

**Entwicklung eines Prüfverfahrens
zur Bestimmung der
Torsions-Haftscherfestigkeit**

T 2925

T 2925

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

2000, ISBN 3-8167-5765-0

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

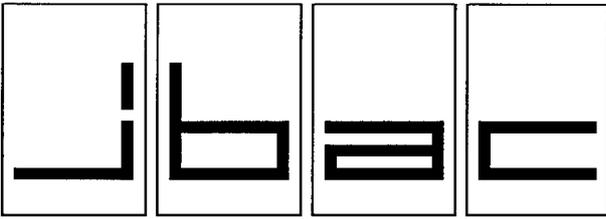
Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

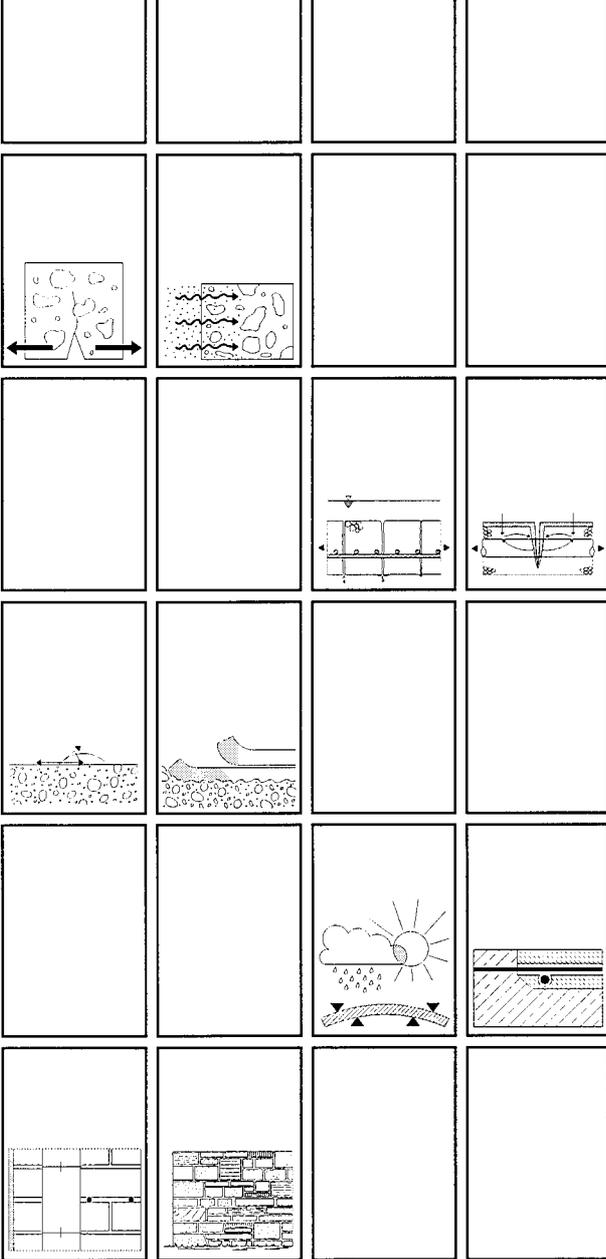
Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

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



Institut für Bauforschung Aachen
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule

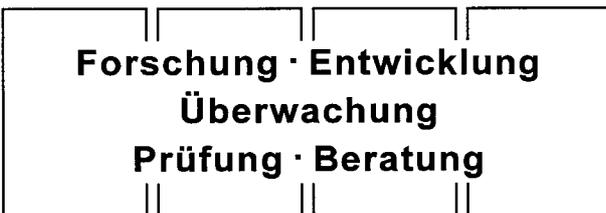


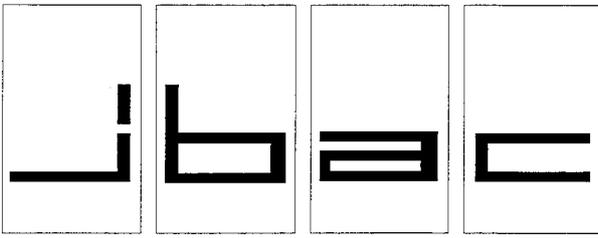
Forschungsbericht

F 718

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Torsions-Haftscherfestigkeit

Baustoff · Bauteil · Bauwerk





INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Leitung: Professor Dr.-Ing. W. Brameshuber
Professor Dr.-Ing. M. Raupach

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

Kre/Ap/Fo

2. Ausfertigung

THEMA

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Torsions-Haftscherfestigkeit

ABSCHLUSSBERICHT

Forschungsbericht Nr.

F 718

vom 15.05.00

Projektleiter

Dr.-Ing. P. Schubert

Sachbearbeiter

Dipl.-Ing. A. Krechting

Auftraggeber/
Förderer

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstr. 30

10829 Berlin

Auftragsdatum

27.08.1999

Aktenzeichen

-

Dieser Bericht umfaßt 30 Seiten, davon 20 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
2	ZIELSETZUNG	2
3	VERWENDETE MATERIALIEN	2
3.1	Dünnbettmörtel.....	2
3.2	Mauersteine	2
4	VERSUCHSPROGRAMM.....	2
5	KONDITIONIERUNG DER MAUERSTEINE	3
6	PRÜFUNGEN UND PRÜFERGEBNISSE	3
6.1	Mauermörtel	3
6.1.1	Mischen	3
6.1.2	Verdichten	3
6.1.3	Lagerung der Probekörper.....	3
6.1.4	Bestimmung der Frischmörtelkennwerte	3
6.1.5	Bestimmung der Trockenrohddichte	4
6.1.6	Bestimmung der Druckfestigkeit.....	4
6.2	Mauersteine	4
6.2.1	Maße, Trockenrohddichte, Druckfestigkeit.....	4
6.3	Stein-Mörtel-Verbundprüfungen.....	4
6.3.1	Haftscherfestigkeit.....	4
7	BESCHREIBUNG DER SPANNUNGSZUSTÄNDE MITTELS FINITE ELEMENTE METHODE	5
8	TASTVERSUCHE.....	5
9	AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE	7
10	PRÜFVERFAHREN TORSIONS-HAFTSCHERFESTIGKEIT	12
10.1	Anwendungsbereich und Zweck	12

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>		Seite
10.2	Begriff.....	12
10.3	Geräte und Zubehör.....	13
10.3.1	Prüfgerät	13
10.3.2	Vorrichtung.....	13
10.4	Probematerial und Prüfkörper	13
10.5	Mörtel	14
10.6	Prüfkörper	14
10.7	Lagerung der Prüfkörper	14
10.8	Herstellung und Lagerung der Prüfkörper.....	14
10.9	Lagerung.....	15
10.10	Durchführung	15
10.11	Auswertung.....	15
10.12	Prüfbericht	15
11	LITERATUR.....	16
	TABELLEN	A1-A7
	BILDER.....	B1-B5

1 EINLEITUNG

Für die Bemessung von Mauerwerk auf Zug, Biegezug und Schub wird außer wichtigen Mauersteinkennwerten (im wesentlichen die Mauersteinzugfestigkeit) die Verbundfestigkeit zwischen Mauerstein und Mauermörtel in der Lagerfuge benötigt. Diese wird bislang ausschließlich als „einachsige“ Haftscherfestigkeit im „einschnittigen“ Versuch nach DIN 18 555-5 /X1/ (Zweisteinprüfkörper mit einer Lagerfuge) ermittelt. Dabei wird eine Scherkraft parallel zu den Lagerflächen der Mauersteine aufgebracht. In der EN 1052-3 /X2/ wird vorzugsweise mit zwei Lagerfugen geprüft. Auch hier wird die Scherkraft parallel zu den Lagerflächen der Mauersteine aufgebracht.

