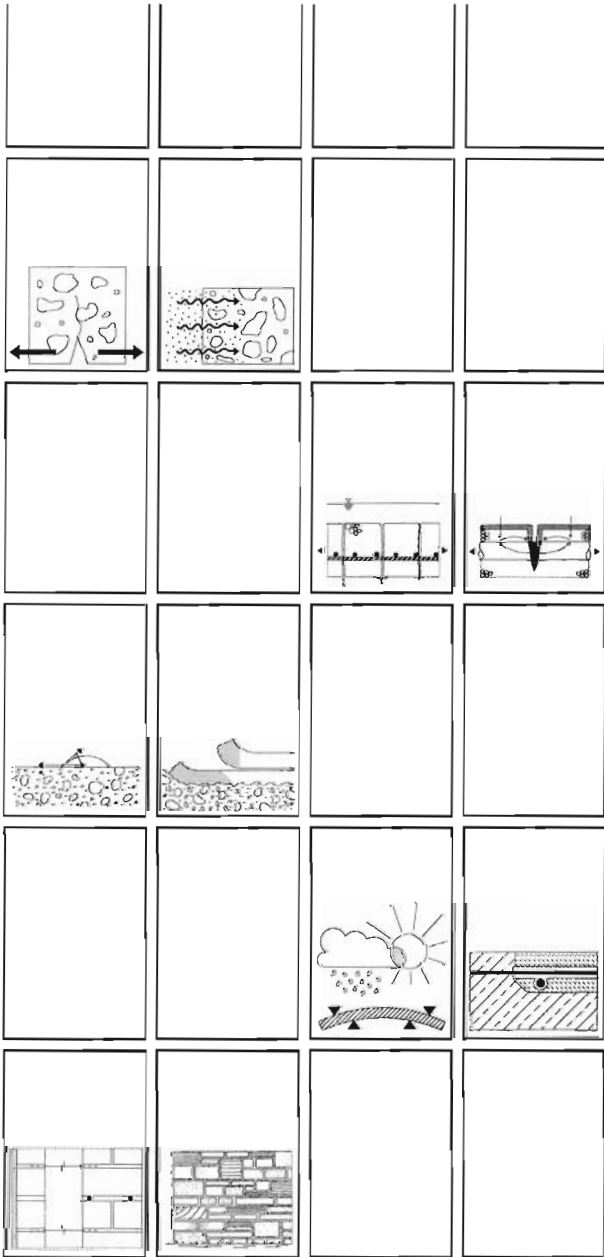
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



Institut für Bauforschung Aachen
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule



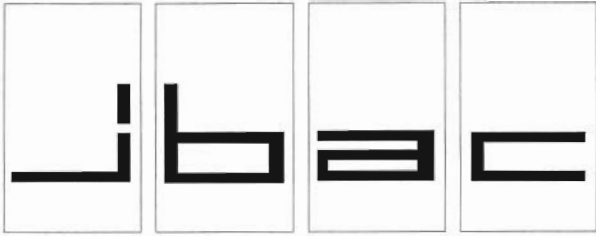
Forschungsbericht

F 589

Untersuchung und Auswertung zu Prüfverfahren für die Ermittlung der Mörtel-
 druckfestigkeit in Kontakt mit Mauer-
 steinen

Baustoff · Bauteil · Bauwerk

Forschung · Entwicklung
Überwachung
Prüfung · Beratung



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Leitung: Professor Dr.-Ing. H. R. Sasse, N. N.

Postfach, D-52056 Aachen
Schinkelstraße 3, D-52062 Aachen

Telefon (02 41) 80-51 00 · Telex 8 32 704 thac d · Telefax (02 41) 88 88-139

CG/Fk

2. Ausfertigung

THEMA

Untersuchung und Auswertung zu Prüfverfahren für die Ermittlung der Mörteldruckfestigkeit in Kontakt mit Mauersteinen

ABSCHLUSSBERICHT

Forschungsbericht Nr.

F 589
vom 17.06.1998

Projektleiter

Dr.-Ing. P. Schubert

Sachbearbeiter

Dipl.-Ing. A. Caballero González

Auftraggeber/
Förderer

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstr. 30

10829 Berlin

Auftragsdatum

26.09.1996

Aktenzeichen

IV 1-5-818/96

Dieser Bericht umfaßt 62 Seiten, davon 38 Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet.

Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung.

Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>		Seite
1	EINFÜHRUNG	1
2	PRÜFVERFAHREN	2
2.1	Bestimmung der Druckfestigkeit nach DIN 18 555-3 /X1/	2
2.2	Bestimmung der Druckfestigkeit nach vorläufiger Richtlinie der DGfM /X3/ bzw. nach /X4/	3
2.3	Bestimmung der Druckfestigkeit nach /1/.....	4
3	EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE MÖRTELDRUCKFESTIGKEIT	6
3.1	Allgemeines.....	6
3.2	Einflußgrößen aus dem Prüfverfahren	6
3.2.1	Allgemeines.....	6
3.2.2	Belastung.....	6
3.2.3	Prüfkörpergeometrie	8
3.3	Einflußgrößen aus der Mörtelzusammensetzung	9
3.3.1	Binde- und Zusatzmittel	9
3.3.2	Sieblinie.....	10
3.4	Einflußgrößen aus der Art der verwendeten Mauersteine.....	12
4	VERSUCHSPLAN	13
5	VERWENDETE BAUSTOFFE.....	15
5.1	Mauermörtel	15
5.2	Mauersteine	16
6	HERSTELLUNG UND LAGERUNG DER PRÜFKÖRPER.....	16
6.1	Frischmörtelherstellung.....	16
6.2	Prüfkörperherstellung und -lagerung	16

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
7	PRÜFUNGEN UND PRÜFERGEBNISSE	17
7.1	Frismörtel	17
7.2	Festmörtel.....	17
8	AUSWERTUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE.....	18
8.1	Einfluß der Abgleichart.....	18
8.2	Einfluß der Sieblinie	20
8.3	Einfluß der Fugendicke	21
8.4	Formfaktoren.....	23
8.5	Prüffaktoren.....	29
8.6	Einfluß des w/z-Wertes auf die Mörteldruckfestigkeit nach /X1/	31
9	ZUSAMMENFASSUNG, AUSBLICK.....	32
10	LITERATUR.....	34
	TABELLEN	A1-A24

1 EINFÜHRUNG

Die Druckfestigkeit von Mauermörtel wird üblicherweise nach DIN 18 555-3 /X1/ bestimmt, dabei erhärtet der Mörtel anfänglich in einer Stahlschalung. Die Erhärtingsbedingungen in /X1/ entsprechen nicht denen im Mauerwerk, wo z. B. durch die angrenzenden Mauersteine dem Mörtel im jungen Alter Wasser entzogen werden kann. Die Mörteldruckfestigkeit eines in der Fuge erhärteten Mörtels (Fugenmörteldruckfestigkeit) kann deshalb erheblich von der Druckfestigkeit nach /X1/ abweichen. Um eine ausreichende Fugenmörteldruckfestigkeit im Mauerwerk zu gewährleisten, fordert daher die DIN 1053-1 /X2/ bei der Eignungsprüfung von Mörteln - neben der Mörteldruckfestigkeit nach /X1/ - den Nachweis der Druckfestigkeit nach /X3/, bei der der Mörtel zwischen Kalksand-Referenzsteinen erhärtet.

Zur rechnerischen Beurteilung der Mauerwerkdruckfestigkeit von bereits ausgeführtem Mauerwerk muß die Fugenmörteldruckfestigkeit bekannt sein. Die beiden in /X3/ beschriebenen Prüfverfahren wurden in erster Linie zur Prüfung der Fugenmörteldruckfestigkeit von zwischen Kalksand-Referenzsteinen vermauerten, unter Laborbedingungen hergestellten und gelagerten Mörtelproben entwickelt. Von beiden Verfahren eignet sich nur das sog. Plattendruckverfahren zur Prüfung der Fugenmörteldruckfestigkeit aus bereits bestehendem Mauerwerk.

Neben den beiden in /X3/ beschriebenen Prüfverfahren zur Bestimmung der Fugenmörteldruckfestigkeit wurde am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) ein weiteres Prüfverfahren entwickelt, welches in /1/ vorgestellt wurde und sich im Rahmen einer Vielzahl von Forschungs- und Materialprüfaufträgen bewährt hat. Das Prüfverfahren in /1/ eignet sich neben der Prüfung von Labormörtelproben auch zur Prüfung von Mauermörtel aus bereits bestehendem Mauerwerk.

Neben den genannten Prüfverfahren gibt es auch andere, z. B. das Bürstendruckverfahren /2/, die im Rahmen der Forschung sinnvoll, jedoch für die Materialprüfung zu aufwendig sind. Aus diesem Grund und weil es in Deutschland bislang kein genormtes Prüfverfahren zur Bestimmung der Fugenmörteldruckfestigkeit gab, sind sowohl die beiden Prüfverfahren aus /X3/ als auch das aus /1/ in den Entwurf zur DIN 18 555-9 /X4/ aufgenommen worden.

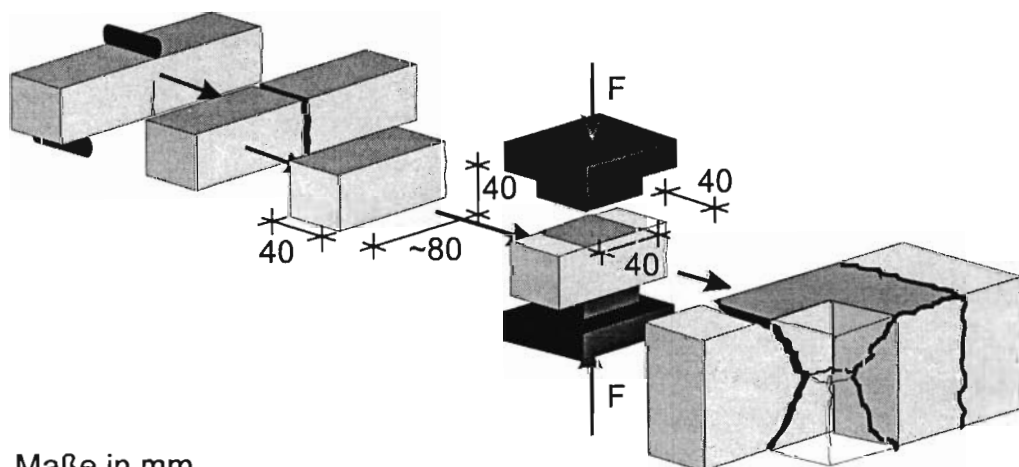
Da sich die Prüfverfahren aus /X3/ und /1/ erheblich von einander unterscheiden, ist es erforderlich, zur Beurteilung der Prüfergebnisse, die jeweiligen Umrechnungsfaktoren (Formfaktoren) zu kennen. Insbesondere hinsichtlich der Einstufung der geprüften Mörtel in Mörtelgruppen nach /X2/ sind auch die jeweiligen Formfaktoren bezüglich der Mörteldruckfestigkeitsprüfung nach DIN 18 555-3 /X1/ von Bedeutung.

Aus einer Reihe von Untersuchungen liegen Prüfergebnisse zur Druckfestigkeit verschiedener Mörtel mit unterschiedlichen Prüfverfahren vor, die jedoch wegen der z. T. unterschiedlichen Randbedingungen nicht oder nur eingeschränkt vergleichbar sind. Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich daher nur bedingt und z. T. nicht ausreichend belegte Formfaktoren herleiten. Eine umfassende, vergleichende Untersuchung der Prüfverfahren aus /X3/ und /1/, auch in Bezug auf die Druckfestigkeit nach /X1/, existierte bisher nicht. Dies war der Anlaß für das vorliegende Forschungsvorhaben, welches freundlicherweise vom Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, gefördert wurde, wobei ein Teil der Untersuchungen mit Werk trockenmörteln vom Bundesverband der Deutschen Mörtelindustrie e. V., Duisburg, finanziell unterstützt wurden.

2 PRÜFVERFAHREN

2.1 Bestimmung der Druckfestigkeit nach DIN 18 555-3 /X1/

Das Prüfverfahren zur Bestimmung der Mörteldruckfestigkeit nach DIN 18 555-3 /X1/ ist schematisch in Bild 1 dargestellt.



Maße in mm

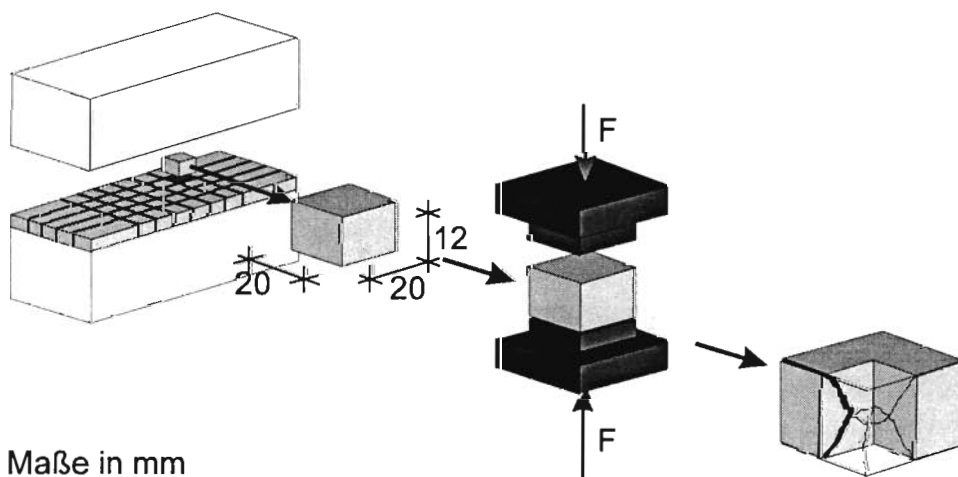
Bild 1: Druckfestigkeitsprüfung nach DIN 18 555-3 /X1/

Da das Prüfverfahren hinreichend bekannt ist, wird es hier nicht näher beschrieben. Anzumerken ist jedoch, daß die Norm bzgl. der Prüfeinrichtung und der Belastungsgeschwindigkeit auf die DIN 1164-7 /X6/ verweist, die zwischenzeitlich durch die DIN EN 196-1 /X7/ ersetzt wurde. Gegenüber /X6/ haben sich die Belastungsfläche (ehemals 40 mm x 62,5 mm, s. a. Bild 1) aber auch die Belastungsgeschwindigkeit (ehemals $1,5 \pm 0,5 \text{ N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})$, jetzt $1,5 \pm 0,1 \text{ N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})$) geändert. Diese beiden Einflüsse wurden hier jedoch nicht untersucht, sie sind Bestandteil der Untersuchungen in /3/.

Die nach /X1/ bestimmten Mörteldruckfestigkeiten werden im folgenden als Normdruckfestigkeiten $\beta_{D,N}$ bezeichnet.

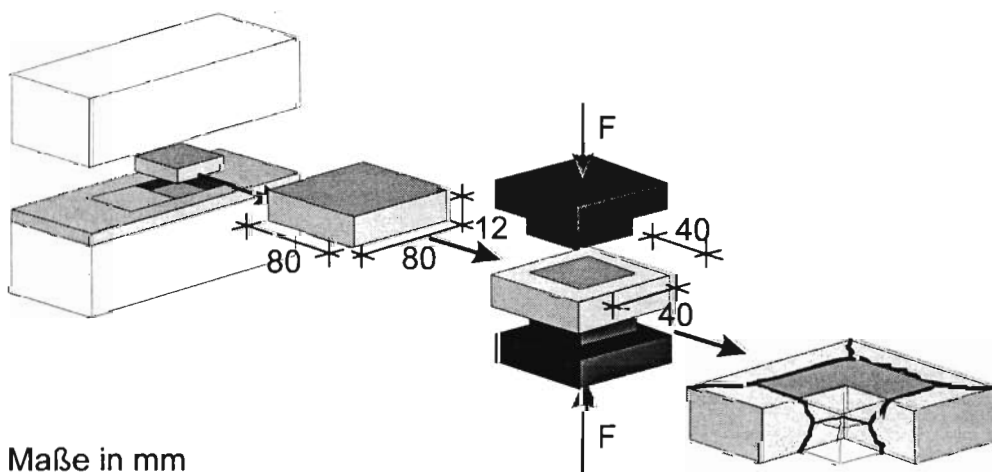
2.2 Bestimmung der Druckfestigkeit nach vorläufiger Richtlinie der DGfM /X3/ bzw. nach /X4/

Die vorläufige Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörtel /X3/ beschreibt zwei Prüfverfahren, mit denen die Anforderungen an die Druckfestigkeit von Mauermörteln in der Lagerfuge nachgewiesen werden können. Die Prüfverfahren sind in den Bildern 2 und 3 schematisch dargestellt. Die Herstellung, Lagerung und Prüfung der Prüfkörper ist detailliert in /X3/, /X4/ beschrieben, im folgenden werden daher nur die wesentlichen Inhalte wiedergegeben.



Maße in mm

Bild 2: Druckfestigkeitsprüfung nach /X3/ (Würfeldruckverfahren)



Maße in mm

Bild 3: Druckfestigkeitsprüfung nach /X3/ (Plattendruckverfahren)

Bei beiden Verfahren wird der Mauermörtel zwischen zwei Kalksand-Referenzsteinen vermauert. Für jedes Prüfverfahren sind mindestens 3 Probekörper mit einer Fugendicke von rd. 12 mm herzustellen. Zur Entnahme der erhärteten Mörtelscheibe aus dem Zweisteinkörper wird bei der Herstellung zwischen Mauermörtel und Mauersteinen ein Filtervlies eingelegt.

Bei dem Würfeldruckverfahren wird der Frischmörtel in eine Gitterform eingebracht, deren Raster den Prüfkörpermaßen (20 mm · 20 mm · 12 mm) entspricht. Im Alter von 28 d werden die Prüfkörper aus der Gitterform gelöst, sofern erforderlich z. B. mit Gips abgeglichen, und geprüft. Je Probekörper sind mindestens 10 Prüfkörper zu prüfen. Die Belastung der Prüfkörper erfolgt vollflächig und die Belastungsgeschwindigkeit ist so zu wählen, daß die Höchstlast innerhalb von 30 bis 90 s erreicht wird.

Für das Plattendruckverfahren werden nach /X3/ aus den Probekörpern je 2 Prüfkörper durch trockenes Sägen der erhärteten Mörtelscheiben gewonnen. Die Prüfkörpermaße betragen 80 mm · 80 mm · 12 mm. Die Prüfkörper sind vor der Prüfung ggf. z. B. mit Gips abzugleichen. Bei der Prüfung sind die Prüfkörper teilflächig (Belastungsfläche 40 mm · 40 mm) so zu belasten, daß die Höchstlast innerhalb von 30 bis 90 s erreicht wird.

Die Druckfestigkeit wird sowohl beim Würfel- als auch beim Plattendruckverfahren als Höchstlast bezogen auf die Belastungsfläche angegeben.

Im Entwurf der DIN 18 555-9 /X4/ wird das Würfeldruckverfahren als Verfahren I und das Plattendruckverfahren als Verfahren II bezeichnet. In Anlehnung daran werden im folgenden die mit dem Würfeldruckverfahren bestimmten Mörteldruckfestigkeiten mit $\beta_{D,I}$, (Erhärtung des Mörtels in der Schalung, zur Ermittlung der Formfaktoren gegenüber der Mörteldruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ nach /X1/) und die Fugenmörteldruckfestigkeiten mit $\beta_{F,I}$ (Erhärtung des Mörtels zwischen Mauersteinen) bezeichnet. Bei dem Plattendruckverfahren ist die Bezeichnung analog, $\beta_{D,II}$ bzw. $\beta_{F,II}$.

