

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

**T 2672/2**

T 2672/2

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

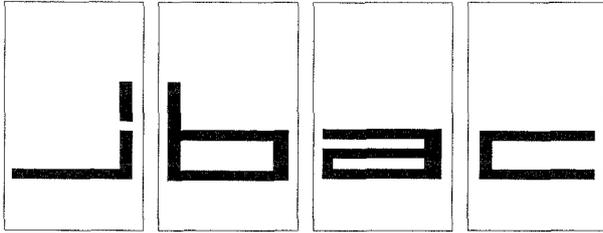
Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

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

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

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



# INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

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

Postfach, D-52056 Aachen

Schinkelstraße 3, D-52062 Aachen

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

CG/Di

1. Ausfertigung

## THEMA

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

---

## ABSCHLUSSBERICHT

Forschungsbericht Nr.

F 449/2

vom 15.07.1996

Projektleiter

Dr.-Ing. P. Schubert

Sachbearbeiter

Dipl.-Ing. A. Caballero González

Auftraggeber/  
Förderer

Deutsches Institut  
für Bautechnik  
Kolonnenstraße 30

10829 Berlin

Auftragsdatum

08.10.1993

Aktenzeichen

IV 1-5-738/93

Dieser Bericht umfaßt 28 Seiten, davon 15 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.

<b><u>INHALTSVERZEICHNIS</u></b>		<b>Seite</b>
1	EINFÜHRUNG, ALLGEMEINES.....	2
2	BESCHREIBUNG DER PRÜFVERFAHREN .....	3
3	UNTERSUCHUNGSPROGRAMM .....	4
4	FEM-BERECHNUNGEN .....	4
4.1	Randbedingungen .....	4
4.2	Ermittlung der Spannungsverteilung .....	5
4.3	Ermittlung der Prüffaktoren zwischen den jeweiligen Prüfverfahren .....	6
4.4	Ergebnisse .....	8
4.4.1	Vergleich der Spannungsverteilungen nach /X1/ und /X2/ .....	8
4.4.2	Vergleich der Spannungsverteilung nach /X4/ und /X5/ mit /X1/ .....	9
4.4.3	Prüffaktoren der jeweiligen Prüfverfahren .....	10
5	BEWERTUNG DER PRÜFVERFAHREN.....	10
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	12
7	LITERATUR.....	13

## 1 EINFÜHRUNG, ALLGEMEINES

In Fortführung der am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) in /1/ durchgeführten Untersuchungen - Auswertung der nach DIN 18 555-5 /X1/ und prEN 1052-3 /X2/ ermittelten Haftscherfestigkeiten -  $\beta_{HS,DIN}$  bzw.  $\beta_{HS,prEN}$  - hinsichtlich der Verhältnisswerte der Prüfergebnisse (Prüffaktor)  $\beta_{HS,DIN}/\beta_{HS,prEN}$  - waren Vergleichsversuche mit dem zum Zeitpunkt der Antragstellung neuen Prüfverfahren der prEN 1052-3, Fassung November 1994, /X4/ vorgesehen.

Für die Durchführung der Prüfungen wurde am ibac die erforderliche Prüfeinrichtung hergestellt. Nach deren Fertigstellung wurde vom europäischen Normenausschuß eine modifizierte Prüfeinrichtung vereinbart, was den Umbau der bis dahin vorgesehenen Prüfeinrichtung erforderlich gemacht hätte. Zu diesem Zeitpunkt war es, wegen der noch andauernden Diskussion über das Prüfverfahren, nicht abzusehen ob es bei diesem Vorschlag bleiben würde. Deshalb wurde beschlossen, die geplanten Untersuchungen auf theoretischem Weg - mit Hilfe der Methode der Finiten-Elemente - durchzuführen. Der vorliegende Untersuchungsbericht befaßt sich daher ausschließlich mit der rechnerischen Betrachtung der Spannungsverteilungen in den jeweiligen Prüfkörpern und den sich daraus ergebenden Prüffaktoren.

In der Zwischenzeit wurde die Prüfeinrichtung bzw. die Prüfkörpergeometrie zweimal überarbeitet. Dies führte schließlich zur Fassung Januar 1996 für die EN 1052-3 /X3/.

In die Untersuchungen wurden neben den Prüfverfahren nach /X1/ und / X2/ zwei weitere Prüfverfahren (/X4/ und /X5/) einbezogen. Bei diesen handelt es sich um Entwurfsfassungen zur EN 1052-3 /X3/ im Rahmen der Normungsarbeit.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden dankenswerterweise vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin, gefördert.

## 2 BESCHREIBUNG DER PRÜFVERFAHREN

Die Prüfung der Haftscherfestigkeit nach /X1/ erfolgt an einem Zweisteinprüfkörper. Die Prüfkörper werden in die in Bild B1 dargestellte Prüfeinrichtung eingebaut. Die Prüfeinrichtung, mit einem geeigneten Gegenkörper (z. B. aus Beton), soll eine möglichst momentenfreie Belastung des Prüfkörpers gewährleisten. Sie läßt die Prüfung von Prüfkörpern aus NF-formatigen Steinen zu, die Prüfung großformatiger Steine ist nicht vorgesehen, wäre jedoch durch Veränderung der Maße der Prüfeinrichtung möglich.

Bei der Prüfung der Haftscherfestigkeit nach /X2/ wird die Belastung über Stahlplatten auf den mittleren Stein eines Dreisteinkörpers aufgebracht, vgl. Bild B2. Mit der verhältnismäßig einfachen Prüfeinrichtung können Mauersteine beliebiger Formate geprüft werden. Die Belastung der Prüfkörper ist bei diesem Verfahren nicht momentenfrei, die Größe des Momentes hängt vom Steinformat - i. w. von der Steinhöhe - ab.

Das Prüfverfahren nach /X4/, Fassung 11.94 zur EN 1052-3, unterscheidet sich gegenüber /X2/ lediglich in der Prüfeinrichtung (vgl. Bild B3), die Prüfkörpermaße wurden beibehalten. Durch die veränderte Prüfeinrichtung, bei der die Lasteinleitung über auf Rollen beweglich gelagerte Stahlplatten erfolgt, soll eine möglichst momentenfreie Belastung des Prüfkörpers angestrebt werden. Der Abstand der Rollen zur Mitte der Fuge ist abhängig vom Steinformat.

In einer weiteren Fassung 03.95 zur EN 1052-3 /X5/ wurde auf der Grundlage von /X4/ die Form der Prüfkörper verändert. In Abhängigkeit von der Steinhöhe wird die Prüfung entweder am Drei- oder am Zweisteinkörper durchgeführt (vgl. Bild B4). Die Prüfung muß zudem mit drei unterschiedlichen Auflasten senkrecht zur Lagerfuge erfolgen. Die Höhe der Auflast ist abhängig von der Steinfestigkeit. Aus den bei den unterschiedlichen Auflasten bestimmten Scherfestigkeiten wird die Haftscherfestigkeit (ohne Auflast) durch Extrapolation ermittelt. Die charakteristische Haftscherfestigkeit entspricht der um 20 % abgeminderten Haftscherfestigkeit (vgl. Bild B5).

### 3 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

Untersucht wurden die Spannungsverteilungen in der Lagerfuge infolge einer Haftscherbeanspruchung nach den Prüfverfahren in /X1/, /X2/, /X4/ und /X5/ (vergleiche Bilder B1 bis B4). Die Berechnung der Spannungsverteilungen erfolgte nach der Methode der Finiten Elemente (FEM).

Die Güte der Berechnungsergebnisse wurde unter Bezug auf die Ergebnisse in /1, 2, 3/ überprüft. Hierzu wurden für die Verfahren nach /X1/ und /X2/ zum einem die berechneten Spannungsverteilungen denen in /2/ gegenübergestellt und zum anderen die abgeleiteten Prüffaktoren mit den Ergebnissen in /1/ verglichen. Die für das Verfahren nach /X4/ rechnerisch bestimmte Haftscherscherfestigkeit wurde der in /3/, ebenfalls rechnerisch bestimmten Haftscherfestigkeit, gegenübergestellt. Abschließend wurden alle Prüfverfahren mit denselben, gewählten Materialkennwerten vergleichend rechnerisch untersucht und es wurden die jeweiligen Prüffaktoren abgeleitet und bewertet.

## 4 FEM-BERECHNUNGEN

### 4.1 Randbedingungen

Die Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente (FEM) wurden an zweidimensionalen Modellen durchgeführt. Es wurde sowohl physikalische als auch geometrische Linearität angenommen, welches sicherlich nicht den Gegebenheiten im Bruchzustand entspricht, was aber für eine erste Abschätzung der zu erwartenden Spannungsverteilungen ausreichend ist. Für eine genauere Betrachtung müßte vor allem die physikalische Nichtlinearität berücksichtigt werden.

Die in /2/ bzw. /3/ gewählten Materialkennwerte (vgl. Tabelle 1) sind nur bedingt repräsentativ für übliche Mauersteine bzw. -mörtel. Wünschenswert wäre ein direkter Vergleich zwischen Berechnung und Versuchsergebnis mit Materialkennwerten der verwendeten Baustoffe gewesen. Dies war jedoch im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht möglich. Mangels genauerer Materialkennwerte und um einen Vergleich der FEM-Berechnungsergebnisse zu denen in /2/ bzw. /3/ zu ermöglichen, wurden für die Berechnungen die in Tabelle 1 angegebenen Materialkennwerte übernommen.

Für die Ableitung der Prüffaktoren wurden bei allen Prüfverfahren die Berechnungen mit den Materialannahmen nach /2/ durchgeführt.

**Tabelle 1:** Materialkennwerte für die FEM-Berechnungen  
Elastizitätsmodul E, Querdehnzahl  $\mu$

Material /Baustoff		Kennwerte nach /2/		Kennwerte nach /3/	
		E N/mm <sup>2</sup>	$\mu$ -	E N/mm <sup>2</sup>	$\mu$ -
1		2	3	4	5
Stein	in Richtung Steinhöhe	20 000	0,1	30 000	0,15
	in Richtung Steinlänge	7 000			
Mörtel	-	8 000	0,2	10 000	0,15
Stahl	-	210 000	0,3	k. A.	k. A.

k. A.: keine Angabe

Die Vernetzung bzw. die Netzfeinheit der FE-Modelle wurde in mehreren Schritten mit dem Ziel angepaßt, einen möglichst kleinen Fehler bei der Berechnung zu erzielen. Die kleinste Elementkantenlänge betrug rd. 3 mm, bedingt durch die Diskretisierung der Lagerfuge durch 4 Lagen Elemente.

Für die Berechnungen wurden die Symmetrieeigenschaften sowohl der Prüfkörper als auch der Prüfeinrichtung genutzt. In den Bildern B6 und B7 sind die gewählten Modelle dargestellt. Der Aufbau des Modells des Prüfkörpers nach /X1/ erfolgte analog zu /2/ spiegelverkehrt zum Prüfkörper in DIN 18 555-5. Auf die Ergebnisse hat dies keinen Einfluß.

## 4.2 Ermittlung der Spannungsverteilung

An den untersuchten Prüfkörpern bzw. Prüfverfahren wurden die auftretenden Hauptspannungsverteilungen untersucht und dargestellt. Für die Ableitung von Haftscherfestigkeiten, ist jedoch die Darstellung und Auswertung der Spannungsverteilung entlang von Schnitten in Längsrichtung der Prüfkörper wesentlich aussagekräftiger. Aus diesem Grunde wurden die Spannungsverteilungen entlang von Längsschnitten in Mitte der Lagerfugen sowie

Längsschnitten am Rand der Lagerfugen (Kontaktfläche zwischen Mörtel und Stein) dargestellt und ausgewertet.