Diese Beanspruchungsart ist für den Bemessungsfall Scheibenschub ausreichend zutreffend, jedoch nicht für den Bemessungsfall Biegung parallel zu den Lagerfugen. Bei dieser Beanspruchung kommt es im Versagensfall zu einer gegenseitigen Verdrehung der Mauersteine im Bereich der Lagerfugen. Der Verbund in der Lagerfuge wird somit viel mehr durch Torsion als durch „einachsiges“ Scheren parallel zu den Lagerflächen der Mauersteine beansprucht. Es ist zu vermuten, daß der bislang nicht zutreffende Ansatz der Haftscherfestigkeit für die Ermittlung der Biegefestigkeit von Mauerwerk ein wesentlicher Grund für die unzureichende Übereinstimmung zwischen rechnerischer und versuchsmäßiger Biegefestigkeit ist.

Die zutreffende Bestimmung der wichtigsten Eigenschaftswerte, die Eingangsgrößen für die Ermittlung der zulässigen Biegezugspannung bzw. der charakteristischen Biegezugfestigkeit sowohl in DIN 1053-1 /X3/ als auch im Eurocode 6 /X4/ sind, ist eine wichtige Voraussetzung dafür, daß die globalen Sicherheiten bzw. die Teilsicherheiten nach EC 6 richtig angesetzt und beurteilt werden.

Es besteht deshalb dringlicher Bedarf für die Entwicklung eines derartigen Verfahrens, bei dem der Verbund in der Lagerfuge auf Torsion - analog zur tatsächlichen Beanspruchung des Mauerwerks bei Biegung - beansprucht wird.

2 ZIELSETZUNG

Es wird eine Prüfeinrichtung entwickelt, mit der ohne und mit stufenweise oder stufenlos einstellbarer Auflast senkrecht zu den Lagerfugen der Verbund in der Lagerfuge bis zum Versagen auf Torsion beansprucht wird. Als Grundprüfkörper ist ein Dreisteinprüfkörper mit zwei Lagerfugen vorgesehen. Das Forschungsprojekt beinhaltet die Entwicklung und Herstellung der Prüfeinrichtung, die Durchführung von Tastversuchen zum Eignungsnachweis des Prüfverfahrens und die „normgerechte“ Beschreibung der Prüfmethode.

Vergleichsversuche mit dem Prüfverfahren Torsions-Haftscherfestigkeit und dem nach DIN 18 555-5 sollen demnächst in Absprache und mit Finanzierung der Mauerstein- und Mörtelindustrie durchgeführt werden.

3 VERWENDETE MATERIALIEN

3.1 Dünnbettmörtel

Für die Herstellung aller Mauerwerkprüfkörper wurde ein Dünnbettmörtel nach DIN 1053-1, Anhang A verwendet.

3.2 Mauersteine

Es wurden die nachfolgend bezeichneten Porenbeton-Plansteine der Festigkeitsklassen 6 (Hersteller A und B) und 2 (Hersteller B, punktuelle Versuche) verwendet:

Hersteller A: PP 6-0,60 NF Griffhilfe (499 x 300 x 249 „Sonderformate“)¹⁾

Hersteller A: PP 2-0,40 NF-G (499 x 300 x 249)¹⁾

Hersteller B: PP 6-0,65 NF-GT mM (400 x 300 x 200)¹⁾

1) Bezeichnung nach Angaben des Herstellers

4 VERSUCHSPROGRAMM

Eine Übersicht über die durchgeführten Versuche enthält die Tabelle A1, Seite A1.

5 KONDITIONIERUNG DER MAUERSTEINE

Nach der Einlieferung der Mauersteine in das ibac wurden die Prüfkörper 14 d bis zur Herstellung der Prüfkörper, bei etwa 23 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % gelagert.

6 PRÜFUNGEN UND PRÜFERGEBNISSE

6.1 Mauermörtel

6.1.1 Mischen

Der Frischmörtel wurde unter Beachtung der Mischvorschriften und sonstiger Herstellerangaben (Aufschrift auf dem Gebinde) gemischt. Für den Mischvorgang wurde ein Quirl verwendet.

6.1.2 Verdichten

Für die Verdichtung des Mörtels wurde das Schockverfahren nach DIN 18 555-3 /X5/ Abschnitt 3.2.3 angewendet.

6.1.3 Lagerung der Probekörper

Die Probekörper wurden nach DIN 18 555-3 /X5/ Tabelle 1 (2 d in der Form und 5 d entschalt im Klima 20/95 sowie anschließend 21 d im Klima 20/65) gelagert.

6.1.4 Bestimmung der Frischmörtelkennwerte

An dem untersuchten Mörtel wurden die Frischmörtelkennwerte Konsistenz, Rohdichte, Luftgehalt nach DIN 18 555-2 /X6/ bestimmt. Die Prüfergebnisse enthält die Tabelle A2, Seite A1.

6.1.5 Bestimmung der Trockenrohdichte

Die Bestimmung der Trockenrohdichte erfolgte nach DIN 18 555-3 /X5/. Die Prüfkörper wurden nach 28 d Lagerung bis zur Massekonstanz bei 105 °C getrocknet. Die Prüfergebnisse enthält die Tabelle A2, Seite A1.

6.1.6 Bestimmung der Druckfestigkeit

Die Bestimmung der Druckfestigkeit erfolgte im Alter von 28 d nach DIN 18 555-3 /X5/.

Die Versuchsergebnisse enthält die Tabelle A2, Seite A1.

6.2 Mauersteine

6.2.1 Maße, Trockenrohdichte, Druckfestigkeit

An den verwendeten Mauersteinen der Festigkeitsklasse 6 wurden die Steinmaße, die Trockenrohdichte und die Druckfestigkeit nach DIN 4165 /X7/ bestimmt. Abweichend von /X7/ wurde die Druckfestigkeit im lieferfeuchten Zustand geprüft (Hersteller B: 25 M.-%, Hersteller A: 47 M.-%).

Die Versuchsergebnisse enthält die Tabelle A3, Seite A1.

6.3 Stein-Mörtel-Verbundprüfungen

6.3.1 Haftscherfestigkeit

Die Haftscherfestigkeit β_{HS} wurde nach DIN 18 555-5 /X1/ an 7 Prüfkörpern aus Kalksandstein – Referenzsteinen ermittelt. Zusätzlich wurde die Haftscherfestigkeit nach /X1/ an 5 Zweistein – Prüfkörpern, Porenbeton-Plansteine, Format NF (trocken aus den Ausgangsteinen gesägt) bestimmt.

Die Versagensarten bzw. die Versuchsergebnisse der Haftscherfestigkeit sowie der Torsions-Haftscherfestigkeit wurden durch die Lagerfugendicke wesentlich beeinflusst. Die niedrigen Versuchswerte der Haftscherfestigkeit lassen sich eindeutig auf die teilflächige Vermörtelung der Lagerfuge zurückführen. Um den Einfluß der Lagerfugendicke beurteilen zu können, wurden im ibac weitere zusätzliche Untersuchungen durchgeführt. Hierbei wurden unterschiedliche Fugendicken gezielt eingestellt.

Der Einfluß der Fugendicke auf die Ergebnisse der Haftscherfestigkeit wurde durch die Nachversuche deutlich.

Die Versuchsergebnisse enthalten die Tabellen A4 bis A11, Seiten A2 bis A5.

7 BESCHREIBUNG DER SPANNUNGSZUSTÄNDE MITTELS FINITE ELEMENTE METHODE

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die Spannungszustände in dem verwendeten Prüfkörper unter Verwendung der FE-Methode (ANSYS) qualitativ dargestellt.

Die Zuordnung der betrachteten Spannungsverläufe zu den Schnitten im Prüfkörper zeigt das Bild B1, Seite B1. Die Spannungsverläufe sind in den Bildern B2 bis B4, Seiten B1 und B2, graphisch dargestellt.

Der Verlauf der Zug und Druckspannungen zwischen den beiden seitlichen Auflagern des Prüfkörpers ist dem Verlauf der Zug - und Druckspannungen eines Balkens auf zwei Stützen- ähnlich. Im Bereich der Lagerfugen kommt es zu Spannungsspitzen. Für den auskragenden mittleren Mauerstein deckt sich der Verlauf der Zugspannungen qualitativ mit dem für einen Kragarm.

8 TASTVERSUCHE

Die Prüfeinrichtung zur Ermittlung der Torsions-Haftscherfestigkeit ist im Bild B5 Seite B3 dargestellt. Das Prüfverfahren wird im Abschnitt 10 ausführlich beschrieben.

Die Last wurde mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 100 N/s bis zum Versagen des Prüfkörpers etwa nach 2 min gesteigert. Die maximale Last wurde zusammen mit der Art des jeweiligen Versagens aufgezeichnet.

Die Versuchsserie Hersteller A PP6-0,60 wurde mit einer etwa 1 mm dicken Lagerfuge ausgeführt. Die vollfugige Ausführung der Lagerfuge der Dreisteinprüfkörper konnte bei einer Auftragsdicke von 1 mm praktisch nicht realisiert werden. Das Versagen trat stets im Mörtel auf, so daß der Mittelwert dieser Serie als maßgebend für eine weitere Auswertung der Versuchsergebnisse angesehen werden kann (Fugenversagen). Die Versuchsergebnisse der Serie Hersteller B PP 6-0,65 streuen -bedingt durch die teilfugige Ausführung einzelner Prüfkörper- sehr stark (vergl. Tab. A11). Für die Mittelwertbildung wurden diese Versuchser-

gebnisse nicht weiter berücksichtigt. Die Versagensarten bzw. die Versuchsergebnisse der Serien mit der Festigkeitsklasse 6 wurden somit wesentlich durch die Lagerfugendicke beeinflusst. Ein Einfluß der Vermörtelung auf das Versagen der Prüfkörper Hersteller A PP2-0,40 war nicht vorhanden, da alle Prüfkörper im Stein versagten.

Um den Einfluß der Lagerfugendicke beurteilen zu können, wurden im ibac zusätzliche Untersuchungen durchgeführt, bei der die Fugendicke der Prüfkörper für die Bestimmung der Torsions-Haftscherfestigkeit variiert wurde.

Die Versuchsergebnisse enthalten die Tabellen A12 bis A14, Seiten A6 und A7. Mit freundlicher Genehmigung des Auftraggebers wurden auch einige wenige Teilergebnisse aus /1/ für die Auswertung herangezogen.

Aufgrund der Nachversuche kann für das Versagen bei vollfugiger, 3 mm dicker Ausführung der Lagerfugen des Dreisteinprüfkörpers ein Bruch im Mauerstein als maßgebliche Versagensart angenommen werden. Die Bruchlast beträgt für diesen Fall $18,40 \text{ N/mm}^2$ (Hersteller A, PP6-6,0) und $10,39 \text{ N/mm}^2$ (Hersteller A, PP2-0,4).

Bei teilflächiger und / oder 1 mm dicker Ausführung der Lagerfuge tritt für den Fall Hersteller A, PP2-0,4 das Versagen ebenfalls im Mauerstein auf. Das heißt, hier wird in jedem Ausführungsfall der Lagerfuge die Zugfestigkeit bzw. Biegezugfestigkeit des auskragenden mittleren Mauersteines maßgebend.

Wird die Lagerfuge bei Verwendung des PP6 nicht vollfugig und/ oder mit 1 mm Fugendicke ausgeführt, so ist das Versagen in der Lagerfuge maßgebend. Die Bruchlast beträgt für diesen Fall $13,69 \text{ N/mm}^2$ Hersteller A, und $14,11 \text{ N/mm}^2$, Hersteller B.

Um aus der Bruchlast **vergleichbarer** Versuchsergebnisse (**gleiche Versagensart**, Bruch im Stein, Bruch in der Fuge) einen Festigkeitskennwert zu berechnen, werden im folgenden Abschnitt 9 die Bemessung bzw. Auswertung der Versuchsergebnisse detailliert erläutert.

9 AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

Für die Berechnung eines Festigkeitskennwertes werden nachfolgend nur die Achsen des Prüfkörpers betrachtet.

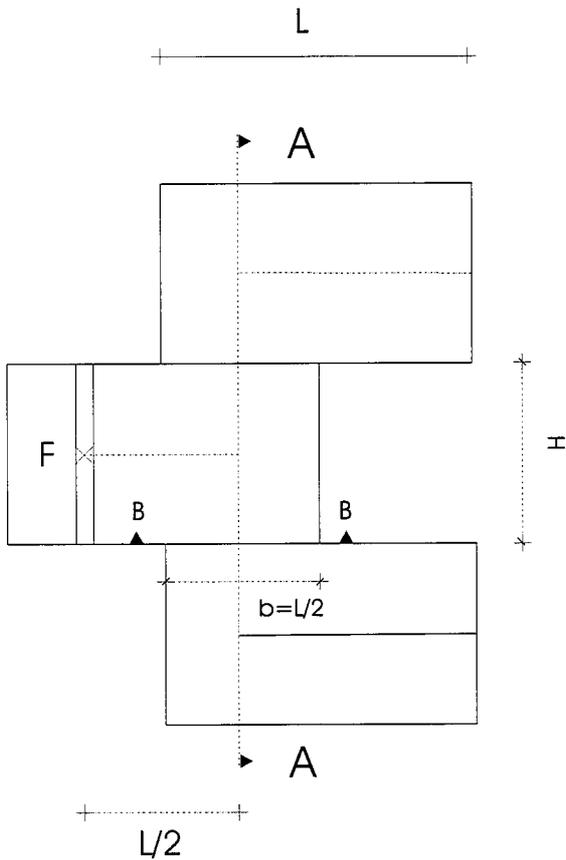


Bild 1: Dreisteinprüfkörper, Draufsicht

Für die weitere Berechnung wurde ein vereinfachtes statisches System auf der Basis der Prüfkörperachsen zugrunde gelegt (s. auch Bild 1). Hierbei werden die Schnitte A-A und B-B betrachtet (s. Bilder 2 und 3).

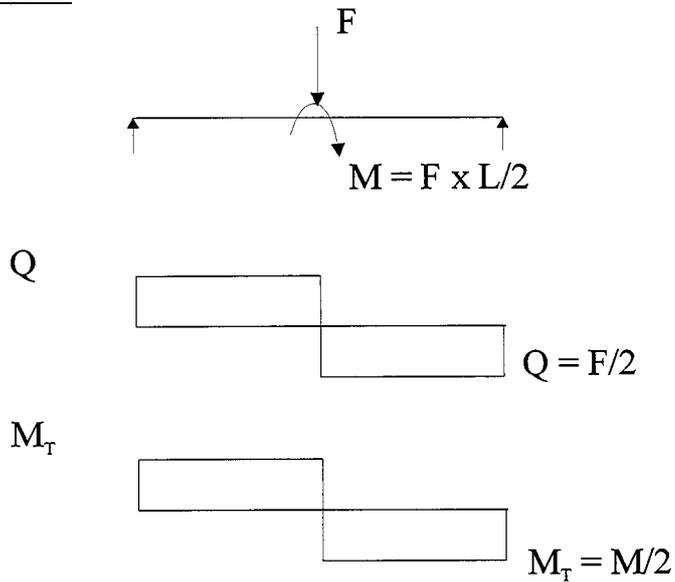
Schnitt A-A

Bild 2: Schnitt A-A; statisches System und qualitativer Verlauf von Querkraft und Moment

Infolge der Querkraft kommt es zu Schubspannungen in der Fuge (Schnitt B-B, vgl. Bild 3).

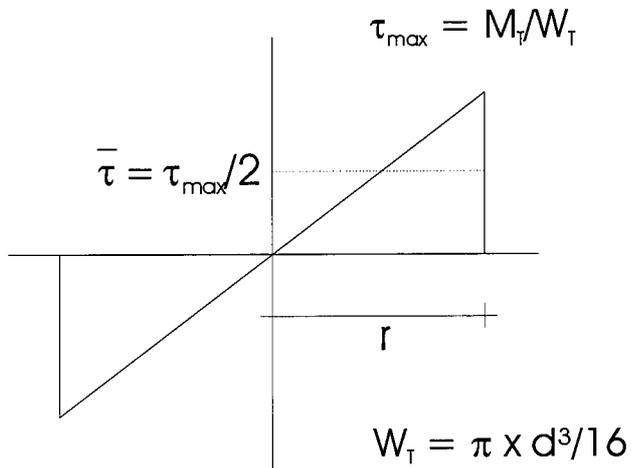


Bild 3: Schubspannungsverlauf im Kreisquerschnitt, abgeminderte Schubspannung

$$\max \tau_Q = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{b \cdot d}$$

Ein zusätzlicher Schubspannungsanteil infolge des Momentes wird in der betrachteten Fuge (Schnitt B-B) wirksam. Hierbei werden nachfolgend 5 mögliche Ansätze für die Berechnung dargestellt.

$$\max \tau_{M_T} = \frac{M_T}{W_T}$$

mit:

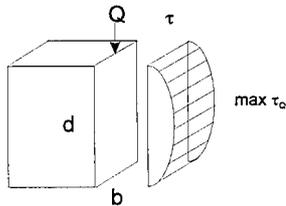
$$\text{a) } \max W_T = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad \text{Fälle 1, 2, 3, 4}$$

$$\text{b) } \max W_T = \beta \cdot b^2 \cdot d \quad \beta = f\left(\frac{d}{b}\right) \quad \text{Fall 5}$$

Nachfolgend werden 5 Fallunterscheidungen für die Überlagerung der Schubspannungsanteile aus Querkraft und Moment getroffen (vgl. Bild 4).

Schnitt B-B

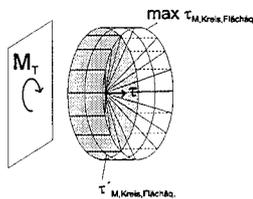
Schubspannungsverlauf infolge Querkraft



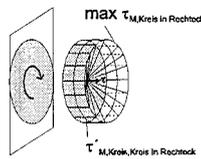
Schubspannungsverlauf infolge Torsionsmoment

a) flächenäquivalenter Kreis

b) Kreis in Rechteck

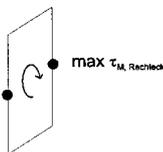


Fall 1 und 2



Fall 3 und 4

c) Rechteck (reine St. Venant'sche Torsion, keine Wölbkrafttorsion)



Fall 5

Bild 4: Schnitt B-B, Schubspannungen Fallunterscheidungen

Fall 1: $\tau_{ges,1} = \max \tau_Q + \max \tau_{M,Kreis,Flächäq}$.

Hier wird der Anteil der Schubspannung infolge Querkraft $\max \tau_Q$ mit dem Anteil der Schubspannung infolge Moment - bezogen auf einen mit der Lagerfuge (Schnitt B-B) flächenäquivalenten Kreis $\max \tau_{M,Kreis,Flächäq}$ - überlagert. Die Fläche der Lagerfuge wird somit durch einen flächenäquivalenten Kreis ersetzt. Von Vorteil sind dabei, daß keine Wölbung auftritt und der – im Gegensatz zum Rechteckquerschnitt - einfach darstellbare Schubspannungsverlauf über den Kreisquerschnitt. Das Torsionswiderstandsmoment errechnet sich somit wie folgt

$$\max W_T = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$

Fall 2: $\tau_{\text{ges},2} = \max \tau_Q + \tau'_{M,\text{Kreis,Flächäq.}}$

Entspricht grundsätzlich dem Fall 1, jedoch wird das Maximum der auftretenden Schubspannung an der Randfaser des Kreisquerschnittes infolge Moment abgemindert. Hierbei wird der dreieckförmige Schubspannungsverlauf durch ein flächengleiches Rechteck ersetzt, der Maximalwert der Schubspannung somit halbiert (Bild 3).

Fall 3: $\tau_{\text{ges},3} = \max \tau_Q + \max \tau_{M,\text{Kreis in Rechteck}}$

Im Gegensatz zu Fall 1 wird die Fläche der Lagerfuge durch einen Kreis ersetzt, dessen Durchmesser der halben Steinlänge entspricht (Kreis in Rechteck). Dieses Verfahren führt zu einem niedrigeren Torsionswiderstandsmoment, das dem des Rechteckes besser entspricht.

Fall 4: $\tau_{\text{ges},4} = \max \tau_Q + \tau'_{M,\text{Kreis in Rechteck}}$

Entspricht grundsätzlich dem Fall 3, jedoch wird das Maximum der auftretenden Schubspannung an der Randfaser des Kreisquerschnittes infolge Moment abgemindert. Hierbei wird der dreieckförmige Schubspannungsverlauf durch ein flächengleiches Rechteck ersetzt (vgl. Fall 2).

Fall 5: $\tau_{\text{ges},5} = \max \tau_Q + \max \tau_{M,\text{Rechteck}}$

Hier wird mit dem tatsächlichen Rechteckquerschnitt in der Fuge (Schnitt B-B) gerechnet, wobei auf eine detaillierte Auswertung des tatsächlichen Schubspannungsverlaufes im betrachteten Rechteck verzichtet wird. Dies bedeutet, daß die maximale Schubspannung infolge Moment in der Fuge berechnet wird. Eine genauere Berechnung unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion entfällt.

Bewertung:

Im Rahmen dieses Kleinforschungsprojektes wurden 5 Ansätze zur Herleitung der Torsions-Haftscherfestigkeit dargestellt. Weitergehende theoretisch oder experimentielle Untersuchungen sind erforderlich, um einen geeigneten Ansatz zur rechnerischen Ermittlung der Biegezugfestigkeit unter Einbezug der Torsionshaftscherfestigkeit und der Biegezugfestigkeit der Mauersteine (vgl. Abschnitt 9, Annahmen) zu formulieren.

Annahmen:

- (1) Die berechneten Schubspannungen infolge Querkraft und Moment führen zu einem Versagen in einer oder in beiden Lagerfugen des Dreisteinprüfkörpers. Nur diese Versagensarten lassen sich somit mit dem vorgeschlagenen Bemessungsverfahren Fall 1 bis Fall 5 auswerten.
- (2) Für das Versagen des mittleren Mauersteines (Kragarm) ist die auftretende maximale Zugspannung in der oberen Randfaser maßgebend.