2.3 Bestimmung der Druckfestigkeit nach /1/

Das Verfahren nach /1/ wurde zur Beurteilung der Fugenmörteldruckfestigkeit aus bereits bestehendem Mauerwerk entwickelt. Aus diesem Grund werden in /1/ keine Angaben zur Probekörperherstellung gemacht. Der Entwurf der DIN 18 555-9 /X4/ sieht eine Probe- bzw. Prüfkörperherstellung analog dem Verfahren II vor. Das Prüfverfahren ist im Bild 4 schematisch dargestellt.

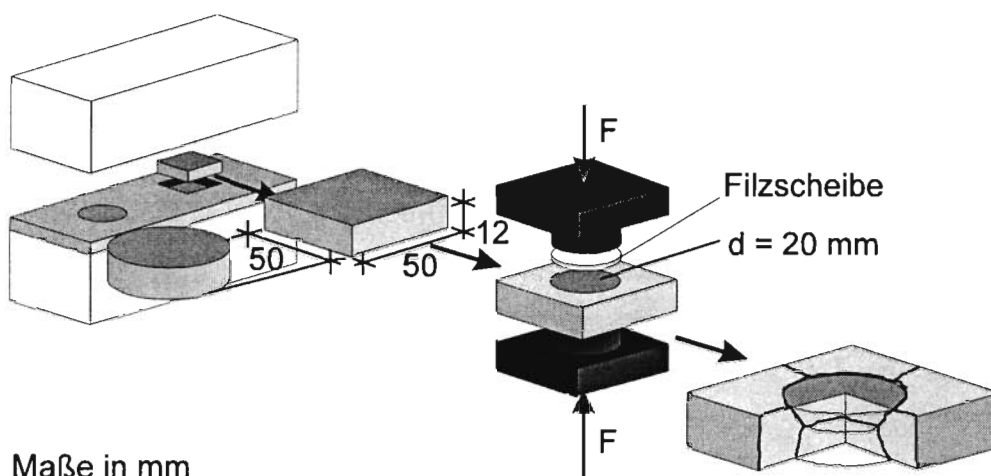


Bild 4: Druckfestigkeitsprüfung nach /1/

Die Prüfkörper werden aus Mauerwerkproben durch trockenes Sägen gewonnen. Dabei werden die anhaftenden Mauersteine durch einen, den Fugenmörtel tangierenden Sägeschnitt im Mauerstein abgetrennt, so daß der Fugenmörtel frei von Mauersteinresten erhalten wird. Anschließend werden aus dem mittleren Bereich der Fugenmörtelscheiben rd. 50 mm · 50 mm · 12 mm große Prüfkörper trocken gesägt. Alternativ können auch kreisrunde Prüfkörper \varnothing 50 mm aus den Fugenmörtelscheiben trocken gebohrt werden.

Die Prüfkörper werden anschließend zwischen zwei Filzscheiben F5 0,48-DIN 61 200 (\varnothing 20 mm) mittig in die Prüfeinrichtung eingebaut. Die Belastung erfolgt teilflächig über zwei Prüfstempel \varnothing 20 mm. Die Belastungsgeschwindigkeit ist so zu wählen, daß die Höchstlast nach rund 60 s erreicht wird.

Die Druckfestigkeit ergibt sich, wie bei den Verfahren nach /X3/, als Quotient aus Höchstlast und Belastungsfläche.

Im Entwurf der DIN 18 555-9 /X4/ wird das Prüfverfahren nach /1/ als Verfahren III bezeichnet, entsprechend werden im folgenden die mit diesem Verfahren bestimmten Druckfestigkeiten mit $\beta_{D,III}$ bzw. $\beta_{F,III}$ bezeichnet.

3 EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE MÖRTELDRUCKFESTIGKEIT

3.1 Allgemeines

In /4/ wurden aufgrund einer umfangreichen Literatursichtung die Einflußgrößen auf die Prüfergebnisse der Mörteldruckfestigkeit dargestellt. Die Einflußgrößen lassen sich in drei Gruppen einteilen

- Prüfverfahren (Lasteinleitung, Belastungsart, etc.),
- Mauermörtel (i. w. Zusammensetzung),
- Mauersteine.

Im folgenden werden diese Einflußgrößen kurz dargestellt.

3.2 Einflußgrößen aus dem Prüfverfahren

3.2.1 Allgemeines

Wird mit einem beliebigen Prüfverfahren eine Druckfestigkeit ermittelt, so wird diese Festigkeit durch folgende Prüffaktoren beeinflusst:

- Art der Lasteinleitung (z. B. starre oder schlaffe Druckplatten),
- Belastungsart (teil- oder vollflächig),
- Belastungsgeschwindigkeit,
- Form des Prüfkörpers (Prüfkörpermaße, Schlankheit) und
- Gestalt des Prüfkörpers (Würfel, Zylinder oder Prisma).

Die letzten beiden Faktoren können unter dem Begriff Prüfkörpergeometrie zusammengefaßt werden.

3.2.2 Belastung

Die Art der Lasteinleitung wirkt sich wie in Bild 5 dargestellt auf die Verformung der Prüfkörper aus.

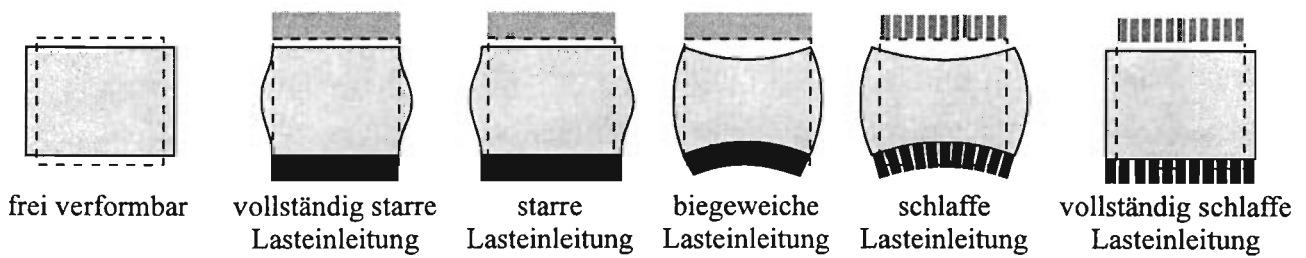


Bild 5: Einfluß der Lasteinleitung auf die Prüfkörperverformungen nach /5/;
 gestrichelte Linie: unverformter, unbelasteter Probekörper,
 graue Fläche: verformter, belasteter Probekörper

Je nach Prüfverfahren werden durch die Reibung zwischen den Lasteinleitungsplatten und dem Prüfkörper die Querverformungen des Prüfkörpers im Lasteinleitungsbereich unterschiedlich stark behindert. Durch die Querverformungsbehinderung werden Zwangsspannungen im Prüfkörper hervorgerufen, die das Bruchbild mitbestimmen. Im Bezug auf die Druckfestigkeit von frei verformbaren Prüfkörpern ist der mit Querverformungsbehinderung ermittelte Prüfwert meist höher. Man spricht daher bei der Druckfestigkeit von frei verformbaren Prüfkörpern auch von der „wahren“ einaxialen Druckfestigkeit /2, 5/.

Auch bei einer teilflächigen Belastung werden die Querverformungen des belasteten Teilbereichs des Prüfkörpers durch den unbelasteten Bereich behindert. Hierdurch werden Druck- und vor allem Zugspannungen im unbelasteten Bereich erzeugt, die meist für das Prüfkörperversagen maßgebend sind (vgl. Bild 6).

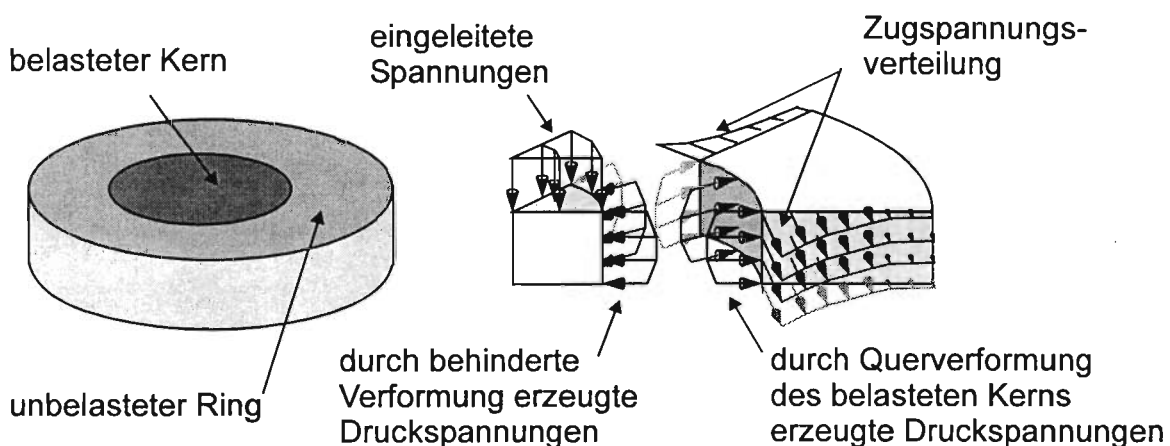


Bild 6: Teilflächenbelastung;
 Aufteilung eines teilflächig belasteten Zylinders in einen voll- und einen unbelasteten Anteil und verursachte Spannungen nach /6/

Bei der Teilflächenbelastung haben weiterhin sowohl der Belastungs- als auch der Prüfkörperquerschnitt einen Einfluß auf die Prüfgröße, da sich hieraus Zwangbruchstellen ergeben können, so daß der Bruch nicht an der schwächsten Stelle des Prüfkörpers, sondern an geometrisch vorgegebenen Stellen eintritt (vgl. Bild 7).

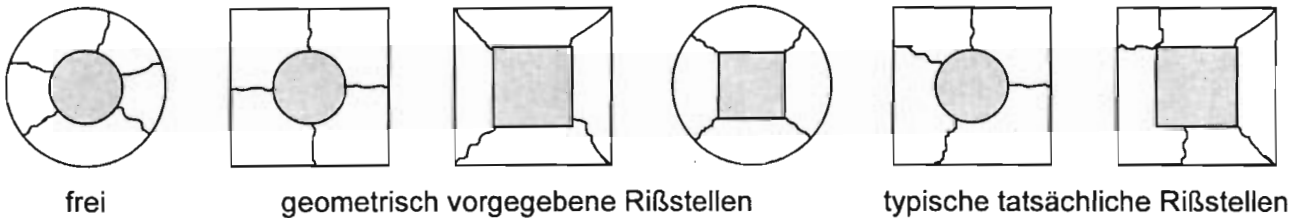


Bild 7: Rißstellen bei verschiedenen teilflächig belasteten Prüfkörperformen /4/

Neben der Belastungsart wirkt sich bekanntlich auch die Belastungsgeschwindigkeit auf den Prüfwert aus. Je größer die Belastungsgeschwindigkeit ist, desto größer ist der ermittelte Prüfwert.

3.2.3 Prüfkörpergeometrie

Einen z. T. wesentlichen Einfluß auf die Druckfestigkeit hat die Prüfkörpergeometrie. In /5/ wird zwischen Gestalt (zylindrisch, prismatisch) und Form (z. B. Würfel und Platte als Sonderformen des Prismas) eines Prüfkörpers unterschieden.

Bei einem Prüfkörper mit vorgegebener Gestalt (Zylinder oder Prisma) und vorgegebenem Belastungsquerschnitt sinkt die Druckfestigkeit mit zunehmender Schlankheit (Höhe) bis zu einem konstanten Wert ab /7, 5/. Bei ausreichender Schlankheit wird in der Prüfkörpermitte ein nahezu einaxialer Spannungszustand erreicht.

Bei gleicher Form (z. B. Würfel) verringert sich die Druckfestigkeit - bei konstantem Verhältnis Belastungsquerschnitt zu Prüfkörperhöhe - mit zunehmender Größe. Dies wird bei Beton u. a. auf die bei kleineren Prüfkörpern geringere Wahrscheinlichkeit von Fehlstellen, den unterschiedlichen Einfluß der Endflächenreibung (Querdehnungsbehinderung) sowie Unterschiede bei der Herstellung und Verdichtung der Prüfkörper zurückgeführt /7, 5/.

In Bezug auf Mauermörtel haben nach /8/ Fehlstellen aus Herstellung, Gewinnung und Handhabung der Prüfkörper bei kleinen Prüfkörpern eine wesentliche größere Festigkeitsminderung zur Folge als bei größeren Prüfkörpern. Dies ist u. a. an den größeren Streuungen der an kleinen Prüfkörpern ermittelten Druckfestigkeiten zu erkennen.

3.3 Einflußgrößen aus der Mörtelzusammensetzung

3.3.1 Binde- und Zusatzmittel

Die Druckfestigkeit eines Mauermörtels wird vor allem durch dessen Zusammensetzung beeinflusst. Den größten, festigkeitsbildenden Einfluß im Mörtel haben die hydraulischen Bindemittel, i. d. R. ist dies Zement. Im Zusammenhang mit dem üblichen Prüfalter von 28 d ist nicht nur der Zementgehalt, sondern auch die Zementart maßgebend für die Druckfestigkeit.

Der Zementgehalt wirkt sich sowohl auf die Normdruckfestigkeit nach /X1/ $\beta_{D,N}$ als auch auf die Fugenmörteldruckfestigkeit aus. Wegen des Mauersteineinflusses muß jedoch die Festigkeitsänderung durch einen veränderten Zementgehalt (bei gleichem w/z-Wert) bei der Fugenmörteldruckfestigkeit nicht die gleiche sein wie bei der Normdruckfestigkeit.

In /9/ wurde der Einfluß des w/z-Wertes bzw. des Wasser-Luft-Zement-Wertes ((w+L)/z-Wert) sowohl auf die Fugenmörteldruckfestigkeit als auch auf die Druckfestigkeit nach /X1/ $\beta_{D,N}$ untersucht, wegen des geringen Stichprobenumfanges konnte dort aber kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden. In /4/ wurden zusätzlich zu den Versuchsergebnissen aus /9/ auch die Ergebnisse aus /10/ ausgewertet, dabei zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen $\beta_{D,N}$ und dem w/z-Wert, ähnlich wie er für Beton bekannt ist.

Die Mahlfeinheit des Zementes beeinflusst zum einen die Reaktionsgeschwindigkeit, d. h. den Erhärtungsverlauf und zum anderen auch das Wasserrückhaltevermögen des Mauermörtels. Während zu erwarten ist, daß sich der Einfluß auf den Erhärtungsverlauf sowohl bei der Normdruckfestigkeit nach /X1/ $\beta_{D,N}$ als auch bei der Fugenmörteldruckfestigkeit zeigt, wirkt sich das veränderte Wasserrückhaltevermögen lediglich bei der Fugenmörteldruckfestigkeit aus.

Neben Zement wird Mauermörteln häufig Weißkalkhydrat Ca(OH)_2 zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit (der Mörtel wird geschmeidiger) zugegeben. Die verbesserte Verarbeitbarkeit wird auf die Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens und die bessere Umschließung der Zuschlagkörner mit Bindemittel zurückgeführt. Erst durch Karbonatisierung des Ca(OH)_2 zu CaCO_3 wirkt sich die Weißkalkhydratzugabe auch festigkeitssteigernd aus. Da die Prüfung der Mörteldruckfestigkeit nach /X1/ und /X3/ im Alter von 28 d erfolgt und durch die Lagerungsbedingungen der Mauermörtel in dieser Zeit nicht oder nur in den Randbereichen karbonatisieren kann, ist der Festigkeitsbeitrag durch CaCO_3 gering. Die Zugabe von Weißkalkhydrat beeinflusst daher über das erhöhte Wasserrückhaltevermögen vor allem die Fugenmörteldruckfestigkeit.

Neben dem Zement und dem Weißkalkhydrat als Bindemittel, werden Werkmörteln häufig noch verschiedene Zusatzmittel (z. B. Methylcellulose, Luftporenbildner, Verzögerer) zugegeben.

Der Einfluß von Methylcellulose (MC) - MC wird zur Erhöhung der Verarbeitbarkeit und des Wasserrückhaltevermögens zugegeben - wurde eingehend in /11/ untersucht und soll hier nicht weiter behandelt werden, zumal die Zusammensetzung der verwendeten Werk-trockenmörtel nicht bekannt ist. Luftporenbildner werden zur Verringerung der Wärmeleit-fähigkeit und der Verarbeitbarkeit zugegeben, sie wirken sich - wie auch im Beton - festig-keitsmindernd aus.

Durch Verzögerer - die i. d. R. nur Werkfrischmörteln zugegeben werden - wird die Verar-beitbarkeitszeit verlängert, bei richtiger Dosierung haben sie keinen wesentlichen Einfluß auf die Normdruckfestigkeit nach /X1/. Dem Fugenmörtel kann aber durch eine verzögerte Bindemittelreaktion über einen längeren Zeitraum durch die Mauersteine Wasser entzogen werden, wodurch die Fugenmörtel-druckfestigkeit beeinflusst werden kann.

3.3.2 Sieblinie

Für Normalmörtel werden Sande mit einem Größtkorn bis zu 4 mm verwendet. Dabei kann die Zusammensetzung von Natursanden (Sieblinie), regional bedingt, sehr stark variieren. Der Einfluß der Sieblinie auf die Druckfestigkeit ist dabei abhängig von den Erhärtungsbe-dingungen des Mauermörtels (in Schalung oder zwischen Mauersteinen). Der Einfluß der Sieblinie auf die Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ wurde ausführlich in /10/ untersucht.

In /10/ wurden die Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen zum Einfluß der Sieblinie auf die Normdruckfestigkeit nach /X1/ $\beta_{D,N}$ vorgestellt. Nach diesen Ergebnissen scheint $\beta_{D,N}$ mit zunehmenden Anteil an Feinstbestandteilen im Sand ($d \leq 0,063$ mm; Sieblinien A-B-C-D in Bild 8) abzunehmen. Unter Bezug darauf ist die Begrenzung des Anteils an ab-schlämmbaren Bestandteilen in der DIN 1053-1 /X2/ auf 8 M.-% (ohne Nachweis durch Eignungsprüfung) begründet. Unterschiede in der Korngrößenverteilung im Bereich $> 0,063$ mm (Sieblinien B-E-F, in Bild 8) scheinen nach /10/ die Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ nur geringfügig zu beeinflussen.

Die Vorgabe bei der Mörtelherstellung für die Untersuchungen in /10/ war ein Ausbreitmaß von 190 ± 5 mm, weshalb die untersuchten Mörtel variierende Wasser-Bindemittel-Ver-hältnisse aufwiesen. Trägt man die erzielten Druckfestigkeiten über den w/z-Wert der Mör-tel auf (vgl. Bild 9) so wird deutlich, daß der wesentliche Einflußparameter bei den Untersu-

chungen in /10/ das Wasser-Bindemittel-Verhältnis ist. Die Sieblinie bzw. der Anteil an Feinstbestandteilen beeinflussen die Mörteldruckfestigkeit lediglich indirekt über die Wasseranspruchszahl. Dies erklärt auch, weshalb in /10/ mit der Wasseranspruchszahl der verwendeten Sande bessere Korrelationen erzielt wurden als mit der Körnungsziffer.