Die Bilder B6 und B7 zeigen die an den jeweiligen Prüfkörpern untersuchten Längsschnitte.

### 4.3 Ermittlung der Prüffaktoren zwischen den jeweiligen Prüfverfahren

Auf der Basis der Spannungsverteilungen entlang der jeweiligen Schnitte der Prüfkörper wurden die rechnerischen Haftscherfestigkeiten der untersuchten Prüfverfahren mit den Materialkennwerten nach /2/ bestimmt. Hierzu wurde das in /3/ beschriebene, in Bild 1 dargestellte, Bruchkriterium verwendet, welches der Mohr-Coulomb'schen Beziehung entspricht.

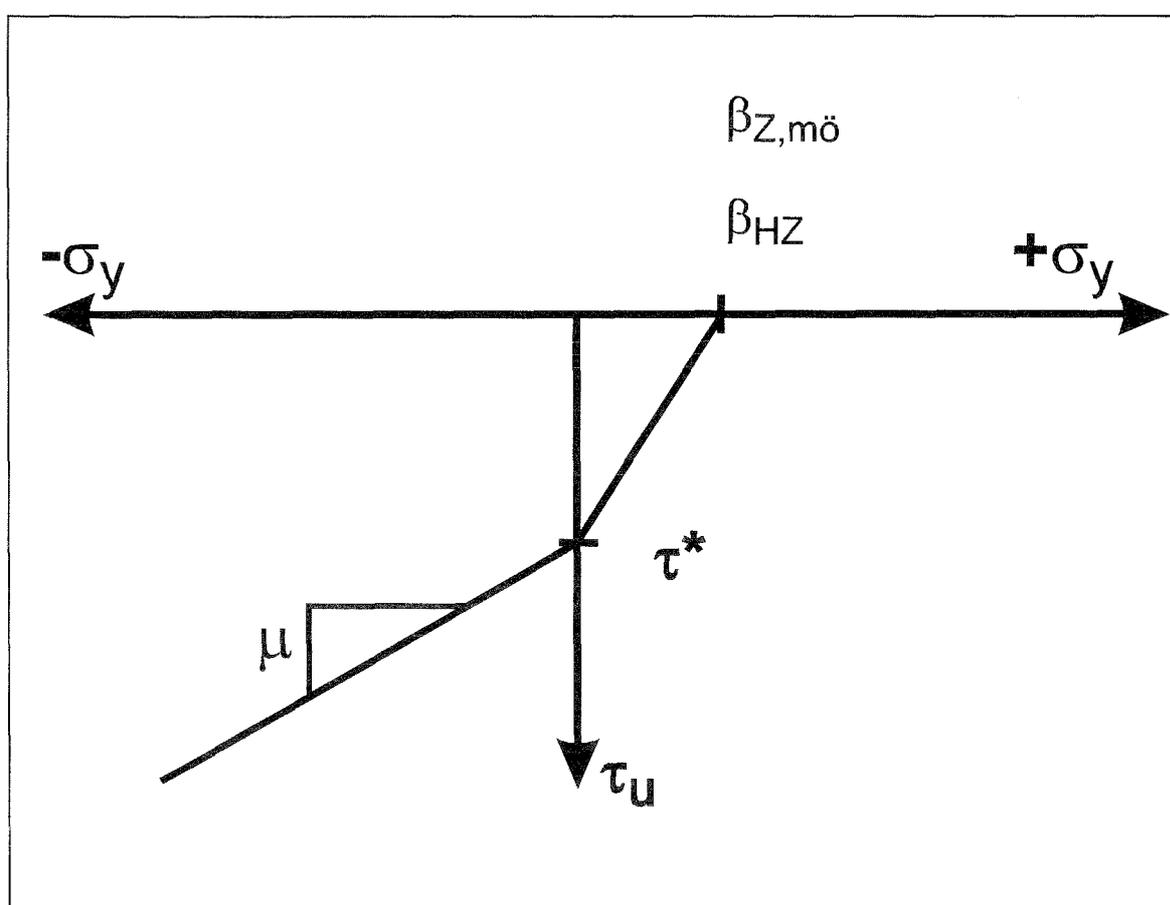


Bild 1: Bruchkriterium nach /3/

Für das Bruchkriterium wird angenommen, daß die lokale Schubfestigkeit  $\tau_u(x)$  abhängig ist von einer Anfangsschubfestigkeit  $\tau^*$  (vergleichbar mit der Kohäsion) und der senkrecht auf die Fuge wirkenden Spannung  $\sigma_y(x)$ . Als Randbedingungen für das Bruchkriterium werden in /3/ folgende Werte angegeben:

$$\tau^* = 1,0 \text{ N/mm}^2 \quad \mu = 0,6 \quad \beta_{Z,m\ddot{o}} = 1,0 \text{ N/mm}^2 \quad \beta_{HZ} = 0,5 \text{ N/mm}^2.$$

Obwohl die in /3/ angegebenen Werte verhältnismäßig hoch angesetzt sind, wurden sie, aus Gründen der Vergleichbarkeit, für die Berechnungen übernommen.

Zur Bestimmung der rechnerischen Haftscherfestigkeit wurde die auf den Prüfkörper aufgebraute äußere Belastung gesteigert bzw. interpoliert, so daß erstmalig an einer Stelle des Prüfkörpers ein Versagen nach dem Bruchkriterium auftrat.

Als Versagen wurde eine Überschreitung

- der Haftzugfestigkeit  $\beta_{HZ}$  zwischen Mörtel und Stein oder
- der Mörtelzugfestigkeit  $\beta_{Z,m\ddot{o}}$  oder
- der lokalen Schubfestigkeit  $\tau_u(x)$

definiert. Die mittlere Schubspannung  $\tau_{xy}$  bei erstmaligem Versagen wurde als Haftscherfestigkeit definiert. In Bild B8 ist der Berechnungsvorgang veranschaulicht.

Ein direkter Vergleich der rechnerischen Haftscherfestigkeiten mit Versuchsergebnissen ist wegen der gewählten Materialkennwerte (nicht identisch mit den Materialkennwerten der Versuche) sowie der angenommenen physikalischen und geometrischen Linearität für die FEM-Berechnung nicht sinnvoll. Zudem kann es im Prüfkörper während der Prüfung, trotz Überschreiten der lokalen Haftscherfestigkeit, zu einer Steigerung der äußeren Last infolge Spannungsumlagerungen kommen. Eine hierzu erforderliche rechnerische Betrachtung der Rißentwicklung war im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht möglich. Ein Vergleich zwischen Versuchs- und Berechnungsergebnissen läßt sich daher nur sinnvoll über die Verhältniswerte der Haftscherfestigkeiten (Prüffaktoren), - beispielsweise  $\beta_{HS,DIN}/\beta_{HS,EN}$  -, anstellen. Dabei wird vereinfachend angenommen, daß evtl. auftretende Spannungsumlagerungen in allen Prüfkörpern gleichermaßen auftreten.

## 4.4 Ergebnisse

### 4.4.1 Vergleich der Spannungsverteilungen nach /X1/ und /X2/

Die Bilder B9 und B10 zeigen die berechneten Spannungsverläufe für die Prüfverfahren nach /X1/ und /X2/ im Schnitt längs der Lagerfugenmitte. Ein Vergleich der für die Prüfverfahren nach /X1/ und /X2/ berechneten Spannungsverteilungen in Mitte der Lagerfuge mit den in /2/ vorgestellten Ergebnissen zeigte, abgesehen von den Randbereichen der Prüfkörper ( $x \approx 0$  bis 20 mm bzw. 220 bis 240 mm), keine nennenswerten Unterschiede, wie aus den Bildern B11 und B12 ersichtlich.

Die auftretenden Abweichungen der hier vorgestellten Ergebnisse von denen in /2/ im Randbereich der Prüfkörper sind vermutlich auf Unterschiede bei der Vernetzung bzw. der Netzfeinheit der Berechnungsmodelle zurückzuführen.

Wie zu erwarten, treten bei dem Prüfverfahren nach /X1/ symmetrisch verteilte Spannungen auf (vgl. Bild B9). Man erkennt anhand der Spannungsverteilung, daß die Belastungsanordnung eine momentenfreie Belastung des Prüfkörpers in Mitte der Lagerfuge in halber Steinlänge gewährleistet. Diese Momentenfreiheit ist bei dem Prüfverfahren nach /X2/ nicht gegeben (vgl. Bild B10), die Spannungsverteilungen sind hier nicht symmetrisch.

Bei beiden Prüfverfahren treten sowohl Zug- als auch Druckspannungen senkrecht zur Lagerfuge  $\sigma_y$  auf. Die Größe der auftretenden Zugspannungen  $\sigma_y$  ist bei beiden Prüfverfahren vergleichbar, wie in den Bildern B9 und B10, bzw. B13 und B14 zu erkennen ist. Auch die maximalen Druckspannungen  $\sigma_y$  im Schnitt entlang der Lagerfugenmitte sind bei beiden Verfahren ähnlich groß. Beim Verfahren nach /X2/ treten jedoch am unteren Prüfkörperperrand ( $x \approx 240$  mm) nur etwa halb so große Spannungsspitzen auf wie am oberen Rand ( $x \approx 0$  mm, vgl. Bild B10).

Vergleicht man die Spannungsverteilungen für beide Prüfverfahren im Schnitt entlang der Kontaktfläche Mörtel-Stein (vgl. Bilder B13 und B14) so erkennt man, daß die am Rand der Prüfkörper auftretenden Spannungsspitzen bei der Schubspannung  $\tau_{xy}$  in etwa gleich groß sind, die Druckspannungen bei dem Verfahren nach /X2/ aber deutlich größer sind als die nach /X1/. Die Unterschiede wirken sich auf die zu erwartenden Haftscherfestigkeitswerte und damit auf den Prüffaktor zwischen beiden Prüfverfahren aus (vgl. Abschnitt 4.4.3).

#### 4.4.2 Vergleich der Spannungsverteilung nach /X4/ und /X5/ mit /X1/

Bei der Berechnung der Spannungsverteilungen in den Prüfkörpern der Prüfverfahren nach /X4/ und /X5/ wurden die Prüfkörpermaße so gewählt, daß mit dem gleichen Modell beide Verfahren rechnerisch behandelt werden konnten. Die Spannungsverteilungen im Prüfkörper bei dem Prüfverfahren nach /X4/ wurden ohne Vorspannung senkrecht zu den Lagerfugen errechnet, bei dem Prüfverfahren nach /X5/ mit Vorspannungen von 0,2, 0,6 und 1,0 N/mm<sup>2</sup>.

Wie schon für die Verfahren nach /X1/ und /X2/ wurden auch die Rechenergebnisse des Verfahrens /X4/ mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen. Mit den in Tabelle 1, Spalten 4 und 5, angegebenen Materialkennwerten wurde eine Haftscherfestigkeit von 0,45 N/mm<sup>2</sup> errechnet. Die mit gleichen Materialkennwerten in /3/ berechnete Haftscherfestigkeit betrug 0,52 N/mm<sup>2</sup>. Der geringfügige Unterschied ist durch die in /3/ berücksichtigte Ribbildung bzw. -ausbreitung erklären.

Der Vergleich der berechneten Spannungsverteilungen beider Prüfverfahren, mit den Materialkennwerten nach /2/ (vgl. Tabelle 1), zeigte erwartungsgemäß, daß die Vorspannung im wesentlichen nur die senkrecht zur Fuge auftretenden Spannungen  $\sigma_y$  beeinflusst (vgl. Bilder B15 und B20) und zwar nehmen die Spannungen  $\sigma_y$  in gleichem Maße zu wie die Vorspannung verändert wird.

