

Vergleichende Untersuchungen zur
Haftscherfestigkeitsprüfung nach DIN
18 555 Teil 5 und EN

T 2672/1

T 2672/1

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

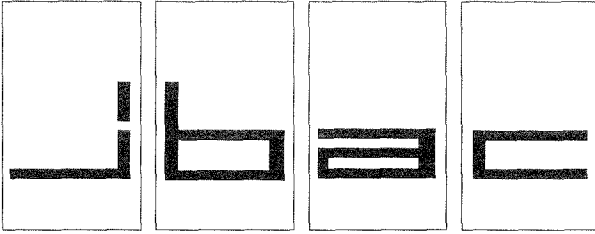
Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Direktoren: Professor Dr.-Ing. H. R. Sasse · Professor Dr.-Ing. P. Schießl

Schinkelstraße 3, D-52056 Aachen

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

CG/Di

6. Ausfertigung

THEMA

Vergleichende Untersuchungen zur Haft-
scherfestigkeitsprüfung nach DIN 18 555
Teil 5 und EN

ABSCHLUSSBERICHT

Forschungsbericht Nr.

F 449

vom 10.01.1995

Projektleiter

Dr.-Ing. P. Schubert

Sachbearbeiter

Dipl.-Ing. A. Caballero González

Auftraggeber/
Förderer

Deutsches Institut
für Bautechnik
Reichpietschufer 74-76

10785 Berlin

Auftragsdatum

08.10.1993

Aktenzeichen

IV 1-5-738/93

Dieser Bericht umfaßt 50 Seiten, davon 21 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	EINLEITUNG	1
1.1	Allgemeines	1
2	LITERATURSICHTUNG ZUM VERGLEICH DER HAFTSCHER- FESTIGKEITEN NACH DIN 18 555 TEIL 5 UND prEN 1052 TEIL 3	1
2.1	Allgemeines	1
2.2	Vergleichende Untersuchungen	2
3	VERSUCHSPROGRAMM	5
4	VERWENDETE MATERIALIEN UND DEREN EIGENSCHAFTEN	5
4.1	Mauersteine	5
4.1.1	Prüfungen	5
4.1.1.1	Maße, Trockenrohddichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$	5
4.1.1.2	Lochanteil	5
4.1.1.3	Vorbehandlung der Mauersteine vor dem Vermauern	5
4.1.2	Prüfergebnisse	6
4.1.2.1	Maße, Trockenrohddichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$	6
4.1.2.2	Lochanteil Hochlochziegel	6
4.1.2.3	Feuchtegehalt beim Vermauern h_m	7
4.2	Mauermörtel	7
4.2.1	Allgemeines	7
4.2.2	Herstellung	7
4.2.3	Prüfungen	7
4.2.3.1	Frischmörtelprüfungen	7
4.2.3.2	Festmörtelprüfungen	8
4.2.4	Prüfergebnisse	8
5	VERSUCHE ZUM VERGLEICH DER HAFTSCHERFESTIGKEITEN NACH DEN PRÜFVERFAHREN DIN UND EN	8
5.1	Allgemeines	8

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>		Seite
5.2	Prüfung nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/.....	9
5.2.1	Prüfkörperherstellung	9
5.2.2	Durchführung der Haftscherfestigkeitsprüfung	9
5.2.3	Versuchsergebnisse	9
5.3	Prüfung nach prEN 1052 Teil 3 /X2/	10
5.3.1	Prüfkörperherstellung	10
5.3.2	Durchführung der Haftscherfestigkeitsprüfung	10
5.3.2.1	Versuchsergebnisse	11
5.4	Streuung der Versuchsergebnisse.....	12
6	VERGLEICH DER HAFTSCHERFESTIGKEITEN NACH DEN PRÜF- VERFAHREN DIN UND EN.....	13
6.1	Allgemeines.....	13
6.2	Einfluß der Mauersteinart	13
6.2.1	Kalksandsteine	13
6.2.2	Porenbetonsteine	14
6.2.3	Hochlochziegel.....	15
6.2.4	Mauerziegel.....	15
6.2.5	Normal- und Leichtbetonsteine.....	15
6.3	Einfluß der Mörtelart.....	16
6.3.1	Allgemeines.....	16
6.3.2	Normalmörtel	16
6.3.3	Leichtmörtel	16
6.3.4	Dünnbettmörtel.....	16
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	17
8	LITERATUR.....	19
	Tabellen	A1 - A14
	Bilder	B1 - B12

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Bisher wurde in der Bundesrepublik Deutschland die Haftscherfestigkeit zwischen Mauer-
mörtel und Mauersteinen nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ bestimmt. Die Haftscherfestigkeit
wird hierbei im Scherversuch an Zweisteinkörpern ermittelt. Der Versuchsaufbau für Steine
des Formats NF ist in Bild 1 dargestellt. Im Rahmen der Harmonisierung europäischer Nor-
men soll die im Entwurf der EN 1052 Teil 3 /X2/ beschriebene Prüfung am Dreisteinkörper
durchgeführt werden, siehe Bild 2.

Da diese beiden Verfahren sich nicht nur durch den Prüfkörper, sondern besonders auch
hinsichtlich des erzeugten Spannungszustandes in der Fuge unterscheiden, ergeben sich bei
gleichen Materialien unterschiedliche Haftscherfestigkeitswerte.

Aufgabe dieses Forschungsvorhabens war es, die in der Literatur vorliegenden Haftscher-
festigkeitswerte für beide Verfahren zusammenzustellen, diese durch zusätzliche Versuche
zu ergänzen und dann alle Versuchsergebnisse auf mögliche Zusammenhänge zwischen den
Haftscherfestigkeitswerten beider Verfahren auszuwerten.

Die Forschungsarbeit wurde dankenswerterweise finanziell durch das Deutsche Institut für
Bautechnik (DIBt) gefördert.

2 LITERATURSICHTUNG ZUM VERGLEICH DER HAFTSCHER FESTIGKEITEN NACH DIN 18 555 TEIL 5 UND prEN 1052 TEIL 3

2.1 Allgemeines

Das Verfahren nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ besitzt gegenüber dem in prEN 1052 Teil 3
/X2/ den Vorteil der einfacheren Prüfkörperherstellung. Prüfeinrichtung und Einbau der
Prüfkörper sind jedoch erheblich aufwendiger.

Bei den Untersuchungen in /1/ wurde unter anderem der Einfluß der Prüfkörperherstellung
auf die Prüfergebnisse bewertet. Hierzu wurden gleiche Prüfkörper von zwei verschiedenen
Laboranten (A und B) hergestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse beziehen sich dabei im we-
sentlichen auf Kalksandsteine (Kalksand-Referenzsteine). Es konnte festgestellt werden, daß
die "handwerkliche Ausführung" einen erheblichen Einfluß auf die Haftscherfestigkeit hat.
Die Haftscherfestigkeitswerte unterschieden sich um 10 bis 30 %. Das Bruchbild fast aller,

der in /1/ durchgeführten Versuche entsprach dem Bruchbild a nach /X1/. (siehe auch Bild 3). In 80 % der Fälle trat der Bruch zwischen Mörtel und dem beim Vermauern oben liegenden Stein auf. Dies zeigt, daß die Steinlage ebenfalls einen erheblichen Einfluß auf die Ergebnisse hat.

Aus den Erkenntnissen in /1/ lassen sich nicht direkt Schlußfolgerungen für die Prüfung nach /X2/ und den dort verwendeten Prüfkörper ziehen. Man kann jedoch vermuten, daß die Ausführung der Prüfkörper noch einen größeren Einfluß auf die Prüfergebnisse hat, da bei den EN-Prüfkörpern zwei Lagerfugen herzustellen sind.

Keines der beiden Prüfverfahren ermöglicht eine momentenfreie Belastung. Bei beiden Verfahren treten sowohl Druck- als auch Zugspannungen senkrecht zur Lagerfuge auf. Der Spannungszustand in der Prüffläche ist jedoch nicht identisch, wie in /2/ dargestellt wird.

Weitere Unterschiede bestehen in der Herstellung und Lagerung der Prüfkörper sowie der Belastungsgeschwindigkeit im Versuch.

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Angaben zu Haftscherfestigkeitswerten nach unterschiedlichen Prüfverfahren. In nur wenigen Fällen wurden jedoch gezielt vergleichende Prüfungen nach /X1/ und /X2/ durchgeführt. Dies hängt damit zusammen, daß der EN-Normenentwurf erst seit kurzer Zeit verfügbar ist. Umfangreiche Vergleichsuntersuchungen werden in /3/ und /4/ beschrieben, weitere Angaben sind in /5/, /6/, /7/ und /8/ zu finden.

2.2 Vergleichende Untersuchungen

Eine der umfangreichsten Untersuchungen war die in /3/ durchgeführte. Hier wurden verschiedene Mauersteine (Kalksandsteine, Kalksand-Referenzsteine, Vollklinker, Hochlochziegel, Porenbetonsteine) mit unterschiedlichen Mauermörteln (Normal-, Leicht-, Dünnbettmörtel) untersucht. Einen Überblick über die untersuchten Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen gibt Tabelle 2. In den Tabellen 3.1 und 3.2 sind die wesentlichen Ergebnisse aufgeführt.

In /3/ wurden vier verschiedene Prüfverfahren, mit unterschiedlicher Belastung senkrecht zur Lagerfuge verglichen. Außer dem Verfahren nach /X1/ wurde ein Prüfverfahren angewendet, das mit dem Verfahren aus /X2/ vergleichbar ist. Nur die Lasteinleitungsplatten

unterscheiden sich, was jedoch kaum einen Einfluß auf die Haftscherfestigkeiten haben dürfte (siehe Bild 4). Tabelle 2 gibt einen Überblick über die bei den Versuchen in /3/ verwendeten Stein-Mörtel-Kombinationen.

Zur Untersuchung des Einflusses einer Belastung senkrecht zur Lagerfuge auf die Haftscherfestigkeit in /3/ wurden folgende Belastungsstufen gewählt. Je Belastungsstufe ist der gesamte Bereich der angewendeten Spannungen angegeben.

Für verschiedene Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen wurden unterschiedliche Spannungen gewählt.

Stufe 0: keine zusätzliche äußere Belastung

Stufe 1: 0,04 - 0,17 N/mm²

Stufe 2: 0,08 - 0,52 N/mm²

Stufe 3: 0,13 - 0,87 N/mm²

Da das Verfahren nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ keine Belastung senkrecht zur Lagerfuge ermöglicht, läßt sich der Einfluß einer solchen Belastung nicht vergleichend feststellen.

Bei den in /3/ durchgeführten Versuchen wurden auch feuchte Kalksandsteine mit Dünnbettmörtel geprüft. Die Versuchsergebnisse dieser Serie und verschiedenen Belastungsstufen sind überraschend, da sich die größten Scherfestigkeitswerte $\beta_{HS,EN}$ ohne Auflast (Stufe 0) ergaben. Bei einer Vielzahl der Prüfkörper dieser Serie wurde ein Steinversagen beobachtet.

Im allgemeinen ist zu erwarten, daß eine Erhöhung der Lagerfugennormalspannung zu einem Anstieg der Scherfestigkeit führt. Die Ergebnisse in /3/, ausgenommen die vorgenannte Serie feuchte Kalksandsteine und Dünnbettmörtel, bestätigen dies.

Zwei der in /3/ untersuchten Serien waren Kalksandsteine mit Leichtmauermörtel LM 21. Die Serie mit den feucht vermauerten Kalksandsteinen und LM 21 ergab unerwartet hohe Haftscherfestigkeitswerte sowohl nach der DIN- als auch nach der EN-Prüfung. Nur bei der Serie feucht vermauerte Kalksandsteine und Dünnbettmörtel (s. o.) waren die Haftscherfestigkeitswerte der geprüften Kalksandstein-Serien (s. a. Tabelle 3.1) noch größer. Ähnlich waren die Ergebnisse auch bei den Serien mit Porenbetonsteinen. Auch hier wurden mit dem Leichtmauermörtel zwischen feuchten Porenbetonsteinen verhältnismäßig große Haftscherfestigkeitswerte erzielt.

Bei Untersuchungen in /4/ wurden 4 Normalmörtel (MG IIa), je zwei Werk trockenmörtel und Werkfrischmörtel in Kombination mit verschiedenen Mauersteinen untersucht, siehe auch Tabelle 2. Es wurden Haftscherfestigkeitswerte sowohl nach dem DIN- als auch nach dem EN-Verfahren ermittelt. Die Ergebnisse der Versuchsserien mit Leicht- und Normalbetonsteinen waren überraschend, weil trotz unterschiedlicher Haftscherfestigkeitswerte mit dem Prüfverfahren nach DIN 18 555 Teil 5 - $\beta_{HS,DIN}$ die $\beta_{HS,EN}$ -Werte nahezu konstant waren (vgl. Tabelle 4.1 und 4.2). Obwohl ein direkter Vergleich zwischen den Werten in /3/ und in /4/ nicht möglich ist, fällt dennoch auf, daß die in /4/ bestimmten Haftscherfestigkeitswerte ($\beta_{HS,DIN}$ und $\beta_{HS,EN}$) deutlich kleiner sind als die annähernd vergleichbaren Werte in /3/.

In /5/ wurden an einem Kalksandstein und einem Hochlochziegel mit einem Normalmörtel MG IIa Haftscherfestigkeits-Vergleichsversuche nach DIN und EN durchgeführt (s. Tabelle 2). Der Verhältniswert der Haftscherfestigkeiten $\beta_{HS,EN}/\beta_{HS,DIN}$ für den Hochlochziegel lag deutlich unter den Verhältniswerten anderer Untersuchungen. Ein Vergleich mit /4/ zeigt, daß der Haftscherfestigkeitswert dieser Serie nach DIN $\beta_{HS,DIN}$ deutlich höher ist, während der EN-Wert $\beta_{HS,EN}$ vergleichbar groß ist (s. auch Tabelle 5).

In /6/ wurden aus Porenbetonelementen zweier Festigkeitsklassen Probekörper herausgeschnitten und mit Dünnbettmörtel vermauert. Die Haftscherfestigkeiten wurden nach DIN und EN ermittelt. Der Verhältniswert der Haftscherfestigkeiten $\beta_{HS,EN}/\beta_{HS,DIN}$ war, im Vergleich zu den Werten aus /3/, außergewöhnlich hoch. Die Haftscherfestigkeitswerte nach EN waren vergleichbar groß, jedoch wurden nur halb so große Werte nach DIN ermittelt (s. auch Tabelle 5).

In /7/ wurde unter anderem die Haftscherfestigkeit von Kalksandsteinplanelementen mit zwei verschiedenen Dünnbettmörteln nach DIN und EN bestimmt. Aus den Planelementen wurden für die Versuche ca. 2 DF-große Proben gesägt. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen der Serie mit trockenen Kalksandsteinen und Dünnbettmörtel aus /3/, wenn auch die Haftscherfestigkeitswerte $\beta_{HS,EN}$ kleiner ausfallen (s. a. Tabelle 5).

Auch in /8/ wurde ein Porenbetonplanstein mit Dünnbettmörtel geprüft. Die Haftscherfestigkeit wurde nach DIN und EN ermittelt. Der Haftscherfestigkeitswert nach DIN $\beta_{HS,DIN}$ ist vergleichbar mit dem in /3/ ermittelten, während $\beta_{HS,EN}$ in der Größenordnung der Werte aus /6/ liegt (vgl. auch Tabelle 5).

3 VERSUCHSPROGRAMM

Die Auswahl der Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen für das Versuchsprogramm erfolgte unter Bezug auf die Literatursichtung (siehe auch Abschnitt 2) und noch nicht bzw. nicht ausreichend untersuchte marktübliche Kombinationen. Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Versuche aus der Literatur und die im Rahmen der Forschungsarbeit untersuchten Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen.

4 VERWENDETE MATERIALIEN UND DEREN EIGENSCHAFTEN

4.1 Mauersteine

4.1.1 Prüfungen

4.1.1.1 Maße, Trockenrohddichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$

Die Maße, die Trockenrohddichte ρ_d und die Steindruckfestigkeit $\beta_{D,st}$ wurden nach den entsprechenden Steinnormen bestimmt.

4.1.1.2 Lochanteil

Der Lochanteil wurde nur bei den Hochlochziegeln nach dem Entwurf der EN 772 Teil 9 /X3/ geprüft. Es wurde jeweils der Lochanteil des ganzen Steins als auch der Lochanteil der für die DIN-Prüfung zurecht gesägten Steine ermittelt. Die Außenstege der gesägten Steine waren an drei Seiten identisch mit denen des ganzen Steins, lediglich an einer Seite hatte der Außensteg die gleiche Stegdicke wie die der Innenstege (Innenstege 12 mm, Außenstege 15 mm). Das Lochbild des gesägten Steins war vergleichbar mit dem des ganzen Steins.

4.1.1.3 Vorbehandlung der Mauersteine vor dem Vermauern

Die Steinvorbehandlung erfolgte sowohl bei den Prüfkörpern für die DIN-Prüfung als auch bei den Prüfkörpern für die EN-Prüfung in gleicher Weise.

Die Hochlochziegel wurden 1 h in Wasser und anschließend 1 h im Laborklima gelagert, um sicherzustellen, daß die anfängliche Wasseraufnahme den Wert $1,5 \text{ kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{min})$ nicht überschreitet (Grenzwert in prEN 1052 Teil 3). Für die Versuchsserie mit trockenen Hochlochziegeln wurden die Steine im Laborklima 20/65 bis zur Massekonstanz gelagert.

Die Kalksandsteine wurden bei einer Temperatur von 60 °C auf einen Feuchtegehalt von ca. 5 M.-% getrocknet.

Die Porenbeton-Planbauplatten, aus denen die Steine für die Prüfkörper gesägt wurden, wurden bis unmittelbar vor der Herstellung der Prüfkörper in einer Halle gelagert. Die Steine für die Prüfkörper wurden einen Tag vor dem Vermauern aus den Planblöcken geschnitten. Der Feuchtegehalt der Steine entspricht somit in etwa Baustellenbedingungen.

Die Leichtbetonsteine wurden vor dem Vermauern 5 min in Wasser getaucht. Anschließend konnte das Wasser kurzzeitig (Behandlung nach prEN 1052 Teil 3) abtropfen.

4.1.2 Prüfergebnisse

4.1.2.1 Maße, Trockenrohdichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$

Die Prüfergebnisse enthält die Tabelle 6. Die Anforderungen an die Maße wurden von allen Mauersteinen, die Anforderung an die Normdruckfestigkeit wurde von allen Mauersteinen, mit Ausnahme des Hochlochziegels, erfüllt. Der Mittelwert der Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$ liegt bei dem Hochlochziegel mit 13,8 N/mm² unter dem nach Norm geforderten Wert von 15,0 N/mm².

4.1.2.2 Lochanteil Hochlochziegel

Die Prüfergebnisse enthält die Tabelle 7. Die Haftscherfestigkeit von gelochten Mauersteinen wird durch die Scherfestigkeit zwischen Stein und Mörtel sowie durch die Scherfestigkeit der Mörteldornen in der Lochung bestimmt. Der Lochanteil der gesägten Steine unterschied sich nur geringfügig von dem der ganzen Steine. Der Einfluß des unterschiedlichen Lochanteils auf die Haftscherfestigkeit kann somit vernachlässigt werden.

Der Einfluß der einseitig geringfügigeren Außenstegdicke der gesägten Steine auf die Haftscherfestigkeit kann ebenfalls vernachlässigt werden, da Mörtelversagen maßgebend war.

4.1.2.3 Feuchtegehalt beim Vermauern h_m

Die ermittelten Werte der Steinfeuchte beim Vermauern der verwendeten Steine enthält die Tabelle 6.

4.2 Mauermörtel

4.2.1 Allgemeines

Für die Haftscherfestigkeitsversuche wurden ein Normalmörtel, ein Leichtmörtel sowie ein Dünnbettmörtel verwendet. Mit Ausnahme des Normalmörtels handelte es sich um Werk-trockenmörtel.

4.2.2 Herstellung

Der Leichtmörtel wurde zunächst im Mischer trocken homogenisiert. Anschließend wurde das Wasser entsprechend den Angaben des Herstellers zugegeben, dabei wurde die Wassermenge auf das tatsächliche Sackgewicht abgestimmt. Die Mischzeit betrug 5 min.

Der Dünnbettmörtel wurde nach den Herstellerangaben auf dem Sack gemischt. Zunächst wurde der Mörtel mit einem praxisüblichen Handmischgerät in einem Kübel trocken homogenisiert und anschließend wurde das erforderliche Wasser zugegeben. Die Mischzeit betrug 3 min.

Als Normalmörtel wurde ein im Labor hergestellter Mörtel der Gruppe IIIa verwendet. Die Zusammensetzung ist in Tabelle 8 angegeben. Das Mischen erfolgte in einem 20 l Zwangsmischer. Der Zuschlag wurde zunächst ca. 60 s trocken vorgemischt, anschließend wurden Bindemittel und Wasser zugegeben. Die Mischzeit nach der Wasserzugabe betrug 3 min.

4.2.3 Prüfungen

4.2.3.1 Frischmörtelprüfungen

An den Frischmörteln wurden das Ausbreitmaß a , der Luftgehalt L und die Frischmörtelroh-dichte ρ_{ff} nach DIN 18 555 Teil 2 /X4/ bestimmt.

4.2.3.2 Festmörtelprüfungen

An den Festmörteln wurde die Druckfestigkeit nach dem Entwurf der EN 1015 Teil 11 /X6/ im Alter von 14 d ermittelt. Die Lagerung erfolgte bis zu diesem Zeitpunkt nach /X6/.

Der Grund für die Prüfung der Druckfestigkeit nach prEN 1015 Teil 11 /X6/ liegt darin, daß die DIN 1164 Teil 7 /X7/, auf die in DIN 18 555 Teil 3 /X8/ verwiesen wird, durch die EN 196 Teil 1 /X9/ ersetzt wurde. Die Prüfgeschwindigkeit wurde in /X9/ im Hinblick auf den zu prüfenden Zement festgelegt und ist somit für Mauermörtel zu hoch. In der prEN 1015 Teil 11 /X6/ wurde dieser Umstand berücksichtigt und die Prüfgeschwindigkeit angepaßt.

4.2.4 Prüfergebnisse

Die Frischmörtelkennwerte, sowie die Druckfestigkeitswerte im Alter von 14 d $\beta_{D,14}$ sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

5 VERSUCHE ZUM VERGLEICH DER HAFTSCHERFESTIGKEITEN NACH DEN PRÜFVERFAHREN DIN UND EN

5.1 Allgemeines

Um möglichst gleiche Bedingungen für die Prüfkörperherstellung zu schaffen, wurden die Prüfkörper für die DIN- und für die EN-Prüfung jeweils am selben Tag mit Mörtel aus der selben Mörtelmischung hergestellt.

5.2 Prüfung nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/

5.2.1 Prüfkörperherstellung

Die Prüfkörper wurden in einem Labor mit Normalklima 20/65 hergestellt. Die Herstellung erfolgte auf einem Abgleichtisch. Die Lagerfugen wurden unter Verwendung eines Rahmens in einer Schichtdicke von 15 ± 1 mm auf dem unteren Stein hergestellt. Anschließend wurde die Lagerfugendicke durch Aufklopfen des oberen Steins auf 12 ± 1 mm gebracht. Durch den Einsatz eines Anschlagwinkels und einer Maschinenlibelle wurde sichergestellt, daß der obere Stein parallel, lot- und fluchtgerecht zum unteren Stein ausgerichtet war. Nach der Fertigstellung der Prüfkörper lagerten diese bis zur Prüfung im Alter von 14 d im Laborklima, abgedeckt mit einer Folie.

5.2.2 Durchführung der Haftscherfestigkeitsprüfung

Die Prüfkörper wurden im Alter von 14 d in die Prüfvorrichtung eingebaut und innerhalb von 30 bis 90 s stetig bis zum Bruch belastet. Neben der Bruchlast wurde auch das Bruchbild nach /X1/ dokumentiert, siehe auch Bild 3.

5.2.3 Versuchsergebnisse

Die Tabelle 10 enthält die Prüfergebnisse.

Die Kalksandsteine mit Normalmörtel waren nicht prüfbar, da sich die Steine beim Einbau in die Prüfmaschine von der Mörtelfuge ohne nennenswerten Widerstand ablösen ließen. Bild 5 zeigt, daß der Mörtel starke Schwindrisse aufwies, wodurch der schwache Verbund zwischen Stein und Mörtel erklärbar ist. Die Schwindrisse sind auf das Absaugen von Mörtelwasser der nicht vorgehängten Steine zurückzuführen.

Bei den Leichtbetonsteinen mit Leichtmörtel verlief der Bruch bei allen durchgeführten Versuchen durch den Stein.

Die Porenbetonsteine mit Dünnbettmörtel versagten erwartungsgemäß im Grenzbereich zwischen Stein und Mörtel, wobei meist in Teilbereichen der Bruchfläche Steinmaterial am Mörtel haftete. In einigen Fällen trat gleichzeitig mit dem Versagen des Fugenbereichs auch ein Steinversagen ein. Bild 6 zeigt einen solchen Versagensfall.

Das Bruchbild der Hochlochziegel mit Leichtmörtel entsprach bei allen Versuchen, sowohl bei den trocken als auch bei den feucht vermauerten Steinen, dem Bruchbild a nach /X1/ (siehe auch Bild 3).

5.3 Prüfung nach prEN 1052 Teil 3 /X2/

5.3.1 Prüfkörperherstellung

Die Prüfkörper wurden auf einem Abgleichtisch gemauert. Auf den unteren Stein wurde Mörtel aufgetragen und durch Aufsetzen und Aufklopfen des mittleren Steins eine Lagerfugendicke von 10 bis 12 mm erzielt. Der überstehende Mörtel wurde mit der Maurerkelle abgestrichen. Durch den Einsatz eines Winkelmaßes und einer Wasserwaage wurde sichergestellt, daß der obere Stein parallel und fluchtgerecht zum unteren Stein ausgerichtet war. Mit dem oberen Stein wurde anschließend analog verfahren. Nach der Fertigstellung der Prüfkörper wurden diese mit Folien dicht abgedeckt und gleichmäßig, mit Hilfe von Mauersteinen, belastet. Die Lagerung bis zur Prüfung im Alter von 14 d erfolgte im Laborklima.

Ein Abgleichen der Prüfkörper vor der Prüfung war nicht erforderlich. Bei der Serie mit den Leichtbetonsteinen wurde zwischen den Druckplatten und der Steinoberfläche eine Filzlage eingelegt, um Spannungsspitzen durch eventuell herausragende Zuschlagkörner zu vermeiden.

5.3.2 Durchführung der Haftscherfestigkeitsprüfung

Die Prüfkörper wurden im Alter von 14 d in die Prüfvorrichtung eingebaut und mit 10 kN/min stetig bis zum Bruch belastet. Bruchlast und Bruchbild wurden dokumentiert, die Bruchbildbezeichnung erfolgte in Anlehnung an /X1/.

5.3.2.1 Versuchsergebnisse

Die Tabelle 11 enthält die Prüfergebnisse.

Die Kalksandsteine mit Normalmörtel waren aus den bereits in Abschnitt 5.2.3 genannten Gründen nicht prüfbar.

Bei den Leichtbetonsteinen mit Leichtmörtel verlief der Bruch bei allen durchgeführten Versuchen durch den Stein. Bei den meisten der Versuche traten im Stein Risse bei etwa 0,5 bis 0,75-facher Höchstlast auf. Ein typisches Bruchbild ist in Bild 7 dargestellt. Das Bruchbild deckt sich gut mit der in /2/ beschriebenen Spannungsverteilung in der Fuge und den sich daraus ableitbaren Spannungsverhältnissen im Stein, siehe auch Bild 8. In Bild 9 ist die in /2/ beschriebenen Spannungsverteilung beim DIN-Verfahren zum Vergleich dargestellt.

Die Porenbetonsteine mit Dünnbettmörtel versagten im Grenzbereich zwischen Stein und Mörtel. Bei drei der fünf Prüfkörper traten bereits bei 0,4 bis 0,6-facher Höchstlast Risse im Stein auf, bevor die Prüfkörper dann bei Erreichen der Höchstlast in der Fuge versagten. An den Bruchflächen haftete teilweise Steinmaterial.

Das Bruchbild der Hochlochziegel mit Leichtmörtel entsprach bei allen Versuchen, sowohl bei den trocken als auch bei den feucht vermauerten Steinen, einem Adhäsionsbruch (Bruchbild a nach /X1/). Während die Haftscherfestigkeitswerte nach DIN $\beta_{HS,DIN}$ bei den feuchten Steinen etwa 2,3-mal so groß wie die bei trockenen Steinen waren, ergaben sich nach EN für beide Feuchtezustände praktisch gleich große $\beta_{HS,EN}$ -Werte.

Untersuchungen, wie etwa die Tastversuche in /9/ haben gezeigt, daß die Haftzugfestigkeit bei trocken vermauerten Hochlochziegeln oftmals sehr gering und teilweise vernachlässigbar klein ist. In /9/ wurde punktuell die Haftzugfestigkeit β_{HZ} an Verbundprüfkörpern aus trocken und feucht vermauerten Hochlochziegeln und dem gleichen Leichtmörtel, wie er in den hier beschriebenen Versuchen verwendet wurde, ermittelt. Dabei ergab sich bei den feucht vermauerten Steinen eine Haftzugfestigkeit β_{HZ} von 0,17 N/mm². Bei den trocken vermauerten Steinen konnte keine Haftzugfestigkeit ermittelt werden. In den Fällen, wo keine oder nur eine geringe Haftung zwischen Stein und Mörtel vorhanden ist, wird bei gelochten Steinen, vor allem bei Hochlochziegeln, die Haftscherfestigkeit im wesentlichen durch die Scherfestigkeit der Mörteldorne in den Lochungen bestimmt. Zu beachten ist außerdem der Einfluß der Handhabung der unterschiedlichen Prüfkörper auf die Haftscherfestigkeit. Die Prüfkörper für die DIN-Prüfung werden aus nur ca. 2 DF-großen Steinpro-

ben, die Prüfkörper für die EN-Prüfung aus ganzen, hier 12 DF-großen Steinen hergestellt. Zum Einbau in die Prüfvorrichtung müssen die ca. 70 kg schweren EN-Prüfkörper von Hand in die "horizontale Prüflage" gedreht werden. Es ist auch bei sorgfältiger Handhabung nicht auszuschließen, daß bei diesem Vorgang der Verbund, sowohl der trockenen als auch der feuchten Steine, beim Einbau der Prüfkörper in die Prüfeinrichtung bereits geschädigt wird. Unterstellt man ein starke Schädigung des Verbundes, so wäre in beiden Fällen - feucht und trocken vermauerte Hochlochziegel - die Scherfestigkeit der Mörteldornen in den Steinlo- chungen maßgebend gewesen. Die Fugenmörteldruckfestigkeit $\beta_{D,F}$ nach /10/ war in beiden Fällen mit 15,0 N/mm² und 16,3 N/mm² annähernd gleich, was die gleichen Haftscherfestig- keiten $\beta_{HS;EN}$ bei unwirksamem Verbund (Adhäsion) erklären würde.

Es ist deshalb für die endgültige Festlegung eines Prüfverfahrens in einer europäischen Norm auch die Handhabbarkeit des Prüfkörpers bei großformatigen, schweren Mauersteinen und deren Einfluß auf die Prüfergebnisse zu berücksichtigen.

Eine Schädigung der Prüfkörper, durch den Einbau in die Prüfvorrichtung kann bei der DIN- Prüfung wegen der wesentlich geringeren Prüfkörpergewichte ausgeschlossen werden.

5.4 Streuung der Versuchsergebnisse

Die Streuung der Versuchsergebnisse liegt bei beiden Verfahren im Rahmen der bisher be- kannten Streumaße (gleiche Größenordnung der Variationskoeffizienten aus Tabelle 10 und /3/). Die geringe Streuung der Versuchsergebnisse bei den Serien mit Porenbetonsteinen und mit Dünnbettmörtel ist wahrscheinlich auf das Bruchbild (Bruch im Stein) zurückzuführen. Offensichtlich ist deshalb die Streuung der Steineigenschaften maßgebend.

6 VERGLEICH DER HAFTSCHERFESTIGKEITEN NACH DEN PRÜFVERFAHREN DIN UND EN

6.1 Allgemeines

In Bild 10 sind die Versuchswerte und sämtliche in der Literatur gefundenen Werte dargestellt. Auf eine Unterscheidung nach Mauersteinen und Mauermörtel wurde zunächst verzichtet. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Streuungen zum Teil sehr groß sind. Insgesamt ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen den Haftscherfestigkeitswerten nach DIN und EN

$$\beta_{HS,EN} = 0,53 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 74,1 \%} \quad (1)$$

Die Berechnung der Gleichung (1) erfolgte ohne den β_{HS} -Wert aus /3/ für feucht vermauerte Kalksandsteine mit Dünnbettmörtel. Man kann in Bild 10 erkennen, daß dieser β_{HS} -Wert (oberer rechter Wert), offensichtlich als "Ausreißer" zu bewerten ist.

Im folgenden wird der Zusammenhang zwischen den Haftscherfestigkeitswerten nach DIN und EN nach Steinsorten und Mörtelarten unterteilt dargestellt.

6.2 Einfluß der Mauersteinart

6.2.1 Kalksandsteine

Bild 11 zeigt die Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN für Kalksandsteine. Es ergibt sich folgender Zusammenhang

$$\beta_{HS,EN} = 1,03 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 78,6 \%} \quad (2a)$$

In die Auswertung gingen Werte von Kalksandsteinen mit Normal- und Leichtmörteln, Kalksandreferenzsteinen mit Normal-, Dünnbettmörteln sowie Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel ein. Das Auswertergebnis wird wiederum stark durch den β_{HS} -Wert für feucht vermauerte Kalksandsteine mit Dünnbettmörtel aus /3/ beeinflusst. Bleibt dieser Wert in der Regressionsrechnung unberücksichtigt, so ergibt sich (siehe auch Bild 12)

$$\beta_{HS,EN} = 0,67 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 86,3 \%} \quad (2b)$$

Der Verhältniswert von 0,67 entspricht der bisherigen Erkenntnis, daß die Haftscherfestigkeitswerte nach EN in der Regel kleiner sind als die nach DIN ermittelten.

Ein Großteil der Prüfwerte, die in die Berechnungen der Gleichungen (2a) und (2b) eingegangen sind, liegen im Bereich kleiner Haftscherfestigkeiten ($\beta_{HS,DIN} < 0,60 \text{ N/mm}^2$). Die wenigen größeren β_{HS} -Werte beeinflussen weitgehend die Steigung der Regressionsgeraden. Um den Bereich größerer β_{HS} -Werte sicherer beschreiben zu können, bedarf es zusätzlicher Versuchswerte. Eine weitere Auswertung bezieht sich deshalb auf den Bereich $\beta_{HS} \leq 0,6 \text{ N/mm}^2$ (siehe Bild 13). Die Auswertung beinhaltet Serien mit Kalksandsandsteinen mit Normal- und Leichtmörteln, Kalksand-Referenzsteinen mit Normalmörteln sowie Kalksand-Planelementen mit Dünnbettmörtel. Der Zusammenhang ergibt sich dann zu

$$\beta_{HS,EN} = 0,52 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 74,9 \%} \quad (2c)$$

6.2.2 Porenbetonsteine

Für Porenbetonsteine ergab die Auswertung der vorliegenden Ergebnisse einen sehr schwachen Zusammenhang von

$$\beta_{HS,EN} = 0,44 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 54,6 \%} \quad (3a)$$

In Bild 14 wird dies verdeutlicht. Der Zusammenhang wird erheblich besser, wenn nur die Ergebnisse aus /3/ betrachtet werden:

$$\beta_{HS,EN} = 0,26 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 80,2 \%} \quad (3b)$$

Den Auswertungen für die Gleichungen (3a) und (3b) lagen die Serien mit Porenbetonsteinen unter Verwendung von Normal-, Leicht- und Dünnbettmörteln zu grunde. Während bei der Verwendung von Normal- und Leichtmörteln wahrscheinlich von einem Adhäsionsbruch ausgegangen werden kann, ist der Bruch bei Verwendung von Dünnbettmörtel in der Regel eine Mischung aus Adhäsionsbruch und Steinversagen in der Randschicht. Eine Bewertung solcher Bruchbilder ist oft schwierig, da kein eindeutiges Kriterium vorliegt, nach dem ein Bruch dem Bruchbild c nach /X1/ bzw. reinem Steinversagen zuzuordnen ist. Neben dem verwendeten Mörtel beeinflusst die Spannungsverteilung in der Fuge zusätzlich das Bruchbild.

In /3/ wurden überwiegend Versuche mit Normal- und Leichtmörtel, lediglich in einem Fall mit Dünnbettmörtel, durchgeführt. Dies erklärt vermutlich die Unterschiede in den Gleichungen (3a) und (3b).

6.2.3 Hochlochziegel

Bei den Hochlochziegeln, vermauert mit Normal- und Leichtmörteln, konnte für eine Vielzahl der Wertepaare folgender Zusammenhang gefunden werden (siehe Bild 15):

$$\beta_{\text{HS,EN}} = 0,75 \cdot \beta_{\text{HS,DIN}} \quad \text{Best.: 92,4 \%} \quad (4)$$

Das in /5/ angegebene Wertepaar für Hochlochziegel mit Normalmörtel, wie auch das Wertepaar aus den hier durchgeführten Versuchen (feuchte Hochlochziegel, siehe Abschnitt 5.3.3), unterscheiden sich deutlich von den anderen Versuchsergebnissen. Beide Wertepaare wurden deshalb bei der Regressionsrechnung nicht berücksichtigt.

6.2.4 Mauerziegel

Der Verhältniswert der Haftscherfestigkeitswerte ergab sich zu (siehe auch Bild 16):

$$\beta_{\text{HS,EN}} = 0,57 \cdot \beta_{\text{HS,DIN}} \quad \text{Best.: 93,1 \%} \quad (5)$$

Es waren nur Haftscherfestigkeitswerte für Mauerziegel mit Normalmörteln vorhanden.

6.2.5 Normal- und Leichtbetonsteine

Haftscherfestigkeitswerte waren für Normal- und Leichtbetonsteine nur mit Werkfrisch- und Werk trockenmörtel (beides Normalmörtel, MG IIa) vorhanden. Ein Zusammenhang zwischen den Haftscherfestigkeitswerten nach beiden Prüfverfahren ist für die Betonsteine (Normal- und Leichtbeton) nicht erkennbar (siehe Bild 17). Zwar ergaben sich in /4/ nach dem DIN-Verfahren Haftscherfestigkeitswerten zwischen 0,42 und 0,76 N/mm², die parallel dazu bestimmten β_{HS} -Werte nach EN waren jedoch nahezu konstant. Eine Erklärung hierfür konnte bislang nicht gefunden werden.

6.3 Einfluß der Mörtelart

6.3.1 Allgemeines

Bei den Mauermörteln wurde für die Auswertung nach Normalmörtel, Leichtmörtel und Dünnbettmörtel unterschieden. Es ergaben sich für die Mörtel Zusammenhänge von ähnlicher Güte wie für die Mauersteine.

6.3.2 Normalmörtel

Für die Normalmörtel wurde folgender Zusammenhang zwischen DIN- und EN-Haftscherfestigkeit ermittelt (siehe Bild 18):

$$\beta_{\text{HS,EN}} = 0,52 \cdot \beta_{\text{HS,DIN}} \quad \text{Best.: 79,1 \%} \quad (6a)$$

Bleiben die Ergebnisse für Normal- und Leichtbetonsteine (siehe Bild 17) außer Betracht, so ergibt sich folgende Abhängigkeit:

$$\beta_{\text{HS,EN}} = 0,58 \cdot \beta_{\text{HS,DIN}} \quad \text{Best.: 88,3 \%} \quad (6b)$$

6.3.3 Leichtmörtel

Nach dem Bild 19 ergibt sich kein genereller Zusammenhang zwischen DIN- und EN-Werten.

6.3.4 Dünnbettmörtel

Ein Zusammenhang zwischen $\beta_{\text{HS,EN}}$ und $\beta_{\text{HS,DIN}}$ konnte bei den Dünnbettmörteln, ähnlich wie bei den Leichtmörteln, nicht festgestellt werden (siehe Bild 20).

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die beiden vergleichend untersuchten Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftscherfestigkeit (DIN 18 555 Teil 5 und prEN 1052 Teil 3) führen zu unterschiedlichen Prüfergebnissen. Unter Einbezug aller grundsätzlich plausiblen Versuchswerte aus der Literatur und den hier durchgeführten Versuchen ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen den Haftscherfestigkeitswerten nach EN - $\beta_{HS,EN}$ und DIN - $\beta_{HS,DIN}$:

$$\beta_{HS,EN} = 0,53 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 74,1 \%}$$

Danach ist $\beta_{HS,EN}$ halb so groß wie $\beta_{HS,DIN}$. Bei dieser Auswertung wurde nicht nach Steinart oder Mörtelart unterschieden. Die im folgenden differenzierte Betrachtung nach Stein- und Mörtelart ergibt teilweise stark abweichende Ergebnisse.

Für Kalksandsteine kann der Verhältniswert $\text{rel } \beta_{HS}$ der Haftscherfestigkeiten $\beta_{HS,EN}/\beta_{HS,DIN}$ zu rd. 2/3 angegeben werden. Dieser Verhältniswert ist jedoch für Haftscherfestigkeitswerte $\beta_{HS,DIN} > 0,6 \text{ N/mm}^2$ nicht gesichert, hierzu bedarf es zusätzlicher Versuchswerte. Für Haftscherfestigkeitswerte $\beta_{HS,DIN} \leq 0,6 \text{ N/mm}^2$ kann der Zusammenhang zwischen $\beta_{HS,EN}$ und $\beta_{HS,DIN}$ wie folgt angegeben werden:

$$\beta_{HS,EN} = 0,52 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 74,9 \%}$$

Für die Porenbetonsteine konnte unter Verwendung aller zur Verfügung stehender Werte kein ausreichender Zusammenhang zwischen den Haftscherfestigkeitswerten nach EN - $\beta_{HS,EN}$ und DIN - $\beta_{HS,DIN}$ ermittelt werden. Ein solcher Zusammenhang war lediglich bei den Serien mit Leicht- und Normalmörtel erkennbar. Bei den Versuchsserien mit Dünnbettmörtel scheint die Versagensart (Kombination aus Adhäsions- und Steinversagen) die Ergebnisse stark zu beeinflussen.

Für Hochlochziegel wurde der Verhältniswert $\beta_{HS,EN}/\beta_{HS,DIN}$ zu 0,75 bestimmt. Zwei völlig abweichende Meßwerte wurden in die Auswertung nicht mit einbezogen.

Für Mauerziegel wurde ein straffer Zusammenhang zwischen $\beta_{HS,EN}$ und $\beta_{HS,DIN}$ ermittelt:

$$\beta_{HS,EN} = 0,57 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 93,1 \%}$$

Die Auswertergebnisse für Betonsteine (Normal- und Leichtbeton) überraschten, da trotz unterschiedlicher Haftscherfestigkeit $\beta_{HS,DIN}$ die Haftscherfestigkeit nach EN nahezu unverändert blieb. Ein Zusammenhang zwischen $\beta_{HS,DIN}$ und $\beta_{HS,EN}$ ließ sich deshalb nicht feststellen.

Eine Auswertung der Haftscherfestigkeitswerte nach den verwendeten Mörteln führte lediglich für die Normalmörtel zu einem befriedigenden Zusammenhang:

$$\beta_{HS,EN} = 0,58 \cdot \beta_{HS,DIN} \quad \text{Best.: 88,3 \%}$$

Die an den Betonsteinen ermittelten Ergebnisse wurden dabei nicht berücksichtigt.

Die Auswertung der verfügbaren Ergebnisse aus der Literatur und aus eigenen Versuchen hat die Feststellung in /3/ bestätigt, daß sich die Haftscherfestigkeitswerte ermittelt nach DIN 18 555 Teil 3 und prEN 1052 Teil 3 bis auf wenige Ausnahmen grundsätzlich unterscheiden. Nach den hier durchgeführten Auswertungen liegt die Haftscherfestigkeit nach EN überwiegend im Bereich von rd. 0,5 bis 0,7 der Werte nach DIN. Durch detaillierte Auswertung nach Mauerstein- und Mörtelart ergaben sich im allgemeinen genauere Verhältniswerte $\beta_{HS,EN}/\beta_{HS,DIN}$.

Die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß die Verfahrensweise für den Einbau der Prüfkörper in die Prüfeinrichtung verbessert werden muß. Dies gilt besonders für die Prüfung nach EN, da hier die Prüfkörper, bedingt durch die größeren Maße und damit auch die Masse, zum Teil nicht mehr handhabbar sind. Für ein zukünftiges europäisches Prüfverfahren ist zu überlegen, ob die Prüfkörper z. B. in einem Rahmen hergestellt werden können, der den anschließenden Einbau in die Prüfeinrichtung ohne Störung ermöglicht oder ob der störungsfreie Einbau durch eine Vorspannung bis zur Prüfung erreichbar ist. Die zwar üblichen aber dennoch hohen Streuungen der Prüfergebnisse könnten dadurch sicher reduziert werden.

8 LITERATUR

- /X1/ DIN 18 555 Teil 5 03.86. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel. Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Mauermörteln
- /X2/ prEN 1052 Teil 3 07.93. Prüfverfahren für Mauerwerk; Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)
- /X3/ prEN 772 Teil 9 10.92. Prüfverfahren für Mauersteine; Bestimmung des Loch- und Nettovolumens von Mauerziegeln und Kalksandsteinen mittels Sandfüllung
- /X4/ DIN 18 555 Teil 2 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen. Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehaltes
- /X5/ DIN 18 555 Teil 8 11.87. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel. Bestimmung der Verarbeitbarkeitszeit und der Korrigierbarkeitszeit von Dünnbettmörteln für Mauerwerk
- /X6/ prEN 1015 Teil 11 06.93. Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk; Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörteln
- /X7/ DIN 1164 Teil 7 11.78. Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement; Bestimmung der Festigkeit
- /X8/ DIN 18 555 Teil 3 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel. Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte
- /X9/ EN 196 Teil 1 03.90. Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Festigkeit

- /1/ Fehring, J. ; Keller, H.-G. ; Mehlmann, M.: Untersuchungen über den Einfluß der Haftscherfestigkeit von Mörtel auf die Gebrauchseigenschaften von Mauerwerk; Teil 2. Köln : Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V., 1988. Forschungsbericht Nr. 3/88 (Teil 2)
- /2/ Stöckl, S. ; Hofmann, P. ; Mainz, J.: Methoden für Haftscherversuche. Berlin : Ernst & Sohn. - In: Mauerwerk-Kalender 15 (1990), S. 507-511
- /3/ Anstötz, W.; Kirtschig, K.: Harmonisierung europäischer Baubestimmungen. Eurocode 6 - Mauerwerksbau - Prüfung der Haftscherfestigkeit zwischen Mauersteinen und Mauermörteln. Stuttgart : IRB-Verlag, 1989. - Forschungsbericht T2193
- /4/ Schubert, P.; Hoffmann, G.: Einfluß der Zusammensetzung von Mauermörtel auf die Eigenschaften des Mörtels im Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1995. - Forschungsbericht Nr. F 444 (in Bearbeitung)
- /5/ Schießl, P. ; Schubert, P. ; Meyer, U.: Eurocode 6 - Mauerwerksbau - Bewehrtes Mauerwerk, Untersuchungen zu Materialeigenschaften, Tragfähigkeit und Bemessung. Aachen : Institut für Bauforschung, 1992. - Forschungsbericht Nr. F 325

- /6/ Anstötz, W. : Prüfung der Tragfähigkeit von Mauerwerk aus Porenbeton-Elementen GF. Hannover: Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, 1994. - Prüfzeugnis Nr.: 1180/93 - A/Li
- /7/ Schubert, P. ; Meyer, U.: Biegezug- und Zugtragfähigkeit von unbewehrtem und bewehrtem Kalksandstein-Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1995. - Forschungsbericht Nr. F 417 (in Bearbeitung)
- /8/ Schubert, P. ; Meyer, U.: Rißbreitenbeschränkung in Porenbeton-Plansteinmauerwerk durch konstruktive Lagerfugenbewehrung mit Glasfasergittergewebe und Bewehrungsregeln für Murfor-Flachbewehrung. Aachen : Institut für Bauforschung, 1994. - Forschungsbericht Nr. F 448
- /9/ Meyer, U. : Verbund zwischen Lagerfugenbewehrung und Leichtmörtel in HLz-Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1993. - Prüfbericht Nr. A 2633.
- /10/ Schubert, P. ; Schmidt, St.: Bestimmung der Druckfestigkeit des Mörtels im Mauerwerk. Aachen : Institut für Bauforschung, 1990. - Forschungsbericht Nr. F 304

Tabelle 1: Kurzeichenverzeichnis

Steinbezeichnungen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
P	-	Porenbetonstein
PP	-	Porenbeton-Planstein
HLz	-	Hochlochziegel
KMz	-	Vollklinker
Mz	-	Vollziegel
KS	-	Kalksandstein
KS Referenz	-	Kalksand-Referenzstein
KS-PE	-	Kalksand-Planelement
BS	-	Betonstein
LB	-	Leichtbetonstein
Vbl	-	Leichtbetonvollblock
h_{st}	M.-%	Steinfeuchte beim Vermauern

Mörtelbezeichnungen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
WTM	-	Werk trockenmörtel, Mörtelgruppe MG IIa
WFM	-	Werkfrischmörtel, Mörtelgruppe MG IIa
NM II	-	Normalmörtel, Mörtelgruppe MG II
NM IIa	-	Normalmörtel, Mörtelgruppe MG IIa
NM IIIa	-	Normalmörtel, Mörtelgruppe MG IIIa
LM 21	-	Leichtmauermörtel
LM 36	-	Leichtmauermörtel
DM	-	Dünnbettmörtel
MG	-	Mörtelgruppe
a	mm	Ausbreitmaß
ρ_{fr}	kg/m ³	Frishmörtelrohddichte
L	Vol.-%	Luftgehalt

Abmessungen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
l	mm	Länge
b	mm	Breite
h	mm	Höhe
h_{st}	mm	Höhe des Steins
t	mm	Plattendicke
$d_{mö}$	mm	Dicke der Mörtelschicht

Statistische Kenngrößen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
n	-	Anzahl der Versuchswerte
\bar{x}	-	Mittelwert
min x	-	Kleinstwert
max x	-	Größtwer
s	-	Standardabweichung
v	%	Variationskoeffizient
Best.	%	Bestimmtheitsmaß

Spannungen und Kräfte

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
$\beta_{HS,DIN}$	N/mm ²	Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5
$\bar{\beta}_{HS,DIN}$	N/mm ²	Mittelwert der Haftscherfestigkeit nach DIN
$\beta_{HS,EN}$	N/mm ²	Haftscherfestigkeit nach prEN 1052 Teil 3
$\bar{\beta}_{HS,EN}$	N/mm ²	Mittelwert der Haftscherfestigkeit nach prEN
$\beta_{D,14}$	N/mm ²	Druckfestigkeit im Alter von 14 d
F	N	Kraft
p	N/mm ²	Belastung
σ	N/mm ²	Normalspannung in der Lagerfuge
σ_m	N/mm ²	Mittlere Normalspannung in der Lagerfuge
τ	N/mm ²	Schubspannung in der Lagerfuge
τ_m	N/mm ²	Mittlere Schubspannung in der Lagerfuge

Tabelle 2: Versuchsprogramm
Überblick über die Versuchsvarianten aus der Literatur und den eigenen Versuchen

Stein	Mörtel					
	Normalmörtel			Leichtmörtel		Dünnbettmörtel
	NM II	NM IIa	NM IIIa	LM 21	LM 36	DM
1	2	3	4	5	6	7
P	/3/	/3/	-	/3/	-	/3/, /6/, /8/
HLz	/3/	/3/, /5/	-	-		-
KMz	/3/	/3/	/3/	-	-	-
Mz	-	/4/1)	-	-	-	-
KS	-	/5/, /4/1)		/3/	-	/7/
KS Ref.	/3/	/3/, /4/1)	/3/	-	-	/3/
BS	-	/4/1)	-	-	-	-
LB	-	/4/1)	-	-		-


1) Werkfrisch- und Trockenmörtel
 eigene Versuche

Tabella 3.1: Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$ und nach prEN 1052 Teil 3 /X2/ $\beta_{HS,EN}$
 Werte aus der Literatur

Quelle	Stein	Mörtel	h_{st}	Prüfalter	$\beta_{HS,DIN}$				$\beta_{HS,EN}$				
					n	\bar{x}	min x	max x	n	\bar{x}	min x	max x	
					N/mm ²								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
/3/	KS Referenz	NM II	12,1	14	5	0,40	0,26	0,64	5	0,24	0,18	0,29	
	KS Referenz	NM II	3,0	14	5	0,19	0,09	0,30	4	0,10	0,07	0,13	
	KS Referenz	NM IIa	11,3	14	10	0,55	0,34	0,86	5	0,27	0,20	0,45	
	KS Referenz	NM IIa	5,5	14	10	0,15	0,03	0,26	5	0,18	0,09	0,21	
	KS Referenz	NM IIIa	11,5	14	5	0,67	0,42	1,09	5	0,60	0,37	0,91	
	KS Referenz	NM IIIa	2,3	14	5	0,38	0,25	0,44	5	0,21	0,17	0,30	
	KS Referenz	DM	11,8	14	4	2,05	1,11	2,93	5	3,18	2,86	3,62	
	KS Referenz	DM	3,6	14	5	0,66	0,61	0,73	5	0,80	0,76	0,85	
	KS	LM21		12,1	14	5	1,64	1,34	2,36	5	1,10	0,92	1,11
	KS	LM21		3,2	14	5	0,36	0,28	0,44	5	0,27	0,21	0,33

Tabelle 3.2: Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$ und nach prEN 1052 Teil 3 /X2/ $\beta_{HS,EN}$
 Werte aus der Literatur

Quelle	Stein	Mörtel	h_{st}	Prüfalter	$\beta_{HS,DIN}$				$\beta_{HS,EN}$			
					n	\bar{x}	N/mm ²		n	\bar{x}	N/mm ²	
							min x	max x			min x	max x
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
/3/	HLz	NM II	10,9	14	10	0,43	0,33	0,49	10	0,35	0,24	0,45
	HLz	NM II	0,1	14	10	0,47	0,34	0,56	10	0,35	0,21	0,44
	HLz	NM IIa	11,7	14	5	0,44	0,32	0,56	5	0,36	0,29	0,42
	HLz	NM IIa	0,2	14	-	-	-	-	5	0,31	0,20	0,37
	KMz	NM II	7,7	14	5	0,71	0,57	0,83	5	0,37	0,27	0,47
	KMz	NM II	0,2	14	5	1,04	0,70	1,30	5	0,57	0,49	0,63
	KMz	NM IIa	6,9	14	5	0,63	0,43	0,93	4	0,47	0,36	0,63
	KMz	NM IIa	0,1	14	5	1,06	0,81	1,30	5	0,73	0,54	0,95
	KMz	NM IIIa	6,9	14	5	1,34	1,09	1,56	5	0,97	0,84	1,21
	KMz	NM IIIa	0,1	14	5	2,05	1,79	2,46	5	1,00	0,78	1,20
	G	NM II	54,2	14	5	0,28	0,22	0,43	5	0,09	0,09	0,11
	G	NM II	11,3	14	5	0,09	0,06	0,11	5	0,05	0,04	0,06
	G	NM IIa	54,7	14	5	0,35	0,42	0,25	5	0,07	0,04	0,10
	G	NM IIa	10,4	14	5	0,17	0,24	0,13	5	0,07	0,04	0,12
	G	LM 21	52,9	14	5	0,85	0,68	1,05	5	0,16	0,13	0,19
	G	LM 21	3,2	14	4	0,49	0,45	0,55	5	0,08	0,06	0,13
G	DM	53,2	14	4	1,07	0,96	1,18	4	0,35	0,30	0,40	

Tabelle 4.1: Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$ und nach prEN 1052 Teil 3 /X2/ $\beta_{HS,EN}$
Werte aus der Literatur

Quelle	Stein	Mörtel	h_{st}	Prüfalter	$\beta_{HS,DIN}$					$\beta_{HS,EN}$				
					n	\bar{x}	N/mm ²		n	\bar{x}	N/mm ²		max x	
							min x	max x			min x	max x		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
/4/	KS Referenz	WTM1	I	14	5	0,14	0,11	0,19	5	0,04	0,02	0,04		
	KS Referenz	WTM1	v	14	5	0,18	0,13	0,22	5	0,12	0,09	0,16		
	Mz	WTM1	I	14	5	0,23	0,10	0,29	4	0,11	0,08	0,13		
	Mz	WTM1	v	14	5	0,26	0,20	0,36	5	0,11	0,08	0,15		
	KS	WTM1	I	14	4	0,08	0,06	0,11	5	0,05	0,03	0,07		
	HLz	WTM1	I	14	5	0,24	0,19	0,31	4	0,17	0,16	0,18		
	BS	WTM1	I	14	5	0,76	0,67	0,92	5	0,21	0,15	0,19		
	LB	WTM1	I	14	5	0,64	0,57	0,70	5	0,13	0,10	0,16		
	KS Referenz	WTM2	I	14	5	0,07	0,04	0,10	5	0,03	0,02	0,04		
	KS Referenz	WTM2	v	14	5	0,14	0,08	0,23	5	0,07	0,04	0,09		
	Mz	WTM2	I	14	5	0,07	0,08	0,13	4	0,07	0,05	0,09		
	Mz	WTM2	v	14	5	0,08	0,03	0,12	5	0,04	0,03	0,05		
	KS	WTM2	I	14	5	0,07	0,03	0,12	5	0,05	0,04	0,06		
	HLz	WTM2	I	14	4	0,16	0,10	0,23	5	0,13	0,11	0,16		
	BS	WTM2	I	14	5	0,55	0,46	0,62	5	0,13	0,08	0,23		
	LB	WTM2	I	14	5	0,50	0,28	0,77	5	0,16	0,10	0,21		

I: lufttrocken (Ausgleichsfeuchte in 20/65)

v: vorgehäßt (ca. 6 - 10 M.-%)

Tabelle 4.2: Haftschersfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$ und nach prEN 1052 Teil 3 /X2/ $\beta_{HS,EN}$
 Werte aus der Literatur

Quelle	Stein	Mörtel	h_{st}	Prüfalter	$\beta_{HS,DIN}$					$\beta_{HS,EN}$				
					n	\bar{x}	min x		max x	n	\bar{x}	min x		max x
							N/mm ²					N/mm ²		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
/4/	KS Referenz	WFM1	I	14	4	0,04	0,03	0,04	0,04	5	0,03	0,02	0,04	
	KS Referenz	WFM1	v	14	5	0,30	0,09	0,40	0,40	5	0,15	0,11	0,29	
	Mz	WFM1	I	14	5	0,22	0,13	0,38	0,38	5	0,1	0,08	0,15	
	Mz	WFM1	v	14	5	0,28	0,21	0,37	0,37	5	0,14	0,09	0,19	
	KS	WFM1	I	14	5	0,16	0,12	0,21	0,21	5	0,08	0,05	0,10	
	HLz	WFM1	I	14	5	0,20	0,16	0,32	0,32	5	0,13	0,10	0,18	
	BS	WFM1	I	14	5	0,62	0,57	0,67	0,67	5	0,17	0,12	0,22	
	LB	WFM1	I	14	5	0,54	0,42	0,72	0,72	5	0,14	0,06	0,32	
	KS Referenz	WFM2	I	14	5	0,03	0,01	0,04	0,04	5	0,03	0,02	0,04	
	KS Referenz	WFM2	v	14	5	0,12	0,09	0,16	0,16	4	0,07	0,05	0,10	
	Mz	WFM2	I	14	5	0,22	0,14	0,31	0,31	4	0,07	0,03	0,11	
	Mz	WFM2	v	14	4	0,24	0,16	0,34	0,34	3	0,12	0,09	0,14	
	KS	WFM2	I	14	5	0,03	0,02	0,05	0,05	5	0,04	0,02	0,05	
	HLz	WFM2	I	14	4	0,22	0,15	0,26	0,26	5	0,18	0,13	0,21	
	BS	WFM2	I	14	5	0,74	0,67	0,81	0,81	5	0,20	0,15	0,22	
	LB	WFM2	I	14	5	0,42	0,33	0,52	0,52	4	0,19	0,15	0,27	

I: lufttrocken (Ausgleichsfeuchte in 20/65)
 v: vorgefällt (ca. 6 - 10 M.-%)

Tabelle 5: Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$ und nach prEN 1052 Teil 3 /X2/ $\beta_{HS,EN}$
Werte aus der Literatur

Quelle	Stein	Mörtel	h_{st}	Prüfalter	$\beta_{HS,DIN}$				$\beta_{HS,EN}$			
					n	\bar{x}	min x	max x	n	\bar{x}	min x	max x
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
/5/	HLz 12	NM IIa	0,0	14	10	0,65	0,45	0,89	5	0,13	0,07	0,18
	KS 12	NM IIa	2,3	14	10	0,18	0,08	0,26	4	0,07	0,04	0,10
/6/	G4	DM	16,5	28	10	0,54	0,36	0,71	10	0,48	0,23	0,71
	G2	DM	25,3	28	10	0,51	0,36	0,72	10	0,41	0,30	0,49
/7/	KS-PE	DM	6,7	14	5	1,05	0,97	1,11	5	0,55	0,44	0,68
	KS-PE	DM	6,7	14	5	0,50	0,47	0,54	5	0,16	0,14	0,18
/8/	GP 2	DM	10,2	14	6	0,93	0,73	1,07	5	0,52	0,44	0,60

Tabelle 6: Mauersteine
Maße, Trockenrohdichte ρ_d , Steinfeuchte beim Vermauern h_m ,
Druckfestigkeit $\beta_{D,st}$

Mauerstein	Maße			ρ_d	h_m	$\beta_{D,st}$
	l	b	h			
	mm			kg/m ³	M.-%	N/mm ²
1	3	4	5	6	7	8
Hlz 12 - 12 DF	246	369	238	730	18 / ≈ 0	13,8
Hlz 12 - 2 DF	247	119	114	790	17 / ≈ 0	n. b.
KS 12	240	113	113	1690	5	34,6
PP 4	240	116	114	540	29	6,3
Vbl 2	240	117	114	930	16	3,9

n. b.: nicht bestimmt

Tabelle 7: Mauersteine, Hochlochziegel
Lochanteile: ganzer Stein (12 DF) und gesägter Stein (2 DF)

statistischer Kennwert	Lochanteil	
	12 DF	2 DF
	%	
1	2	3
\bar{x}	45,9	42,2
min x	45,9	40,1
max x	46,0	43,7
n	3	6

Tabelle 8: Mauermörtel, laborgemischter Normalmörtel NM IIIa
Mörtelzusammensetzung in Masseteilen (MT)

Bestandteile		MT
PZ 35 F		1,00
Weißkalkhydrat		0,40
Zuschlag Korngruppe	0/25	1,10
	0,25/1	2,44
	1/2	0,27
	0/0,25	0,19
	0/4	4,00
Wasser		0,97

Tabelle 9: Mauermörtel
Ausbreitmaß a, Frischmörtelrohddichte ρ_{fr} , Luftgehalt L, Druckfestigkeit im Alter von 14 d $\beta_{D,14}$

Mauermörtel	a mm	ρ_{fr} kg/m ³	L Vol.-%	$\beta_{D,14}$ N/mm ²
I	2	3	4	5
NM IIIa	176	2132	1,5	20,3
LM 36	170	1296	16,5	12,1
DM	175	1745	12,0	16,5

Tabelle 10.1: Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$,
 Bruchbild nach /X1/, Mittelwerte $\bar{\beta}_{HS,DIN}$, Standardabweichung s ,
 Variationskoeffizient v
 Prüfalter: 14 d

Mauerstein	Mauer- mörtel	$\beta_{HS,DIN}$ N/mm ²	Bruchbild	$\bar{\beta}_{HS,DIN}$ N/mm ²	s N/mm ²	v %
1	2	3	4	5	6	7
PP 4	DM	1,17	a/c	1,15	0,10	8,6
		1,16	c			
		0,95	c			
		1,26	c			
		1,27	c			
		1,03	c			
		1,22	c			
		1,11	c			
		1,20	c			
		1,11	c			
Vbl 2	LM 36	0,77	1)	> 0 ¹⁾	-	-
		0,66	1)			
		0,75	1)			
		0,57	1)			
		0,65	1)			
		0,65	1)			
		0,67	1)			
		0,77	1)			
		0,63	1)			
		0,53	1)			

1) Versagen des Steines

Tabelle 10.2: Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ $\beta_{HS,DIN}$,
 Bruchbild nach /X1/, Mittelwerte $\bar{\beta}_{HS,DIN}$, Standardabweichung s ,
 Variationskoeffizient v
 Prüfalter: 14 d

1	Mörtel	$\beta_{HS,DIN}$ N/mm ²	Bruchbild	$\bar{\beta}_{HS,DIN}$ N/mm ²	s N/mm ²	v %
1	2	3	4	5	6	7
HLz 8 (feucht, $h_m \approx 17$ M.-%)	LM 36	0,75	a	0,80	0,15	18,6
		0,70	a			
		0,65	a			
		1,01	a			
		0,90	a			
		(0,50)	c			
		(0,58)	c			
HLz 8 (trocken, $h_m \approx 0$ M.-%)	LM 36	0,25	a	0,35	0,09	26,0
		0,28	a			
		0,46	a			
		0,52	a			
		0,34	a			
		0,35	a			
		0,41	a			
		0,38	a			
		0,23	a			
		0,31	a			

(): Klammerwerte bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt.

Tabelle 11: Haftscherfestigkeit nach prEN 1052 Teil 3 /X2/ $\beta_{HS,EN}$,
 Bruchbild nach /X1/, Mittelwerte $\bar{\beta}_{HS,EN}$, Standardabweichung s,
 Variationskoeffizient v
 Prüfalter: 14 d

Mauerstein	Mauer- mörtel	$\beta_{HS,EN}$ N/mm ²	Bruchbild	$\bar{\beta}_{HS,EN}$ N/mm ²	s N/mm ²	v %
1	2	3	4	5	6	7
PP 4 ($h_m \approx 29$ M.-%)	DM	0,66	c	[0,58]	[0,12]	[20,9]
		0,49	c			
		(0,58)	l)			
		(0,78)	l)			
		(0,79)	l)			
Vbl 2 ($h_m \approx 16$ M.-%)	LM 36	0,46	l)	>0 ¹⁾		
		0,52	l)			
		0,43	l)			
		0,30	l)			
		0,55	l)			
HLz (feucht, $h_m \approx 18$ M.-%)	LM 36	0,20	a	0,22	0,03	14,4
		0,25	a			
		0,19	a			
		0,25	a			
HLz (trocken, $h_m \approx 0$ M.-%)	LM 36	0,17	a	0,22	0,06	25,5
		0,27	a			
		0,19	a			
		0,19	a			
		0,30	a			

1) Versagen durch Riß im mittleren Stein.

(): Klammerwerte bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt

[]: Mittelwert sehr unsicher wegen n=2

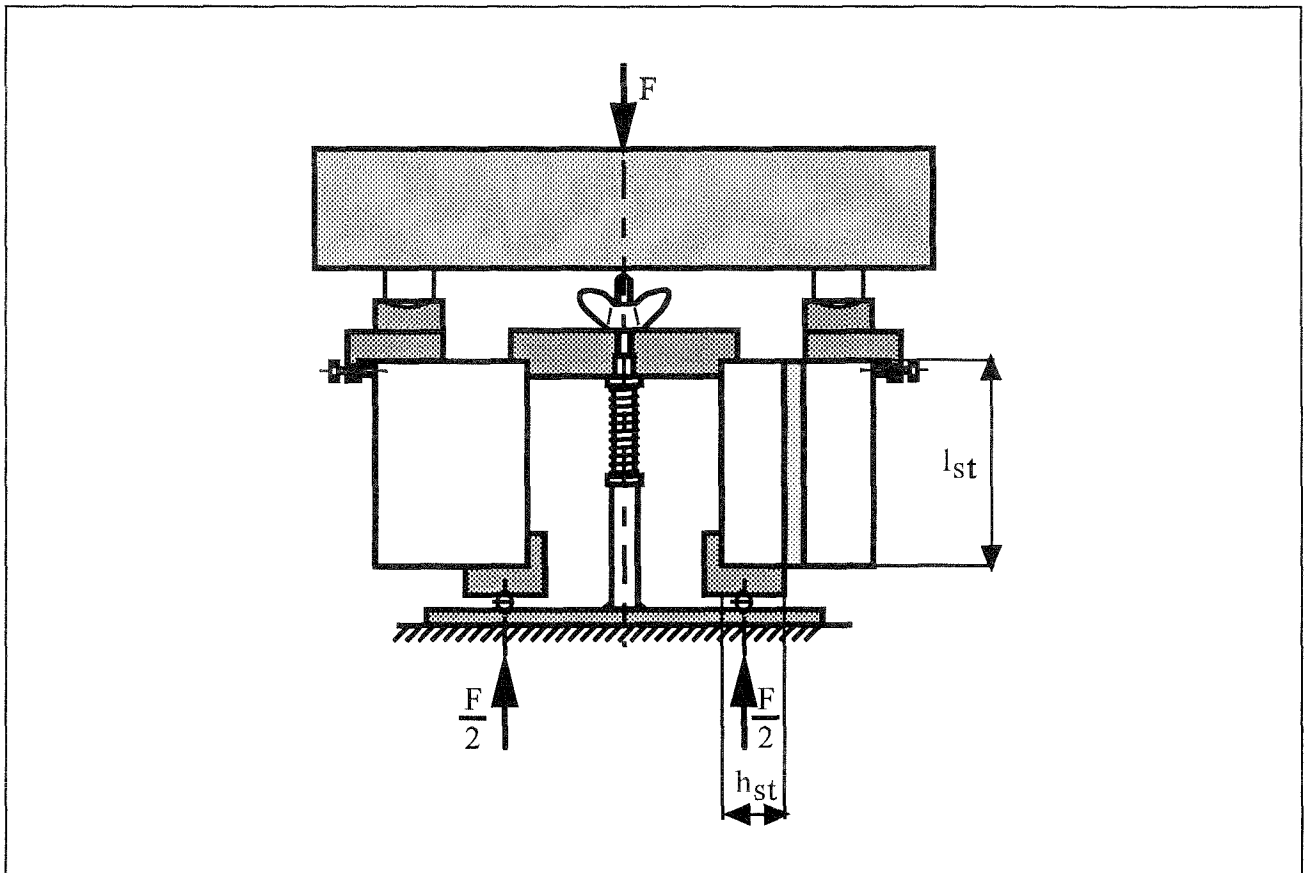


Bild 1: Haftscherfestigkeitsprüfung nach DIN 18 555 Teil 5,
Versuchsanordnung für Steine mit Normalformat

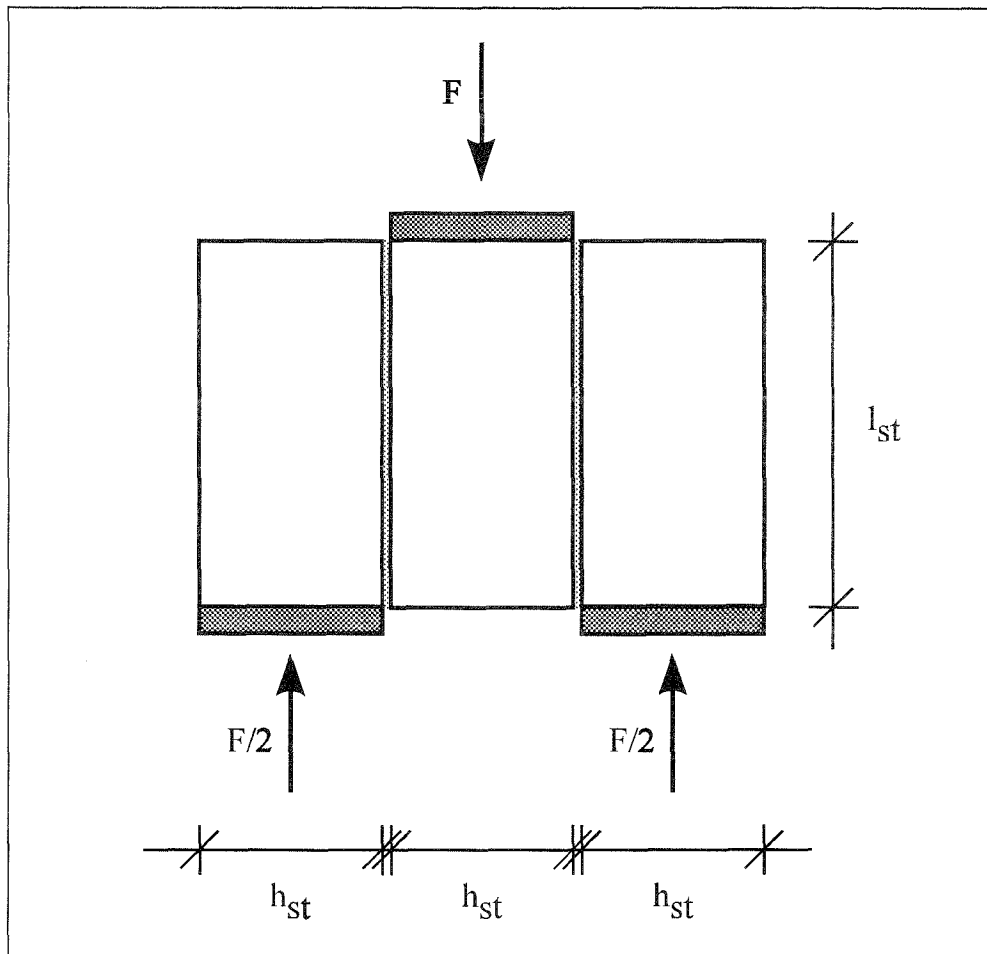


Bild 2: Haftscherprüfung nach prEN 1052 Teil 3, Versuchsanordnung

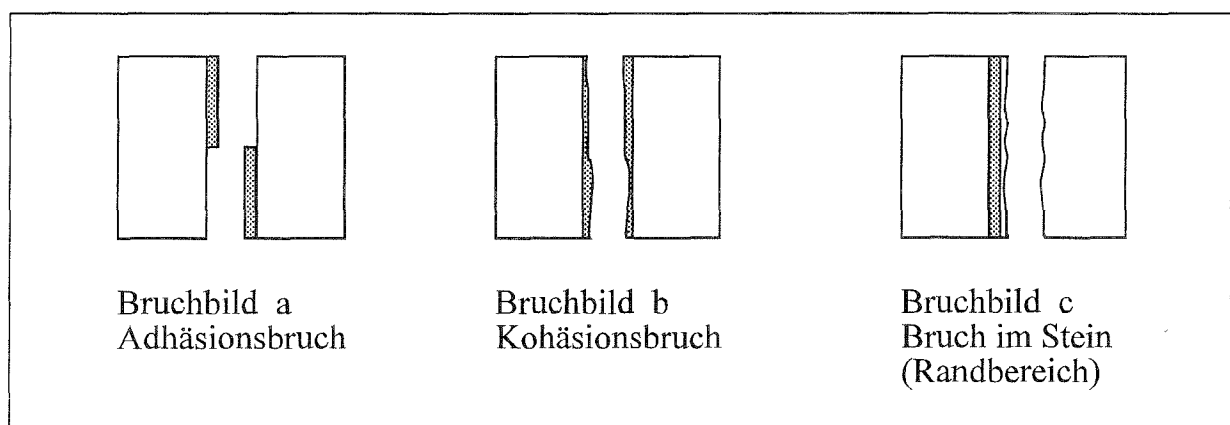


Bild 3: Bruchbilder nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/

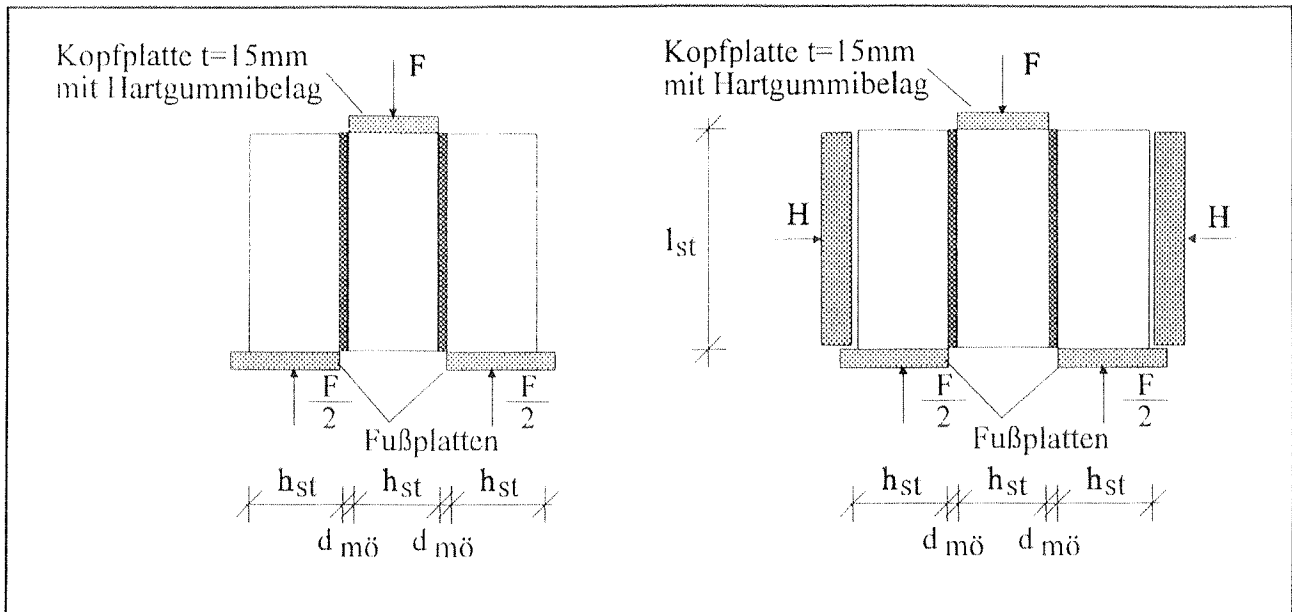


Bild 4: Haftscherfestigkeitsprüfung; Versuchsanordnungen nach /3/

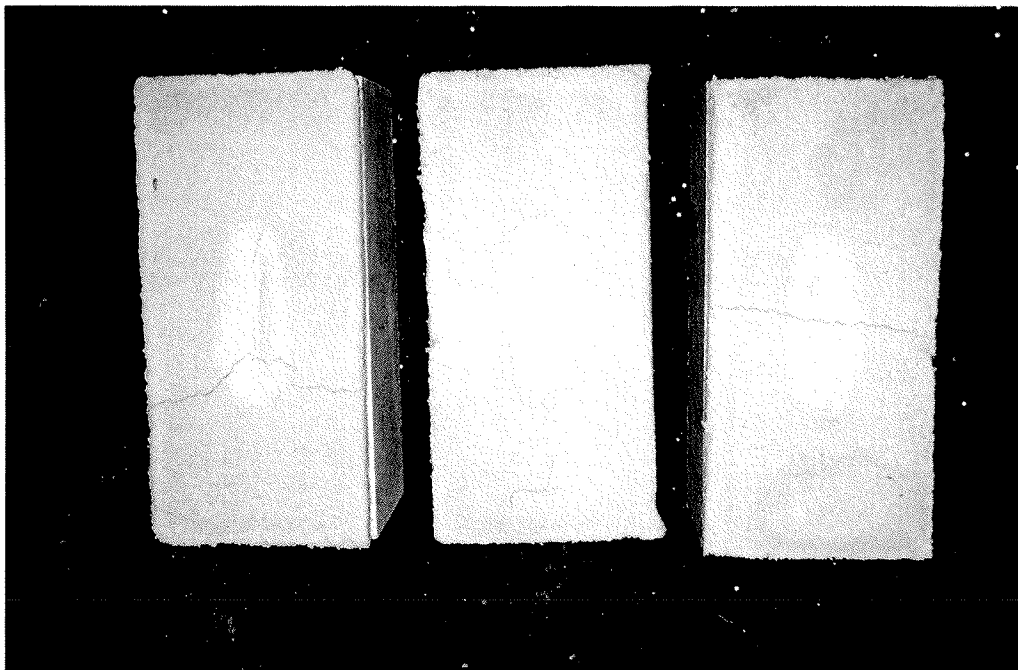


Bild 5: Haftscherfestigkeitsprüfkörper; aus Kalksandsteinen und Normalmörtel MG IIIa
Vor der Prüfung abgelöste Mörtelfugen mit Schwindrissen

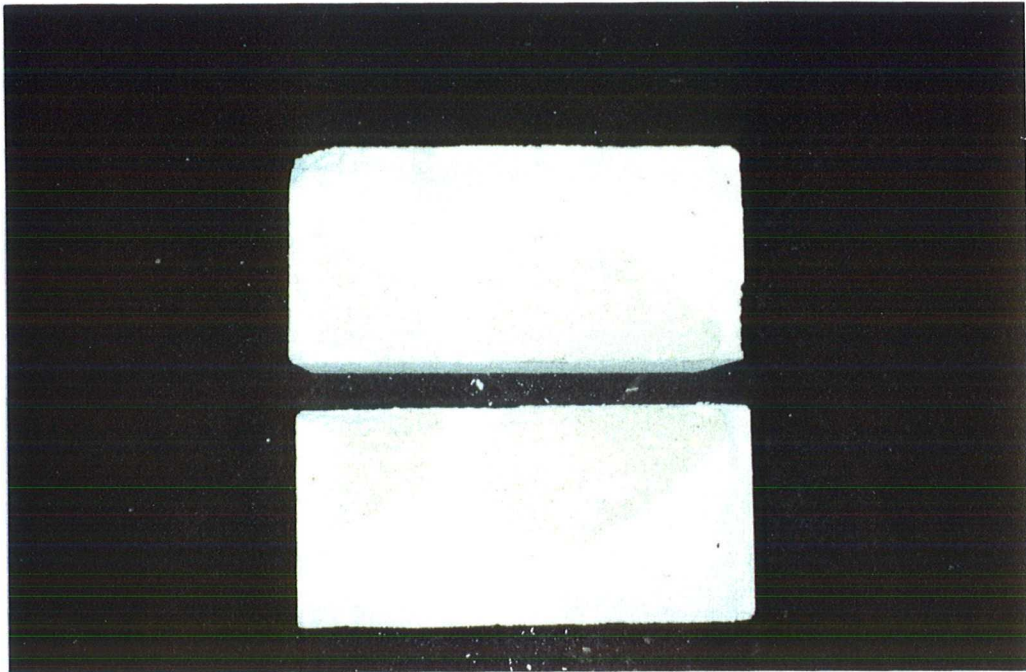


Bild 6: Haftscherfestigkeitsprüfung; typisches Bruchbild PP 4/DM
- Bruch im Dünnbettmörtel bei gleichzeitigem Versagen des Steins

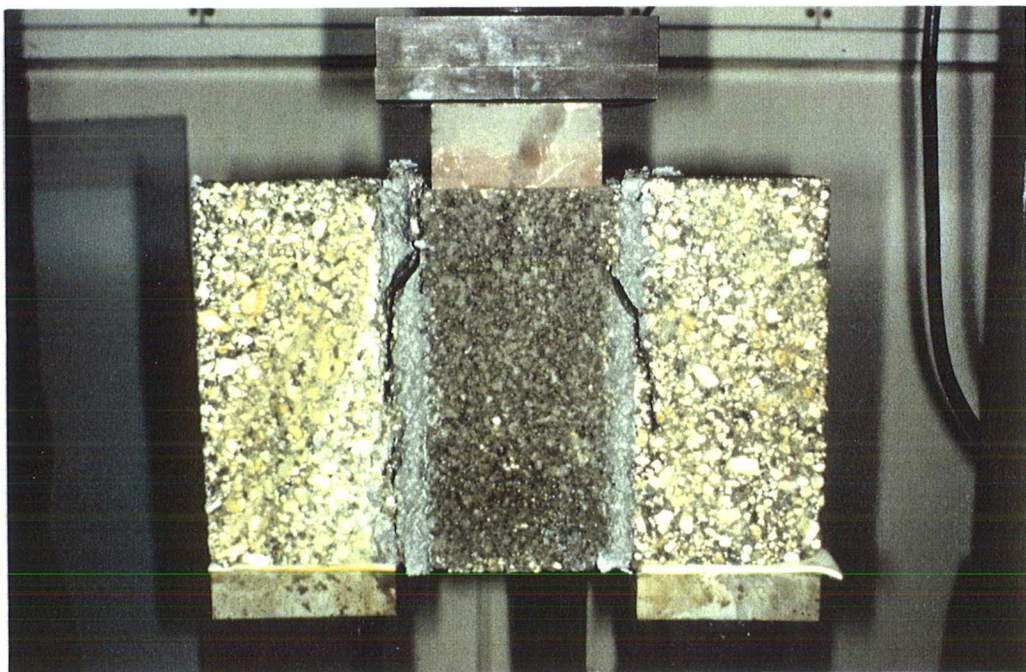


Bild 7: Haftscherfestigkeitsprüfung; typisches Bruchbild Vbl 2/LM 36

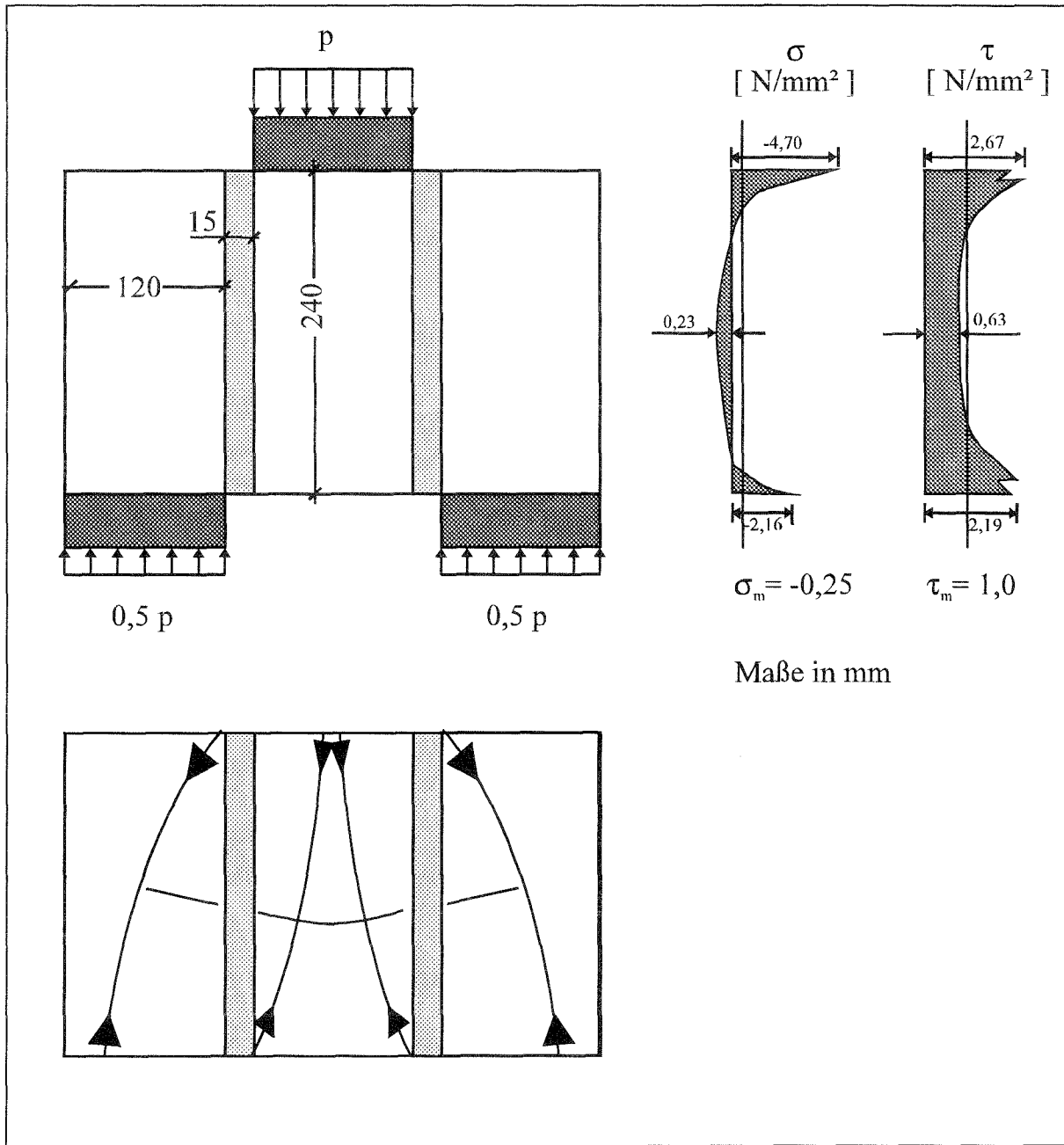


Bild 8: Haftscherfestigkeitsprüfverfahren nach prEN 1052 Teil 3/X2/
 Spannungsverteilung in der Fuge nach /2/ und vermutliche Spannungsverhältnisse
 im Mauerstein.

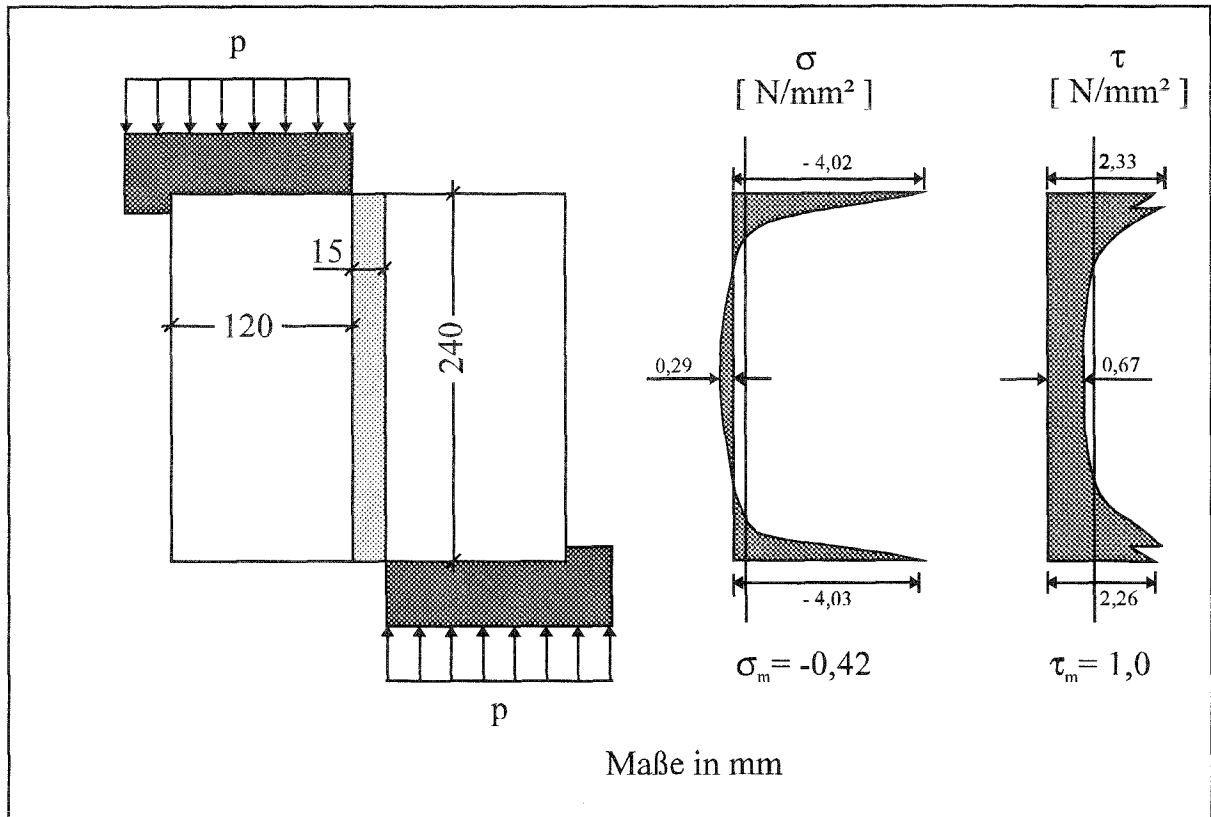


Bild 9: Haftscherfestigkeitsprüfverfahren nach DIN 18 555 Teil 5 /X1/ Spannungsverteilung in der Fuge nach /2/

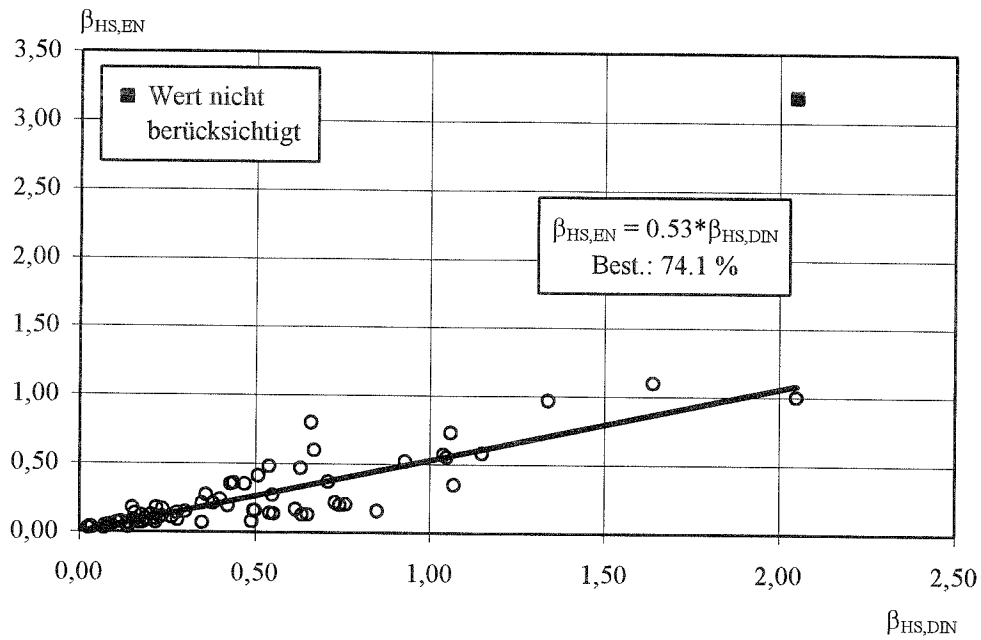


Bild 10: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN alle Versuchsergebnisse

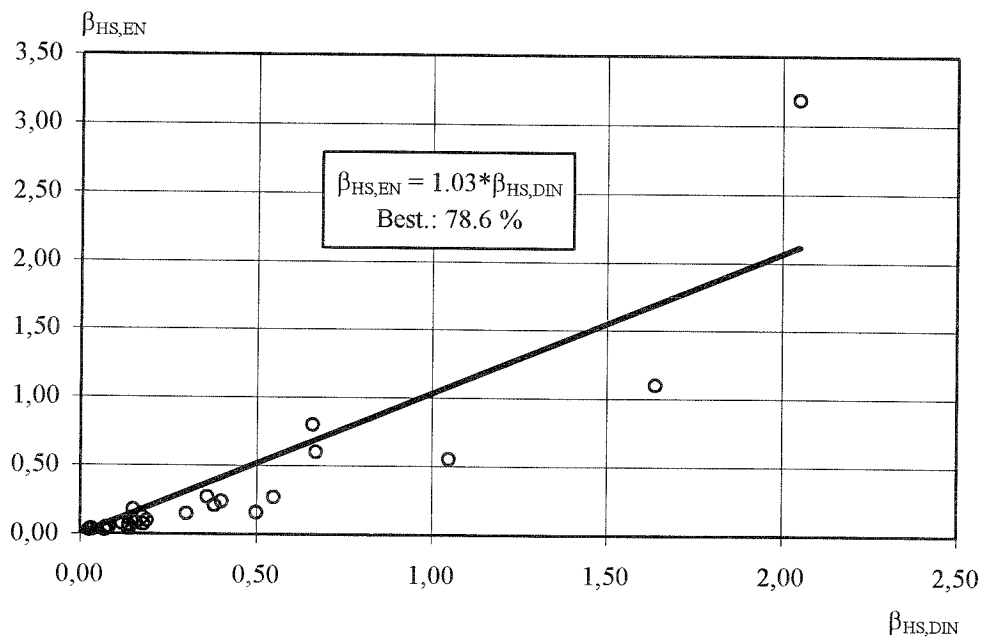


Bild 11: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN Versuche mit Kalksandsteinen ; Mörtel: NM II, NM IIa, NM IIIa, LM 21, DM

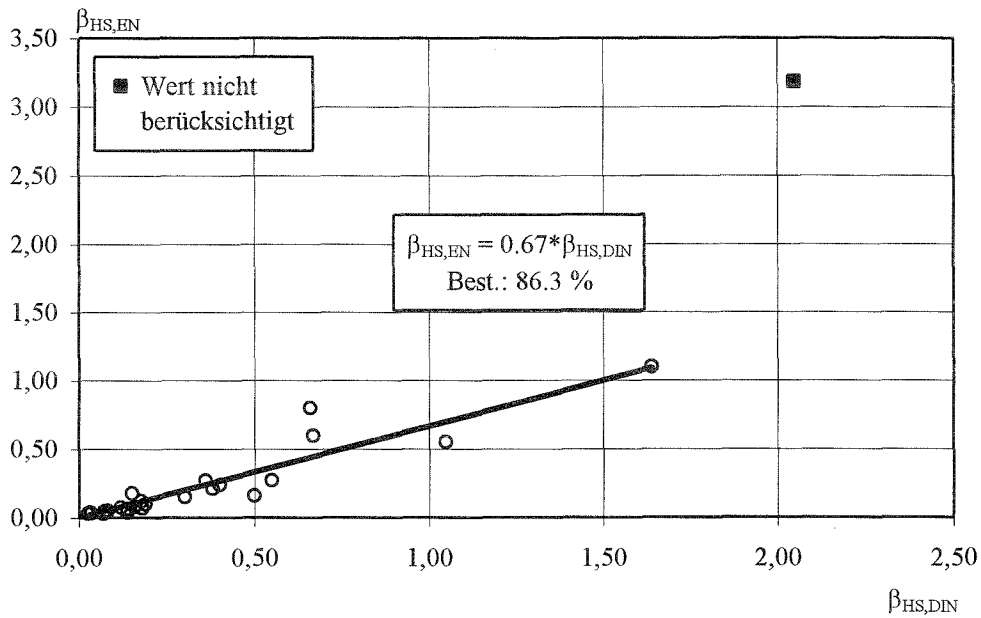


Bild 12: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
 Versuche mit Kalksandsteinen (ohne Versuchsserie: Dünnbettmörtel, feuchte Kalksandsteine aus /3/); Mörtel: NM II, NM IIa, NM IIIa, LM 21, DM

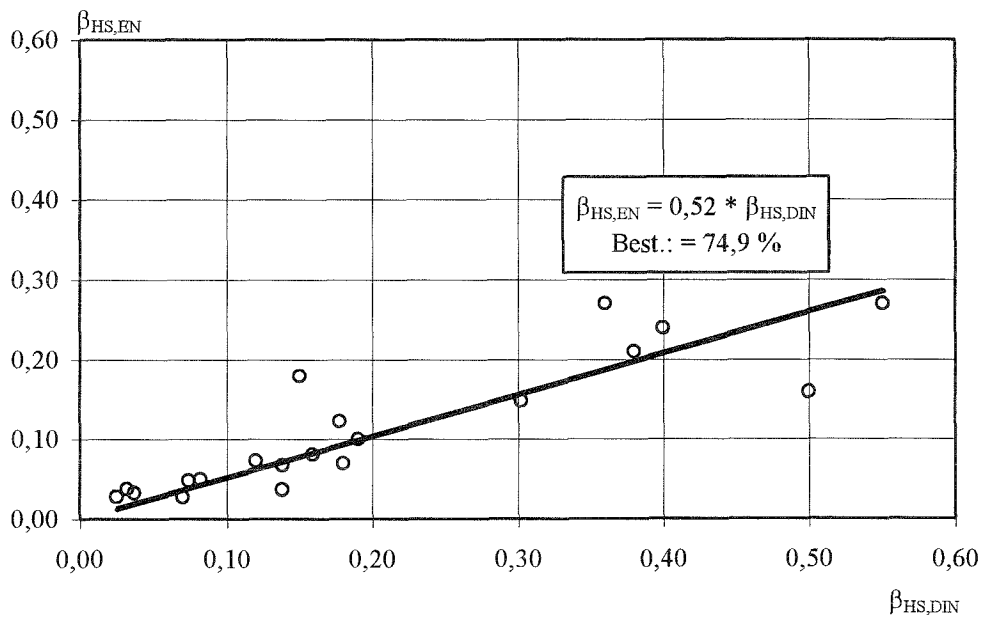


Bild 13: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
 Versuche mit Kalksandsteinen (β_{HS} -Werte $\leq 0,60$ N/mm²); Mörtel: vgl Bild 12

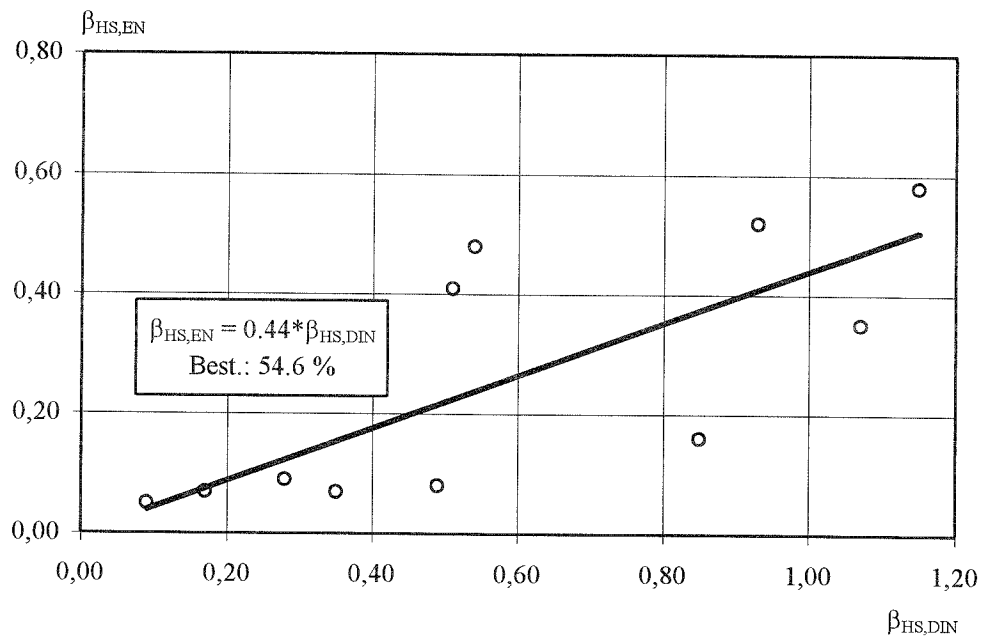


Bild 14: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
Versuche mit Porenbetonsteinen; Mörtel: NM II, NM IIa, LM 21, DM

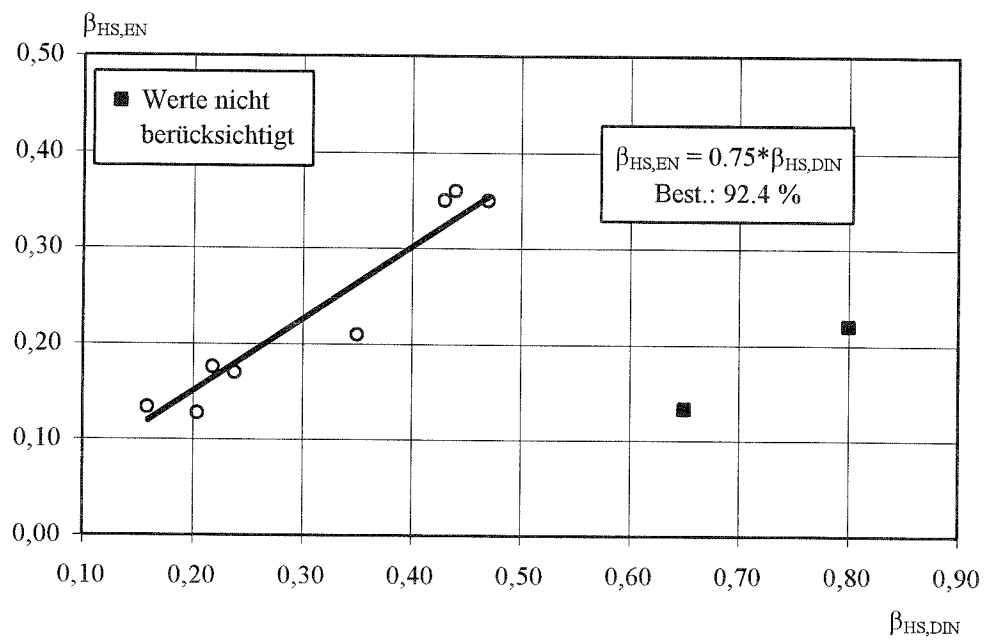


Bild 15: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
Versuche mit Hochlochziegeln; Mörtel: NM II, NM IIa, LM 36

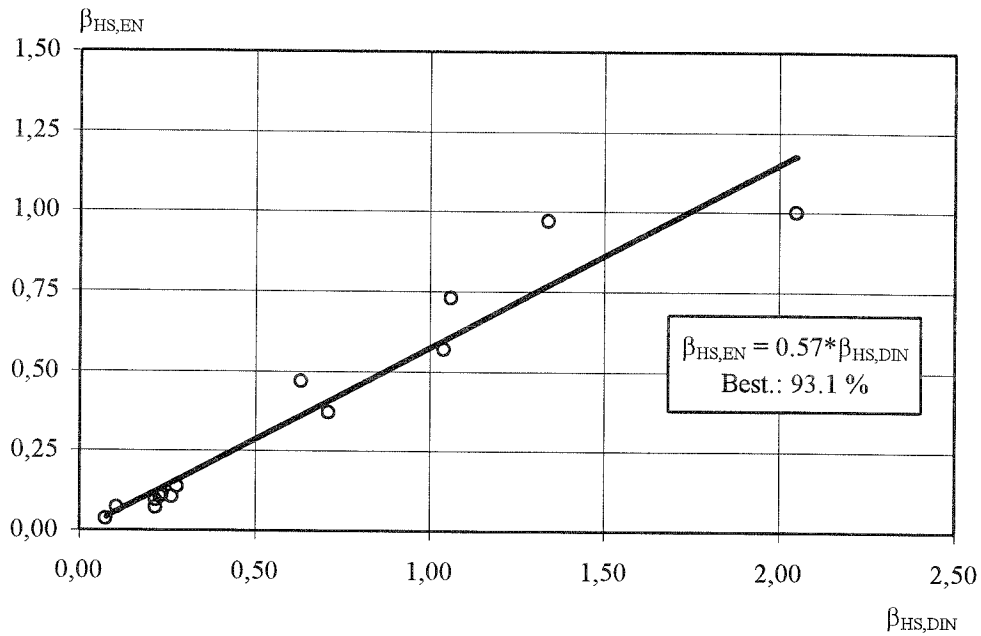


Bild 16: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
 Versuche mit Mauerziegeln; Mörtel: NM II, NM IIa, NM IIIa

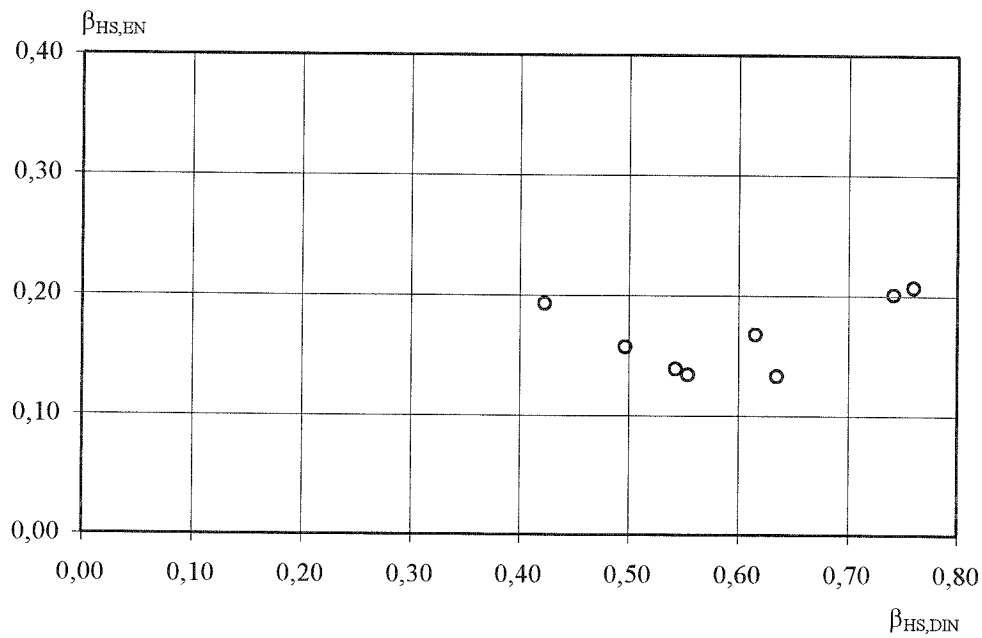


Bild 17: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
 Versuche mit Betonsteinen (Normal- und Leichtbeton) ; Mörtel: NM IIa

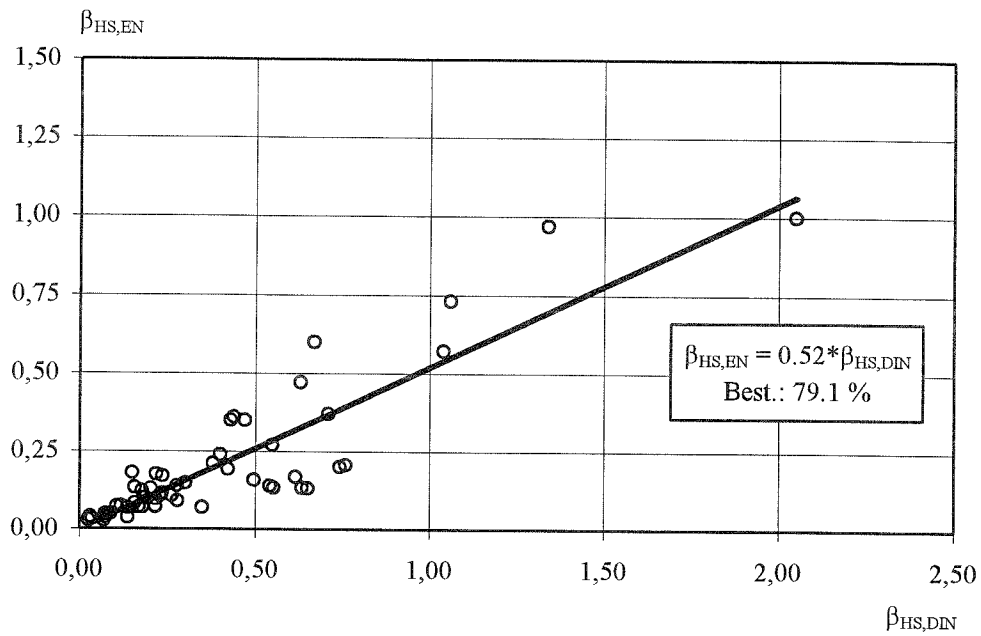


Bild 18: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
 Versuche mit Normalmörteln; Steine: KS, KS-Ref., Hlz, KMz, Mz, P, BS, LB

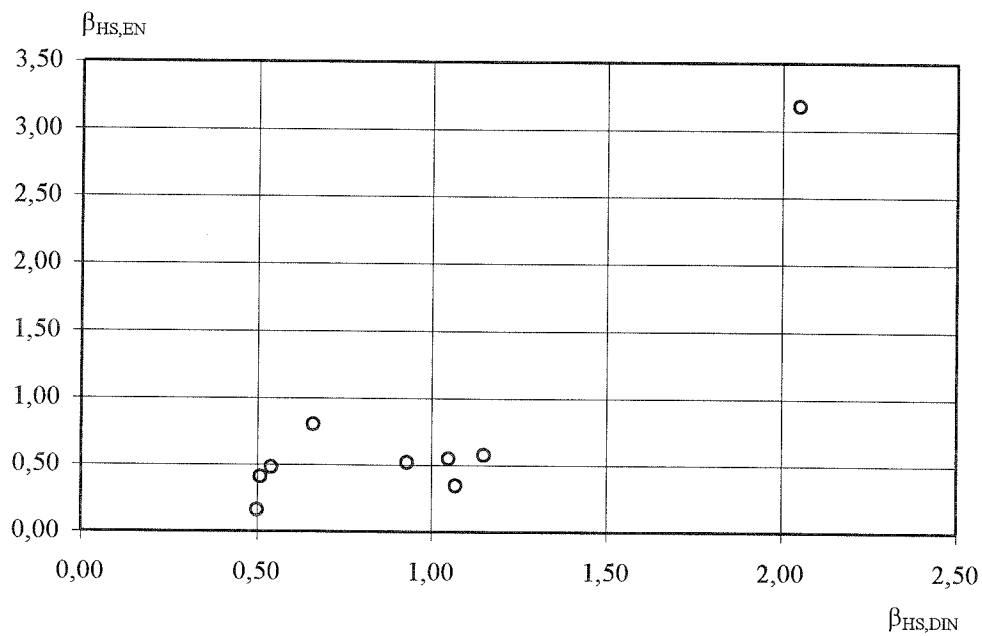


Bild 19: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
 Versuche mit Leichtmörteln; Steine: KS, Hlz, P, LB

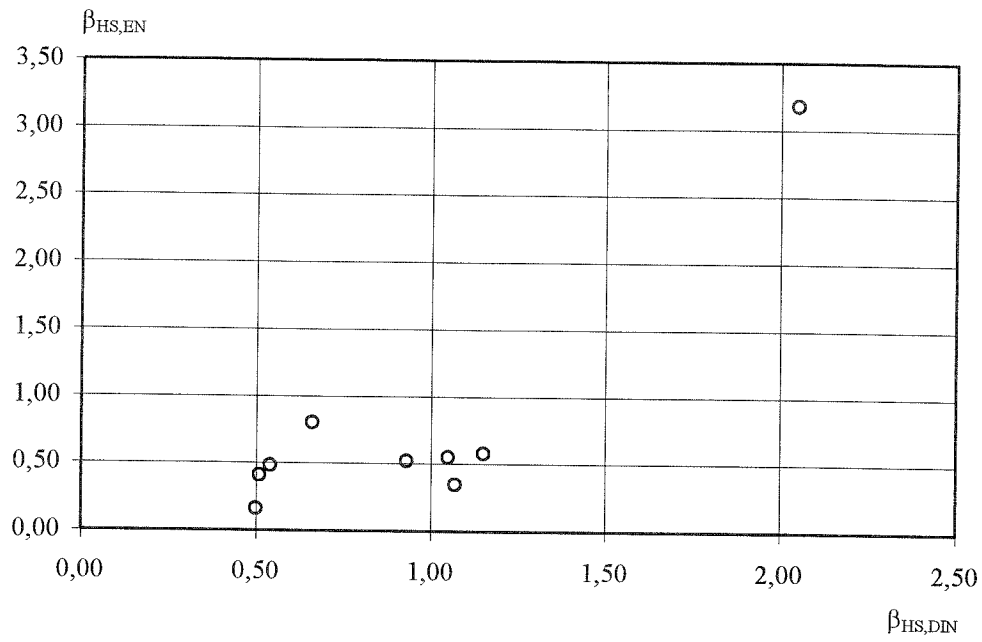


Bild 20: Vergleich der Haftscherfestigkeitswerte nach EN und DIN
Versuche mit Dünnbettmörteln; Steine: KS-PE, KS-Ref., P