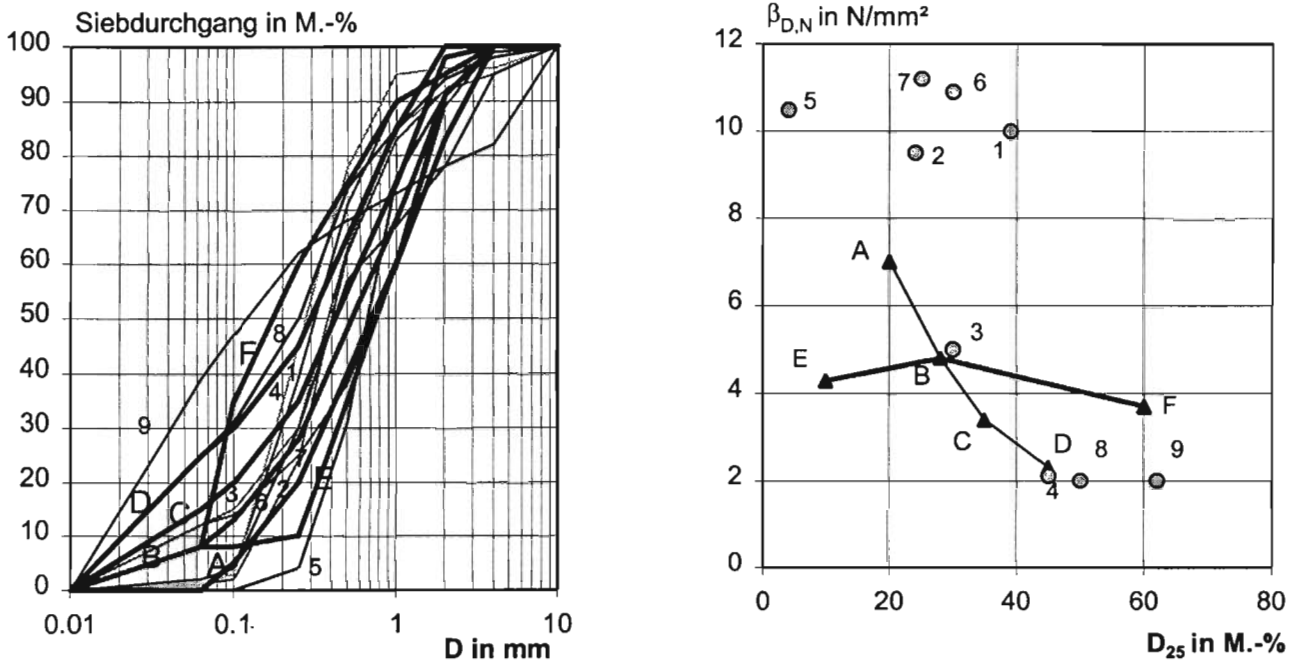


Bild 8: In /10/ verwendete Sieblinien und damit ermittelte Normdruckfestigkeit nach /X1/ $\beta_{D,N}$ in Abhängigkeit des Kornanteils $\leq 0,25$ mm D₂₅
Mörtelzusammensetzung: 1 : 1 : 6 RT (Zement : Weißkalkhydrat : Sand)

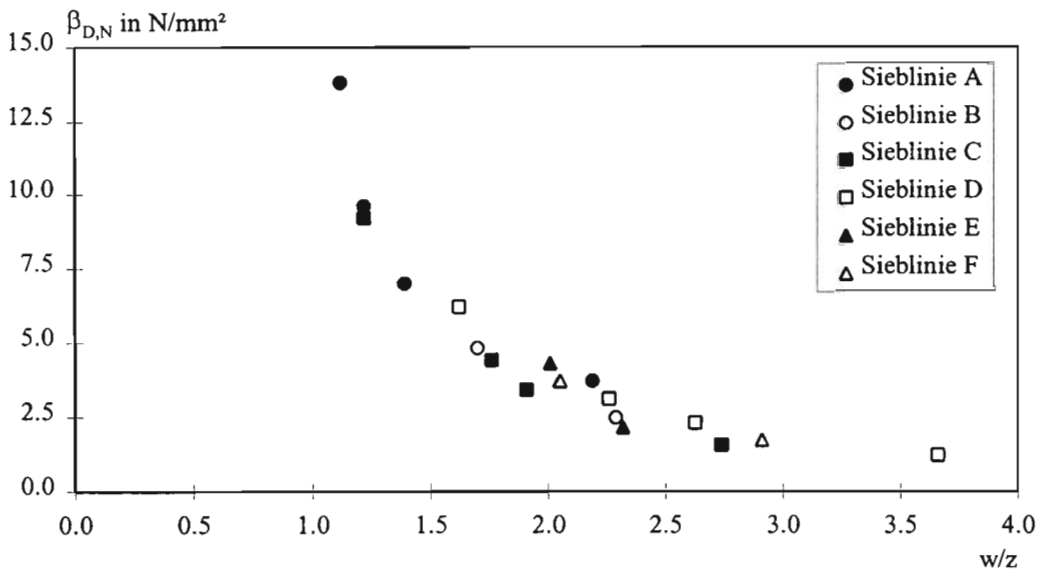


Bild 9: Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit nach /X1/ $\beta_{D,N}$ und w/z-Wert; (Versuchsergebnisse aus /10/)

3.4 Einflußgrößen aus der Art der verwendeten Mauersteine

Neben der Mörtelzusammensetzung an sich hat auch der Kontakt des Mauersteins mit dem Fugenmörtel einen z. T. erheblichen Einfluß auf die Fugenmörteldruckfestigkeit. Da der Mauermörtel frisch zwischen den Mauersteinen vermauert wird, wird die Erhärtung von Beginn an durch die komplexen Wechselwirkungen der Porenräume von Mauermörtel und -stein geprägt.

Während ein feuchter Mauerstein häufig nur einen geringen Einfluß auf die Mörtelerhärtung hat, wird dem Frischmörtel in der Anfangsphase der Erhärtung durch einen trockenen Mauerstein über dessen Kapillarporen Wasser entzogen, wodurch sich das Wasser-Bindemittel-Verhältnis ändert. Maßgebende Einflußgrößen hierbei sind die Wasseraufnahme und die Sauggeschwindigkeit der Mauersteine, wobei diese durch die Porenstruktur (Porengröße und -verteilung) des Kapillarporenraums - auch als „Kapillarität“ bezeichnet - der Mauersteine bestimmt werden. Während beispielsweise ein trockener Hochlochziegel schnell, aber verhältnismäßig wenig Wasser aus dem Fugenmörtel entziehen kann (schnelles Füllen der großen Poren, frühes Abreißen des Kapillarzugs), saugt ein trockener Kalksandstein aus dem Fugenmörtel langsam, aber auf Dauer verhältnismäßig viel Wasser.

Der Wasserentzug aus dem Fugenmörtel durch die Mauersteine und die dadurch bedingte Absenkung des Wasser-Bindemittel-Verhältnisses kann eine höhere Druckfestigkeit und eine feinere Porenstruktur des Fugenmörtels im Vergleich zu einem nach /X1/ erhärteten Mörtel zur Folge haben. Aufgrund der feinen Porenstruktur des Fugenmörtels kann zusätzlich ein Nachbehandlungseffekt durch Rücktransport von Wasser aus den Mauersteinen in den Fugenmörtel eintreten.

Je nach Mauerstein kann dem Fugenmörtel jedoch soviel Wasser entzogen werden, daß eine vollständige Hydratation nicht mehr möglich ist (der Mörtel „verdurstet“ bzw. „verbrennt“). Aufgrund der unvollständigen Hydratation ist die Porenstruktur des Fugenmörtels, insbesondere in der Kontaktzone zum Mauerstein, im Vergleich zu einem vollständig hydratisierten Fugenmörtel gröber, wodurch ein kapillarer Rücktransport von Wasser aus dem Mauerstein (Nachbehandlungseffekt) meist nicht möglich ist.

Grundsätzlich scheint ein Zusammenhang zwischen Fugenmörteldruckfestigkeit und dem Wassersaugvermögen der verwendeten Steine zu bestehen. Aufgrund der komplexen Wechselwirkung zwischen Fugenmörtel und Mauersteinen ist dieser Zusammenhang jedoch noch weitgehend ungeklärt und bedarf weiterer Forschung.

4 VERSUCHSPLAN

Es wurden die Prüfverfahren nach /X1/, /X3/ und /1/ mit den vorgegebenen Prüfkörpermaßen, Belastungsgeometrien und -geschwindigkeiten untersucht. Als Versuchsparameter wurden die

- Erhärtungsbedingungen (in Stahlschalungen oder zwischen Mauersteinen),
- Abgleichtart (Gips oder Filzscheiben),
- Sieblinie (fein, mittel oder grob) und
- Fugendicke (12 mm, 6 mm bzw. 2 · 6 mm)

variiert. Der Einfluß der Mauersteine auf die Fugenmörteldruckfestigkeit wurde im Rahmen dieses kleinen Forschungsvorhabens lediglich an einer Mauersteinart (Kalksand-Referenzsteine) untersucht.

Die verwendeten Sieblinien sind im Bild B10 (Sieblinien A bis C) dargestellt. Die Sieblinie B wurde dabei als Vergleichssieblinie gewählt. Zusätzlich zu diesen drei Sieblinien wurde in den Vorversuchen, aber auch bei Nachversuchen mit den Labormörteln NM III und NM IV (vgl. Abschn. 5.1), die Sieblinie E verwendet, die aus den im ibac vorhandenen Zuschlägen in Anlehnung an die Vorgaben für den CEN-Normsand der DIN EN 196-1 /X7/ zusammengestellt wurde.

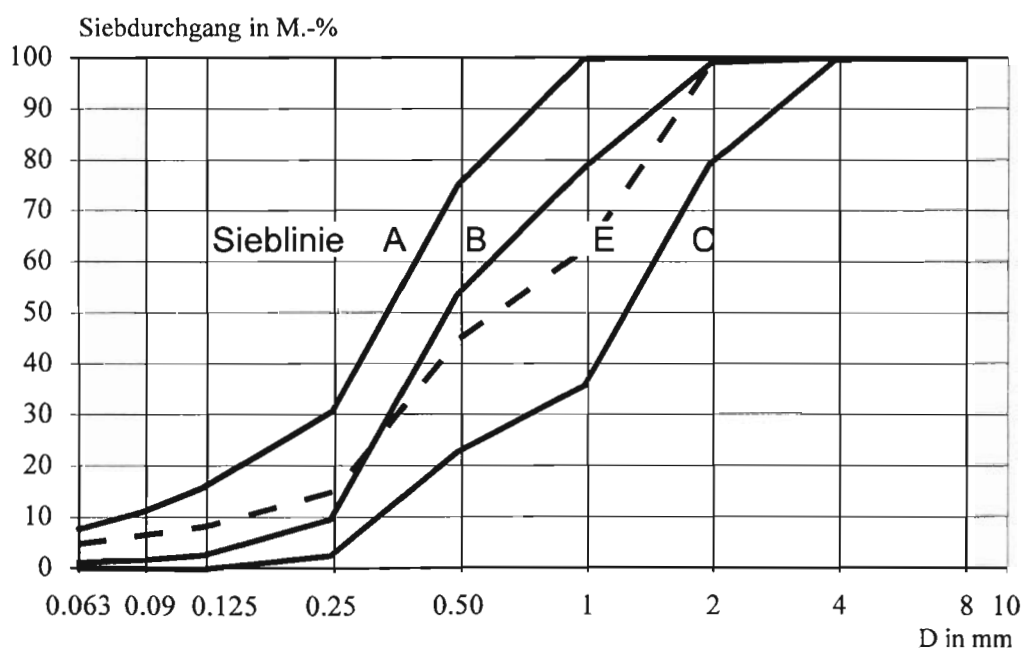


Bild 10: Verwendete Sieblinien

Die Fugendicken von 6 mm bzw. 2 · 6 mm wurden in Hinblick auf die Anwendbarkeit der Prüfverfahren nach /X3/ und /1/ für Mittelbettmörtel in das Versuchsprogramm aufgenommen.

Die Tabelle A1 gibt einen Überblick über die durchgeführten Versuchsserien. Die Systematik, die für die Bezeichnung der Versuchsserien gewählt wurde, wird in Bild 11 an einem Beispiel veranschaulicht.

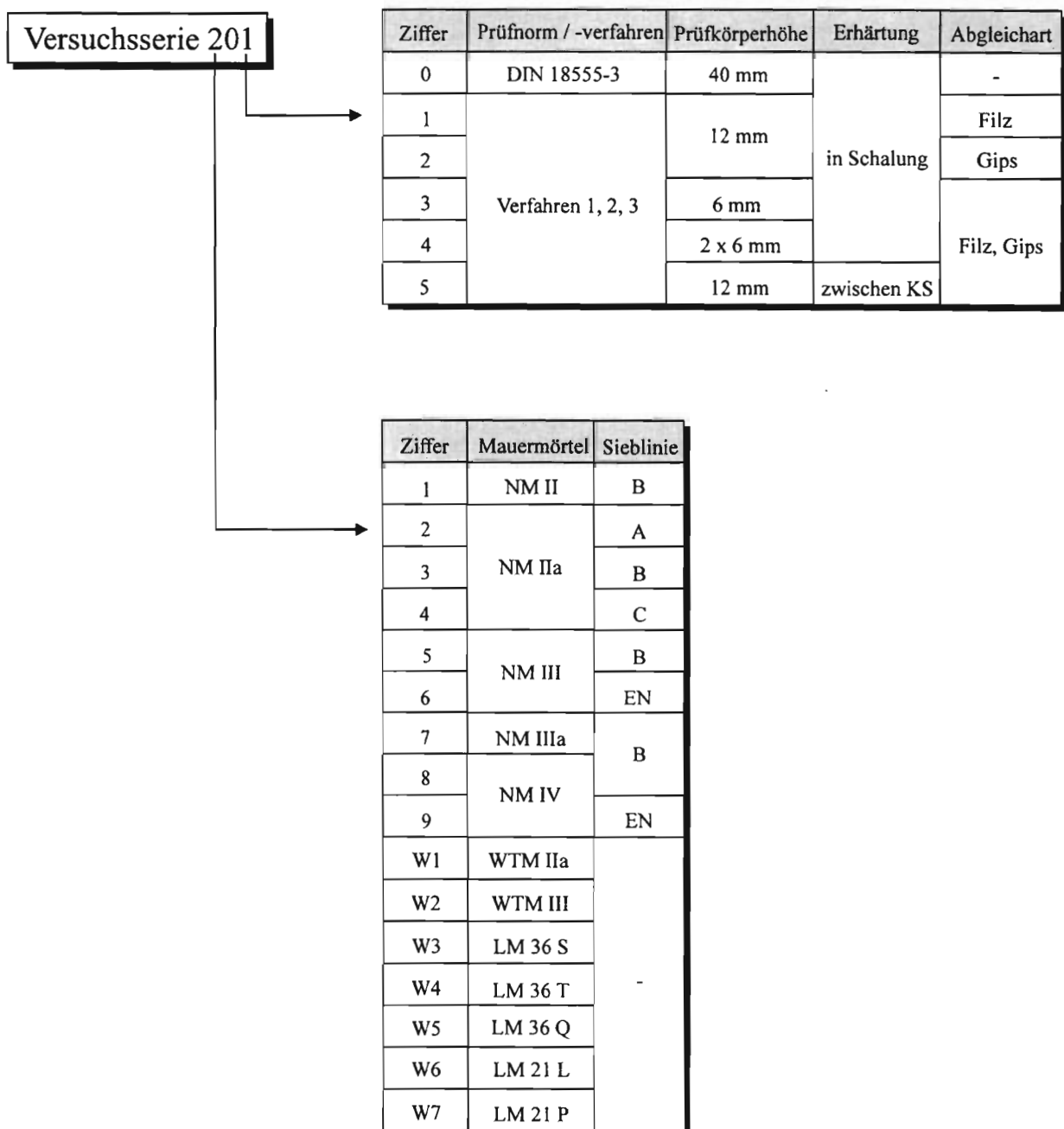


Bild 11: Gewählte Systematik bei der Bezeichnung der Versuchsserien (s. a. Tabelle A1)

5 VERWENDETE BAUSTOFFE

5.1 Mauermörtel

Für die Untersuchungen wurden sowohl Labormörtel (Normalmörtel) als auch Werk trockenmörtel (Leicht- und Normalmörtel) verwendet.

Bei den Labormörteln handelte es sich ausschließlich um Normalmörtel ohne Zusatzmittel. Die Zielvorgabe für die Mischungsverhältnisse der Labormörtel war die Druckfestigkeit nach /X1/ entsprechend den Mörtelgruppen II bis IIIa der DIN 1053 -1 /X2/. Hierzu wurden zuvor Tastversuche mit der Sieblinie E durchgeführt. Da in /X2/ für die Mörtelgruppen kein oberer Grenzwert der Druckfestigkeit festgelegt ist, wurde zusätzlich ein Mörtel mit deutlich höherer Druckfestigkeit als NM IIIa entworfen (bezeichnet als NM IV), um einen großen Bereich an Druckfestigkeiten mit den Untersuchungen abzudecken und die Ergebnisse für den NM IIIa nach oben hin abzusichern.

Die Zusammensetzung (Mischungsverhältnis) der verwendeten Labormörtel ist in der Tabelle A2 angegeben. Die verwendeten Sieblinien sind im Bild 10 dargestellt.

Als Werk trockenmörtel wurden jeweils ein Normalmörtel NM IIa und NM III, zwei Leichtmörtel LM 36 sowie zwei Leichtmörtel LM 21 verwendet. Die Auswahl der Normalmörtel sollte möglichst stellvertretend für deren jeweilige Mörtelgruppe erfolgen. Die Auswahl der Leichtmörtel fand unter dem gleichen Gesichtspunkt statt, jedoch sollten gleichzeitig auch die üblichen Zuschlagarten berücksichtigt werden. Aufgrund dieser Kriterien wurden die Trockenmörtel nach Rücksprache mit dem Bundesverband der Deutschen Mörtelindustrie e.V. (BDM), Duisburg, ausgewählt. Sie sind mit denen im weiteren verwendeten Bezeichnungen in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Verwendete Werk trockenmörtel
Mörtelart, Hersteller, Werk, Zuschlag, Bezeichnung der Mörtel

Mörtel	Hersteller	Herstellwerk	Zuschlag	Bezeichnung
1	2	3	4	5
LM 36	Sakret	Dortmund	Blähton	LM 36 S
	Tubag	Kruft	Naturbims	LM 36 T
	quick-mix	k. A.	Blähton	LM 36 Q
LM 21	Liaver	k. A.	Blähglas	LM 21 L
	Perlite	Dortmund	Perlite	LM 21 P
NM IIa	Heidelberger Mauermörtel	Dresden	Sand	WTM IIa
NM III	Sakret	Dortmund		WTM III

k. A.: keine Angaben

5.2 Mauersteine

Als Mauersteine wurden Kalksand-Referenzsteine nach DIN 1053-1 /X2/, Tabelle A.2, aus dem Werk Amberg verwendet. Die Eigenschaften der verwendeten Kalksand-Referenzsteine wurden - abgesehen von dem Feuchtegehalt beim Vermauern - nicht bestimmt. Der Feuchtegehalt der Mauersteine beim Vermauern lag zwischen 3,7 und 4,6 M.-%.