Die Spannungen im Schnitt entlang der Lagerfugenmitte sind nahezu symmetrisch verteilt. Mit dem Prüfverfahren nach /X4/ bzw. /X5/ wird damit eine fast momentenfreie Beanspruchung der Prüfkörper erzielt.

Beim Vergleich der Prüfverfahren nach /X4/ und /X1/ zeigen sich näherungsweise gleich große Spannungsspitzen  $\sigma_y$ . Die maximal auftretenden Schubspannungen  $\tau_{xy}$  sind jedoch beim Verfahren nach /X4/ deutlich größer als beim Verfahren nach /X1/ (vgl. Bilder B11 und B13 mit B17 und B18 sowie mit B19 und B20).

### 4.4.3 Prüffaktoren der jeweiligen Prüfverfahren

Bei allen rechnerisch untersuchten Prüfkörpern bzw. Prüfverfahren wurde die Schubfestigkeit zuerst im Kontaktbereich Stein-Mörtel überschritten. Aus den rechnerisch ermittelten Haftscherfestigkeiten ergaben sich folgende Prüffaktoren  $p$

$$p_1 = \frac{\beta_{HS,/X2/}}{\beta_{HS,/X1/}} = 0,60$$

$$p_2 = \frac{\beta_{HS,/X4/}}{\beta_{HS,/X1/}} = \frac{\beta_{HS,/X5/}}{\beta_{HS,/X1/}} = 0,23$$

Wegen des nur auf die Spannungen senkrecht zur Lagerfuge vorhandenen Einflusses der Vorspannung beim Prüfverfahren /X5/ ergab sich bei der Extrapolation der Scherfestigkeiten bei Vorspannungen von 0,2, 0,6 und 1,0 N/mm<sup>2</sup> auf die Haftscherfestigkeit ohne Vorspannung der gleich große Haftscherfestigkeitswert wie beim Prüfverfahren nach /X4/ (vgl. Bild B21).

Der rechnerisch abgeleitete Prüffaktor für die Prüfverfahren nach /X1/ und /X2/ von 0,6 stimmt gut mit dem in /1/ aus Versuchsergebnissen für alle Mauerstein- und -mörtelarten ermittelten Prüffaktor von 0,53 überein. Die differenziertere Betrachtung des Prüffaktors in /1/ ergab je nach Mauersteinart Werte zwischen 0,44 und 0,75.

Ein entsprechender Vergleich der rechnerisch abgeleiteten Prüffaktoren für die Prüfverfahren nach /X4/ und /X5/ ist wegen fehlender Versuchsergebnisse derzeit nicht möglich.

## 5 BEWERTUNG DER PRÜFVERFAHREN

Das Verfahren nach /X1/ zeichnet sich durch seine vergleichsweise einfache Prüfkörperherstellung und das geringe Prüfkörpergewicht aus. Hierdurch sind die Einflüsse der Verarbeitung und der Prüfkörperhandhabung auf die Haftscherfestigkeit vergleichsweise gering. Bei den übrigen Prüfverfahren ist der Einfluß der Herstellung wegen der beiden herzustellenden Lagerfugen und dem z. T. erforderlichen Abgleich der Stirnflächen der Mauersteine höher. Die Prüfkörper können insbesondere beim Prüfverfahren nach /X2/ ein Gewicht von bis zu rd. 70 kg erreichen, was die Handhabung beim Einbau in die Prüfeinrichtung stark erschwert und wodurch auch bei größter Sorgfalt eine Vorschädigung des Prüfkörpers durch das Auf-

richten der Prüfkörper aus der Herstelllage in die Prüflage nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Außer bei dem Prüfverfahren nach /X1/ sind die Steinformate nicht begrenzt, wodurch die Haftscherfestigkeit bestimmter Mauerstein-Mauermörtel-Kombinationen im einzelnen bestimmt werden kann. Die Begrenzung der Steinformate beim Verfahren nach /X1/ ist nachteilig aber durch die Verfahrensweise der DIN 1053-1 /X6/, die Haftscherfestigkeit als Anforderung an die Mörtel mit einem kleinformatischen Referenz-Mauerstein zu prüfen, begründet. In der ENV 1996-1-1 /X7/ bzw. der Mörtelnorm EN 998-2 /X8/ ist eine solche Referenzstein-Prüfung nicht vorgesehen (da auch europäisch nicht möglich). Die Haftscherfestigkeit kann im Einzelfalle für verschiedene Kombinationen von Mauerstein- und Mörtelarten nachgewiesen werden. Es müssen also auch verschiedene Steinformate prüfbar sein.

Der für die Durchführung der Prüfung erforderliche Aufwand (abgesehen von der Prüfkörperherstellung) ist bei dem Verfahren nach /X2/ am geringsten. Es wird außer einer Druckprüfmaschine keine weitere Prüfeinrichtung wie etwa beim Verfahren nach /X1/ benötigt. Der Prüfaufwand ist bei den Verfahren nach /X4/ und /X5/ gegenüber den beiden anderen Verfahren wegen der beweglich gelagerten Prüfkörper deutlich höher. Der Aufwand und die Anforderung an die Prüfeinrichtung bzw. -technik vergrößern sich beim Verfahren nach /X5/ durch das erforderliche Aufbringen der Vorspannung senkrecht zur Lagerfuge erheblich. Ein weiterer Nachteil des Prüfverfahrens nach /X5/ ist, daß je nach Steinmaßen zweierlei Prüfkörper verwendet werden. Die Lasteinleitung erfolgt bei beiden Prüfkörpern symmetrisch zur Mittelachse der Prüfkörper, jedoch ist der Zweisteinkörper nicht symmetrisch (vgl. Bild B4), wodurch sich die Spannungsverteilungen in der Fuge zwangsläufig von denen des Dreisteinkörpers unterscheiden. Ein direkter Vergleich der an beiden Prüfkörpern ermittelten Haftscherfestigkeiten ist deshalb ohne weiteres nicht möglich.

Bei allen Prüfverfahren ist derzeit noch unklar, ob die infolge der Belastung entstehenden Spannungsverteilungen denen im Mauerwerk entsprechen. Dies gilt besonders für schubbeanspruchtes Mauerwerk. Eine Ableitung der Schub- aber auch der Zug- und Biegezugfestigkeit von Mauerwerk unter Bezug auf die Haftscherfestigkeit ist daher nur bedingt möglich.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die ursprünglich bei Antragstellung des Forschungsvorhabens geplanten Vergleichsversuche zur Ermittlung eines Prüffaktors zwischen dem damaligen Prüfverfahren der prEN 1052-3 /X4/ und dem der DIN 18 555-5 /X1/ konnten wegen der anhaltenden Diskussion über das EN-Prüfverfahren nicht durchgeführt werden. Statt dessen wurde den theoretischen Untersuchungen der Prüfverfahren - mittels der Methode der Finiten Elemente - der Vorrang gegeben. Es wurden die Spannungsverteilungen der Prüfverfahren nach DIN 18 555-5 /X1/, prEN 1052-3 /X2/, sowie der Fassungen zur EN 1052-3 11.94 /X4/ und 03.95 /X5/ berechnet und daraus jeweils rechnerische Haftscherfestigkeiten abgeleitet.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß sich die Unterschiede der bisher nach DIN 18 555-5 /X1/ und prEN 1052-3 /X2/ ermittelten Haftscherfestigkeitswerte durch die Unterschiede in den Spannungsverteilungen der jeweiligen Prüfkörper erklären lassen. Der bisher aus vergleichenden Prüfungen bekannte Verhältniswert der Haftscherfestigkeiten  $\beta_{HS,prEN}/\beta_{HS,DIN}$  von rd. 0,5 wurde durch die vorliegenden, theoretischen Untersuchungen annähernd bestätigt.

Nach den FEM-Berechnungen für die Prüfverfahren nach den Fassungen zur EN 1052-3 11.94 /X4/ bzw. 03.95 /X5/ ist der Verhältniswert der Haftscherfestigkeitswerte deutlich (um rd. 50 %) kleiner zu erwarten, als der bisher bekannte - zuvor aufgeführte - für die Verfahren nach /X2/ und /X1/. Versuchsergebnisse mit beiden neuen Verfahren, insbesondere mit dem nach /X5/, zur Ermittlung des Verhältniswertes, liegen derzeit nicht vor.

Die Ableitung der Mauerwerkschubfestigkeit, aber auch der Zug- und -Biegezugfestigkeiten, aus den nach dem jeweiligen Prüfverfahren ermittelten Haftscherfestigkeiten ist nur bedingt möglich, da nicht bekannt ist, inwieweit die Spannungsverteilungen bei den jeweiligen Haftscherfestigkeitsprüfungen denen im Mauerwerk entsprechen.

Die Haftscherfestigkeitswerte - ermittelt nach /X5/ - sind Grundlage für die Bemessung nach der ENV 1996 -1-1 /X7/ auf Schub. Deshalb ist die Kenntnis des Verhältniswertes der Haftscherfestigkeit nach /X5/ und /X1/ eine wesentliche Voraussetzung für die Beurteilung der Bemessungsergebnisse nach ENV.

Um diese Voraussetzung zu erfüllen, sind umfangreiche Vergleichsversuche nach den Prüfverfahren /X1/ und /X5/ erforderlich. Weiterhin erscheint es sinnvoll und wichtig, Kenntnisse über die Spannungsverteilung im Mauerwerk unter Schub-, Zug, und Biegezugbeanspruchung zu erlangen, um auf dieser Basis die z. T. auf der Haftscherfestigkeit basierenden Bemessungsverfahren überprüfen und absichern zu können.

## 7 LITERATUR

- /X1/ DIN 18 555-5 03.86. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Festmörtel; Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Mauermörteln.
- /X2/ prEN 1052-3 07.93. Prüfverfahren für Mauerwerk; Bestimmung der Anfangs-Scherfestigkeit (Haftscherfestigkeit).
- /X3/ Fassung 01.96 zur EN 1052-3. Prüfverfahren für Mauerwerk; Bestimmung der Anfangs-Scherfestigkeit (Haftscherfestigkeit).
- /X4/ Fassung 11.94 zur EN 1052-3. Prüfverfahren für Mauerwerk; Bestimmung der Anfangs-Scherfestigkeit (Haftscherfestigkeit).
- /X5/ Fassung 03.95 zur EN 1052-3. Prüfverfahren für Mauerwerk; Bestimmung der Anfangs-Scherfestigkeit (Haftscherfestigkeit).
- /X6/ DIN 1053-1 02.90. Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung.
- /X7/ ENV 1996-1-1: Eurocode 6: Entwurf und Bemessung von Mauerkbauten; Teil 1-1: Allgemeine Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Mauerwerk.
- /X8/ EN 998-2 03.96. Festlegungen für Mörtel für Mauerwerk; Mauermörtel.

- /1/ Schubert, P. ; Caballero Gonzalez, A.: Vergleichende Untersuchungen zur Haftscherfestigkeitsprüfung nach DIN 18 555 Teil 5 und EN. Aachen : Institut für Bauforschung, 1995. - Forschungsbericht Nr. F 449. In: Kurzberichte aus der Bauforschung 36 (1995), Nr. 12, S. 633-634
- /2/ Stöckl, S.; Hofmann, P.; Mainz, J.: Methoden für Haftscherversuche:Berlin : Ernst & Sohn. - In: Mauerwerk-Kalender 15 (1990), S. 507-511
- /3/ Riddington, J.R.; Gambo, A.H.; Edgell, G.J.: An Assesment of the Influence of Unit Aspect Ratio on Bond Shear Strength given by the proposed CEN Triplet Test. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V., 1991 - In: Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference, Berlin, Deutschland 13-19 Oktober 1991, Vol. 3, S. 1321-1328.