10 PRÜFVERFAHREN TORSIONS-HAFTSCHERFESTIGKEIT

10.1 Anwendungsbereich und Zweck

Dieses Prüfverfahren gilt für die Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Festmörteln mit mineralischen Bindemitteln an Prüfkörpern, die aus 3 miteinander vermörtelten Mauersteinen bestehen (Dreisteinprüfkörper).

10.2 Begriff

Torsions-Haftscherfestigkeit von Mauermörteln

Die Torsions-Haftscherfestigkeit ist die Kraft je Flächeneinheit, die aufgewendet werden muß, um den Verbund dreier miteinander vermörtelter Mauersteine zu zerstören (Versagensfall 1) oder einen Biegezugbruch im mittleren Mauerstein (Kragarm) herbeizuführen (Versagensfall 2).

Die Kraft je Flächeneinheit, die aufgewendet werden muß, um das Versagen des Prüfkörpers auszulösen, wird für den Versagenfall 1 aus dem Anteil der Querkraft und dem Anteil des Momentes in der Lagerfuge rechnerisch ermittelt (vgl. Abschnitt 9, derzeit 5 Fallunterscheidungen).

Für den Versagenfall 2 ist die Zugfestigkeit in der Randfaser des mittleren Mauersteines maßgebend.

10.3 Geräte und Zubehör

10.3.1 Prüfgerät

Die Prüfung ist mit einer Druckprüfmaschine nach DIN 51 223 /X8/ oder einer Biegeprüfmaschine nach DIN 52 227 bzw. DIN EN ISO 7500-1 /X9/ mindestens der Klasse 2 nach DIN 51 220 /X10/ mit einer Kraft im Bereich von 5 bis 200 kN, je nach zu erwartender Torsions-Haftscherfestigkeit der Prüfkörper, durchzuführen.

10.3.2 Vorrichtung

In das Prüfgerät wird eine Vorrichtung nach Bild B5, Seite B3, zur Bestimmung der Torsionshaftscherfestigkeit eingesetzt.

Die Auflagerplatten sind den Steinformaten anzupassen und müssen mit der Außenkante der Mauersteine bündig abschließen. Die Kraftereinleitungspunkte sind entsprechend zu verschieben. Um Unebenheiten der Prüfkörper auszugleichen, (Vermeidung von Spannungsspitzen in den Bereichen der Auflager) ist ein Hartfilz der Härte F 5 DIN 61 200 /X 11/ einzulegen.

10.4 Probematerial und Prüfkörper

3 Mauersteine für die Bestimmung der Maße und des Feuchtegehaltes.

15 Mauersteine je Prüftermin für die Herstellung der Prüfkörper.

Zur Prüfung sind grundsätzlich alle Formate und Steine geeignet.

10.5 Mörtel

Für die Herstellung der Mörtel ist Frischmörtel nach DIN 18 555-1 zu verwenden.

10.6 Prüfkörper

Die Prüfkörper bestehen aus jeweils drei Steinen, die an ihren Lagerflächen miteinander vermörtelt werden. Im Regelfall sind 5 Prüfkörper herzustellen.

10.7 Lagerung der Prüfkörper

Die für die Kraffteinleitung vorgesehenen Flächen müssen eben und rechtwinkelig zur Lagerfläche sein. Erforderlichenfalls sind unebene Flächen mit einem Hartfilz der Härte F5 oder einer Abgleichschicht auszugleichen. Soll der Feuchtegehalt der Steine beim Vermörteln in einem bestimmten Bereich liegen, so ist dazu ggf. eine bestimmte Vorlagerung erforderlich. Während der Vorlagerung sind die Steine mit allseitig ausreichendem Luftzwischenraum zu lagern.

10.8 Herstellung und Lagerung der Prüfkörper

Die Lagerflächen der Steine sind, z. B. durch leichtes Abbürsten, von anhaftenden Staub zu befreien. Der untere Stein wird auf eine horizontale Fläche gelegt. Danach wird ein vorher mit Schalöl behandelter Rahmen, der allseitig etwa 5 mm größer ist als die zu vermörtelnde Steinfläche, so über den Stein gesetzt, daß durch Ausfüllen des Rahmens mit Mörtel die gewünschte Fugendicke ± 1 mm eingestellt werden kann. Der Mörtel wird dann in die Mitte der Lagerfläche eingebracht und jeweils zur Seite hin gleichmäßig so verteilt, daß sich eine hohlstellenfreie Lagerfuge ergibt. Der über den Rahmen überstehende Mörtel wird mit einem Metalllineal abgezogen. Anschließend werden der Rahmen vorsichtig entfernt und der obere Stein bündig zum unteren Stein auf das Mörtelbett aufgesetzt. Durch Aufklopfen auf den oberen Stein mit der Kelle wird die Lagerfugendicke auf (12 ± 1) mm bzw. (2 ± 1) mm gebracht. Dabei ist der obere Stein mittels Anschlagwinkel und Maschinenlibelle parallel, lot- und fluchtgerecht zum unteren Stein auszurichten. Überstehender Mörtel wird sofort mit der Kelle abgestrichen.

10.9 Lagerung

Die Prüfkörper werden bei einer Temperatur von 15 bis 22 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 bis 70 % gegen Zugluft geschützt (z. B. mit einer Folie) bis zur Prüfung gelagert. Eine Erschütterung der Prüfkörper vor allem innerhalb der ersten 3 d ist zu vermeiden.

10.10 Durchführung

Die Prüfkörper sind im Regelfall 28 d nach ihrer Herstellung zu prüfen.

Der Prüfkörper und der zugehörige Gegenkörper werden in die Prüfvorrichtung nach Bild B5 so eingesetzt, daß die Kraftereinwirkung parallel zu den Stirnflächen und den Mörtellagerflächen erfolgt. Dabei werden die beiden äußeren Steine mit Hilfe der Widerlager eingespannt und in ihrer Lage gesichert (s. Bild B5). Die Bruchlast soll bei stetigem Lastanstieg nach 30 bis 90 s erreicht werden.

10.11 Auswertung

Die Torsions-Haftscherfestigkeit ergibt sich unter Bezug auf die Fallunterscheidungen in Abschnitt 9, getrennt für den jeweils maßgeblichen Versagensfall.

Anmerkung: Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf, um möglichst einen einzigen Rechenansatz zu formulieren.

10.12 Prüfbericht

Der Prüfbericht muß die folgenden Angaben analog der DIN 18 555-5

- Abschnitt 8.1: Angaben des Mörtelherstellers bzw. Probenehmers,
- Abschnitt 8.2: Angaben zur Herstellung der Prüfkörper und
- Abschnitt 8.3: Angabe der Prüfstelle

enthalten.

11 LITERATUR

- /1/ Schubert, P. ; Krechting, A.: Ergänzende Versuche zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen. Aachen : Institut für Bauforschung, 2000. – Zwischenbericht F 715
- /X1/ DIN 18 555-5 03.86. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Haftscherfestigkeit
- /X2/ DIN prEN 1052-3 07.93. Prüfverfahren für Mauerwerk; Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit (Haftscherfestigkeit)
- /X3/ DIN 1053-1 11.96. Mauerwerk; Berechnung und Ausführung
- /X4/ DIN V ENV 1996-1-1 12.96. Eurocode 6; Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten; Allgemeine Regeln; Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk
- /X5/ DIN 18 555-3 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte
- /X6/ DIN 18 555-2 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehaltes
- /X7/ DIN 4165 11.96. Porenbeton-Blocksteine und Porenbeton-Plansteine
- /X8/ DIN 51 223 07.93. Werkstoffprüfmaschinen; Druckprüfmaschinen; Anforderungen
- /X9/ DIN EN ISO 7500-1 11.99. Metallische Werkstoffe; Prüfung von Prüfmaschinen für statische einachsige Beanspruchung; Zug- Druckprüfmaschinen; Prüfung und Kalibrierung der Kraftmeßeinrichtungen
- /X10/ DIN 51 220 01.96. Werkstoffprüfmaschinen; Allgemeine Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung
- /X11/ DIN 61 200 12.85. Filze; Härte

Tabelle A1: Versuchsprogramm

Gegenstand der Untersuchung	Eigenschaft, Kenngröße	Kurzzeichen	Norm
1	2	3	4
Mauersteine	Maße	l, b, h	DIN 4165
	Trockenrohdichte	ρ_d	
	Druckfestigkeit	$\beta_{D,st}$	
Mauermörtel	Frischmörtelrohdichte	ρ_{fr}	DIN 18 555-2
	Luftgehalt	L	
	Ausbreitmaß	a	
	Druckfestigkeit	$\beta_{D,mö}$	DIN 18 555-3
	Haftscherfestigkeit mit KS-Referenzstein	β_{HS}	DIN 18 555- 5
Porenbeton / Mauermörtel	Haftscherfestigkeit Porenbeton	β_{HS}	analog DIN 18 555-5
	Torsions-Haftscherfestigkeit	β_{THS}	-

Tabelle A2: Mauermörtel; Frisch- und Festmörtelkennwerte
Luftgehalt L, Frischmörtelrohdichte ρ_{fr} , Ausbreitmaß a,
Trockenrohdichte ρ_d , Druckfestigkeit $\beta_{D,mö}$
Prüfalter : 28 d

Mörtel	L	a	ρ_{fr}	ρ_d	$\beta_{D,mö}$
	%	mm	kg/dm ³	kg/dm ³	N/mm ²
1	2	3	4	5	6
DM	16,0	160	1,68	1,39	20,1

Tabelle A3: Mauersteine; Maße, Trockenrohdichte ρ_d ,
Druckfestigkeiten $\beta_{D,pr}$ und $\beta_{D,st}$ (mit Formfaktor)

Stein	Maße			ρ_d	$\beta_{D,pr}$	$\beta_{D,st}$
	l	b	h			
-	mm			kg/dm ³	N/mm ²	
1	2	3	4	5	6	7
Hersteller A PP6-0,60 ¹⁾	498	300	249	0,59	5,97	7,16
Hersteller B PP6-0,65 ¹⁾	400	300	200	0,66	6,25	6,88

1) Bezeichnung laut Hersteller

Tabelle A4: Stein-Mörtel-Verbundprüfungen
 Haftscherfestigkeit β_{HS} nach DIN 18 555-5
 Stein: PP6-0,60, Hersteller A
 Mörtel: DM
 Fugendicke: 3 mm
 Prüfalter: 13 d

Prüfkörper Nr.	β_{HS}
-	N/mm ²
1	2
1	0,80
2	0,65
3	0,87
4	0,76
5	0,64
Mittelwert	0,75

Tabelle A5: Stein-Mörtel-Verbundprüfungen
 Haftscherfestigkeit β_{HS} nach DIN 18 555-5
 Stein: PP2-0,40, Hersteller A
 Mörtel: DM
 Fugendicke: 3 mm
 Prüfalter: 13 d

Prüfkörper Nr.	β_{HS}
-	N/mm ²
1	2
1	0,55
2	0,49
3	0,49
4	0,51
5	0,48
Mittelwert	0,50

Tabelle A6: Stein-Mörtel-Verbundprüfungen
 Haftscherfestigkeit β_{HS} nach DIN 18 555-5
 Stein: PP6-0,65, Hersteller B
 Mörtel: DM
 Fugendicke: 3 mm
 Prüfalter: 14 d

Prüfkörper Nr.	β_{HS}
-	N/mm ²
1	2
1	0,61
2	0,48
3	0,63
4	0,60
5	0,42
Mittelwert	0,55

Tabelle A7: Stein-Mörtel-Verbundprüfungen
 Haftscherfestigkeit β_{HS} nach DIN 18 555-5
 Stein: PP6-0,65, Hersteller B
 Mörtel: DM
 Fugendicke: 1 mm
 Prüfalter: 14 d

Prüfkörper Nr.	β_{HS}
-	N/mm ²
1	2
1	0,36
2	0,49
3	0,45
4	0,49
5	0,36
Mittelwert	0,43

Tabelle A8: Stein-Mörtel-Verbundprüfungen
 Haftscherfestigkeit β_{HS} nach DIN 18 555-5
 Stein: KS-Ref.
 Mörtel: DM
 Fugendicke: 3 mm
 Prüfalter: 14 d

Prüfkörper Nr.	β_{HS}
-	N/mm ²
1	2
1	0,55
2	0,71
3	0,67
4	0,75
5	0,62
Mittelwert	0,66

Tabelle A9: Versuchsergebnisse, Torsions-Haftscherfestigkeit; Höchstkraft F_{max}
 PP6-0,60, Hersteller A
 Prüfalter: 14 d

Prüfkörper Nr.	F_{max}	Versagen/Bruch	F_{max}	Versagen/Bruch
	kN	-	kN	-
-	$d_F = 1\text{mm}$		$d_F = 3\text{mm}$	
1	2	3	4	5
1	12,85	im Mörtel	15,77	50% Fuge / 50% Stein
2	11,35		19,42	im Stein
3	13,81		10,58 ¹⁾	einseitig Fuge
4	15,98		19,52	im Stein
5	14,45		18,89	beidseitig Fuge
Mittelwert	13,69	-	18,40	-

Tabelle A10: Versuchsergebnisse
Torsions-Haftscherfestigkeit, Höchstkraft F_{\max}
PP2-0,40, Hersteller A
Prüfalter: 14 d

Prüfkörper Nr.	F_{\max} kN	Versagen/Bruch	F_{\max} kN	Versagen/Bruch
-		$d_F = 1\text{mm}$		$d_F = 3\text{mm}$
1	2	3	4	5
1	6,79	im Stein	10,62	im Stein
2	7,62		9,69	
3	10,69		11,67	
4	7,72		8,35	
5	6,50		11,62	
6	8,59		-	
Mittelwert	7,61	-	10,39	-

Tabelle A11: Versuchsergebnisse, Torsions-Haftscherfestigkeit, Höchstkraft F_{\max}
PP6-0,65, Hersteller B
Prüfalter: 14 d
Fugendicke $d_F = 1\text{mm}$

Prüfkörper Nr.	F_{\max} kN	Versagen/Bruch
-	kN	-
1	2	3
1	12,35	im Mörtel
2	13,66	im Mörtel
3	16,32	teilweise im Stein
4	7,62 ¹⁾	teilflächige Vermörtelung
5	-	bei Einbau in die Prüfeinrichtung
6	9,30 ¹⁾	teilflächige Vermörtelung
Mittelwert	14,11	-

Tabelle A12: Versuchsergebnisse, Torsions-Haftscherfestigkeit, Höchstkraft F_{\max}
Mittelwerte

Planstein	d_F	F_{\max}		
	-	Versagen im Stein	Versagen in der Mörtelfuge	alle Werte
-	mm	kN		
1	2	3	4	5
Hersteller A PP6-0,60	1	-	13,69	13,69
	3	19,47 ¹⁾	17,33 ¹⁾	18,40 ¹⁾
Hersteller A PP2-0,40	1	7,61	-	7,61
	3	10,39 ¹⁾	-	10,39 ¹⁾
Hersteller B PP6-0,65	1	16,32	13,01	14,11

1) Nachversuche

Tabelle A13: Versuchsergebnisse; Torsions-Haftscherfestigkeit β_{THS} (s. auch Abschn. 9)
Mittelwerte

Planstein	d_F	$\beta_{\text{THS}} (\tau_{\text{ges},i})$					τ_1/τ_2	τ_3/τ_4	τ_3/τ_5
		Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5			
-	mm	N/mm ²					-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hersteller A PP6-0,60	1	0,43	0,28	0,69	0,42	0,64	1,5	1,7	1,1
	3	0,58	0,38	0,93	0,56	0,86			
Hersteller A PP2-0,40	1	0,24	0,16	0,39	0,23	0,35			
	3	0,33	0,22	0,53	0,32	0,48			
Hersteller B PP6-0,65	1	0,52	0,35	1,07	0,63	0,94			

Tabelle A14: Versuchsergebnisse, Torsions-Haftscherfestigkeit β_{THS}
Prüfkörper mit Fugenversagen

Planstein	d_F	$\beta_{\text{THS}} (\tau_{\text{ges},i})$					τ_1/τ_2	τ_3/τ_4	τ_3/τ_5
		Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5			
-	mm	N/mm ²					-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hersteller A PP6-0,60	1	0,43	0,28	0,69	0,42	0,64	1,5	1,7	1,1
	3	0,55	0,36	0,88	0,53	0,81			
Hersteller A PP2-0,40	1	-							
	3	-							
Hersteller B PP6-0,65	1	0,48	0,32	0,99	0,58	0,87			

Überlagerung:

Fall 1: $\tau_{\text{ges},1} = \max \tau_Q + \max \tau_{M,\text{Kreis,Flächäq.}}$
 Fall 2: $\tau_{\text{ges},2} = \max \tau_Q + \tau'_{M,\text{Kreis,Flächäq.}}$
 Fall 3: $\tau_{\text{ges},3} = \max \tau_Q + \max \tau_{M,\text{Kreis in Rechteck}}$
 Fall 4: $\tau_{\text{ges},4} = \max \tau_Q + \tau'_{M,\text{Kreis in Rechteck}}$
 Fall 5: $\tau_{\text{ges},5} = \max \tau_Q + \max \tau_{M,\text{Rechteck}}$

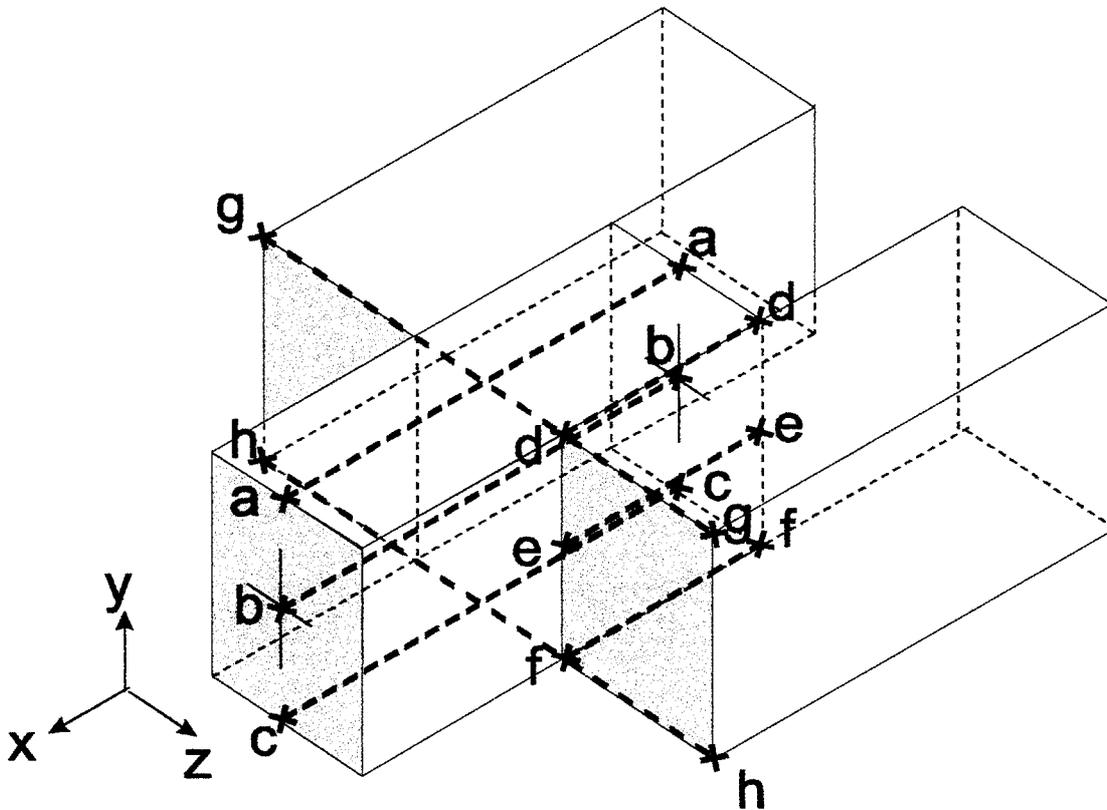


Bild B1: Schnittachsen

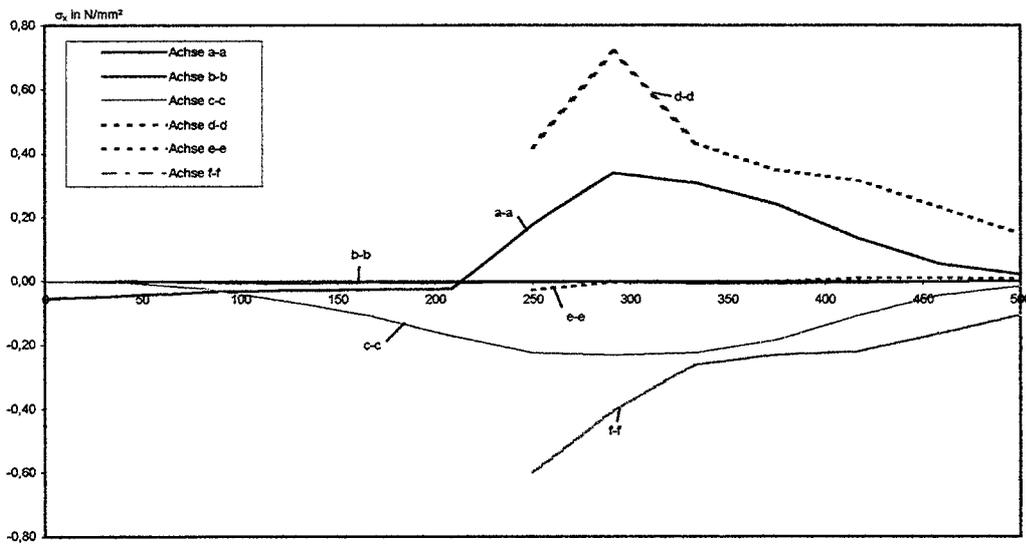


Bild B2: Spannungsverläufe in den Schnittachsen a-a, b-b, c-c, d-d, e-e, f-f

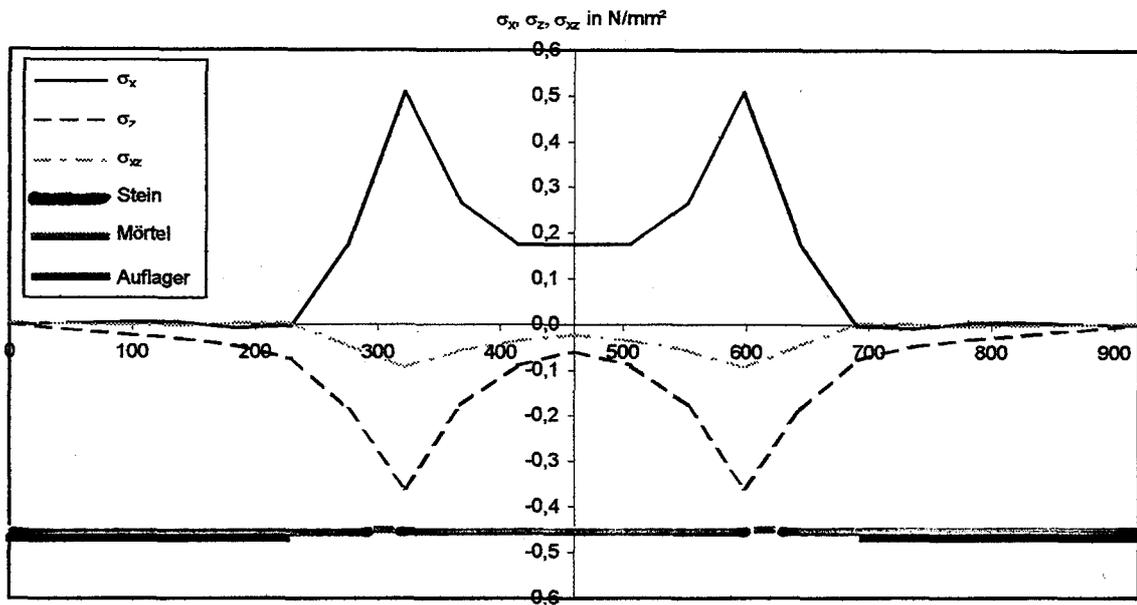


Bild B3: Spannungsverläufe, Schnittachse g-g

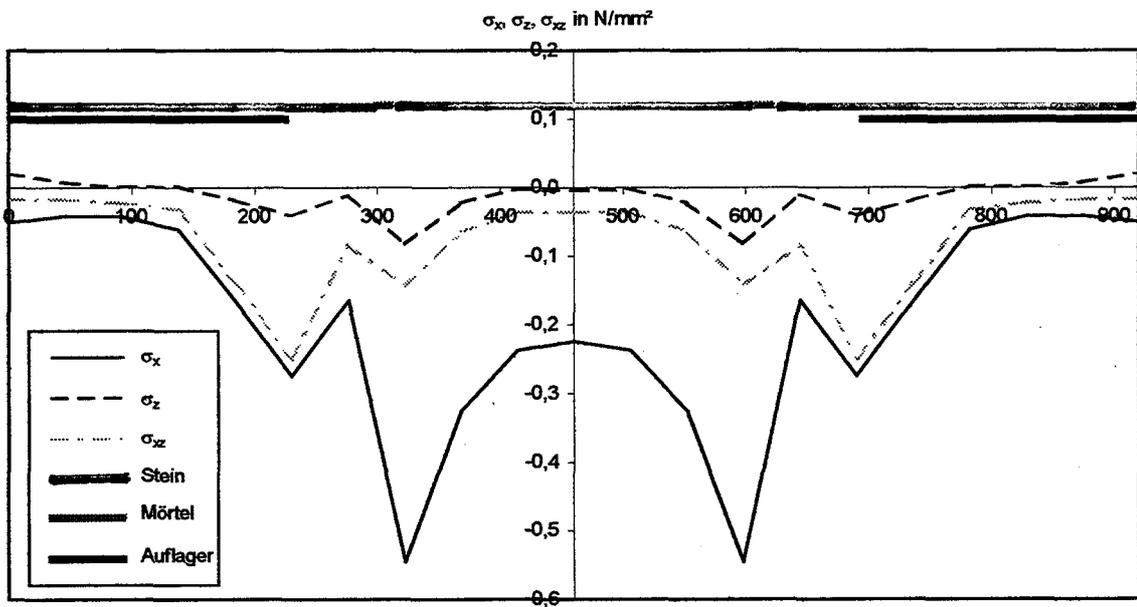


Bild B4: Spannungsverläufe, Schnittachse h-h

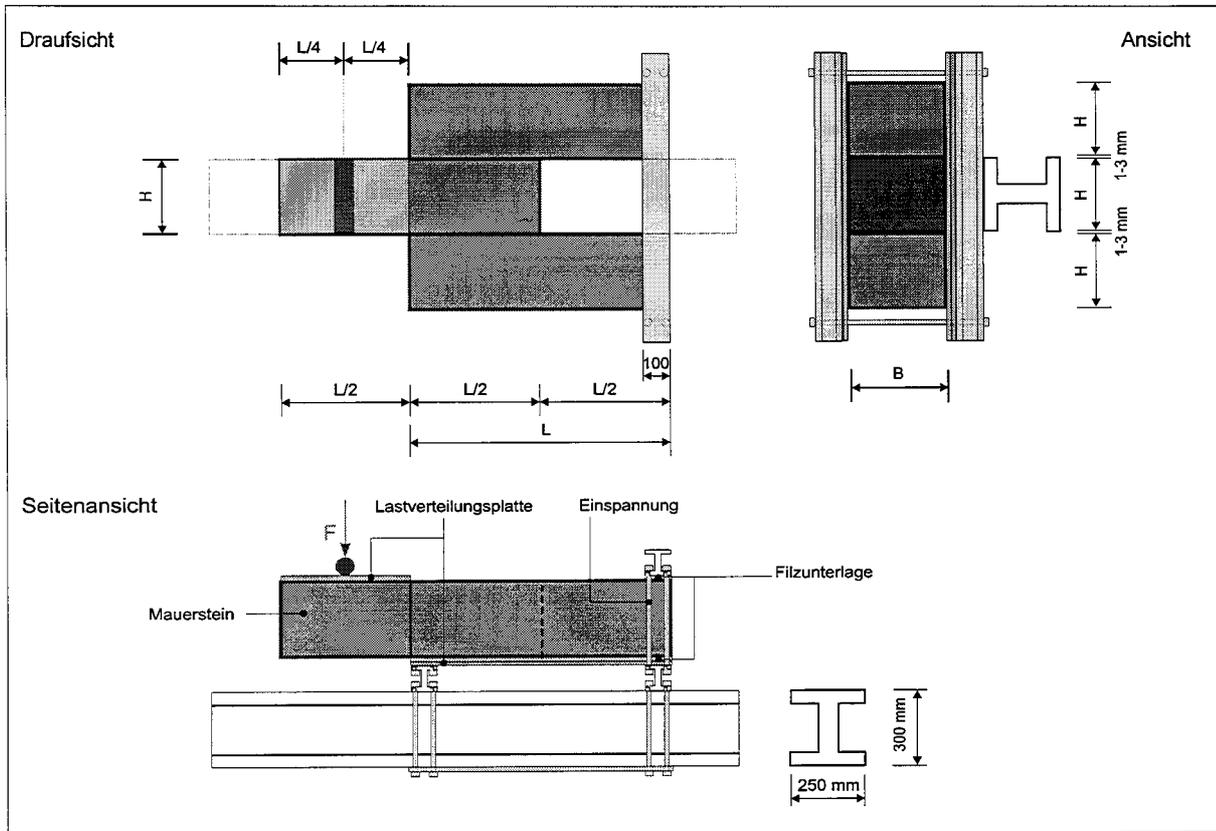


Bild B5: Torsions-Haftscherfestigkeit; Versuchseinrichtung