6 HERSTELLUNG UND LAGERUNG DER PRÜFKÖRPER

6.1 Frischmörtelherstellung

Für die Herstellung der Labormörtel wurde der Zuschlag in einen 20 l Zwangsmischer gegeben, zunächst 1 min und anschließend weitere 2 min zusammen mit dem Bindemittel trocken vorgemischt. Bei laufendem Mischer wurde das Anmachwasser dem Trockengemisch zugegeben und der Mörtel 3 min gemischt.

Die Werk trockenmörtel wurden in einem Freifallmischer (Leichtmörtel) bzw. 40 l Zwangsmischer (Normalmörtel) gemischt. Die Wasserzugabe und die Mischzeit entsprachen den Herstellerangaben.

6.2 Prüfkörperherstellung und -lagerung

Zur Bestimmung der Normdruckfestigkeit wurden Prüfkörper nach DIN 18 555-3 /X1/ hergestellt, die Verdichtung des Frischmörtels in der Schalung erfolgte nach dem Schockverfahren. Die Prüfkörperlagerung bis zum Alter von 7 d entsprach bei allen untersuchten Mauermörteln den Vorgaben der DIN 18 555-3 /X1/. Die anschließende Lagerung der Labormörtel NM IIIa und NM IV sowie die der Werk trockenmörtel entsprach ebenfalls den Bedingungen in /X1/. Abweichend von /X1/ wurden die Labormörtel NM II, NM IIa und NM III im Alter von 7 d in einem Exsikkator bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte gelagert, um hierdurch die Karbonatisierung des Weißkalkhydrats $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zu Calciumkarbonat CaCO_3 und somit eine Beeinflussung der Prüfergebnisse durch unterschiedlichen Karbonatisierungsfortschritt weitgehend auszuschließen.

Neben den Prüfkörpern nach /X1/ wurden für die Untersuchungen auch Prüfkörper mit den Maßen

- 20 mm · 20 mm · Prüfkörperhöhe (Würfeldruckverfahren nach /X3/, Verfahren I),
- 80 mm · 80 mm · Prüfkörperhöhe (Plattendruckverfahren nach /X3/, Verfahren II) sowie
- 50 mm · 50 mm · Prüfkörperhöhe (Prüfverfahren nach /1/, Verfahren III)

in gesondert angefertigten Schalungen hergestellt. Die Prüfkörperhöhe betrug rd. 12 mm bzw. rd. 6 mm, entsprechend der üblichen Lagerfugendicke bzw. der Lagerfugendicke von Mittelbettmörtel. Der Frischmörtel wurde einlagig in die Schalung eingefüllt und nach dem Schockverfahren in /X1/ verdichtet. Die Lagerung der Prüfkörper entsprach der der Prüfkörper nach /X1/, mit den gleichen, zuvor beschriebenen Abweichungen.

Zusätzlich zu den in Stahlschalung hergestellten Prüfkörpern wurden, sowohl für die Prüfungen nach /X3/ als auch nach /1/, Zweisteinkörper aus Kalksand-Referenzsteinen entsprechend /X3/ hergestellt und gelagert. Die Prüfkörper für das Verfahren I wurden aus dem in die Lagerfuge eingelegten Gitter entnommen. Die Prüfkörper für die Verfahren II und III wurden aus den erhärteten Mörtelscheiben trocken gesägt.

Alle Prüfkörper wurden entweder vor der Prüfung dünn mit Gips oder bei der Prüfung mit zwei Filzscheiben F5 0,48-DIN 61 200 abgeglichen, wobei die Größe der Filzscheiben der Belastungsfläche entsprach.

7 PRÜFUNGEN UND PRÜFERGEBNISSE

7.1 Frischmörtel

An den verwendeten Mauermörteln (Werktrocken- und Labormörtel) wurden die Frischmörtelrohddichte, das Ausbreitmaß und der Luftgehalt nach DIN 18 555-2 /X8/ bestimmt. Darüber hinaus wurde bei allen Mauermörteln das Wasserrückhaltevermögen nach DIN 18 555-6 /X9/ ermittelt. Die Tabelle A3 enthält die Ergebnisse der Frischmörteluntersuchungen.

7.2 Festmörtel

An den Festmörteln wurden die Rohddichte lufttrocken (zum Zeitpunkt der Druckfestigkeitsprüfung), die Trockenrohddichte sowie die Druckfestigkeit bestimmt. Da insgesamt rd. 1000 Druckfestigkeitswerte ermittelt wurden, mußte aufgrund dieser großen Datenmenge

auf eine Darstellung der Einzelwerte in dem vorliegenden Bericht verzichtet werden. In den Tabellen A4.1 bis A4.16 sind statistische Kennwerte der Versuchsergebnisse für die jeweiligen Versuchsserien aufgeführt. Die Einzelwerte liegen als Dateien im ibac vor und werden für weiterführende Untersuchungen bzw. Auswertungen auf Anfrage zur Verfügung gestellt.

8 AUSWERTUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

8.1 Einfluß der Abgleichart

Der Einfluß der Abgleichart ist nur sinnvoll über einen Vergleich der Versuchsergebnisse zu ermitteln, die an in gleicher Weise erhärteten Mörteln bestimmt wurden. Man kann erwarten, daß der Einfluß der Abgleichart - wenn überhaupt - festigkeitsabhängig ist und nicht durch die Erhärtungsbedingungen (in Stahlschalung oder zwischen Mauersteinen) beeinflusst wird. Aus diesem Grunde wurde der Einfluß der Abgleichart lediglich an in Stahlschalung erhärteten Prüfkörpern untersucht. Die im folgenden beschriebenen Zusammenhänge sind jedoch auf zwischen Mauersteinen erhärtete Mörtelprüfkörper übertragbar.

Das Bild 12 zeigt den Einfluß der Abgleichart auf die nach den 3 Prüfverfahren ermittelten Fugenmörteldruckfestigkeitswerte. Das Prüfverfahren zur Ermittlung der Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}/X1/$ wurde in diesem Zusammenhang nicht untersucht, da bei diesen Prüfkörpern kein Abgleich vorgesehen ist.

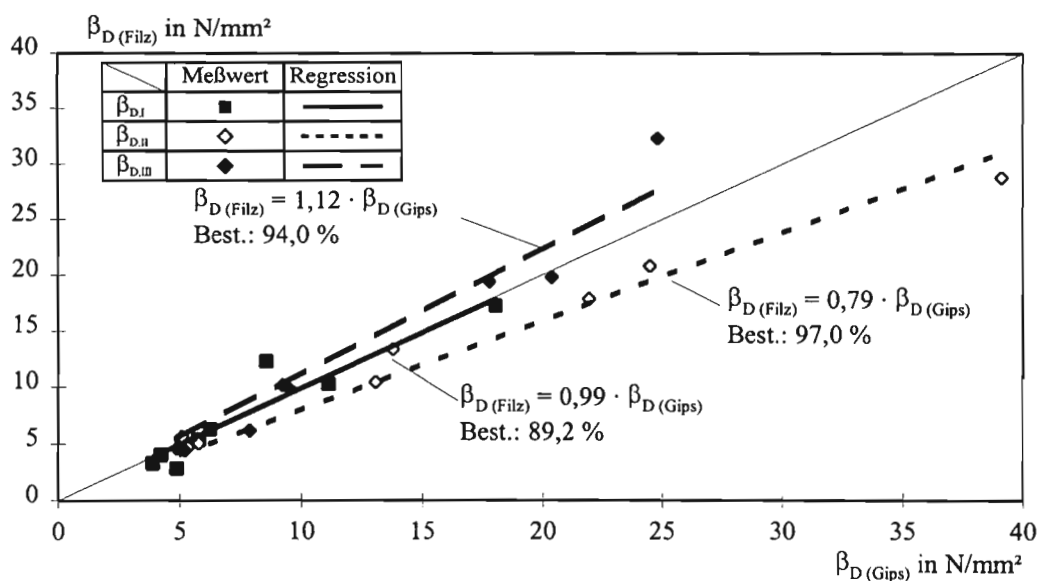


Bild 12: Einfluß der Abgleichart (Prüfergebnisse von Normal- und Leichtmörteln)

Wie aus Bild 12 zu ersehen, wirkt sich die Abgleichart (Gips oder Filz) in Abhängigkeit vom Prüfverfahren unterschiedlich stark und uneinheitlich auf das Prüfergebnis aus. Während bei dem Verfahren I die Abgleichart nahezu keinen Einfluß auf die Prüfergebnisse hat, werden gegenüber mit Gips abgeglichenen Prüfkörpern bei dem Verfahren II rd. 20 % niedrigere und bei dem Verfahren III rd. 10 % höhere Prüfergebnisse mit Filz erzielt.

In Bild 12 sind sowohl Ergebnisse von Normalmörteln (Labormörtel mit der Sieblinie B und Werk trockenmörtel WTM III) als auch von zwei Leichtmörteln (LM 21 P und LM 36 S) dargestellt. Eine getrennte Auswertung für die Normalmörtel und die Leichtmörtel ergab keinen wesentlichen Unterschied. Da hier jedoch lediglich zwei Leichtmörtel punktuell untersucht wurden, kann daraus nicht grundsätzlich geschlossen werden, daß die Abgleichart die Prüfergebnisse bei Normal- und Leichtmörteln im gleichen Maße beeinflußt.

In der Tabelle 2 sind zum Vergleich die Verhältniswerte $\beta_{D,(Gips)}/\beta_{D,(Filz)}$ als Mittelwerte für das jeweilige Prüfverfahren angegeben. Auch danach ist der Einfluß der Leichtmörtel auf die Auswertergebnisse gering.

Tabelle 2: Einfluß der Abgleichart auf die Mörteldruckfestigkeit
Mörtel, Anzahl der Wertepaare n, Mittlerer Verhältniswert \bar{x} , Kleinstwert min x, Größt wert max x, Variationskoeffizient v

Verhältnis	Mörtel	n	\bar{x}	min x	max x	v
						%
1	2	3	4	5	6	7
$\beta_{D,I(Filz)} / \beta_{D,I(Gips)}$	NM + LM	8	0,95	0,59	1,43	24,4
$\beta_{D,II(Filz)} / \beta_{D,II(Gips)}$			0,88	0,74	1,10	12,8
$\beta_{D,III(Filz)} / \beta_{D,III(Gips)}$			1,01	0,79	1,30	15,9
$\beta_{D,I(Filz)} / \beta_{D,I(Gips)}$	NM	6	0,97	0,59	1,43	27,8
$\beta_{D,II(Filz)} / \beta_{D,II(Gips)}$			0,88	0,74	1,10	15,2
$\beta_{D,III(Filz)} / \beta_{D,III(Gips)}$			1,06	0,85	1,30	14,2

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen in Bild 12 und Tabelle 2 ist darin begründet, daß die linearen Nullpunktregressionen wesentlich stärker durch Meßwertstreuungen und vor allem durch Anhäufungen von Meßwerten beeinflußt werden. Einen wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse in Bild 12 scheinen die Ergebnisse des NM IV zu haben. Berücksichtigt man diese Ergebnisse nicht, so ergeben sich folgende Zusammenhänge (in Bild 12 nicht dargestellt):

$$\beta_{D,I(\text{Filz})} = 1,02 \cdot \beta_{D,I(\text{Gips})} \text{ (Best.: 75,9 \%)}$$

$$\beta_{D,II(\text{Filz})} = 0,85 \cdot \beta_{D,II(\text{Gips})} \text{ (Best.: 97,8 \%)}$$

$$\beta_{D,I(\text{Filz})} = 1,01 \cdot \beta_{D,I(\text{Gips})} \text{ (Best.: 97,2 \%)}.$$

In diesem Fall ist die Übereinstimmung zwischen den Regressionsparametern und den Verhältniswerten der Tabelle 2 bei den Verfahren II und III besser. Bei dem Verfahren I vergrößerte sich der Unterschied zwischen den Regressionsparametern und dem in der Tabelle 2 angegebenen Verhältniswert, was auf die starke Anhäufung der Meßwerte im unteren Drittel des Druckfestigkeitsbereichs von $\beta_{D,I(\text{Gips})}$ zurückgeführt werden kann.

Da ausschließlich Meßwerte verglichen wurden, die an dem gleichen Festmörtel - d. h. gleicher Frischmörtel, der unter gleichen Lagerungsbedingungen erhärtet - ermittelt wurden, darf angenommen werden, daß deren Verhältniswerte normalverteilt sind. Demnach wären für die Umrechnung des Einflusses der Abgleichart auf die Prüfergebnisse die Verhältniswerte der Tabelle 2 zutreffender. Eine statistische Prüfung auf Normalverteilung der Verhältniswerte konnte wegen der geringen Anzahl an Wertepaaren jedoch nicht durchgeführt werden.

8.2 Einfluß der Sieblinie

Der Einfluß der Sieblinie wurde punktuell an dem laborgemischten Normalmörtel NM IIa untersucht und zwar an in der Stahlschalung erhärteten Prüfkörpern.

Im Gegensatz zu den Versuchen in /10/ wurde das Wasser-Bindemittel-Verhältnis bei der Mörtelherstellung konstant gehalten (vgl. Tabelle A2). Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigte keinen Zusammenhang zwischen der Sieblinie und der Mörteldruckfestigkeit (vgl. Bild 13).

Wesentliche Unterschiede ergaben sich dagegen beim Vergleich der Versuchsergebnisse der Sieblinien B und E (NM III und NM IV). Diese Unterschiede lassen sich vermutlich nicht auf die Sieblinie zurückführen - zumal sich beide Sieblinien nur gering unterscheiden - sondern sind viel mehr durch den verwendeten Zement bedingt. Für die Normalmörtel NM III und IV, die nachträglich mit der Sieblinie E hergestellt wurden, wurde zwar der gleiche Zement jedoch aus einer anderen Charge (spätere Lieferung) verwendet.

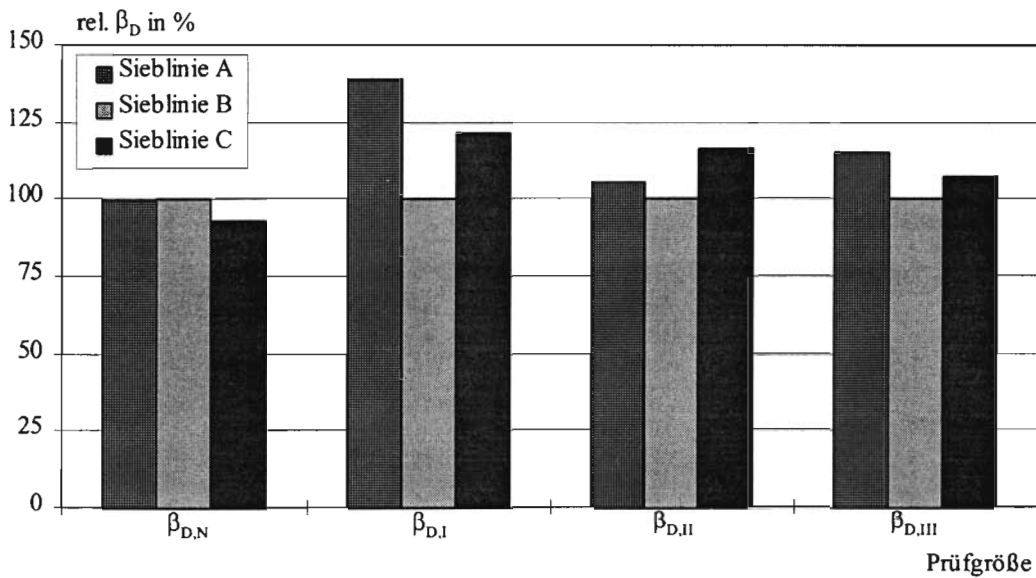


Bild 13: Bezogene Druckfestigkeit β_D für die verschiedenen Prüfverfahren; Normalmörtel NM IIa

8.3 Einfluß der Fugendicke

In einem ersten Bearbeitungsschritt wurde anhand einiger weniger Versuchsserien überprüft, inwiefern es möglich ist, die Mörteldruckfestigkeit an 6 mm dicken Prüfkörpern zutreffend zu bestimmen. Hierzu wurden 6 mm dicke Probekörper in Stahlschalungen hergestellt. Im Alter von 28 d wurden dann sowohl 6 mm als auch rd. $2 \cdot 6$ mm dicke Prüfkörper geprüft. Die rd. $2 \cdot 6$ mm dicken Prüfkörper wurden durch Verbinden jeweils zweier 6 mm dicken Probekörper mit einer dünnen Gipschicht hergestellt.

Der Einfluß der Fugendicke auf das Prüfergebnis wurde für die Verfahren I bis III an jeweils 4 Mörteln (je 2 Normal- und Leichtmörtel) untersucht. Die Prüfkörper wurden auf die verfahrensübliche Weise - d. h. für die Verfahren I und II mit Gips und für das Verfahren III mit Filz - abgeglichen. Als Vergleich dienten die Versuchsergebnisse der in Stahlschalung hergestellten 12 mm dicken Prüfkörper (ohne Gipszwischen-schicht).

Wie das Bild 14 zeigt, waren die Druckfestigkeitswerte für die 6 mm dicken Prüfkörper ($\beta_{D,6}$), erwartungsgemäß größer als die für die 12 mm dicken Prüfkörper ($\beta_{D,12}$). Der Verhältniswert $\beta_{D,6}/\beta_{D,12}$ lag im Mittel bei rd. 1,5.

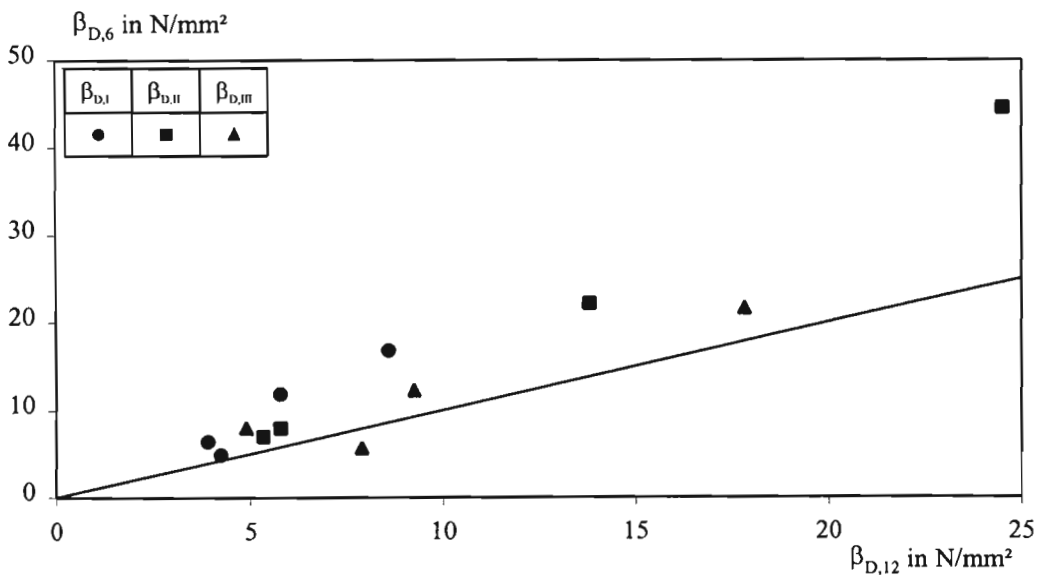


Bild 14: Druckfestigkeit von 6 mm dicken Prüfkörpern $\beta_{D,6}$ im Vergleich zur Druckfestigkeit von 12 mm dicken Prüfkörpern $\beta_{D,12}$

Die größere Druckfestigkeit der 6 mm dicken Prüfkörper hängt mit der geringeren Prüfkörperschlankheit zusammen. Auch ein Einfluß des Verhältnisses von Größtkorndurchmesser zu Prüfkörperhöhe (-dicke) auf die Prüfergebnisse wäre denkbar, da bei sehr niedrigen Prüfkörpern die Kornfestigkeit die Versuchsergebnisse wesentlich bestimmen kann. Es ist daher üblich, eine Prüfkörperhöhe von mindestens dem Doppelten des Größtkorndurchmessers zu wählen, um diesen Einfluß auszuschließen.