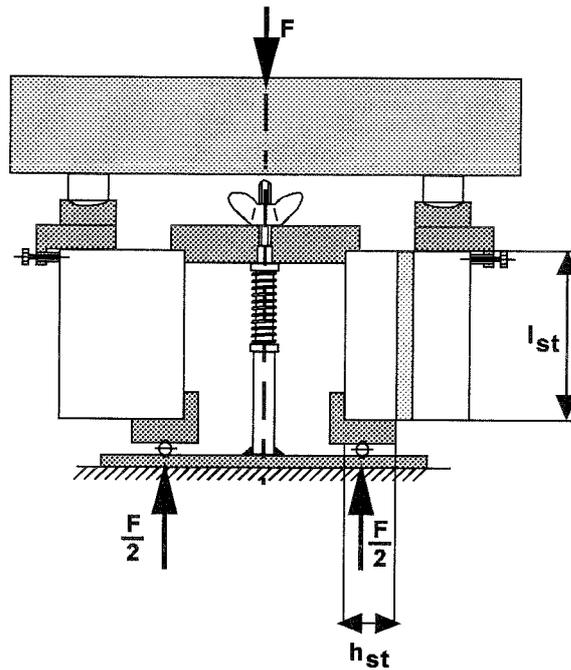


Bild B1: Prüfeinrichtung zur Bestimmung der Haftscherfestigkeit nach DIN 18 555-5 /X1/

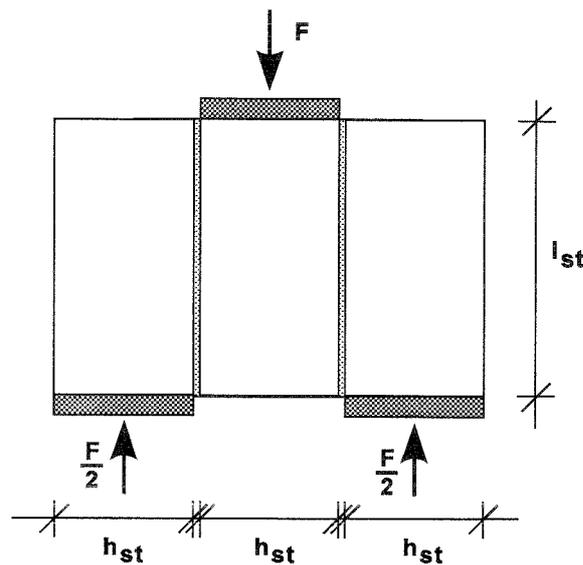
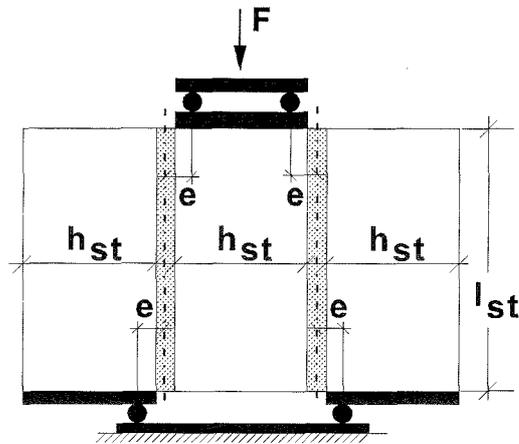


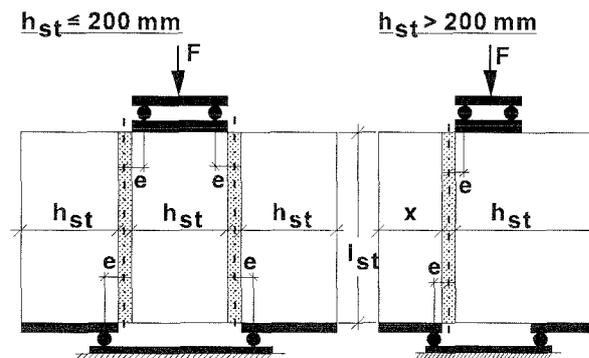
Bild B2: Prüfeinrichtung zur Bestimmung der Haftscherfestigkeit nach prEN 1052-3 /X2/



$$x = \begin{cases} \frac{h_{st} - d_{m\ddot{o}}}{2} \\ h_{st} - 200 - d_{m\ddot{o}} \end{cases} \left. \begin{array}{l} \text{der gr\ddot{o}\ddot{u}\ddot{b}ere} \\ \text{Wert ist} \\ \text{ma\ddot{u}\ddot{g}ebend} \end{array} \right\}$$

$$e = \frac{l_{st}}{15} \leq 0,3 h_{st}$$

**Bild B3:** Pr\ddot{u}feinrichtung zur Bestimmung der Haftscherfestigkeit nach der Fassung 11.94 zur EN 1052-3 /X4/



$h_{st} > 200 \text{ mm:}$

$$x = \begin{cases} \frac{h_{st} - d_{m\ddot{o}}}{2} \\ h_{st} - 200 - d_{m\ddot{o}} \end{cases} \left. \begin{array}{l} \text{der gr\ddot{o}\ddot{u}\ddot{b}ere} \\ \text{Wert ist} \\ \text{ma\ddot{u}\ddot{g}ebend} \end{array} \right\}$$

$$e = \frac{l_{st}}{15} \leq 0,3 h_{st}$$

**Bild B4:** Pr\ddot{u}feinrichtung zur Bestimmung der Haftscherfestigkeit nach der Fassung 03.95 zur EN 1052-3 /X5/

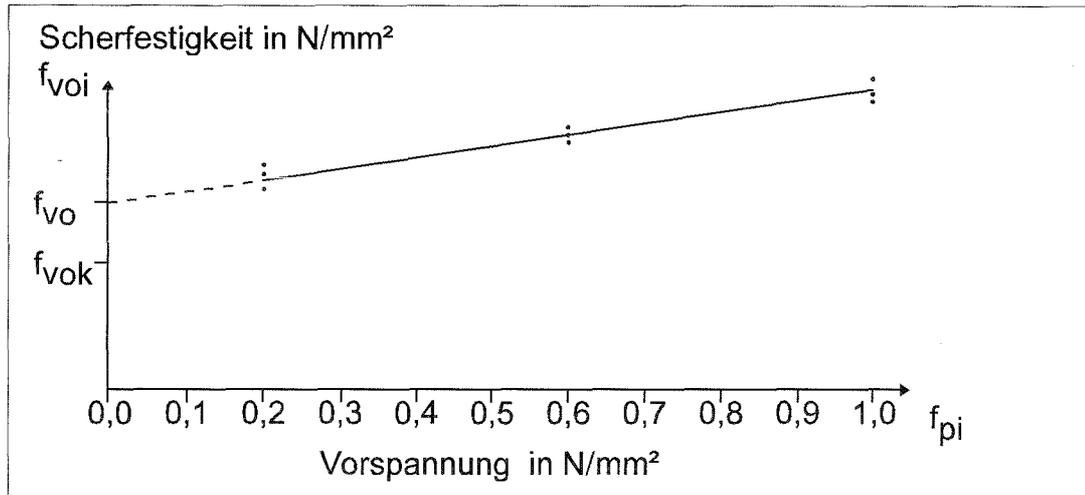
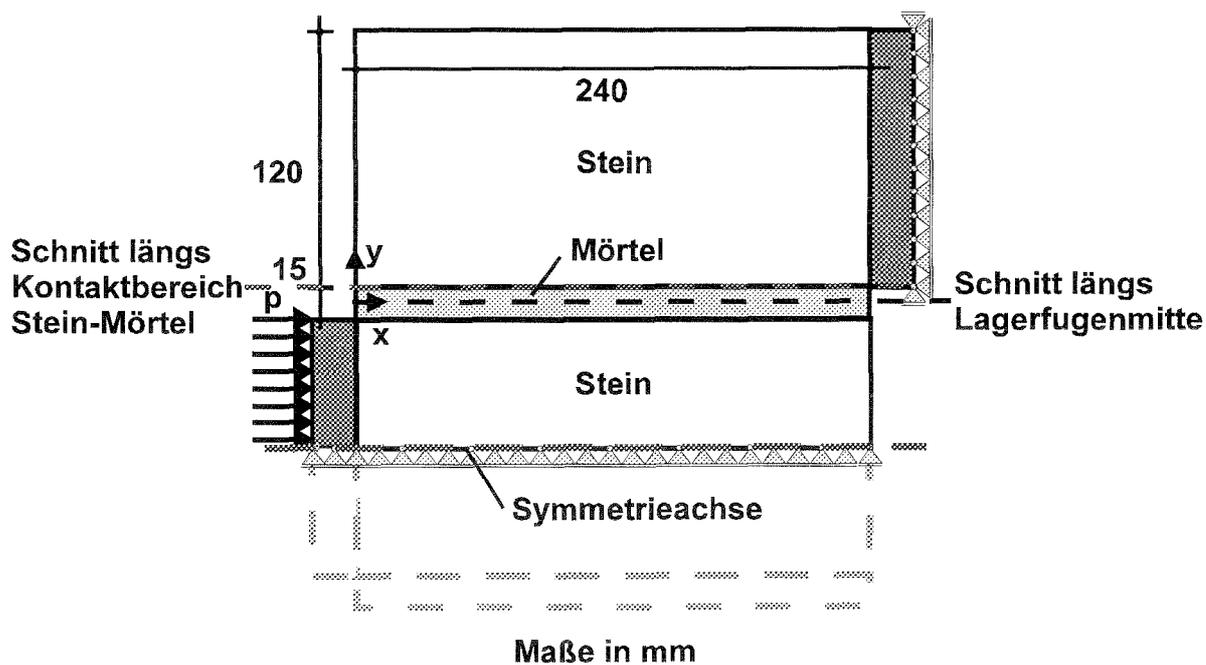
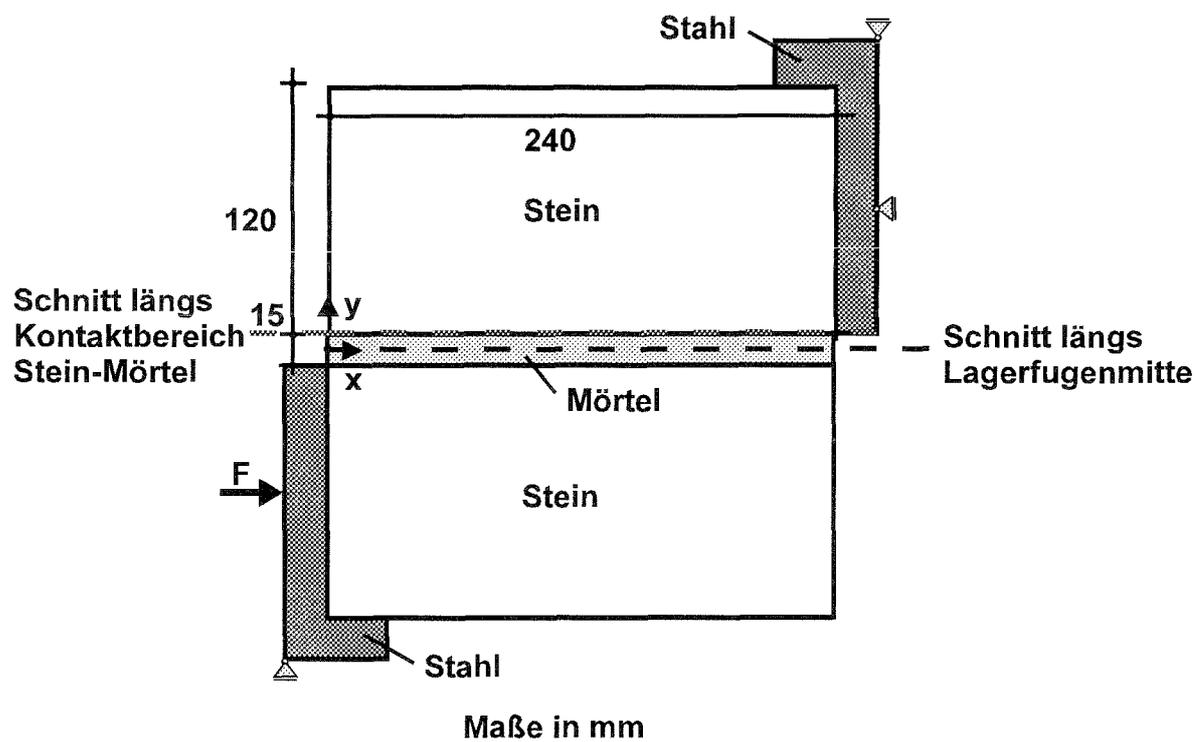
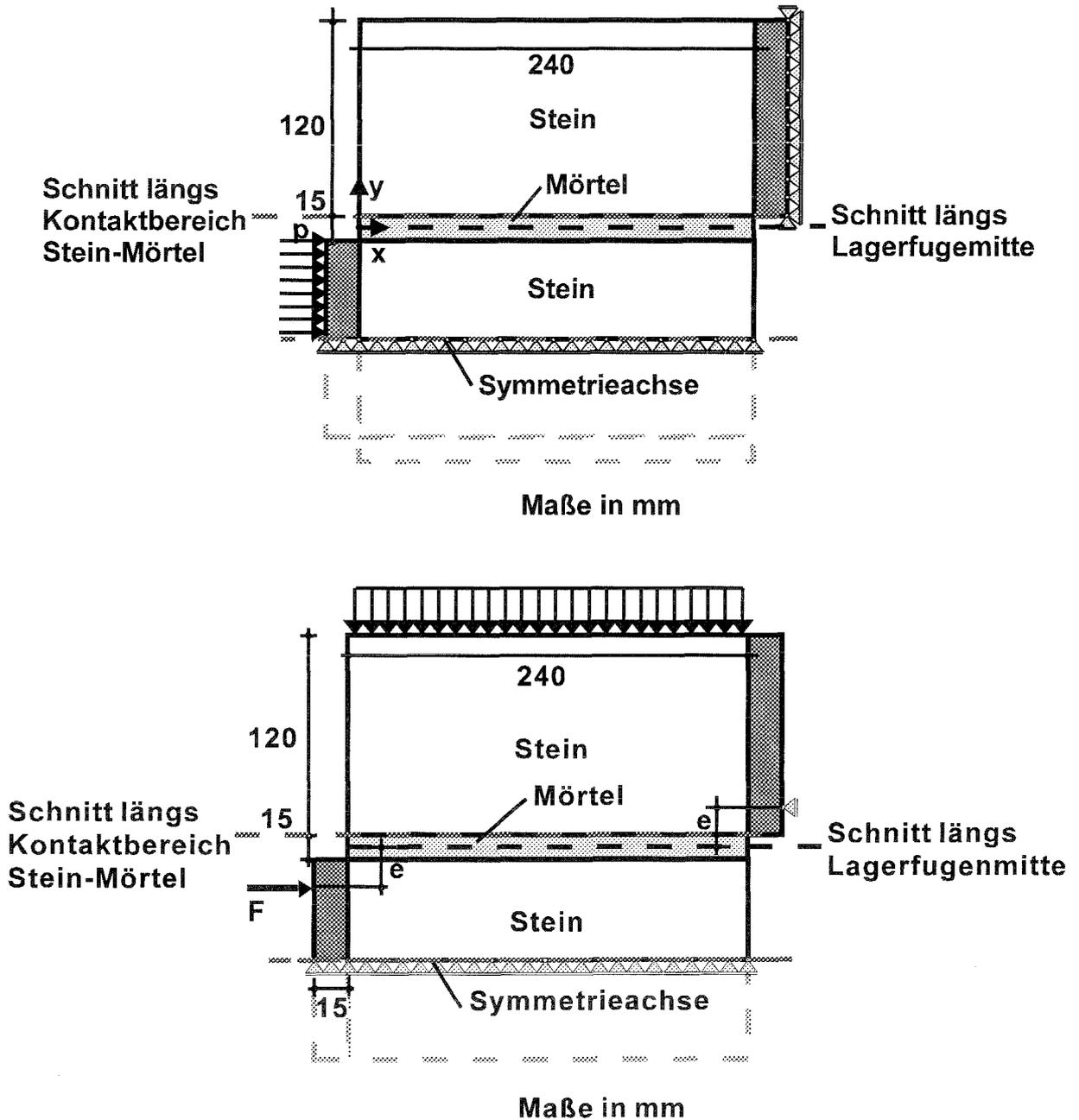


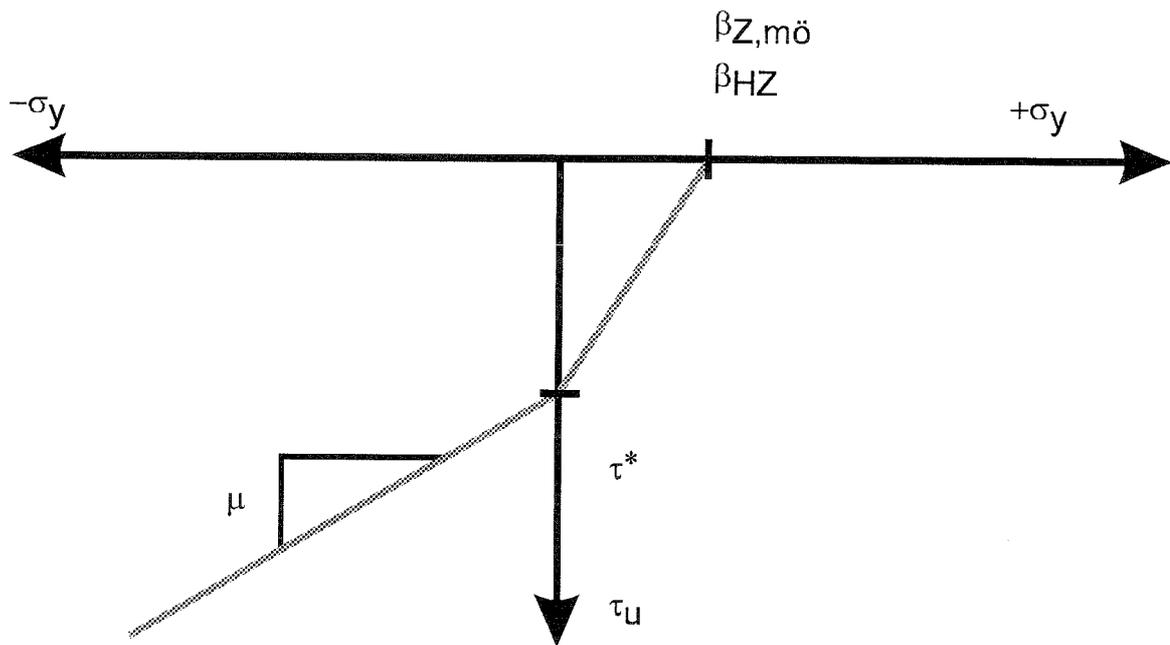
Bild B5: Ermittlung der charakteristischen Haftscherfestigkeit  $f_{vok}$  nach /X5/



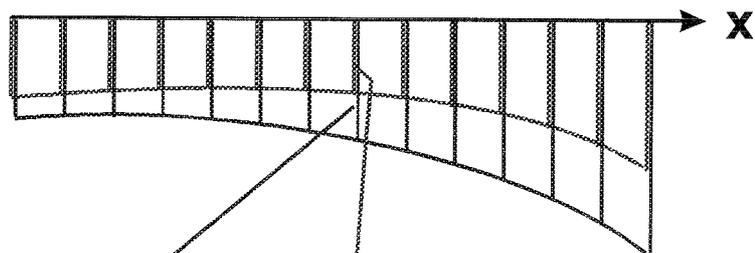
**Bild B6:** FEM-Modelle der Prüfverfahren nach /X1/ (oben) und nach /X2/ (unten)  
(Angabe der Schnittebenen, vgl. Bilder B9 bis B14)



**Bild B7:** FEM-Modelle der Prüfverfahren nach /X4/ (oben) und nach /X5/ (unten) (Angabe der Schnittebenen, vgl. Bilder B15 bis B20)