Bei den hier untersuchten Normalmörteln war der Größtkorndurchmesser des Zuschlags 2 mm (Sieblinie B), das Größtkorn der verwendeten Leichtmörtel wurde nicht bestimmt. Wegen des kleinen Größtkorns der Sieblinie B und da bei Leichtmörteln meist die Korn- und nicht die Matrixfestigkeit ausschlaggebend für die Mörteldruckfestigkeit ist, kann angenommen werden, daß die Unterschiede zwischen $\beta_{D,6}$ und $\beta_{D,12}$ überwiegend von der veränderten Prüfkörperschlankheit herrühren.

Die an 2 · 6 mm dicken Prüfkörpern ermittelten Versuchsergebnisse sind in Bild 15 bezogen auf die Versuchsergebnisse der 12 mm dicken Prüfkörper dargestellt. Man erkennt, daß bis zu einer Druckfestigkeit von rd. 9 N/mm² (Bezug: 12 mm dicke Prüfkörper) die Prüfergebnisse nahezu unabhängig von der Prüfkörperart sind. Erst bei größeren Festigkeiten scheint die „Gipsfuge“ bei den 2 · 6 mm dicken Prüfkörpern einen Einfluß auf die Prüfergebnisse zu haben. Es ist denkbar, daß durch die - im Vergleich zum Mörtel - verformungsfähigere „Gipsfuge“ zusätzliche Zugspannungen im Mörtel erzeugt werden (analog Mauerwerk mit Leichtmörtel), die zu einem früheren Prüfkörperversagen führen. Um den Einfluß der Gipschicht jedoch belegen zu können, sind weitere Versuche, insbesondere im Druckfestigkeitsbereich zwischen 10 N/mm² und 20 N/mm² (Bezug: 12 mm dicke Prüfkörper) erforderlich.

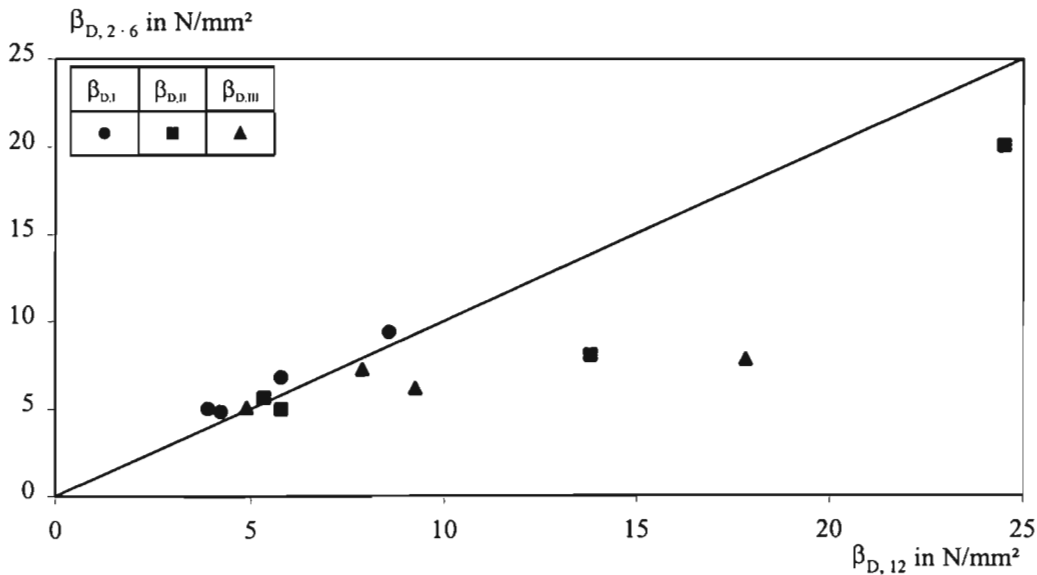


Bild 15: Druckfestigkeit von 2 · 6 mm dicken Prüfkörpern $\beta_{D,2 \cdot 6}$ im Vergleich zur Druckfestigkeit von 12 mm dicken Prüfkörpern $\beta_{D,12}$

8.4 Formfaktoren

Unter dem Begriff Formfaktor wird der Verhältniswert zweier Prüfergebnisse verstanden, die mit zwei verschiedenen Prüfverfahren am gleichen Festmörtel (gleiche Zusammensetzung und Erhärtungsbedingungen) bestimmt wurden.

Zur Ermittlung der Formfaktoren wurden nur die Versuchsergebnisse der in der Stahlschalung erhärteten Mörtel verglichen. Wie im Abschnitt 8.1 beschrieben, hat die Abgleichart einen Einfluß auf die Prüfergebnisse der Mörteldruckfestigkeit. Daher muß auch bei der Herleitung der Formfaktoren dieser Einfluß berücksichtigt werden.

Der Zusammenhang zwischen Mörteldruckfestigkeit nach den Verfahren I bis III /X3, 1/ und der Normdruckfestigkeit nach /X1/ ist zur Einstufung untersuchter Mörtel in Mörtelgruppen entsprechend DIN 1053-1 /X2/ unter Bezug auf die Fugenmörteldruckfestigkeit von besonderer Wichtigkeit. In den Bildern 16 und 17 ist jeweils der Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit und Fugenmörteldruckfestigkeit für die drei Prüfverfahren (getrennt nach Art des Prüfkörperabgleiches) dargestellt.

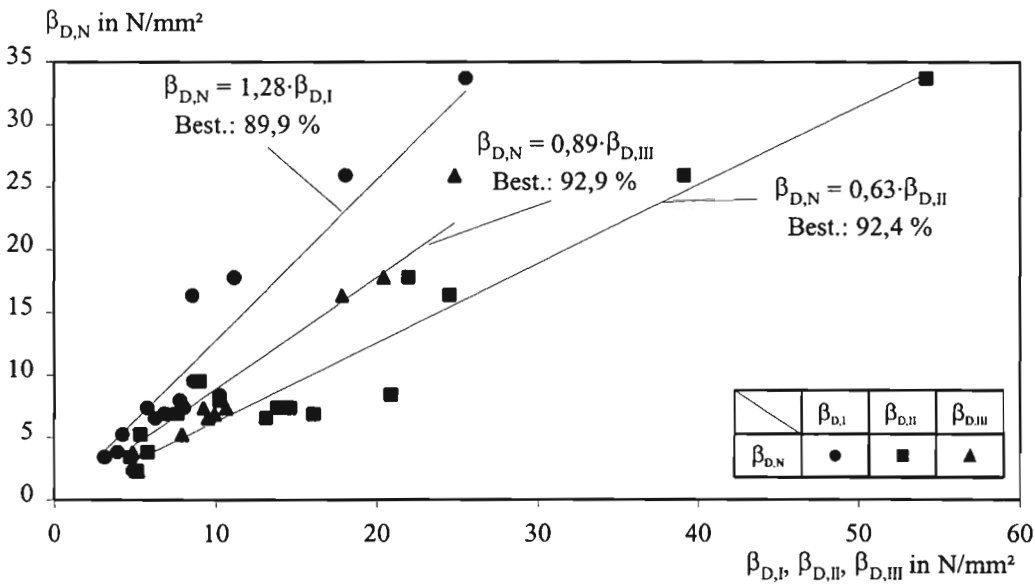


Bild 16: Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ und Mörteldruckfestigkeit nach den Verfahren I bis III $\beta_{D,I}, \beta_{D,II}, \beta_{D,III}$ (Prüfkörper mit Gips abgeglichen)

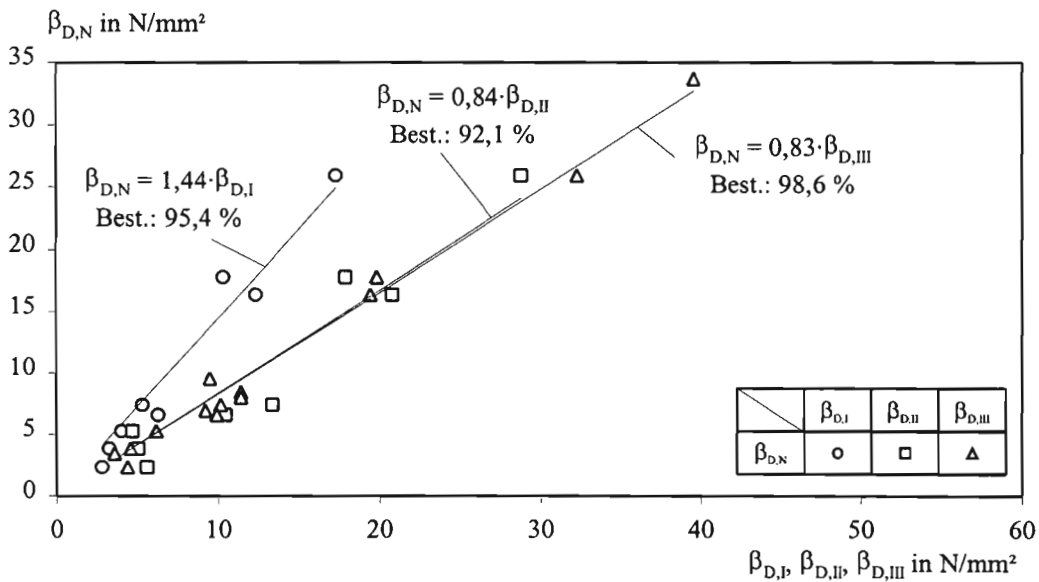


Bild 17: Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ und Mörteldruckfestigkeit nach den Verfahren I bis III $\beta_{D,I}, \beta_{D,II}, \beta_{D,III}$ (Prüfkörper mit Filz abgeglichen)

In den Bildern 16 und 17 sind sowohl die Prüfergebnisse der Normalmörtel als auch der Leichtmörtel zusammengefaßt ausgewertet. Eine lediglich auf die Prüfergebnisse der Normalmörtel bezogene Auswertung, erbrachte annähernd gleiche Regressionswerte (Unterschied < 1 %).

In der Tabelle 3 sind zum Vergleich die Verhältniswerte für das jeweilige Prüfverfahren angegeben. Dabei zeigen sich zwischen den Auswertungen mit Normal- und Leichtmörtel in Bezug auf die Auswertungen bei denen nur die Normalmörtelergebnisse berücksichtigt wurden deutlichere Unterschiede (rd. 10 %) als bei der Regressionsauswertung. Berücksichtigt man die Versuchsstreuungen so ist dieser Einfluß aber dennoch gering.

Tabelle 3: Verhältniswerte (Formfaktoren) zwischen Normdruckfestigkeit und Mörteldruckfestigkeit nach den Verfahren I bis III
Mörtel, Anzahl der Wertepaare n, Mittlerer Verhältniswert \bar{x} , Kleinstwert min x, Größtmax x, Variationskoeffizient v

Verhältnis	Mörtel	n	\bar{x}	min x	max x	v
						%
1	2	3	4	5	6	7
$\beta_{D,N} / \beta_{D,I}(\text{Gips})$	NM + LM	16	1,14	0,47	1,91	28,9
$\beta_{D,N} / \beta_{D,II}(\text{Gips})$			0,67	0,40	1,06	29,7
$\beta_{D,N} / \beta_{D,III}(\text{Gips})$		10	0,76	0,44	1,04	21,6
$\beta_{D,N} / \beta_{D,I}(\text{Gips})$	NM	11	1,16	0,47	1,91	34,0
$\beta_{D,N} / \beta_{D,II}(\text{Gips})$			0,58	0,40	0,81	23,9
$\beta_{D,N} / \beta_{D,III}(\text{Gips})$		8	0,77	0,44	1,04	23,7
$\beta_{D,N} / \beta_{D,I}(\text{Filz})$	NM + LM	8	1,28	0,80	1,73	22,0
$\beta_{D,N} / \beta_{D,II}(\text{Filz})$			0,77	0,41	1,11	30,4
$\beta_{D,N} / \beta_{D,III}(\text{Filz})$		14	0,80	0,52	1,01	15,6
$\beta_{D,N} / \beta_{D,I}(\text{Filz})$	NM	6	1,30	0,80	1,73	25,4
$\beta_{D,N} / \beta_{D,II}(\text{Filz})$			0,71	0,41	1,00	31,0
$\beta_{D,N} / \beta_{D,III}(\text{Filz})$		9	0,75	0,52	0,90	15,4

Ein Vergleich der Verhältniswerte der Tabelle 3, Zeilen 1 bis 3 und 7 bis 9, mit den Regressionswerten in den Bildern 16 und 17 zeigt deutliche Unterschiede, die auf die bereits im Abschnitt 8.1 genannten Gründe zurückzuführen sind. Mit einer statistischen Prüfung der Verhältniswerte in Tabelle 3 (jeweils die zusammengefaßte Auswertung der Versuchsergebnisse von Normal- und Leichtmörtel, bei $n \geq 9$) konnte nur z. T. eine Normalverteilung nachgewiesen werden. Es muß jedoch einschränkend angemerkt werden, daß die Anzahl der Werte für eine statistische Prüfung gering ist und somit das Auswertergebnis mit Unsicherheiten behaftet ist. Nimmt man dennoch eine Normalverteilung der Verhältniswerte an, so sind die Verhältniswerte der Tabelle 3 den Regressionsparametern in den Bildern 16 und 17 zutreffender.

Neben dem Zusammenhang zwischen Mörteldruckfestigkeit nach den Verfahren I bis III /X3/ und /1/ sowie der Normdruckfestigkeit nach /X1/ sind auch die Zusammenhänge zwischen den drei Fugenmörteldruckfestigkeitsprüfverfahren zur Beurteilung der Versuchsergebnisse wichtig.

In den Bildern 18 bis 20 sind die jeweiligen Zusammenhänge zwischen den Prüfverfahren I bis III dargestellt. Die Tabelle 4 gibt zum Vergleich die Verhältniswerte wieder. Auf eine Unterscheidung zwischen Normal- und Leichtmörtel wurde hier verzichtet, da - wie zuvor ausgeführt - die Versuchsergebnisse der hier verwendeten Leichtmörtel keinen wesentlichen Einfluß auf die Zusammenhänge bzw. Verhältniswerte haben.

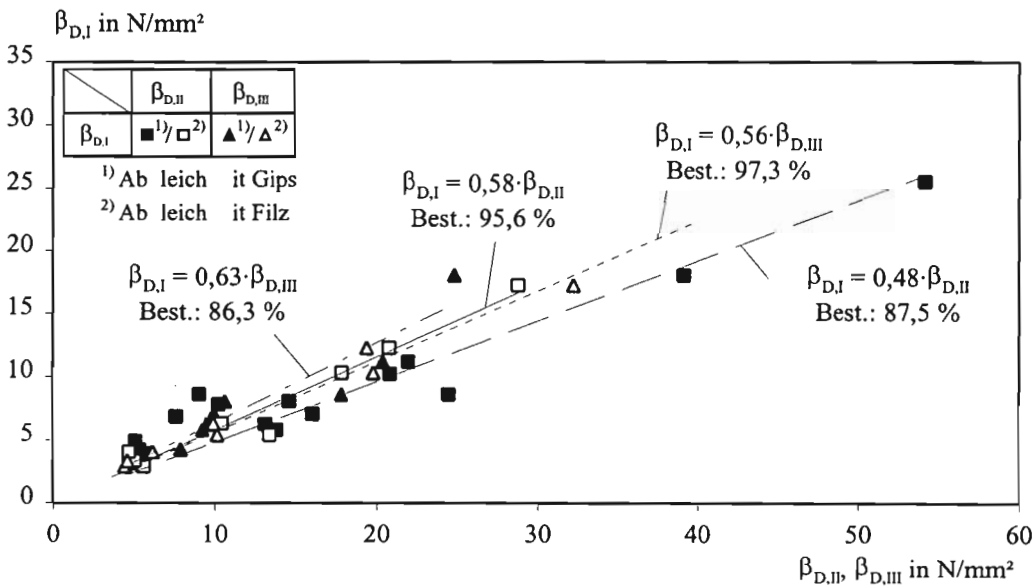


Bild 18: Zusammenhang zwischen der Mörteldruckfestigkeit nach dem Verfahren I und den Verfahren II und III

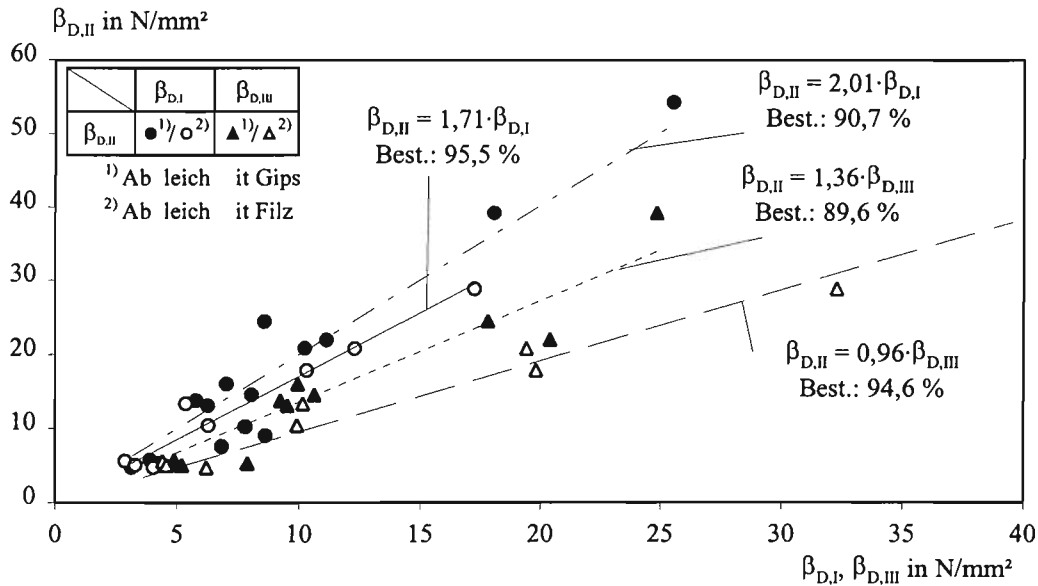


Bild 19: Zusammenhang zwischen der Mörteldruckfestigkeit nach dem Verfahren II und den Verfahren I und III

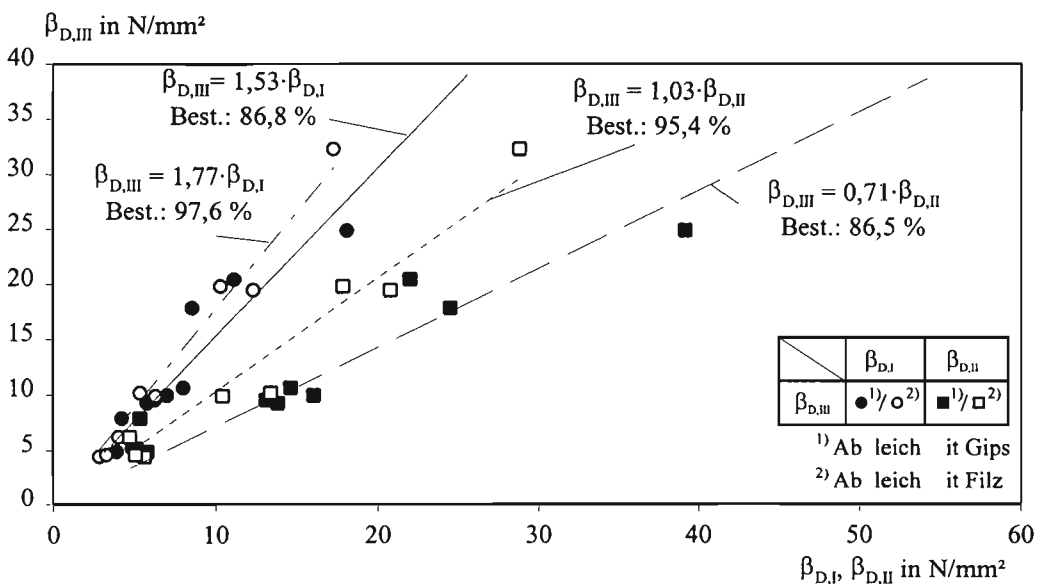


Bild 20: Zusammenhang zwischen der Mörteldruckfestigkeit nach dem Verfahren III und den Verfahren I und II

Tabelle 4: Verhältniswerte (Formfaktoren) zwischen Norm- und Fugenmörtel-
druckfestigkeit
Abgleichart, Anzahl der Wertepaare n, Mittlerer Verhältniswert \bar{x} ,
Kleinstwert min x, Größtwert max x, Variationskoeffizient v

Verhältnis	Abgleichart	n	\bar{x}	min x	max x	v	
		-				%	
1	2	3	4	5	6	7	
$\beta_{D,I} / \beta_{D,II}$	Gips	16	0,62	0,35	0,95	32,5	
$\beta_{D,I} / \beta_{D,III}$		10	0,68	0,48	0,94	20,3	
$\beta_{D,II} / \beta_{D,I}$		16	1,78	1,05	2,85	30,5	
$\beta_{D,II} / \beta_{D,III}$		10		1,27	0,68	1,61	23,0
$\beta_{D,III} / \beta_{D,I}$				1,53	1,06	2,08	20,4
$\beta_{D,III} / \beta_{D,II}$				0,84	0,62	1,47	30,8
$\beta_{D,I} / \beta_{D,II}$	Filz	8	0,60	0,40	0,85	21,4	
$\beta_{D,I} / \beta_{D,III}$			0,61	0,52	0,72	11,9	
$\beta_{D,II} / \beta_{D,I}$			1,74	1,17	2,49	21,6	
$\beta_{D,II} / \beta_{D,III}$			1,05	0,76	1,31	18,2	
$\beta_{D,III} / \beta_{D,I}$			1,66	1,39	1,92	12,1	
$\beta_{D,III} / \beta_{D,II}$			0,98	0,76	1,31	18,9	

Wie bereits zuvor, zeigen sich beim Vergleich z. T. deutliche Unterschiede zwischen den Verhältniswerten der Tabelle 4 und den zugehörigen Regressionswerten in den Bildern 18 bis 20. Die statistische Prüfung der Verhältniswerte $\beta_{D,FI} / \beta_{D,FII}$ (mit Gips abgeglichen) ergab keine Normalverteilung.

Die Fugenmörteldruckfestigkeitsergebnisse, die an den zwischen Kalksand-Referenzsteinen erhärteten Mörteln bestimmt wurden lassen, ebenfalls eine Auswertung von Formfaktoren für die Verfahren I bis III grundsätzlich zu. Aufgrund der größeren Versuchsstreuung dieser Versuchswerte, die durch die Prüfkörperentnahme und das - wenn auch geringfügig - unterschiedliche Saugverhalten der einzelnen Mauersteine bedingt ist, wurde jedoch auf eine solche Auswertung verzichtet.

8.5 Prüffaktoren

Unter dem Begriff Prüffaktor wird der Verhältniswert zweier Prüfergebnisse verstanden, die mit zwei verschiedenen Prüfverfahren am gleichen Mauermörtel (gleiche Zusammensetzung, unterschiedliche Erhärtungsbedingungen) bestimmt wurden.

Zur Ermittlung der Prüffaktoren wurden die Versuchsergebnisse ausgewertet, bei denen die Prüfkörper im Steinkontakt erhärteten. Diese wurden zunächst mit den Versuchsergebnissen der Normdruckfestigkeit nach DIN 18 555-3 /X1/ verglichen. Der Einfluß der Abgleichart wurde dabei nicht untersucht (s. Abschn. 8.1), da die Prüffaktoren den Verhältniswert zweier Prüfverfahren beschreiben, was beinhaltet, daß die Prüfkörper auf die verfahrensübliche Weise - d. h. für die Verfahren I und II mit Gips und für das Verfahren III mit Filz - abgeglichen werden.

In den Bildern 21 bis 23 sind jeweils die Versuchsergebnisse der Fugenmörteldruckfestigkeit über die Normdruckfestigkeit für die drei Prüfverfahren dargestellt. Zum Vergleich sind in den Bildern 21 und 22 die Mindestwerte der Fugenmörteldruckfestigkeit nach /X3/ bezogen auf die Mindestwerte der Druckfestigkeit nach /X1/, die nach DIN 1053-1 /X2 bei der Eignungsprüfung als Richtwerte gelten, dargestellt.

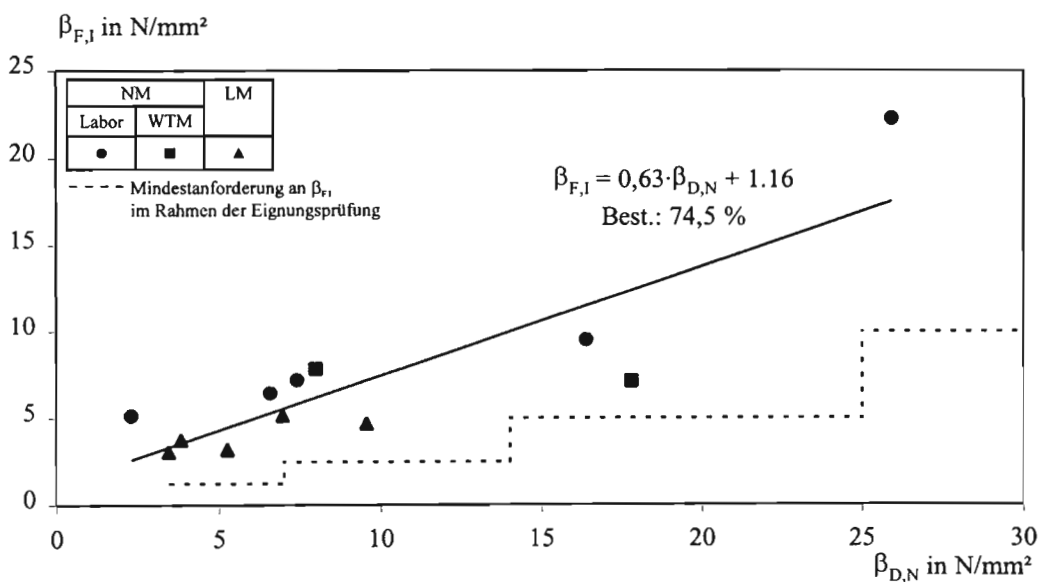


Bild 21: Fugenmörteldruckfestigkeit nach dem Verfahren I $\beta_{F,I}$ /X3/ (mit Gips abgeglichen) über Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ nach /X1/

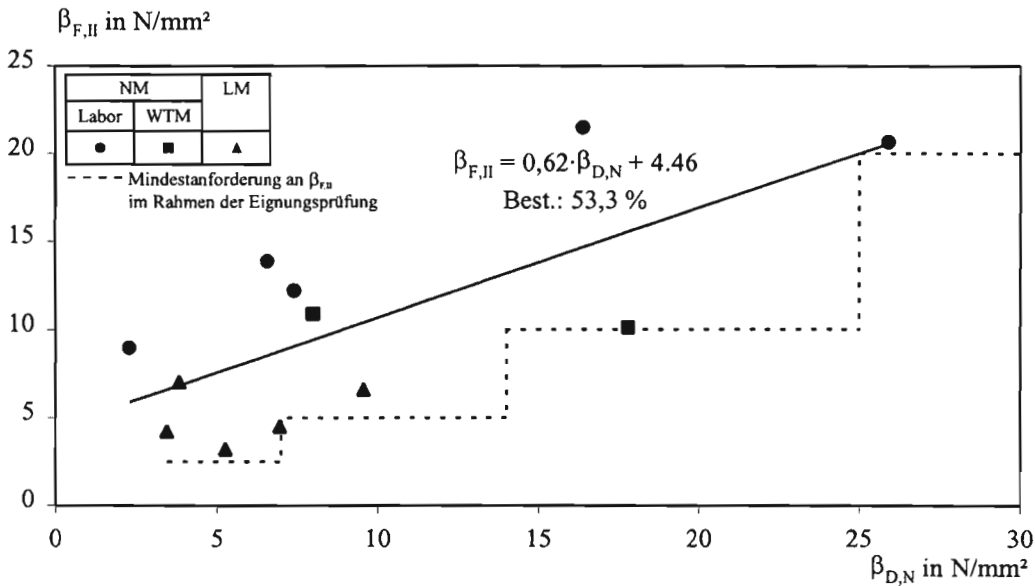


Bild 22: Fugenmörteldruckfestigkeit nach dem Verfahren II $\beta_{F,II} / X3/$ (mit Gips abgeglichen) über Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ nach /X1/

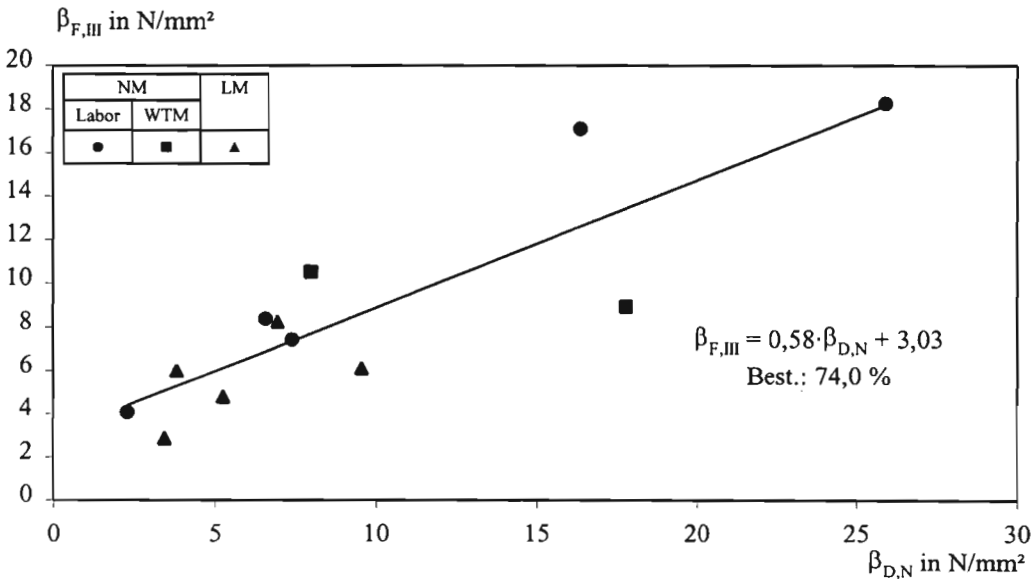


Bild 23: Fugenmörteldruckfestigkeit nach dem Verfahren III $\beta_{F,III} / 1/$ (mit Filz abgeglichen) über Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ nach /X1/

In den Bildern 21 bis 23 sind Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Fugenmörteldruckfestigkeiten und der Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ zu erkennen. Die in den Bildern angegebenen Regressionsgleichungen sollen, wegen der großen Streubreite der Versuchsergebnisse und wie auch die geringen Bestimmtheitsmaße zeigen, lediglich die tendenziellen Zusammenhänge verdeutlichen, sie können keineswegs als abgesichert gelten. Insbesondere bei der in Bild 21 dargestellten Regressionsgleichung ist zu berücksichtigen, daß sie durch den Einzelwert bei $\beta_{D,N} = 25,9$ N/mm² stark beeinflusst wird.

Wie aus den Bildern 21 bis 23 zu ersehen ist, lassen sich die Zusammenhänge nicht durch lineare Nullpunktregressionen beschreiben. Daher ist es auch nicht sinnvoll, Verhältniswerte der Mörteldruckfestigkeiten anzugeben. Das additive Glied in den Regressionsgleichungen der Bilder 21 bis 23 läßt sich damit erklären, daß bei einem sehr großen Wasser-Bindemittel-Wert (w/b) des Mörtels ($\beta_{D,N} \approx 0$) der w/b -Wert des Fugenmörtels durch das vom Mauerstein abgesaugte Wasser reduziert wird und dadurch eine nennenswerte Fugendruckfestigkeit gebildet wird.

8.6 Einfluß des w/z -Wertes auf die Mörteldruckfestigkeit nach /X1/

Wie bereits im Abschnitt 3.3.2 gezeigt, besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Mörteldruckfestigkeit nach DIN 18 555-3 /X1/ und dem w/z -Wert (ω) des Frischmörtels. Sowohl in /10/ als auch bei den hier durchgeführten Versuchen wurde zur Mörtelherstellung ein Zement der Festigkeitsklasse PZ 35 F (Bezeichnung nach DIN 1164-1, entspricht CEM I 32,5 R) verwendet, so daß die Ergebnisse aus beiden Untersuchungen vergleichbar sind. In Bild 24 sind die Normdruckfestigkeiten $\beta_{D,N}$ der hier durchgeführten Versuche zusammen mit den Ergebnissen aus /10/ in Abhängigkeit von ω aufgetragen.

Zusätzlich zu den Versuchswerten ist in Bild 24 auch der nach /12/ bekannte Zusammenhang zwischen der Betondruckfestigkeit und ω

$$\beta_{b28} = \beta_{z28} \cdot 11,0 \cdot \omega \cdot e^{-3,5 \cdot \omega} \quad (1)$$

für einen Z 35 dargestellt, der für den im Beton üblichen Bereich $0,35 \leq \omega \leq 1,0$ gültig ist.

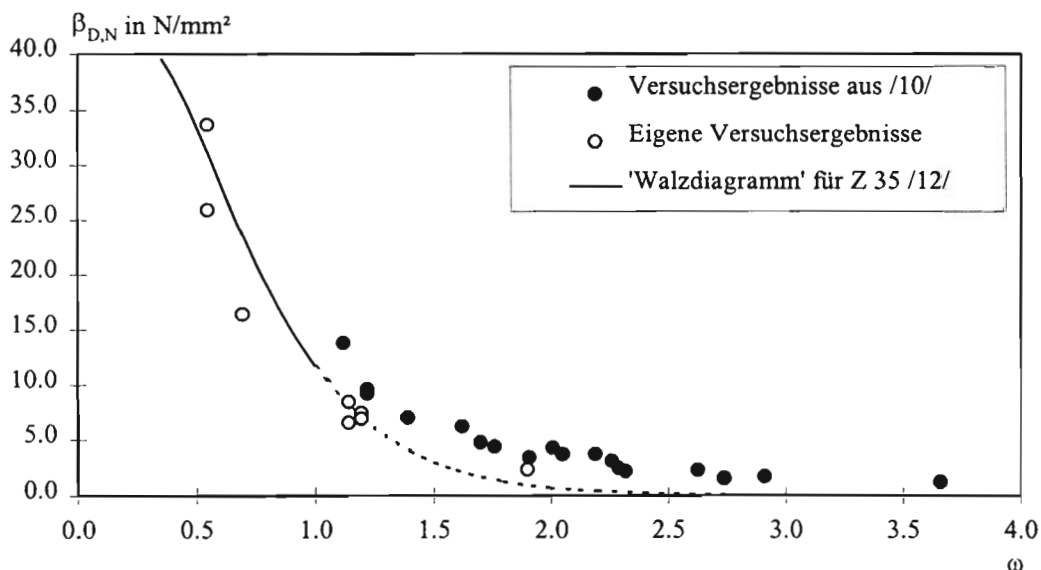


Bild 24: Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ und Wasser-Zement-Wert ω

Aus dem Bild 24 erkennt man, daß die Ergebnisse der hier durchgeführten Versuche und die aus /10/ dem Zusammenhang aus der Betontechnologie entsprechen. Die Gleichung (1) beschreibt aber für $\omega > 1,0$ die Ergebnisse der Mörteldruckfestigkeit nicht mehr zutreffend. Nach Bild 25 lassen sich hingegen mit der dort dargestellten Gleichung die Versuchsergebnisse der Mauermörtel gut für den gesamten ω - Bereich beschreiben, wobei auch die Gleichung (1) für den Bereich $0,35 \leq \omega \leq 1,0$ sehr gut wiedergegeben wird.

Der enge Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ und ω , der sich in den Bildern 24 und 25 zeigt, deutet darauf hin, daß der den Mörteln z. T. zugegebene Weißkalkhydrat - zumindest im Alter von 28 d - keinen nennenswerten Festigkeitsbeitrag hat. Eine Auswertung, in der der Weißkalkhydratanteil berücksichtigt wurde (hier nicht dargestellt), ergab demzufolge auch einen deutlich schlechteren Zusammenhang.