①  $\sigma_y < \beta_{Z,moe} \text{ bzw. } \beta_{HZ}$

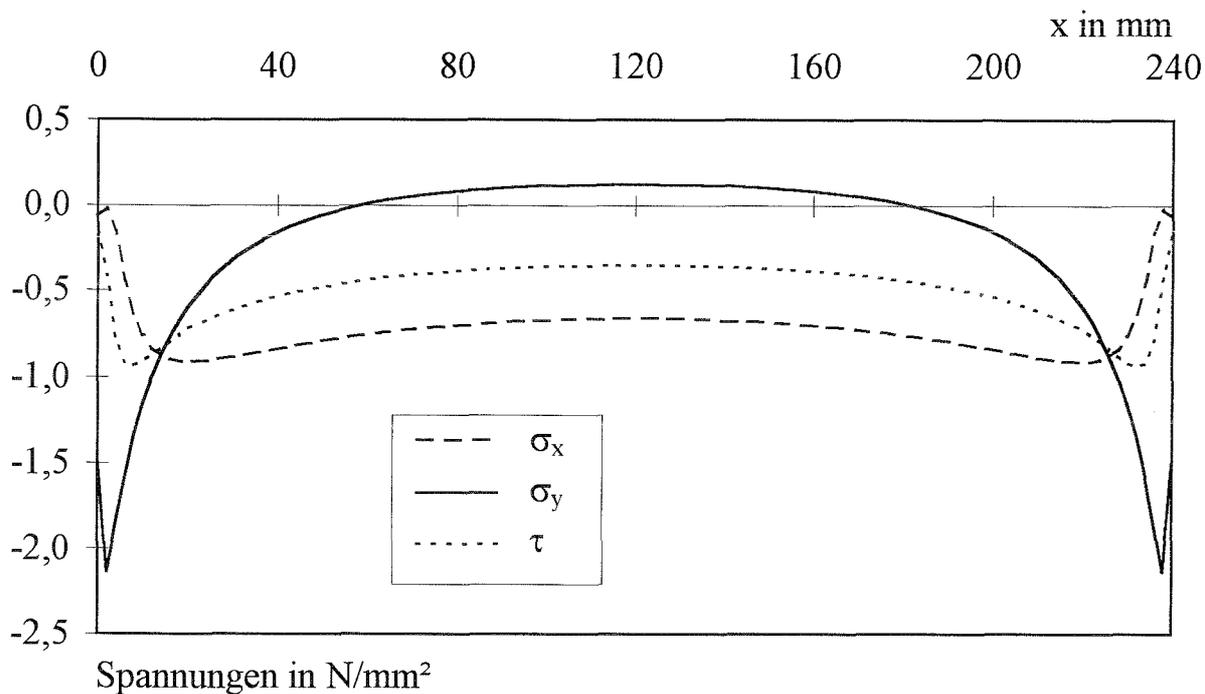


②  $|\tau_{xy}| < |\tau^* - \mu \cdot \sigma_y| \text{ und } \sigma_y < 0$

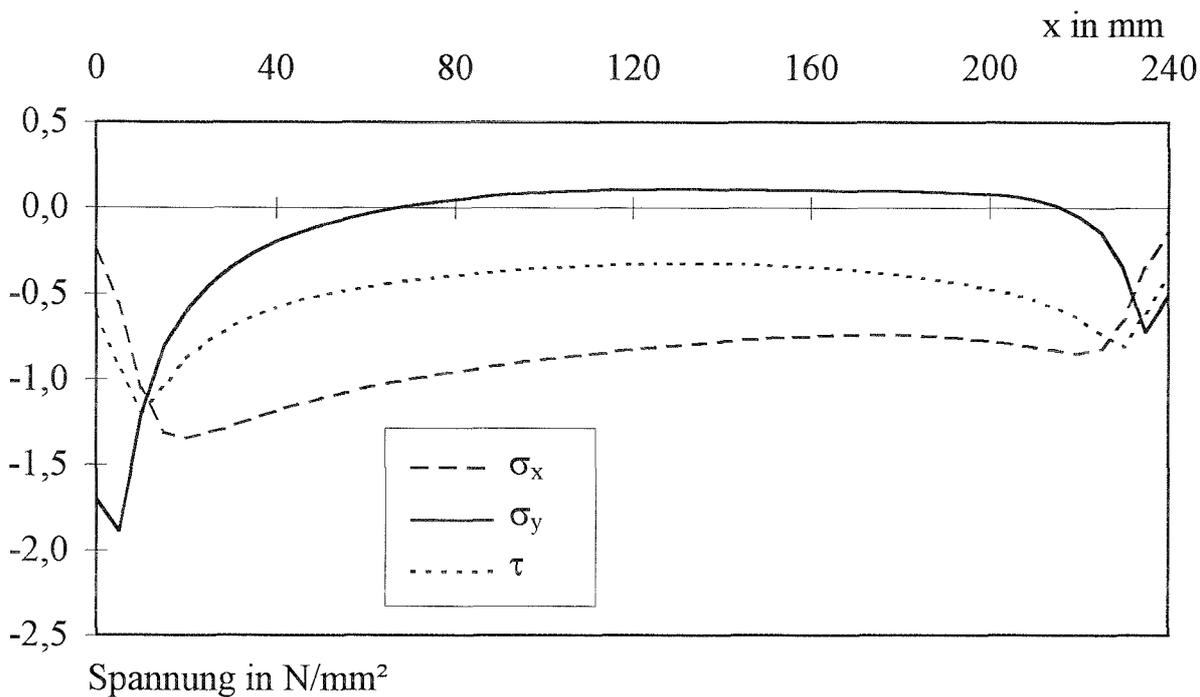
bzw.

$$|\tau_{xy}| < \tau^* \cdot \left(1 - \frac{\sigma_y}{\beta_{Z,moe} \text{ bzw. } \beta_{HZ}}\right) \text{ und } \sigma_y \geq 0$$

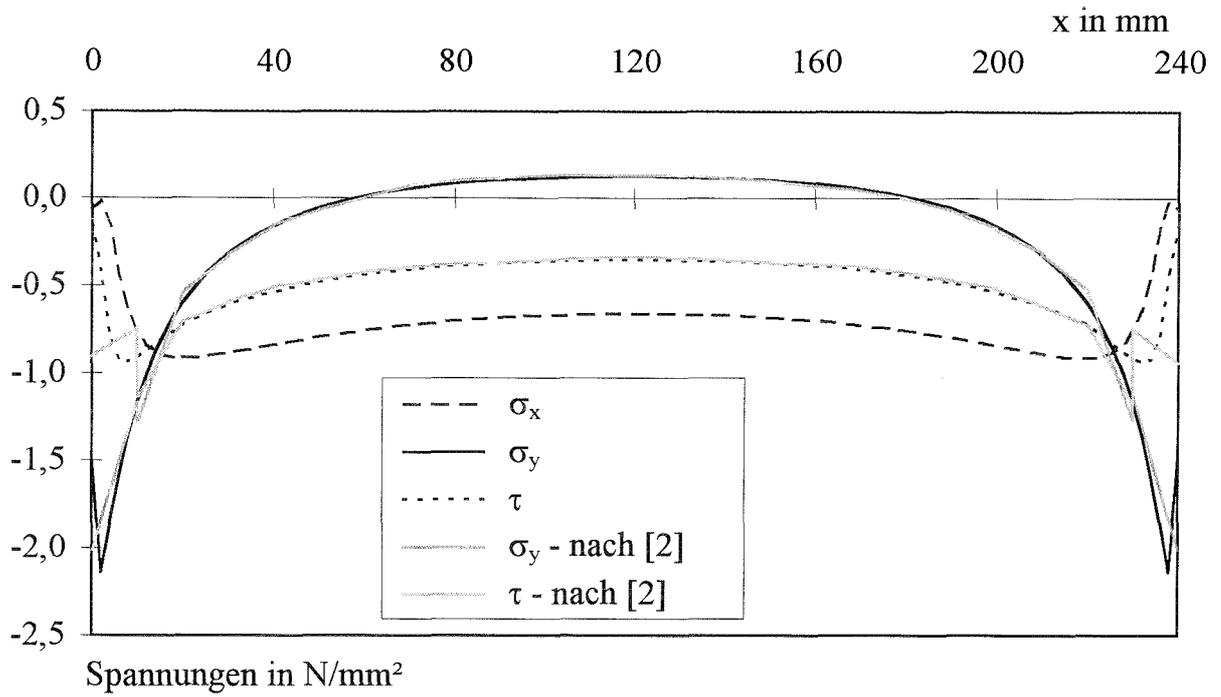
Bild B8: Anwendung des Bruchkriteriums nach /3/



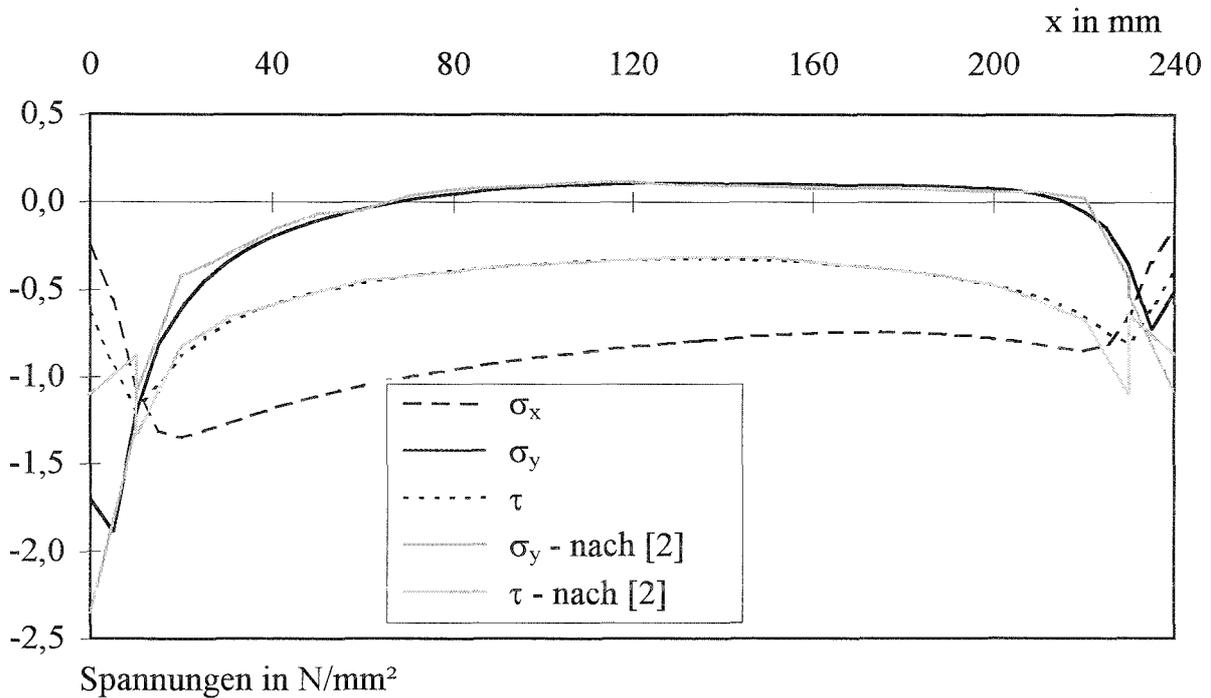
**Bild B9:** Spannungen im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X1/  
Vergleich mit Ergebnissen aus /2/



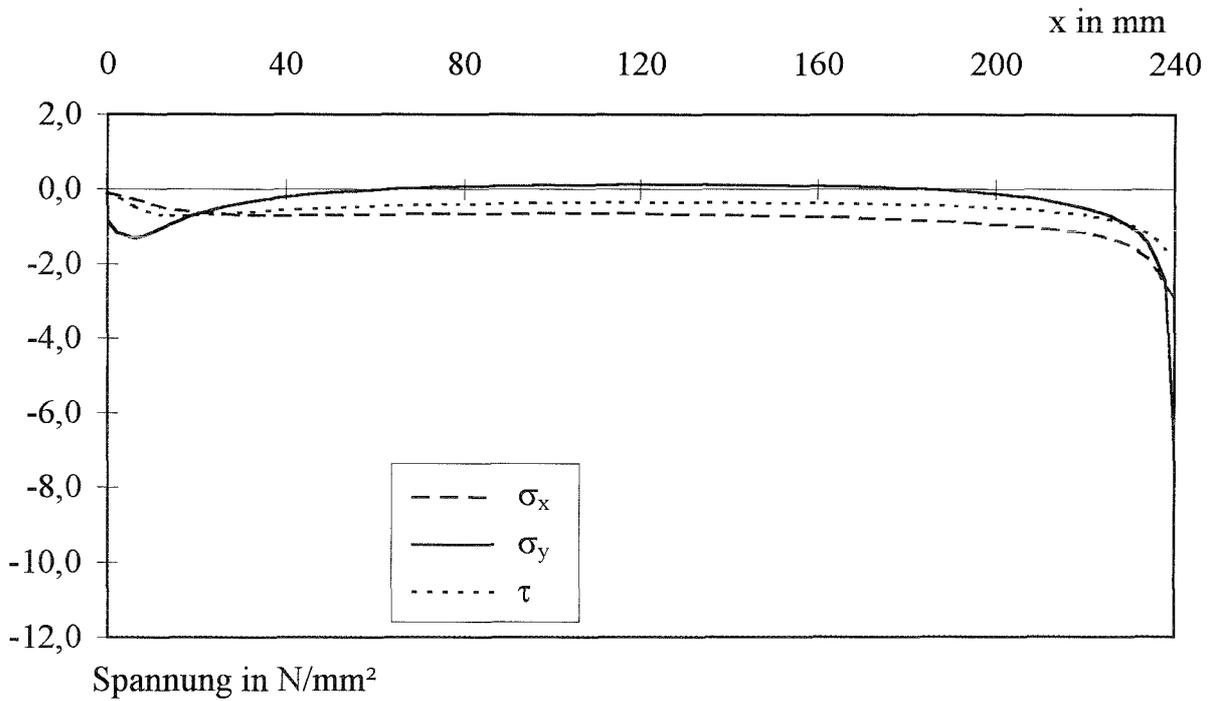
**Bild B10:** Spannungen im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X2/  
Vergleich mit Ergebnissen aus /2/



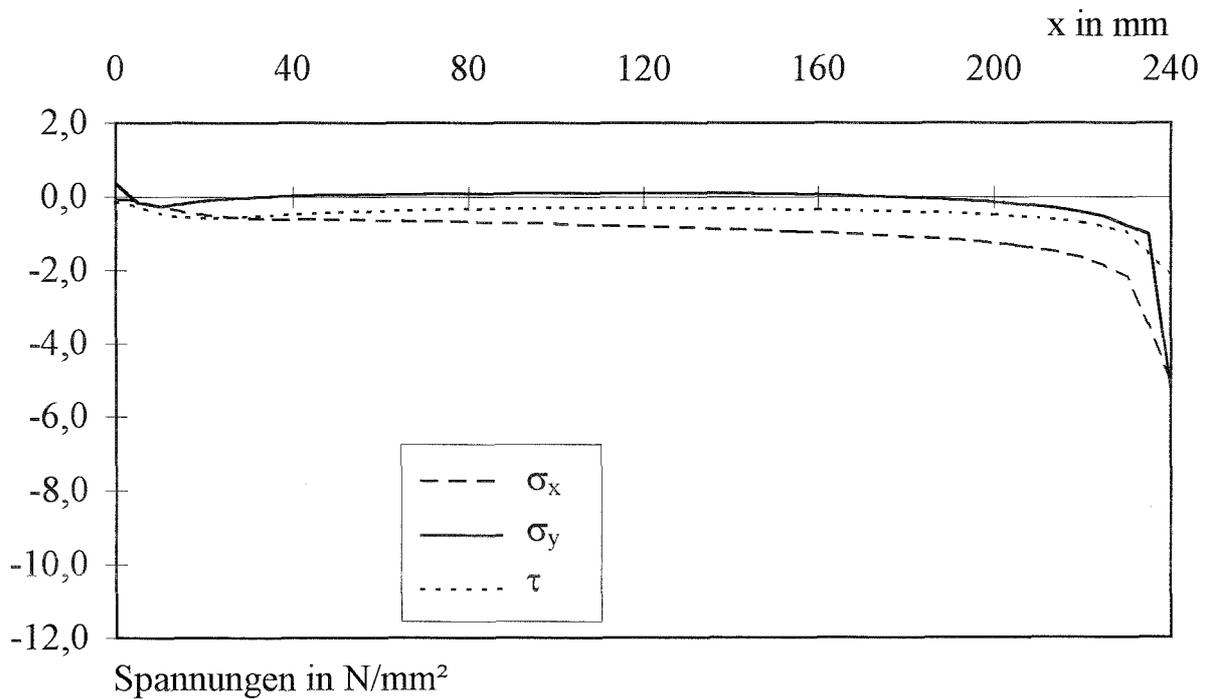
**Bild B11:** Spannungen im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X1/ Vergleich mit Ergebnissen aus /2/



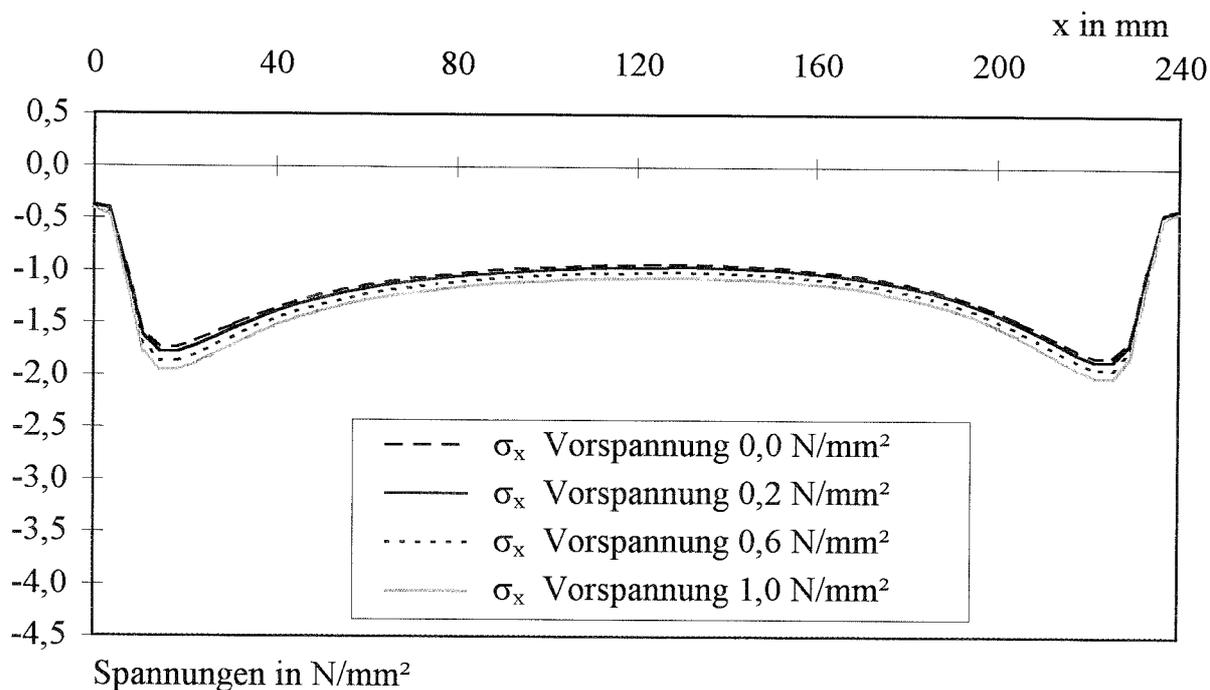
**Bild B12:** Spannungen im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X2/ Vergleich mit Ergebnissen aus /2/



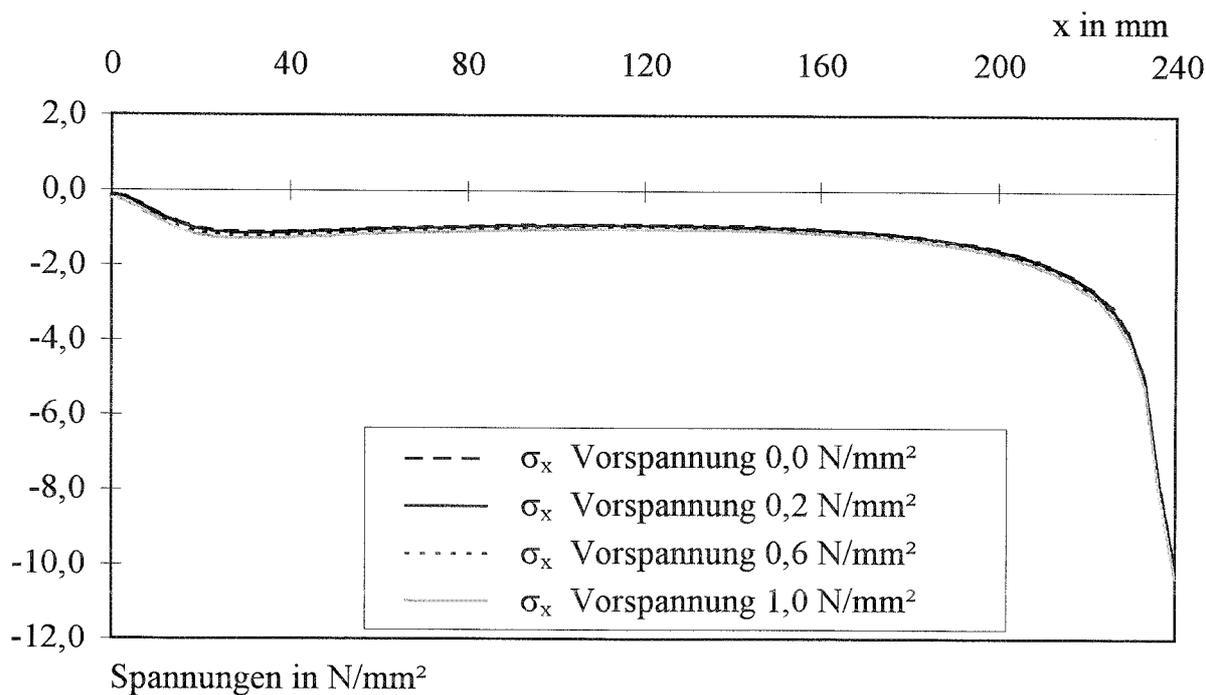
**Bild B13:** Spannungen im Schnitt längs des Kontaktbereichs Stein-Mörtel beim Prüfverfahren nach /X1/



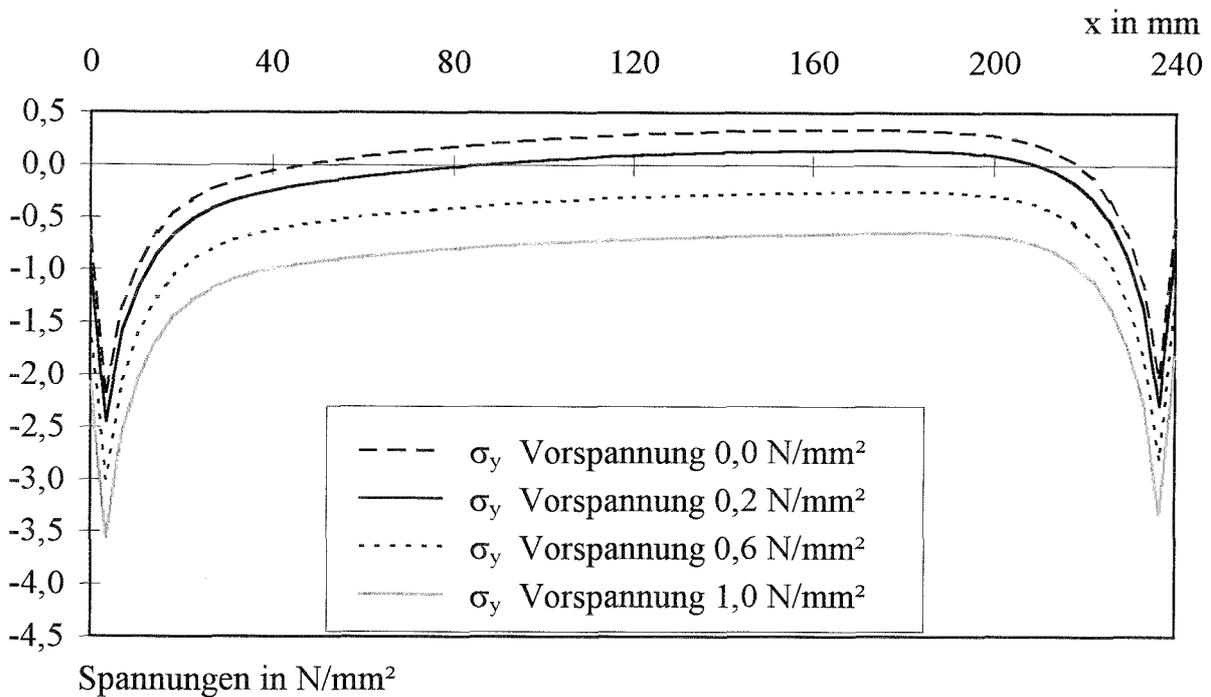
**Bild B14:** Spannungen im Schnitt längs des Kontaktbereichs Stein-Mörtel beim Prüfverfahren nach /X2/



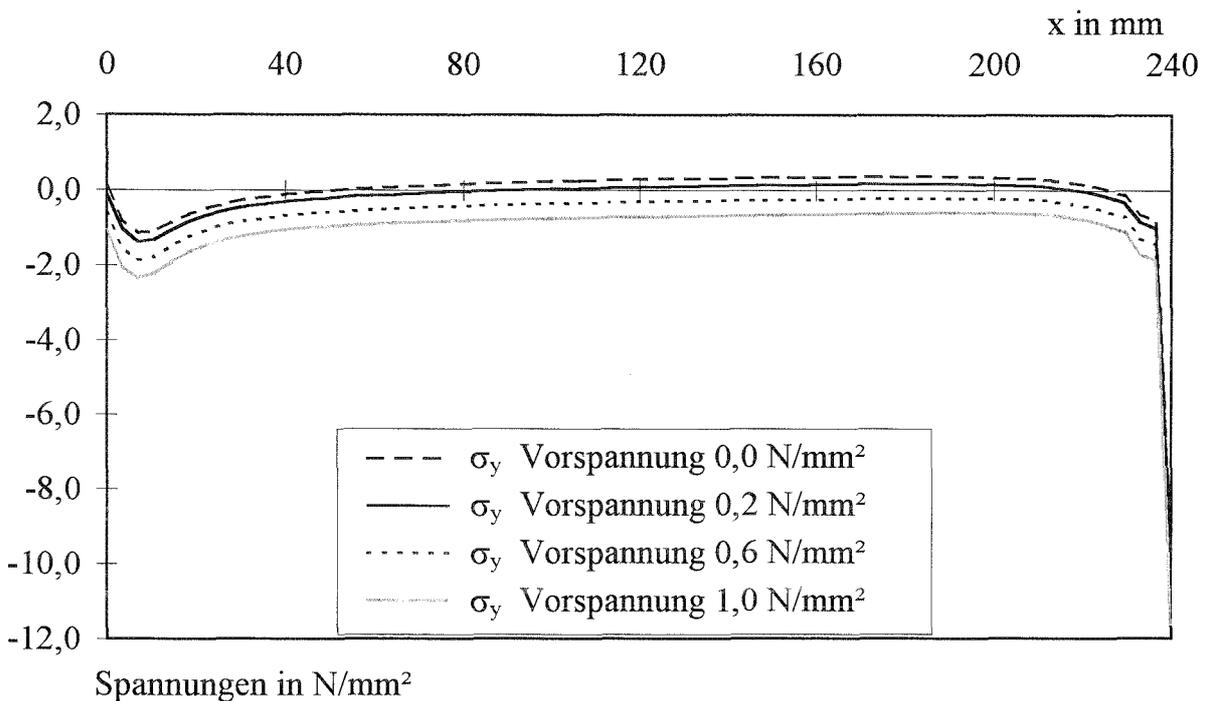
**Bild B15:** Spannungen  $\sigma_x$  im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (Vorspannung 0,2, 0,6 und 1,0 N/mm<sup>2</sup>)



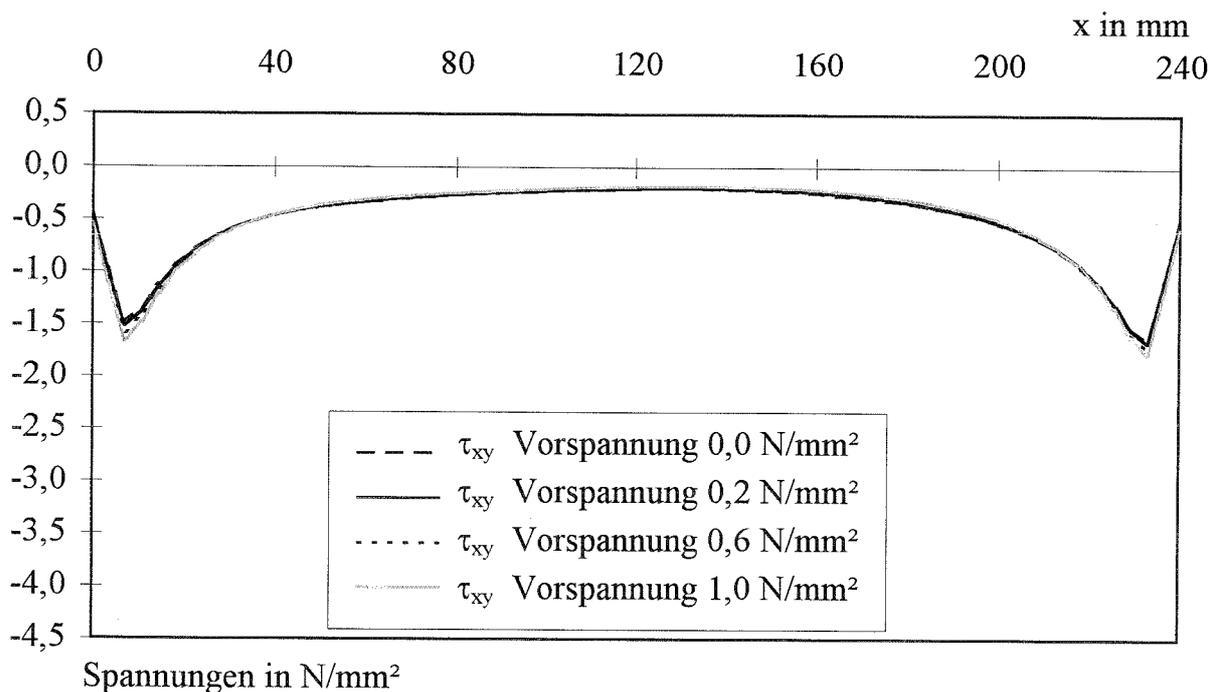
**Bild B16:** Spannungen  $\sigma_x$  im Kontaktbereich Stein-Mörtel beim Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (Vorspannung 0,2, 0,6 und 1,0 N/mm<sup>2</sup>)



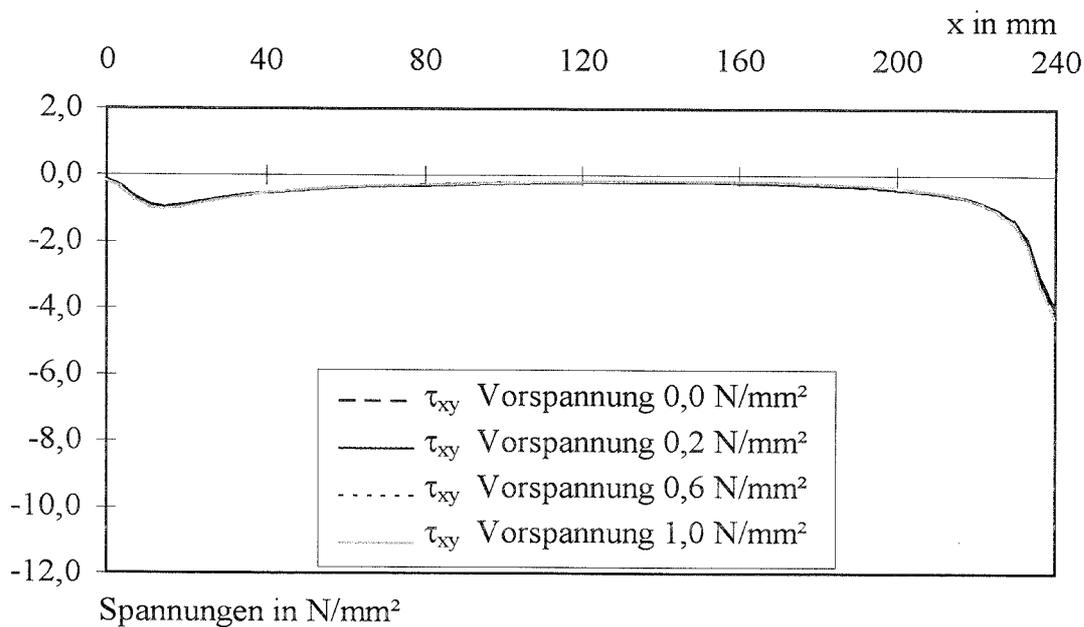
**Bild B17:** Spannungen  $\sigma_y$  im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (Vorspannung 0,2, 0,6 und 1,0 N/mm<sup>2</sup>)



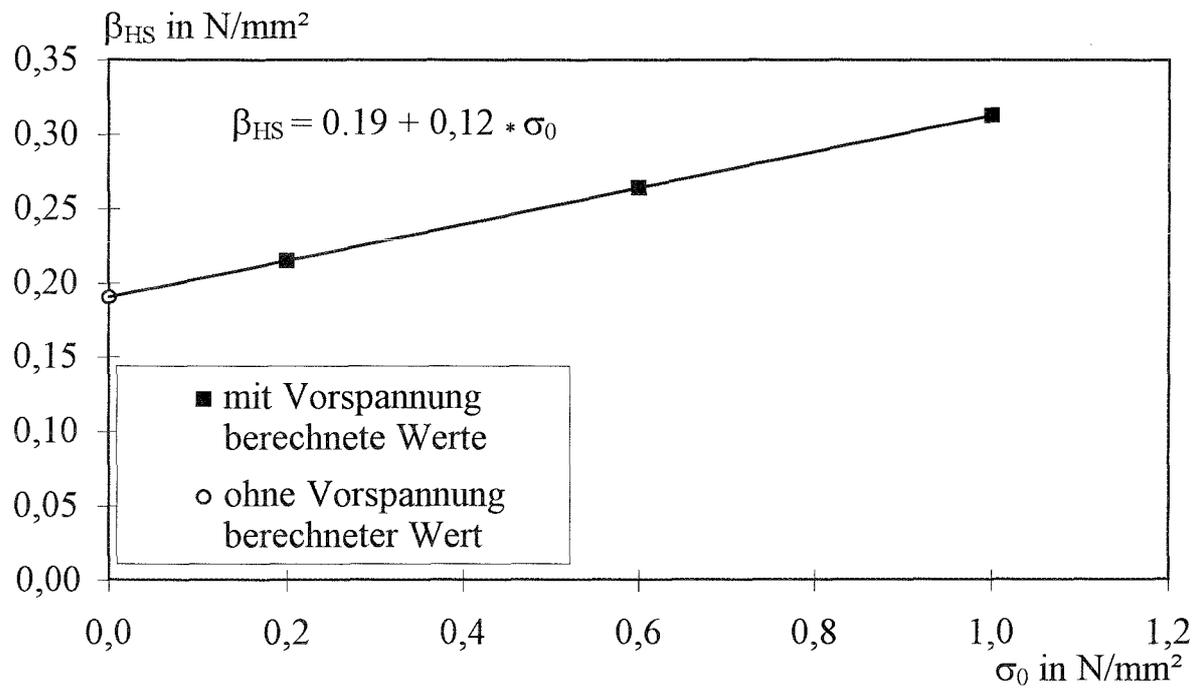
**Bild B18:** Spannungen  $\sigma_y$  im Kontaktbereich Stein-Mörtel beim Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (Vorspannung 0,2, 0,6 und 1,0 N/mm<sup>2</sup>)



**Bild B19:** Spannungen  $\tau_{xy}$  im Schnitt längs der Lagerfugenmitte beim Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (Vorspannung 0,2, 0,6 und 1,0  $N/mm^2$ )



**Bild B20:** Spannungen  $\tau_{xy}$  im Kontaktbereich Stein-Mörtel beim Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (Vorspannung 0,2, 0,6 und 1,0  $N/mm^2$ )



**Bild B21:** Berechnete Haftscherfestigkeit für das Prüfverfahren nach /X4/ (ohne Vorspannung) und nach /X5/ (mit Vorspannung)