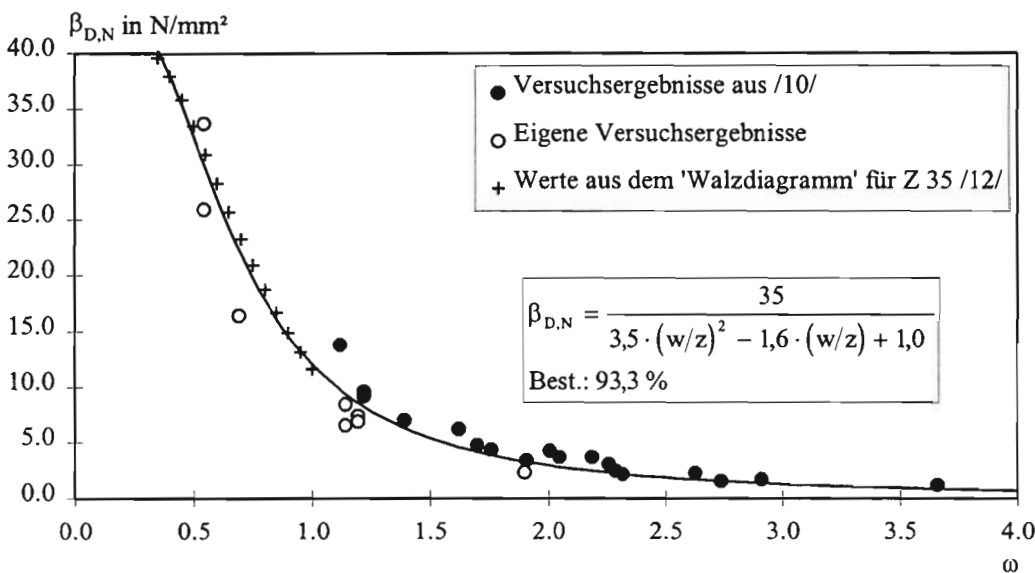


Bild 25: Zusammenhang zwischen Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ und Wasser-Zement-Wert ω ; (Bestimmtheitsmaß bezogen auf die Mörtelergebnisse)

9 ZUSAMMENFASSUNG, AUSBLICK

Zur Beurteilung der Mörteldruckfestigkeiten verschiedener Prüfverfahren ist es unerlässlich, die Form- bzw. Prüffaktoren der Verfahren untereinander zu kennen und auch den Einfluß einzelner Faktoren, wie z.B. die Prüfgeschwindigkeit oder die Abgleichart, beurteilen zu können. Der vorliegende Bericht gibt die Ergebnisse einer Untersuchung an einer Vielzahl von Mauermörteln wieder, bei der systematisch Prüfverfahren und Einflußgrößen variiert wurden, um deren Einfluß auf die ermittelte Mörteldruckfestigkeit zu ermitteln. Insgesamt wurden 3 Verfahren, das Würfel- und Plattendruckverfahren nach /X3/ (im Entwurf der DIN 18 555-9 /X4/ als Verfahren I und II bezeichnet) sowie das Verfahren nach /1/ (in /X4/ als Verfahren III bezeichnet) untersucht.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß der Einfluß des Prüfkörperabgleichs mit Gips und Filz bei den Verfahren I bis III bis zu rd. 10 % betragen kann. Im Einzelnen wurden folgende Verhältniswerte ermittelt:

$$\frac{\beta_{D,I}(\text{Filz})}{\beta_{D,I}(\text{Gips})} = 0,95$$

$$\frac{\beta_{D,II}(\text{Filz})}{\beta_{D,II}(\text{Gips})} = 0,88$$

$$\frac{\beta_{D,III}(\text{Filz})}{\beta_{D,III}(\text{Gips})} = 1,01$$

Verfahrensüblich ist nach /X3/ bislang bei den Verfahren I und II das Abgleichen der Prüfkörper mit Gips, dies ist auch im Entwurf der DIN 18 555-9 /X4/ so vorgesehen. Bei dem Verfahren III werden nach /1/ die Prüfkörper i. d. R. mit Filz F5 0,48-DIN 61 200 abgeglichen. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß bei dem Verfahren III die ermittelten Druckfestigkeiten nahezu unabhängig von den beiden untersuchten Abgleicharten sind, so daß - wegen der einfacheren Prüfung - in Erwägung gezogen werden sollte, den Abgleich mit Filz in /X4/ zu berücksichtigen.

Auch der Einfluß der Zuschlagsieblinie wurde untersucht. Zwischen der Sieblinienfeinheit und der Mörteldruckfestigkeit konnte kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden. Auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus /10/ wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem Wasser-Zement-Wert der untersuchten Mörtel und der Mörteldruckfestigkeit nach DIN 18 555-3 /X1/ festgestellt (vgl. Bild 24). Dieser Zusammenhang ist jedoch zunächst nur für laborgemischte Mauermörtel (ohne Zusatzmittel) unter Verwendung von CEM I 32,5 R gültig, die Zugabe von Zusatzmittel und die Verwendung anderer Zemente sollte daher weiterführend untersucht werden.

In Hinblick auf den zukunftssträchtigen Mittelbettmörtel, mit einer Sollfugendicke von rd. 6 mm, wurde auch die Eignung der Verfahren I bis III zur Ermittlung der Mörteldruckfestigkeit punktuell untersucht. Hierzu wurden sowohl 6 mm dicke Prüfkörper, als auch Prüfkörper aus zwei mit Gips verbundenen Mörtelscheiben geprüft. Es zeigte sich, daß die Prüfverfahren sowohl für die 6 mm als auch die 2 · 6 mm dicken Prüfkörper geeignet sind. Der Zusammenhang der Druckfestigkeitswerte zu 12 mm dicken Prüfkörpern war jedoch in beiden Fällen zunächst nur tendenziell erkennbar und sollte durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

Wichtige Kennwerte zur Beurteilung von Prüfergebnissen, die mit unterschiedlichen Prüfverfahren ermittelt wurden, sind sog. Formfaktoren. Bei der Ermittlung der Formfaktoren wurden im vorliegenden Bericht nur die Prüfergebnisse verglichen, die an in gleicher Weise gelagerten Prüfkörpern (Erhärtung in Stahlschalung) ermittelt wurden. Für die mit Gips abgeglichenen Prüfkörper der Verfahren I bis III ergaben sich im Mittel folgende Formfaktoren:

$$\frac{\beta_{D,N}}{\beta_{D,I}(\text{Gips})} = 1,14$$

$$\frac{\beta_{D,N}}{\beta_{D,II}(\text{Gips})} = 0,67$$

$$\frac{\beta_{D,N}}{\beta_{D,III}(\text{Gips})} = 0,76$$

$$\frac{\beta_{D,I}(\text{Gips})}{\beta_{D,II}(\text{Gips})} = 0,62$$

$$\frac{\beta_{D,I}(\text{Gips})}{\beta_{D,III}(\text{Gips})} = 0,68$$

$$\frac{\beta_{D,II}(\text{Gips})}{\beta_{D,III}(\text{Gips})} = 1,27$$

Obwohl das Umrechnen und Einsetzen dieser Formfaktoren - weil es sich um Mittelwerte handelt - streng mathematisch nicht zulässig ist, ist dies in der Praxis üblich und unerlässlich. Der Anwender muß sich des Fehlers bewußt sein und darf die umgerechneten Formfaktoren - z. B. wenn er die aufgeführten Formfaktoren für mit Filz abgeglichenen Prüfkörper umrechnet - lediglich als Anhaltswerte verwenden.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse umfaßte auch die Prüfergebnisse, die an zwischen Kalksand-Referenzsteinen erhärteten Mauermörteln ermittelt wurden, unter Bezug auf die Normdruckfestigkeit $\beta_{D,N}$ nach /X1/. Es zeigten sich hierbei aufgrund der verhältnismäßig großen Streuungen lediglich tendenzielle Zusammenhänge, die ebenfalls durch weitere Untersuchungen an Mauermörteln mit $\beta_{D,N} > 10 \text{ N/mm}^2$ abgesichert werden müssen.

10 LITERATUR

- /X1/ DIN 18 555-3 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte
- /X2/ DIN 1053-1 11.96. Mauerwerk; Berechnung und Ausführung
- /X3/ Vorläufige Richtlinie zur Ergänzung der Eignungsprüfung von Mauermörteln; Druckfestigkeit in der Lagerfuge; Anforderungen, Prüfung. (Fassung 10.92). Bonn : Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V., 1992
- /X4/ E DIN 18555-9 02.98. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Fugendruckfestigkeit
- /X5/ DIN 18 555-1 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Allgemeines, Probenahme, Prüfmörtel
- /X6/ DIN 1164-7 11.78. Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement; Bestimmung der Festigkeit
- /X7/ DIN EN 196-1 05.95. Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Festigkeit
- /X8/ DIN 18 555-2 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts

- /X9/ DIN 18 555-7 11.87. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel; Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens nach dem Filterplattenverfahren
- /1/ Schubert, P. ; Schmidt, St.: Bestimmung der Druckfestigkeit des Mörtels im Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1990. - In: ibac Kurzberichte 3 (1990), Nr. 28
- /2/ Bierwirth, H. ; Stöckl, S. ; Kupfer, H.: The Influence of Test Method on the Results of compression Tests on Mortar. Calgary : Masonry Council of Canada, University of Calgary, 1994. In: Proceedings of the 10th international Brick and Block Masonry Conference, Calgary, Canada, 5-7 July, 1994, (Shrive, N.G.; et al (Ed.)), Vol. 3, S. 1397-1406
- /3/ Schubert, P. ; Krechting, A.: Vergleichsversuche zum Einfluß des Prüfverfahrens auf die Ermittlung der Mörteldruckfestigkeit. Aachen : Institut für Bauforschung - Forschungsbericht Nr. F 646 (in Bearbeitung)
- /4/ Wollenweber, J.: Prüfverfahren zur Ermittlung der Fugenmörteldruckfestigkeit - Ermittlung von Prüf- und Formfaktoren. Aachen, Technische Hochschule, Fachbereich 3, Institut für Bauforschung, Diplomarbeit, 1997. - (unveröffentlicht)
- /5/ Schickert, G.: Schwellenwerte beim Betondruckversuch. Berlin : Ernst & Sohn. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1980), Nr. 312
- /6/ Schubert, P. ; Schmidt, St.: Bestimmung der Druckfestigkeit des Mörtels im Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1990.- Forschungsbericht Nr. F 304
- /7/ Bonzel, J.: Zur Gestaltungsabhängigkeit der Betondruckfestigkeit. In: Beton- und Stahlbetonbau 54 (1959), Nr. 9, S. 223-228, Nr. 10, S. 247-248
- /8/ Asenbaum, K.: Einflüsse auf die Druckfestigkeit des Mauermörtels und Ermittlung dieser Druckfestigkeit im Mauerwerk. Aachen: Technische Hochschule, Fachbereich 3, Institut für Bauforschung, Diplomarbeit, 1979.- (unveröffentlicht)
- /9/ Schubert, P. ; Meyer, U.: Einfluß der Mörtelzusammensetzung auf die Druckfestigkeit des Mörtels nach Norm und im Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1991.- Forschungsbericht Nr. F 364
- /10/ Schneider, H.: Einfluß der Feinheit des Mauersandes auf die Mörtelfestigkeit bei Anwendung der Mischungsverhältnisse nach DIN 1053. In: Ziegelindustrie 30 (1977), Nr. 5, S.223-238
- /11/ Schmidt, E.: Die Auswirkungen von Methylcellulose-Zusätzen zu Mörteln auf die Eigenschaften des Mauerwerks. In: Ziegelindustrie 24 (1971), Nr. 3, S. 128-134, Nr. 4, S. 183-189
- /12/ Walz, K. ; Wischers, G.: Über Aufgaben und Stand der Betontechnologie. Teil 1: Aufbau und Herstellung des Beton. Teil 2: Gefüge und Festigkeit des erhärteten Betons. Teil 3: Formänderungen, Dichtigkeit und Beständigkeit des erhärteten Betons. In: Beton 26 (1976), Nr. 10, S. 403-408, Nr. 11, S. 442-444, Nr. 12, S. 476-480

Tabelle A2.1: Laborgemischte Normalmörtel
Mörtelrezepte (Einwaagen) in Masseteilen (MT)

Bestandteile		Mörtelgruppe / Sieblinie / Bestandteile								
		II	IIa			III		IIIa	IV	
		B	A	B	C	B	EN	B	B	EN
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zement		1,00	1,00			1,00	1,00	1,00	1,00	
Weißkalkhydrat		1,44	0,80			0,47	-	-		
Zuschlag	0 - 0,25 mm	0,30	1,26	0,20	-	0,25	0,75	0,16	0,12	0,36
	0,25 - 1 mm	5,01	3,80	3,75	1,72	4,56	3,04	3,02	2,22	1,48
Korngruppe	1 - 2 mm	1,49	-	1,11	2,32	1,36	2,38	0,91	0,66	1,16
	2 - 4 mm	-	-	-	1,02	-	-	-	-	-
Σ Zuschlag		6,77	5,06			6,17	4,09	3,00		
Wasser		1,90	1,19			1,14	0,69	0,55		

Tabelle A2.2: Werk trockenmörtel
Mörtelrezepte (Einwaagen) in Masseteilen (MT)
Mörtelgruppe / Bezeichnung

Bestandteile	Mörtelgruppe / Bestandteile						
	WTM		LM 36			LM 21	
	WTM IIa	WTM III	LM36 S	LM36 T	LM36 Q	LM21 L	LM21 P
1	2	3	4	5	6	7	8
Trockenmörtel	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Wasser	0,17	0,13	0,36	0,38	0,35	0,38	0,65

Tabelle A3: Frischmörtelkennwerte
 Frischrohdichte ρ_{fr} , Ausbreitmaß a, Luftgehalt L,
 Wasserrückhaltevermögen WRV

Mörtel	Sieblinie	ρ_{fr}	a	L	WRV
-	-	kg/m ³	mm	Vol.-%	%
1	2	3	4	5	6
NM II	B	2000	168	2,7	87,8
NM IIa	A	2020	136	5,4	89,7
	B	2030	149	4,9	91,9
	C	2090	155	3,5	87,2
NM III	B	2030	140	7,2	85
	EN	2120	163	3,8	84,2
NM IIIa	B	1950	142	11,5	75,7
NM IV	B	2070	152	7,9	78,8
	EN	2140	173	6,5	78,2
WTM IIa	keine Angabe	1940	178	11,5	93
WTM III		2010	183	11,2	75,2
LM 36 S		1290	169	14,9	81,6
LM 36 T		1170	162	19,5	83,4
LM 36 Q		1210	161	17,6	84,3
LM 21 L		760	146	20,5	88,7
LM 21 P		990	152	21	88,3

Tabelle A4.1: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{1,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{1,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{1,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100/NM II	min x	1970	1666	2,26	-	-	-	-	-	-
	max x	1988	1672	2,39						
	\bar{x}	1976	1670	2,31						
	n	3	3	6						
	s	10,3	3,6	0,05						
	v (%)	0,5	0,2	2,3						
101/NM II	min x	-	-	-	1926	2,51	1928	5,16	1926	3,90
	max x				2019	3,11	1963	6,45	2012	4,71
	\bar{x}				1980	2,88	1944	5,64	1957	4,43
	n				8	6	5	5	5	5
	s				36,3	0,22	14,9	0,55	34,5	0,32
	v (%)				1,8	7,7	0,8	9,7	1,8	7,3
102/NM II	min x	-	-	-	1944	4,26	1888	4,28	1913	4,81
	max x				2058	5,66	1975	5,86	2042	5,55
	\bar{x}				1998	4,89	1946	5,12	1963	5,20
	n				10	10	5	5	4	4
	s				34,9	0,49	33,8	0,64	55,4	0,31
	v (%)				1,7	10,1	1,7	12,5	2,8	5,9
105/NM II	min x	-	-	-	1842	4,06	1736	8,08	1669	3,52
	max x				1912	5,84	1794	10,75	1762	4,89
	\bar{x}				1878	5,14	1758	9,00	1734	4,07
	n				12	12	6	6	6	5
	s				20,7	0,49	20,2	0,95	34,1	0,58
	v (%)				1,1	9,5	1,2	10,5	2,0	14,4

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.2: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200/NM IIa	min x	2002	1752	6,69	-	-	-	-	-	-
	max x	2037	1781	7,88						
	\bar{x}	2024	1769	7,39						
	n	3	3	6						
	s	19,0	14,8	0,49						
	v (%)	0,9	0,8	6,7						
201/NM IIa	min x	-	-	-	1936	6,95	1889	12,75	1971	9,45
	max x				2045	9,08	1990	16,06	2010	11,87
	\bar{x}				2004	8,04	1963	14,59	1995	10,65
	n				10	10	5	5	5	5
	s				33,0	0,70	41,8	1,50	16,8	0,95
	v (%)				1,6	8,7	2,1	10,3	0,8	8,9

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.3: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
300/NM IIa	min x	2026	1768	7,16	-	-	-	-	-	-
	max x	2054	1784	7,66						
	\bar{x}	2043	1777	7,42						
	n	3	3	6						
	s	14,9	8,3	0,22						
	v (%)	0,7	0,5	2,9						
301/NM IIa	min x	-	-	-	1961	3,88	1921	12,47	1952	9,71
	max x				2043	6,30	2094	14,22	2005	11,20
	\bar{x}				2000	5,38	1979	13,37	1983	10,18
	n				8	8	5	5	5	5
	s				28,0	0,77	67,8	0,76	19,9	0,62
	v (%)				1,4	14,4	3,4	5,7	1,0	6,1
302/NM IIa	min x	-	-	-	1969	4,25	1922	11,72	1909	5,79
	max x				2084	7,40	2038	16,31	2072	10,47
	\bar{x}				2012	5,79	1979	13,81	1990	9,25
	n				10	10	5	5	5	5
	s				35,5	0,83	48,7	1,65	60,6	1,95
	v (%)				1,8	14,3	2,5	12,0	3,0	21,1
303/NM IIa	min x	-	-	-	1863	9,35	1891	20,44	1846	11,11
	max x				2042	14,83	1949	23,56	1961	14,13
	\bar{x}				1965	11,86	1921	22,13	1908	12,28
	n				10	10	3	3	5	5
	s				48,6	1,67	29,0	1,58	51,1	1,23
	v (%)				2,5	14,1	1,5	7,1	2,7	10,0

min x: Kleinstwert
 n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert
 s: Standardabweichung

\bar{x} : Mittelwert
 v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.3: Fortsetzung

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
304/NM IIa	min x	-	-	-	1863	5,55	1862	7,00	1868	5,95
	max x				2025	7,55	2052	9,22	2010	6,33
	\bar{x}				1938	6,81	1970	8,04	1934	6,17
	n				20	10	6	3	6	3
	s				36,3	0,65	62,3	1,12	62,1	0,20
	v (%)				1,9	9,5	3,2	13,9	3,2	3,2
305/NM IIa	min x	-	-	-	1929	3,73	1899	8,16	1860	5,54
	max x				2004	9,55	1964	15,00	1933	9,07
	\bar{x}				1971	7,22	1920	12,21	1898	7,41
	n				10	10	5	5	5	5
	s				20,5	1,51	26,4	2,66	31,6	1,40
	v (%)				1,0	20,9	1,4	21,8	1,7	18,8

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.4: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
400/NM IIa	min x	2066	1800	6,54	-	-	-	-	-	-
	max x	2084	1816	7,20						
	\bar{x}	2077	1809	6,90						
	n	3	3	6						
	s	9,6	8,1	0,23						
	v (%)	0,5	0,4	3,4						
402/NM IIa	min x	-	-	-	1953	5,85	1951	15,88	1920	9,36
	max x				2090	8,18	2018	16,38	2079	10,82
	\bar{x}				2017	7,04	1984	16,04	1998	9,95
	n				10	10	5	5	5	5
	s				38,9	0,67	32,0	0,21	63,9	0,55
	v (%)				1,9	9,5	1,6	1,3	3,2	5,5

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.5: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
500/NM III	min x	2034	1817	6,13	-	-	-	-	-	-
	max x	2084	1851	6,91						
	\bar{x}	2067	1837	6,58						
	n	3	3	5						
	s	28,0	17,7	0,28						
	v (%)	1,4	1,0	4,3						
501/NM III	min x	-	-	-	1966	5,58	1926	9,53	1974	8,66
	max x				2073	7,75	1988	11,09	2032	10,85
	\bar{x}				2032	6,31	1954	10,46	2001	9,92
	n				8	7	5	5	5	5
	s				39,0	0,70	27,8	0,76	23,2	0,88
	v (%)				1,9	11,2	1,4	7,3	1,2	8,9
502/NM III	min x	-	-	-	1965	4,75	1909	10,94	1944	8,05
	max x				2069	7,98	2003	16,16	1993	10,89
	\bar{x}				2031	6,26	1958	13,10	1974	9,54
	n				10	10	5	5	5	5
	s				36,5	1,09	38,1	2,02	18,9	1,04
	v (%)				1,8	17,4	1,9	15,4	1,0	10,9
505/NM III	min x	-	-	-	1922	4,83	1910	12,56	1831	7,61
	max x				2067	8,53	1969	15,94	1898	9,10
	\bar{x}				1985	6,45	1934	13,89	1875	8,38
	n				10	10	6	5	6	6
	s				52,1	1,26	20,7	1,30	24,0	0,58
	v (%)				2,6	19,5	1,1	9,4	1,3	6,9

min x: Kleinstwert

n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert

s: Standardabweichung

 \bar{x} : Mittelwert

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.6: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{1,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{1,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{1,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
600/NM III	min x	2109	-	7,93	-	-	-	-	-	-
	max x	2119		9,04						
	\bar{x}	2113		8,43						
	n	3		6						
	s	5,3		0,38						
	v (%)	0,3		4,5						
601/NM III	min x	-	-	-	-	-	-	-	2029	10,71
	max x								2072	12,59
	\bar{x}								2054	11,41
	n								5	4
	s								17,7	0,87
	v (%)								0,9	7,6
602/NM III	min x	-	-	-	1947	9,14	2021	17,53	-	-
	max x				2056	11,00	2042	23,88		
	\bar{x}				1998	10,23	2029	20,86		
	n				10	10	5	5		
	s				39,6	0,53	8,3	2,44		
	v (%)				2,0	5,2	0,4	11,7		

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.7: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
700/NM IIIa	min x	1903	1793	16,1	-	-	-	-	-	-
	max x	1942	1819	17,0						
	\bar{x}	1922	1805	16,4						
	n	3	3	6						
	s	19,5	12,9	0,33						
	v (%)	1,0	0,7	2,0						
701/NM IIIa	min x	-	-	-	1813	10,50	1843	19,13	1837	13,56
	max x				1893	13,95	1969	22,75	1885	22,28
	\bar{x}				1848	12,31	1881	20,79	1863	19,43
	n				8	8	5	3	5	5
	s				29,2	1,22	50,3	1,83	20,9	3,62
	v (%)				1,6	9,9	2,7	8,8	1,1	18,6
702/NM IIIa	min x	-	-	-	1817	6,95	1768	23,47	1730	15,22
	max x				1882	10,33	1859	25,28	1890	21,33
	\bar{x}				1855	8,59	1825	24,52	1829	17,83
	n				10	10	5	3	5	5
	s				21,1	1,08	34,8	0,94	59,4	2,22
	v (%)				1,1	12,6	1,9	3,8	3,2	12,5
703/NM IIIa	min x	-	-	-	1692	13,70	1726	31,13	1844	20,31
	max x				1851	19,25	1788	60,06	1887	23,62
	\bar{x}				1781	16,81	1759	44,57	1861	21,65
	n				10	10	4	4	4	4
	s				46,6	2,08	26,7	11,87	20,6	1,44
	v (%)				2,6	12,4	1,5	26,6	1,1	6,6

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.7: Fortsetzung

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{1,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{1,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{1,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m^3		N/mm^2	kg/m^3	N/mm^2	kg/m^3	N/mm^2	kg/m^3	N/mm^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
704/NM IIIa	min x	-	-	-	1747	8,33	1634	18,50	1710	6,43
	max x				1880	11,53	2006	23,34	1984	8,53
	\bar{x}				1818	9,38	1798	20,03	1803	7,83
	n				20	10	8	4	10	5
	s				34,1	0,92	103,6	2,24	77,3	0,86
	v (%)				1,9	9,8	5,8	11,2	4,3	11,0
705/NM IIIa	min x	-	-	-	1717	7,40	1870	20,44	1729	15,15
	max x				1885	13,98	1912	22,44	1884	18,33
	\bar{x}				1793	9,52	1894	21,47	1827	17,09
	n				10	10	5	4	5	5
	s				57,1	2,26	16,7	0,84	61,9	1,19
	v (%)				3,2	23,8	0,9	3,9	3,4	7,0

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.8: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
800/NM IV	min x	2038	1906	24,0	-	-	-	-	-	-
	max x	2043	1908	27,2						
	\bar{x}	2040	1907	25,9						
	n	3	3	6						
	s	2,7	1,1	1,08						
	v (%)	0,1	0,1	4,2						
801/NM IV	min x	-	-	-	1930	13,50	1887	24,63	1931	28,39
	max x				2100	19,85	1986	31,75	1987	35,84
	\bar{x}				1992	17,27	1941	28,81	1965	32,30
	n				8	8	5	5	5	5
	s				50,8	2,23	36,1	2,67	21,5	2,77
	v (%)				2,6	12,9	1,9	9,2	1,1	8,6
802/NM IV	min x	-	-	-	1913	14,20	1933	37,81	1865	22,66
	max x				2039	22,45	2007	40,50	1993	27,25
	\bar{x}				2003	18,09	1968	39,14	1935	24,84
	n				10	10	5	5	5	5
	s				37,8	2,54	28,4	0,96	55,6	1,90
	v (%)				1,9	14,0	1,4	2,5	2,9	7,7
805/NM IV	min x	-	-	-	2076	17,00	1958	16,94	1926	11,65
	max x				2157	25,35	1985	24,00	1992	22,03
	\bar{x}				2118	22,23	1970	20,64	1957	18,26
	n				10	10	6	6	6	6
	s				29,1	2,92	10,6	2,50	23,6	3,72
	v (%)				1,4	13,1	0,5	12,1	1,2	20,4

min x: Kleinstwert
 n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert
 s: Standardabweichung

\bar{x} : Mittelwert
 v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.9: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{1,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{1,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{1,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
900/NM IV	min x	2077	-	29,9	-	-	-	-	-	-
	max x	2089		35,8						
	\bar{x}	2083		33,7						
	n	3		6						
	s	6,1		2,04						
	v (%)	0,3		6,1						
901/NM IV	min x	-	-	-	-	-	-	-	1994	35,21
	max x								2071	43,42
	\bar{x}								2028	39,58
	n								5	3
	s								39,3	4,13
	v (%)								1,9	10,4
902/NM IV	min x	-	-	-	1891	22,50	1982	49,06	-	-
	max x				2049	28,60	2045	58,88		
	\bar{x}				1991	25,52	2019	54,20		
	n				10	10	5	5		
	s				52,4	2,02	24,5	4,04		
	v (%)				2,6	7,9	1,2	7,4		

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.10: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W100/ WTM IIa	min x	1900	1669	7,79	-	-	-	-	-	-
	max x	1903	1680	8,33						
	\bar{x}	1902	1674	7,99						
	n	3	3	6						
	s	1,7	5,8	0,21						
	v (%)	0,1	0,3	2,6						
W101/ WTM IIa	min x	-	-	-	-	-	-	-	1831	10,92
	max x								1855	11,84
	\bar{x}								1841	11,41
	n								5	5
	s								10,7	0,38
	v (%)								0,6	3,3
W102/ WTM IIa	min x	-	-	-	1857	7,19	1785	9,70	-	-
	max x				1951	8,65	1850	10,90		
	\bar{x}				1904	7,80	1823	10,25		
	n				10	10	5	5		
	s				27,6	0,49	26,8	0,46		
	v (%)				1,5	6,3	1,5	4,5		
W105/ WTM IIa	min x	-	-	-	1771	7,13	1780	10,05	1717	9,61
	max x				1892	8,46	1815	11,96	1791	11,24
	\bar{x}				1839	7,85	1793	10,90	1766	10,53
	n				10	10	6	6	6	6
	s				39,0	0,47	15,4	0,74	27,7	0,64
	v (%)				2,1	5,9	0,9	6,8	1,6	6,1

min x: Kleinstwert
 n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert
 s: Standardabweichung

\bar{x} : Mittelwert
 v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.11: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W200/ WTM III	min x	1952	1776	16,6	-	-	-	-	-	-
	max x	1991	1793	18,3						
	\bar{x}	1974	1785	17,8						
	n	3	3	6						
	s	19,9	8,7	0,62						
	v (%)	1,0	0,5	3,5						
W201/ WTM III	min x	-	-	-	1879	7,93	1893	17,03	1867	15,09
	max x				2008	11,78	1943	18,72	1967	23,94
	\bar{x}				1940	10,31	1922	17,88	1917	19,83
	n				8	8	5	5	5	4
	s				36,3	1,14	21,9	0,74	36,8	3,76
	v (%)				1,9	11,1	1,1	4,1	1,9	19,0
W202/ WTM III	min x	-	-	-	1883	8,78	1867	19,59	1847	17,67
	max x				2013	12,80	2023	23,16	1945	24,54
	\bar{x}				1960	11,16	1933	21,98	1898	20,42
	n				10	10	5	5	5	5
	s				38,9	1,39	60,9	1,44	34,8	2,88
	v (%)				2,0	12,5	3,2	6,5	1,8	14,1
W205/ WTM III	min x	-	-	-	1925	5,25	1824	7,69	1811	7,15
	max x				2052	8,38	1871	12,44	1853	13,07
	\bar{x}				1983	7,13	1850	10,10	1829	8,92
	n				10	9	6	6	6	6
	s				36,0	0,97	17,3	1,77	15,3	2,23
	v (%)				1,8	13,6	0,9	17,5	0,8	25,0

min x: Kleinstwert

n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert

s: Standardabweichung

 \bar{x} : Mittelwert

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.12: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W300/ LM 36 S	min x	1297	986	3,63	-	-	-	-	-	-
	max x	1364	1019	4,04						
	\bar{x}	1337	1005	3,83						
	n	3	3	6						
	s	35,4	17,1	0,17						
	v (%)	2,6	1,7	4,4						
W301/ LM 36 S	min x	-	-	-	1316	2,98	1178	4,93	1250	3,73
	max x				1362	3,56	1254	5,29	1307	5,20
	\bar{x}				1333	3,31	1217	5,08	1283	4,59
	n				8	8	5	5	5	4
	s				16,9	0,19	28,4	0,14	24,4	0,64
	v (%)				1,3	5,8	2,3	2,7	1,9	13,8
W301/ LM 36 S	min x	-	-	-	1243	3,60	1207	5,46	1239	4,60
	max x				1367	4,31	1243	6,16	1262	5,35
	\bar{x}				1324	3,92	1228	5,79	1248	4,90
	n				10	10	5	5	5	5
	s				38,0	0,25	14,2	0,29	10,4	0,28
	v (%)				2,9	6,3	1,2	5,0	0,8	5,6
W303/ LM 36 S	min x	-	-	-	1205	5,86	1065	6,90	1183	8,01
	max x				1275	6,91	1154	8,85	1204	8,02
	\bar{x}				1236	6,44	1124	7,94	1194	8,02
	n				10	7	3	3	2	2
	s				26,8	0,37	50,8	0,98	14,8	0,01
	v (%)				2,2	5,8	4,5	12,4	1,2	0,1

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.12: Fortsetzung

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W304/ LM 36 S	min x	-	-	-	1057	4,29	1048	4,45	1160	4,63
	max x				1295	5,69	1204	5,88	1258	5,49
	\bar{x}				1201	5,03	1141	5,00	1196	5,10
	n				20	10	8	4	6	3
	s				56,1	0,45	58,8	0,65	41,7	0,44
	v (%)				4,7	9,0	5,1	13,1	3,5	8,6
W305/ LM 36 S	min x	-	-	-	1114	2,75	1126	6,54	1120	4,90
	max x				1159	4,24	1141	7,59	1154	7,17
	\bar{x}				1139	3,76	1134	7,06	1139	6,00
	n				10	9	6	6	6	6
	s				17,9	0,48	5,8	0,34	11,6	0,83
	v (%)				1,6	12,8	0,5	4,8	1,0	13,8

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.13: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W400/ LM 36 T	min x	1257	954	3,26	-	-	-	-	-	-
	max x	1297	962	3,64						
	\bar{x}	1279	957	3,45						
	n	3	3	6						
	s	20,1	4,1	0,14						
	v (%)	1,6	0,4	4,0						
W401/ LM 36 T	min x	-	-	-	-	-	-	-	1175	3,27
	max x								1282	3,85
	\bar{x}								1211	3,62
	n								5	4
	s								42,8	0,28
	v (%)								3,5	7,7
W402/ LM 36 T	min x	-	-	-	1213	2,74	1085	4,19	-	-
	max x				1266	3,38	1203	5,35		
	\bar{x}				1244	3,15	1159	4,73		
	n				10	9	5	5		
	s				17,6	0,20	48,0	0,51		
	v (%)				1,4	6,4	4,1	10,7		
W405/ LM 36 T	minx	-	-	-	1070	2,28	1065	3,68	1039	2,52
	max x				1128	4,07	1088	4,66	1070	3,72
	\bar{x}				1100	3,09	1079	4,24	1053	2,88
	n				10	10	6	6	6	6
	s				19,2	0,59	8,7	0,35	12,9	0,44
	v (%)				1,7	19,1	0,8	8,3	1,2	15,2

min x: Kleinstwert
 n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert
 s: Standardabweichung

\bar{x} : Mittelwert
 v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.14: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W500/ LM 36 Q	min x	1311	1010	8,64	-	-	-	-	-	-
	max x	1334	1022	10,20						
	\bar{x}	1324	1015	9,56						
	n	3	3	6						
	s	11,8	6,9	0,63						
	v (%)	0,9	0,7	6,6						
W501/ LM 36 Q	min x	-	-	-	-	-	-	-	1241	7,00
	max x								1286	12,41
	\bar{x}								1272	9,50
	n								5	5
	s								20,0	2,19
	v (%)								1,6	23,0
W502/ LM 36 Q	min x	-	-	-	1299	7,54	1226	8,59	-	-
	max x				1382	9,83	1277	9,38		
	\bar{x}				1339	8,63	1250	9,04		
	n				10	9	5	5		
	s				28,4	0,75	23,6	0,37		
	v (%)				2,1	8,7	1,9	4,1		
W505/ LM 36 Q	min x	-	-	-	1025	3,84	1119	5,74	1097	4,62
	max x				1143	6,85	1144	7,70	1129	8,02
	\bar{x}				1074	4,71	1128	6,63	1111	6,11
	n				10	10	6	6	6	6
	s				37,6	0,89	8,5	0,63	12,5	1,29
	v (%)				3,5	18,9	0,8	9,6	1,1	21,2

min x: Kleinstwert

n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert

s: Standardabweichung

 \bar{x} : Mittelwert

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.15: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_1 , Trockenrohddichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W600/ LM 21 L	min x	789	644	6,19	-	-	-	-	-	-
	max x	803	657	8,53						
	\bar{x}	796	649	6,97						
	n	3	3	6						
	s	7,0	6,6	0,86						
	v (%)	0,9	1,0	12,3						
W601/ LM 21 L	min x	-	-	-	-	-	-	-	719	7,46
	max x								751	11,19
	\bar{x}								736	9,22
	n								5	5
	s								14,3	1,48
	v (%)								1,9	16,0
W602/ LM 21 L	min x	-	-	-	709	5,08	687	6,53	-	-
	max x				793	8,33	737	8,73		
	\bar{x}				757	6,85	718	7,63		
	n				10	10	5	5		
	s				26,3	1,22	19,0	0,93		
	v (%)				3,5	17,8	2,6	12,3		
W605/ LM 21 L	min x	-	-	-	681	4,24	697	3,43	701	6,56
	max x				748	6,19	763	5,90	746	10,23
	\bar{x}				707	5,19	714	4,54	720	8,27
	n				10	10	6	6	6	6
	s				19,0	0,56	24,8	0,96	14,8	1,28
	v (%)				2,7	10,8	3,5	21,2	2,1	15,5

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.16: Versuchsergebnisse (statistische Kennwerte)
 Versuchsserie, Mörtelgruppe, Rohdichte lufttrocken ρ_l , Trockenrohichte ρ_d ,
 Mörtel- bzw. Fugenmörteldruckfestigkeit β_D / β_F nach den verschiedenen
 Prüfverfahren (Indizes: N nach /X1/, I nach /X3/, II nach /X3/, III nach /1/)

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_l	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{l,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{l,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{l,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m ³		N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²	kg/m ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W700/ LM 21 P	min x	1003	690	4,44	-	-	-	-	-	-
	max x	1063	726	5,79						
	\bar{x}	1028	705	5,27						
	n	3	3	6						
	s	31,0	19,2	0,50						
	v (%)	3,0	2,7	9,6						
W701/ LM 21 P	min x	-	-	-	995	3,49	937	4,19	1001	5,24
	max x				1077	4,94	1014	5,40	1035	6,92
	\bar{x}				1025	4,04	967	4,73	1020	6,21
	n				8	8	5	5	5	5
	s				27,1	0,54	29,5	0,45	13,4	0,74
	v (%)				2,6	13,3	3,0	9,4	1,3	11,9
W702/ LM 21 P	min x	-	-	-	987	3,55	947	4,76	1004	6,94
	max x				1022	5,49	964	5,90	1081	8,44
	\bar{x}				1007	4,25	956	5,35	1040	7,89
	n				10	10	5	5	5	5
	s				12,1	0,66	6,9	0,49	30,5	0,60
	v (%)				1,2	15,5	0,7	9,1	2,9	7,6
W703/ LM 21 P	min x	-	-	-	933	4,01	830	6,15	929	5,06
	max x				1041	5,86	971	7,85	1034	6,22
	\bar{x}				985	4,86	905	7,02	974	5,69
	n				10	10	4	4	5	5
	s				38,1	0,62	63,6	0,70	46,7	0,43
	v (%)				3,9	12,7	7,0	10,0	4,8	7,5

min x: Kleinstwert

n: Anzahl der Werte

max x: Größtwert

s: Standardabweichung

 \bar{x} : Mittelwert

v: Variationskoeffizient

Tabelle A4.16: Fortsetzung

Versuchs- serie/Mör- telgruppe	stat. Kenn- werte	ρ_1	ρ_d	$\beta_{D,N}$	$\rho_{I,I}$	$\beta_{D,I}/\beta_{F,I}$	$\rho_{I,II}$	$\beta_{D,II}/\beta_{F,II}$	$\rho_{I,III}$	$\beta_{D,III}/\beta_{F,III}$
-	-	kg/m^3		N/mm^2	kg/m^3	N/mm^2	kg/m^3	N/mm^2	kg/m^3	N/mm^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W704/ LM 21 P	min x	-	-	-	837	4,31	872	4,98	898	6,88
	max x				1091	5,51	953	6,85	1054	7,80
	\bar{x}				966	4,83	899	5,63	971	7,29
	n				20	10	8	4	10	5
	s				51,2	0,35	24,5	0,85	44,9	0,36
	v (%)				5,3	7,3	2,7	15,0	4,6	5,0
W705/ LM 21 P	min x	-	-	-	770	2,89	794	2,81	790	4,34
	max x				799	3,50	828	3,83	829	5,51
	\bar{x}				781	3,23	812	3,23	805	4,79
	n				10	9	6	6	6	6
	s				10,0	0,20	11,5	0,35	13,0	0,40
	v (%)				1,3	6,3	1,4	10,9	1,6	8,4

min x: Kleinstwert

max x: Größtwert

 \bar{x} : Mittelwert

n: Anzahl der Werte

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient