

Bestimmung zulässiger Rechenwerte der
Verbundspannung in bewehrtem
Mauerwerk

T 1423

Teil II

T 1423

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen 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 reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen 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

T 1423: Bestimmung zulässiger Rechenwerte der Verbundspannung in bewehrtem Mauerwerk. Tl.II.

MATERIALPRÜFUNGSAMT FÜR DAS BAUWESEN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN

8 MÜNCHEN 2 · ARCISSTRASSE 21, EINGANG ECKE ARCIS/THERESIENSTRASSE 90 · POSTFACH 202420
FERNSPRECHER 286017 · FERNSCHREIBER 522854 tumue d · POSTSCHECKKONTO MÜNCHEN 9747-807

Bestimmung zulässiger Rechenwerte der Ver-
bundspannung in bewehrtem Mauerwerk

II. Teil

Bericht erstattet

von

Prof. Dr.-Ing. C. Zelger

Dipl.-Ing. U. Barlet

November 1984

V o r w o r t

Im Rahmen der Normarbeit für Teil 3 der DIN 1053 stellte sich die Frage nach den Verbundeigenschaften der Bewehrung im Mauerwerk. Ziel unseres Forschungsvorhabens ist es, Grundlagen für die Festlegung zulässiger Verbundspannung in bewehrtem Mauerwerk zu erarbeiten.

Nach Auswertung der ersten Versuchsserie (Forschungsbericht März 1981) wurde in der Diskussion mit der Betreuergruppe, der die Herren Dr.-Ing. Funk, Dr.-Ing. Gremmel und Dr.-Ing. Schießl angehören, eine Fortführung des Forschungsvorhabens angeregt, über die hier berichtet wird.

Die finanziellen Mittel zur Durchführung der Forschungsarbeit hat das Institut für Bautechnik Berlin zur Verfügung gestellt. Die Steine haben der Bundesverband Kalksandsteinindustrie und der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie kostenlos geliefert. In gleicher Weise unterstützten das Forschungsvorhaben das Zementwerk Rohrdorf mit dem Zement, die Firma Readymix mit dem Werk-Frischmörtel und die Firma Bekaert mit den Bewehrungselementen.

Wir danken für die Finanzierung, die Sachbeiträge und fachlichen Anregungen.

Die Verfasser

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
1. Zielsetzung	4
2. Ausziehversuche	4
2.1 Programmübersicht und Probekörper	4
2.2 Versuchsanordnung und -durchführung	8
2.3 Ergebnisse der Ausziehversuche	8
3. Biegeversuche an Wandplatten	11
3.1 Begründung	11
3.2 Herstellung der Wandplatten	11
3.3 Bemessung der Endverankerung	13
3.4 Prüfung der Wandplatten	14
3.5 Ergebnis der Wandplattenversuche	15
4. Zusammenfassung und Schlußfolgerung	19
Anhang	Anlagen
Literaturhinweise	1
Steine	2- 3
Mörtel	4- 7
Bewehrung	8
Last-Schlupf-Versuchskurven	9- 16
Fotos	17- 21

1. Zielsetzung

DIN 1053, Teil 1, Punkt 5.4 enthält nur indirekte und globale Aussagen über das Verbundverhalten der Stahleinlagen in bewehrtem Mauerwerk; es ist lediglich die erforderliche Übergreifungslänge für Bewehrungsstöße angegeben. Um hier Genaueres aussagen, bzw. den Anschluß an DIN 1045 - wie auch in anderen Bereichen des bewehrten Mauerwerks - herstellen zu können, wurden Ausziehversuche an kleinen Körpern und Biegeversuche an Wandplatten, durchgeführt, bei denen die Mörtel­eigenschaften, die Mauersteine und auch die Art der Bewehrung variiert wurden.

Die Versuche beschränken sich auf den Fall eines Mauerwerks mit Bewehrung in den horizontalen Lagerfugen und verschiedenen hoher Normalkraftbeanspruchung senkrecht zu den Lagerfugen.

In einem ersten Forschungsabschnitt (Bericht März 1981) wurden Ausziehversuche hauptsächlich mit Mörtelgruppe III und mit vier verschiedenen Steinarten durchgeführt. Aus der Diskussion der Ergebnisse mit der Betreuungsgruppe ergab sich der Vorschlag zu weiteren Versuchen, die sich auf Mörtelgruppe IIIa erstrecken, kleinere Normallasten berücksichtigen und Formsteine beinhalten sollten. Die übrigen Merkmale wie Probekörperform, Verbundlänge, Bewehrung und Versuchsanordnung wurden beibehalten (s. Bild 1 auf S.7).

2. Ausziehversuche

2.1 Programmübersicht und Probekörper für Ausziehversuche

Bei den früheren Versuchen hatten Hochlochziegel und Kalksandsteine die größten bzw. kleinsten Verbundkräfte ergeben; daher wurden jetzt folgende Steine verwendet:

Hochlochziegel DIN 105 HLz A 12 - 1,2 - 2 DF
 Kalksandsteine DIN 106 KSL - 12 - 1,4 - 2 DF
 Formsteine (Ziegelschalen für Flachstürze)

Als Belastungsgrad wird das Verhältnis zwischen der Normalspannung σ_N in der Lagerfuge und der Rechenfestigkeit β_R definiert. Die Steine der Festigkeitsklasse 12, vermauert mit Mörtelgruppe IIIa, ergeben durch Extrapolation der Tabelle B2 der DIN 1053 T2 (Anhang B) eine Mauerwerksfestigkeitsklasse 7 und damit einen Rechenwert $\beta_R = N/mm^2$.

Wegen der großen Streuungen wurden für jede Stein-Last-Kombination fünf (früher nur drei) gleiche Versuche durchgeführt. Einen zahlenmäßigen Überblick gibt nachstehende Tabelle.

Tabelle 1: Versuchsübersicht

(σ_N = Normalspannung senkrecht zur Lagerfuge)

Steine \ σ_N/β_R	0	0,0025	0,03	0,15	0,15 ¹⁾	0,03 ²⁾	0,15 ³⁾
HLz	5	5	5	5	5	5	5
KSL	5	5	5	5	5	5	5
Formst.	5	-	-	4)	-	-	-

- 1) Die Steine wurden wassergesättigt vermauert
- 2) Versuche mit Bewehrungsgitter statt Stabstahl
- 3) Aufgrund der weiten Verbreitung, die in letzter Zeit Werk-Frischmörtel gefunden hat, wurden diese Versuche mit Werk-Frischmörtel der Gruppe III zusätzlich mit in das Programm aufgenommen (4 Probekörper mit Stabstahl, einer mit Bewehrungsgitter)
- 4) Die vorgesehenen Versuche wurden storniert, da bereits ohne Normallast die Streckgrenze im Stahl erreicht worden war.

Der Probekörper (Bild 1 auf S.7) stellt einen kleinen Ausschnitt aus einer Wand dar. Zwei Läufersteine sind auf zwei Bindersteine gemauert, die Lagerfuge - mit rd. 15 mm Dicke - nimmt die Bewehrung auf. Damit ergibt sich eine Probekörperabmessung von rd. 0,24 x 0,24 x 0,24 m.

Als Bewehrung wurden verzinkter Stabstahl \emptyset 8 BSt 420/500 RU und vorgefertigte Bewehrungsgitter ("Murfor"), mit verzinkten Längsstäben BSt 500/550 RK \emptyset 5 mm und nichtrostenden Diagonalen, verwendet.

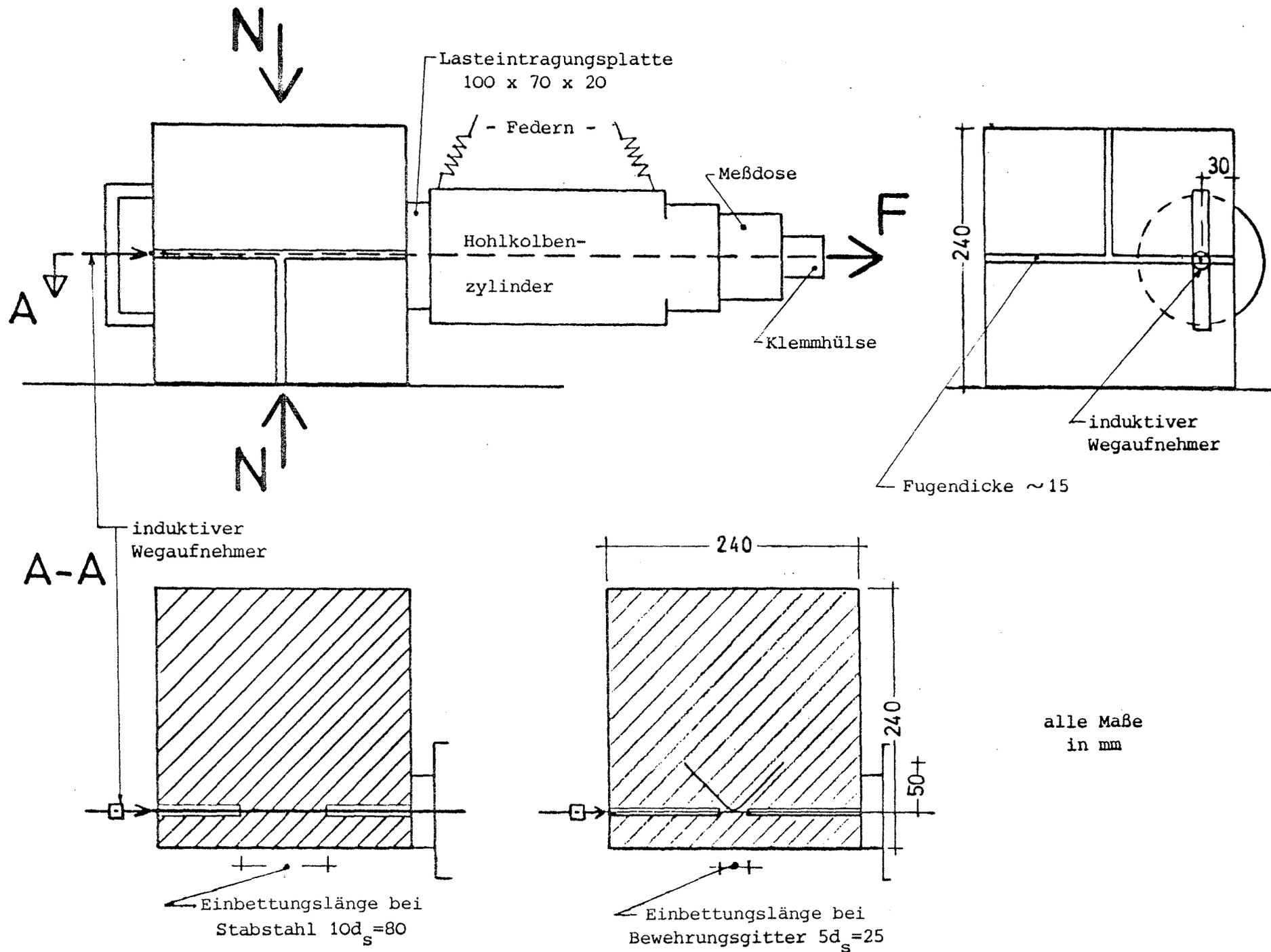
Detaillierte Angaben über die begleitenden Untersuchungen an den Steinen, dem Mörtel und der Bewehrung finden sich im Anhang.

Die Einbettungslänge betrug $10 d_s$ beim Stab $d_s = 8$ mm, aber nur $5 d_s$ beim Bewehrungsgitter, letzteres deshalb, um den Knoteneinfluß hervorzuheben. Der restliche im Mörtel liegende Teil des Stabes war zur Ausschließung des Verbundes mit einem Kunststoffschlauch ummantelt und an den Übergangsstellen abgeklebt. Die Mörteldeckung nach "außen" betrug 30 mm.

Bei der Herstellung der Probekörper wurden die Steine baustellenüblich leicht vorgeätzt (= 2 sec getaucht). Der Stabstahl wurde so eingelegt, daß die Rippen oben und unten zum Stein hin zeigten; das ist nach bisheriger Erfahrung die ungünstigste Lage. Nach Fertigstellung wurden die Probekörper einen Tag lang feucht abgedeckt und danach im Klimaraum bei 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit bis zur Prüfung gelagert.

Zur sicheren Lasteinleitung der Normalspannung wurden oben und unten jeweils Stahlplatten aufgekipst. Die Normalspannung wurde während des jeweiligen Versuches konstant gehalten.

Bild 1: Versuchsaufbau und Probekörper



2.2 Versuchsanordnung und -durchführung

In Bild 1 ist die gewählte Versuchsanordnung dargestellt. Der Versuch wurde in einer Druckprüfmaschine ausgeführt, die die Normalkraft N erzeugte. Die Ausziehvorrichtung (Lasteinleitungsplatte, Hohlkolbenpresse, Meßdose), war federnd aufgehängt, so daß ihr Eigengewicht aufgehoben war. Mit einer im Spannbetonbau üblichen Klemmhülse wurde der Stab am Ziehende verankert. An seinem freien Ende wurde mit einem induktiven Wegaufnehmer die Verschiebung gemessen. Zwischen Hohlkolbenpresse und Ziehende war eine Kraftmeßdose zum Messen der Ausziehkraft angeordnet. Die beiden Meßwerte (Ausziehkraft und Schlupf) wurden analog auf einem x-y-Schreiber aufgezeichnet und digital von einem Kleinrechner auf Band gespeichert. Dabei wurde die Registrierung von der Zunahme des Schlupfes gesteuert; zu Anfang wurden bei jedem 1/1000 mm, ab 0,02 mm bei jedem 1/100 mm und ab 0,2 mm bei jedem 1/10 mm die gemessenen Werte abgespeichert. Die Kraftzunahme wurde an einem Pendelmanometer manuell so gesteuert, daß sie anfangs im ansteigenden Ast der Last-Schlupf-Kurve etwa 5 kN/Min betrug. Im weiteren Versuchsverlauf wurde nicht mehr nachgeregelt. Die Herstellung und Prüfung der Probekörper erfolgte in zwei Abschnitten; die Versuche mit HLz und Mörtelgruppe IIIa wurden im Alter von 11 bis 12 Wochen, die restlichen im Alter von 14 bis 15 Wochen geprüft.

2.3 Ergebnisse der Ausziehversuche

In der Anlage sind für alle Versuche die gemessenen Last-Schlupf-Kurven aufgetragen. Als Ordinate wurde nicht, wie sonst üblich, die Verbundspannung, sondern die Ausziehkraft aufgetragen, da eine Verbundspannung bei den Bewehrungsgittern nicht ohne weiteres angebar ist.

In Tabelle 2 sind die erreichten Ausziehkräfte bei einem Schlupf am unbelasteten Ende von 0,15 mm (entsprechend der halben maximalen Rißbreite im Stahlbeton) zusammengestellt. Nach der Prüfung wurden alle Versuchskörper aufgeschlagen, um die Qualität der Einbettung der Bewehrung im Mörtel augenscheinlich zu beurteilen, was die Bewertung in Tabelle 2 ergab. Dabei wurde zwischen einwandfreier (0), normaler (3) und lückenhafter (6) Einbettung unterschieden.

Tabelle 2: Ausziehkräfte [kN] bei 0,15 mm Schlupf und augenscheinliche Bewertung der Verbundqualität

Stein	Belastungsgrad σ_N/β_R	Versuchs Nr.					Mittel
		1	2	3	4	5	
HLz luft- trocken	0	10,7 ₆	13,8 ₀	14,6 ₃	15,4 ₀	12,7 ₃	13,4 ₂
	0,0025	11,3 ₆	18,2 ₀	14,0 ₀	19,6 ₀	15,2 ₃	15,6 ₂
	0,03	15,3 ₃	17,0 ₀	17,6 ₀	16,4 ₃	14,1 ₃	16,1 ₂
	0,15	19,9 ₀	13,6 ₃	(16,5) ₃ ¹⁾	24,9 ₀	17,2 ₃	18,9 ₂
	0,03 ²⁾	6,7 ₃	8,4 ₀	9,6 ₃	9,5 ₀	6,8 ₃	8,2 ₂
HLz wasserge- sättigt	0,15	15,3 ₃	21,9 ₃	16,6 ₃	15,8 ₀	17,5 ₀	17,4 ₂

1) Versuch nur bedingt wertbar, die Störung im Anfahrbereich

2) Versuche mit Bewehrungsgitter statt Stabstahl

Tabelle 2 - Fortsetzung

Stein	Belastungsgrad σ_N/β_R	Versuchs Nr.					Mittel
		1	2	3	4	5	
KSL luft- trocken	0	8,3 ₃	7,8 ₃	9,8 ₃	7,9 ₃	7,6 ₃	8,3 ₃
	0,0025	9,0 ₆	9,0 ₃	9,3 ₃	9,1 ₃	7,3 ₆	8,7 ₄
	0,03	10,6 ₀	8,9 ₃	8,8 ₃	9,1 ₃	9,8 ₃	9,4 ₂
	0,15	11,3 ₃	12,0 ₀	9,1 ₆	10,1 ₃	10,8 ₃	10,6 ₃
	0,03 ²⁾	4,5 ₆	5,1 ₃	5,0 ₃	4,5 ₃	5,9 ₀	5,0 ₃
KSL wasserge- sättigt	0,15	13,5 ₃	12,8 ₃	14,2 ₃	15,2 ₃	14,3 ₃	14,0 ₃
Form- steine	0	20,4 ₀	25,1 ₀	23,1 ₀	23,9 ₀	22,8 ₀	23,1 ₀
HLz mit Werk- Frisch- mörtel	0,15	5,2 ₃	4,9 ₃	6,2 ₃	8,2 ₀	(4,8 ³⁾ (0)	6,2 ₃
KSL	0,15	3,9 ₆	4,4 ₃	5,3 ₃	4,5 ₃	(3,2 ³⁾ (3)	4,5 ₄

2) Versuche mit Bewehrungsgitter statt Stabstahl

3) Nur Versuch Nr.5 tastweise mit Bewehrungsgitter statt Stabstahl. Bei Mittelbildung über die Zeile nicht berücksichtigt und deshalb eingeklammert.

Bei den Kalksandsteinen kam häufig ein Loch des oberen Steines über der Mitte der Einbettungslänge zu liegen. Der gegenüber den HLz wesentlich größere Lochquerschnitt begünstigte das Abplatzen der Mörteldeckung in den Hohlraum hinein.

3. Biegeversuche an Wandplatten

3.1 Begründung

Nach Auswertung der Ausziehversuche sollten laut Forschungsvorschlag die dabei an kleinen Proben (am "Element") ermittelten zulässigen Verbundfestigkeitswerte an großformatigen Körpern bestätigt werden ("Bauteil"-Versuch). Vorgesehen waren 4 Versuchskörper, jeweils zwei mit Kalksandsteinen und mit Ziegeln, davon jeweils ein Körper mit Stabstahl und einer mit Bewehrungsgitter bewehrt.

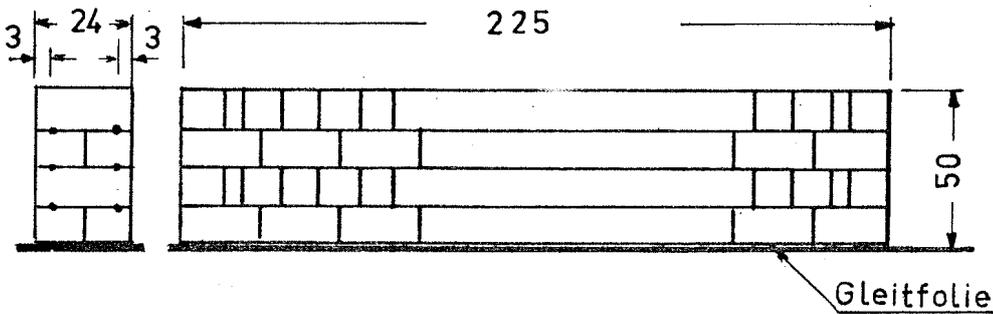
3.2 Herstellung der Wandplatten

Die Versuchskörper wurden normal als Wand gemauert, wie in Bild 2 dargestellt. Die Bewehrung wurde in jede Lagerfuge eingelegt. Die Probekörper mit Stabstahlbewehrung erhielten je Lagerfuge 2 Stäbe im gleichen Abstand und symmetrisch zur Querschnittsachse wie die Gurtstäbe der Bewehrungsgitter bei den anderen Probekörpern. Der Mörtel für eine Wandplatte wurde in drei Chargen - jeweils für eine Lagerfuge - hergestellt; die Ergebnisse der begleitenden Prüfungen sind im Anhang aufgeführt.

WANDVERSUCHE

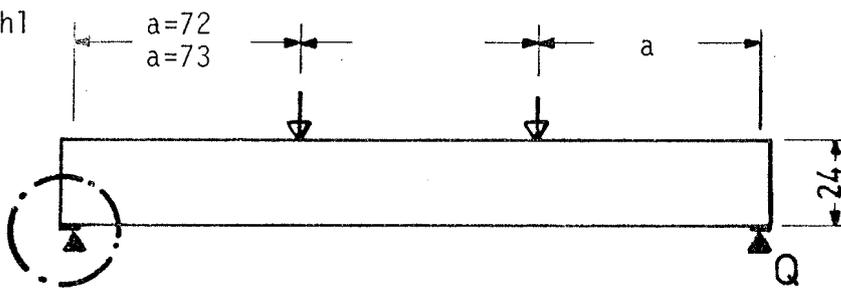
(Maße in cm)

Seitenriß

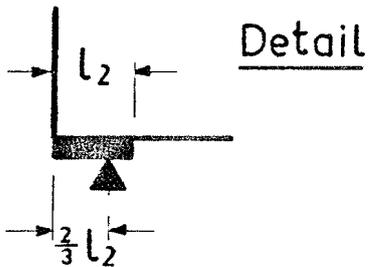


Aufriß

Stabstahl
Gitter



Grundriß



$l_2 = 8,0$ cm für Stabstahl $\varnothing 8$ mm
 $l_2 = 6,0$ cm für Bewehr.Gitter $\varnothing 5$ mm

Bild 2: Wandplatte

Versuchskörper und Belastungsanordnung,

Rechenfestigkeit $\beta_R = 3$ N/mm²;

zul. Grundwert der Verbundspannung $\tau_1 = 0,8$ N/mm²

3.3 Bemessung der Endverankerung

Die Auswertung der Ausziehversuche hatte nach ersten Überlegungen einen zulässigen Rechenwert¹⁾ der Verbundspannung von $zult_1 = 0,8 \text{ MN/m}^2$ für Mörtelgruppe IIIa - ohne Auflast - ergeben. Mit diesem Wert wurde die erforderliche Auflagerlänge l_2 nach DIN 1045 errechnet und zwar für eine Querkraft Q_R am Auflager, bei der das Gebrauchsmoment im Feld erst zu 75 % ausgenützt wird. Dadurch sollte vermieden werden, daß der Probekörper einen Biegebruch erleidet, ehe eine brauchbare Aussage über die Endverankerung und den Verbund möglich wird. Das Gebrauchsmoment errechnete sich aus der vorhandenen Bewehrung zu

$$M = A_s \cdot \frac{\beta_s}{\gamma} \cdot z \quad (1)$$

Hieraus folgt mit Rücksicht auf die gewählte Lastanordnung die Querkraft

$$Q_R = 0,75 \frac{A_s \cdot \beta_s \cdot z}{\gamma \cdot a} \quad (2)$$

mit den Bezeichnungen:

A_s = Stahlquerschnitt auf der Zugseite

β_s = Streckgrenze des Stahles

z = Hebelarm der inneren Kräfte

γ = 1,75 Sicherheitsbeiwert

a = Schubabstand

Zahlenwerte siehe Tabelle 3.

Die erforderliche Verankerungslänge l_2 hinter der Auflagerkante ergab sich für den Stabstahl zu 80 mm und für das Bewehrungsgitter zu 60 mm.

¹⁾ Die Bezeichnung "Rechenwert" stammt aus einer früheren Fassung der DIN 1045. Sie ist inzwischen geändert worden in "Grundwert".

3.4 Prüfung der Wandplatten

Im Versuch wurde die horizontale Auflagerkraft über Rollen und Flachstähle in den Probekörper eingeleitet. Die Flachstähle bildeten einen Auflagerstreifen von der Breite l_2 ; die Rollen leiteten die Kraft entsprechend einer dreieckigen Verteilung der Auflagerpressung im inneren Dreittelpunkt der Auflagertiefe linienförmig ein.

Belastungsanordnung s. Bild 2 auf S.12, bzw. Foto 1 und 2 auf Anlage 17. Die Mauer war auf Gleitfolie gelagert, die Lastverteiler liefen auf Rollenkäfigen, um die Reibungswiderstände aus dem Eigengewicht vernachlässigbar klein zu halten.

Gemessen wurden die Last mit einer Kraftmeßdose, der Schlupf aller Zugstäbe an den Auflagern (s. Fotos Anlage 17), die Durchbiegung in der Mitte und gegenüber den Lasteinleitungsstellen (s. Foto 4 auf Anlage 18).

3.5 Ergebnis der Wandplattenprüfungen

In nachstehender Tabelle 3 sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefaßt.

Tabelle 3: Übersicht über die Ergebnisse der Versuche mit Wandplatten

Bewehrungsart	Stabstahl		Bewehrungsgitter	
Stahlquerschnitt A_s [mm ²]	170		60	
Bewehrungsgrad μ [%]	0,14		0,05	
Q_R nach Gl.(2) [kN]	7,65	7,52	3,33	3,35
Steinart	KSL	HLz	KSL	HLz
Schubabstand a [m]	0,72		0,73	
Querkraft beim Bruch Q_u [kN]	17,55	20,1	12,0	11,6
Moment beim Bruch M_u [kNm]	12,6	14,5	8,8	8,5
Hebelarm der inneren Kräfte [mm]	180	177	189	190
Stahlspannung b.Bruch $\sigma_{su} = \frac{M_u}{z \cdot A_s}$ [N/mm ²]	413	481	772	743
Versagensursache	Verankerungsbruch, zusätzlich Fließen der Bewehrung und Haftversagen zwischen den Steinlagen bei Hlz.		Stahlbruch	

Bei den Bewehrungsgittern trat kein Schlupf der Zugstäbe am Auflager auf; jedoch schlüpfte bei Stabstahlbewehrung mindestens ein Stab am Auflager bei Erreichen der Höchstlast. Zusätzlich war bei der Wandplatte aus Hochlochziegeln und Stabstahl ein Haftversagen zwischen Ziegel und Lagerfuge zu beobachten (siehe Fotos 6 und 7 auf den Anlagen 19 und 20). Es wurde darauf verzichtet, die gemessenen Schlupfwerte - etwa in Abhängigkeit von der Last - graphisch aufzutragen, weil der Schlupf zunächst oder auch während des ganzen Versuches unterhalb der Meßgenauigkeit, also vernachlässigbar klein bleibt, und dann, einhergehend mit sonstigen Bruchereignissen, sehr rasch auf einige mm anwächst und den Meßbereich überschreitet. Der Informationsgehalt einer graphischen Darstellung wäre nicht größer als die obige verbale Beschreibung. Hinzuzufügen ist allenfalls noch die Beobachtung, daß bei KSL mit Stabstahl nach dem Bruch alle 3 in der Zugzone liegenden Stäbe augenscheinlich geschlüpft waren. Die Stahlspannung hatte mit 413 N/mm^2 noch nicht ganz die Streckgrenze erreicht (s. Tabelle 3). Also kann hier das Versagen der Endverankerung als primäre Bruchursache gelten. Bei dem mit Stabstahl bewehrten HLz-Mauerwerk war der Bruch ein Grenzfall zwischen Versagen der Endverankerung und Erreichen der Streckgrenze. Einer der 3 Bewehrungsstäbe (der in der Mitte gelegene) begann zuerst zu schlüpfen; der Schlupf erreichte aber nur etwa 0,1 mm, als die Streckgrenze erreicht war (Stahlspannung 481 N/mm^2 , s. Tabelle 3; Streckgrenze 479 N/mm^2 s. Anlage 8). Schließlich vollendete aber auch hier das Versagen der Endverankerung gemeinsam mit dem Schubversagen zwischen Mörtel und Ziegel den Bruch, was aus dem Foto 5, Anlage 19 zu erkennen ist.

Die Durchbiegung in Feldmitte in Abhängigkeit von der Last ist in Bild 3 dargestellt. Der waagrechte Kurvenast beim HLz-Mauerwerk mit Stabstahlbewehrung bestätigt das Erreichen der Streckgrenze.

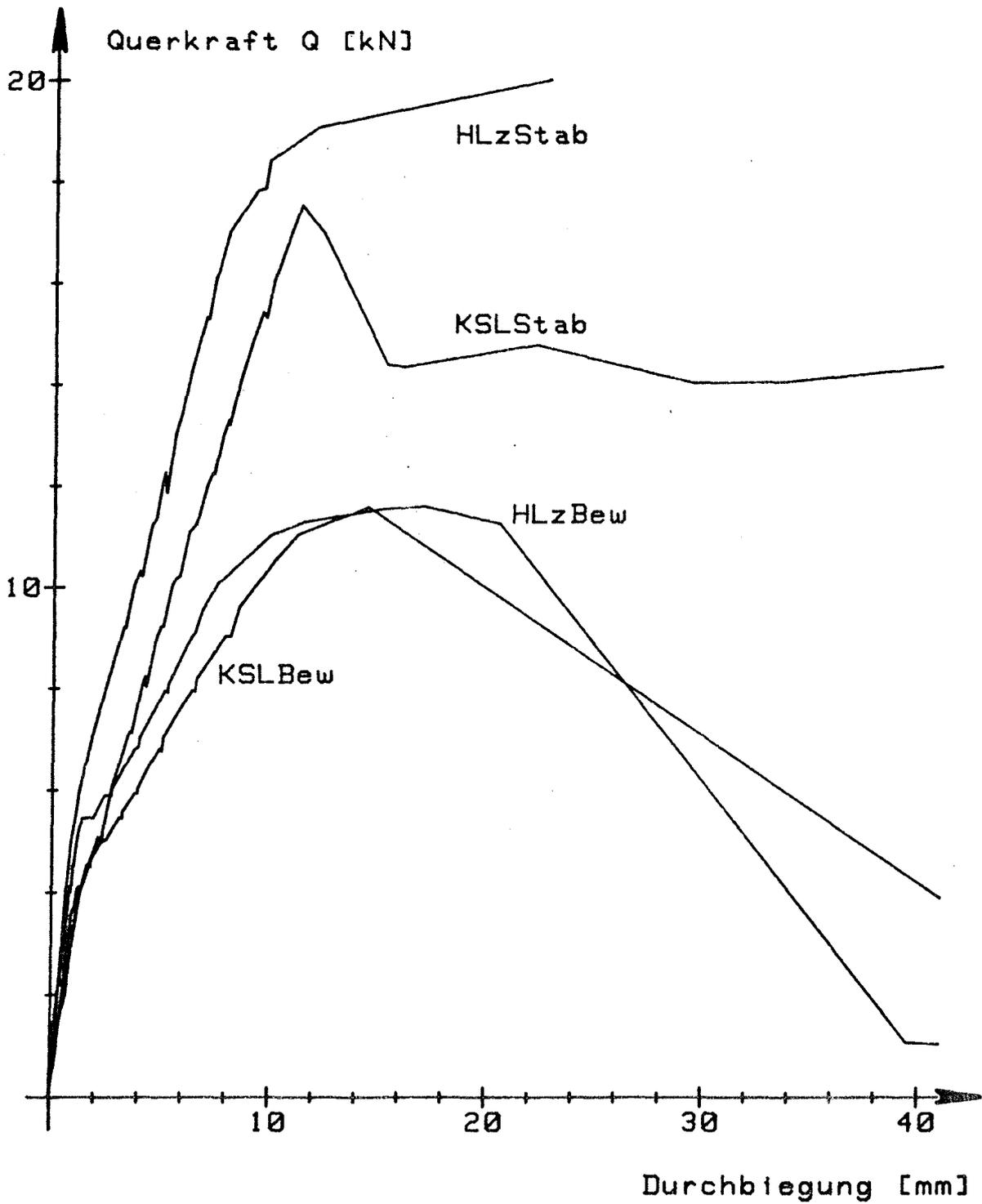


Bild 3: Durchbiegung der Wandplatten in Feldmitte in Abhängigkeit von der Last

Bei einigen Laststufen wurden die Risse in der Binderschicht beobachtet. Die Anzahl der Risse und die maximale Rißbreite waren bei den mit Stabstahl bewehrten Wänden größer als bei denen mit Bewehrungsgittern.

Die Laststufen, bei denen die Risse beobachtet worden sind, sind durch das Verhältnis der vorhandenen Querkraft Q zur Querkraft Q_R , die der Bemessung der Endverankerung zugrunde gelegen hat, charakterisiert.

Tabelle 4: Zahl und maximale Breite der Risse in der Binderschicht, letztere in mm

Q = vorhandene Querkraft

Q_R = Bemessungs-Querkraft für die Endverankerung

Bewehrungsart	Stabstahl		Bewehrungsgitter	
Steinart	KSL	HLz	KSL	HLz
133 %	12/0,3	6/0,2	5/0,1	0/0
$\frac{Q}{Q_R}$ 200 %	12/1,0	7/0,4	9/0,2	3/0,35
~ 233 %	12/Bruch	8/1,0	11/0,4	4/0,5

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Ausziehversuche an kleinen Mauerwerkskörpern, über die auch schon früher berichtet worden ist, führten zu folgendem Vorschlag für den zulässigen Rechenwert der Verbundspannung in der Lagerfuge:

$$\text{zul}\tau_1 = 0,8 \text{ MN/m}^2 \text{ für Mörtelgruppe IIIa mit geringer Auflast}$$

Um die gewissermaßen "am Element" gewonnenen Erkenntnisse über das Verbundverhalten an praxisnahen Bauteilen zu erproben, wurden Wandplatten durch zwei symmetrische Streifenlasten in den Drittelpunkten der Stützweite horizontal belastet. Gegenstand der Prüfung war die Endverankerung der Bewehrung, die auf der Grundlage der oben genannten Verbundspannung τ_1 bemessen wurde. Untersucht wurde 24 cm dickes Mauerwerk aus Hochlochziegeln und Kalksandlochsteinen mit Mörtelgruppe IIIa. Je zwei Versuchskörper waren bewehrt mit Stabstahl $\varnothing 8$ mm BSt 420/500 bzw. mit Bewehrungsgitter "Murfor" aus Stäben $\varnothing 5$ mm BSt 500/550, beides verzinkt. Das Verhältnis zwischen den erreichten Bruchquerkräften und der Querkraft Q_R , für die die Endverankerung bemessen war, betrug:

- | | | |
|------|-------------------------------------|--|
| 2,29 | für KSL, Stäbe $\varnothing 8$ mm; | Verankerungsbruch |
| 2,67 | für HLz, Stäbe $\varnothing 8$ mm; | Grenzfall zwischen Verankerungsbruch und Biegebruch durch Erreichen der Streckgrenze |
| 3,60 | für KSL, Gitter $\varnothing 5$ mm; | Biegebruch durch Abreißen der Bewehrung |
| 3,45 | für HLz, Gitter $\varnothing 5$ mm; | Biegebruch durch Abreißen Bewehrung |

Aus diesem Ergebnis ist zu folgern, daß sich dünne Stäbe trotz gleicher rechnerischer Verbundspannung mit dem Mörtel der Lagerfuge besser verbinden als dicke, wozu sicher auch noch die zusätzliche Verankerungswirkung der Gitterknoten beiträgt. Dabei war die Verbundfestigkeit der Be-

wehrungsgitter noch nicht ausgeschöpft, weil vorher der Stahl abriß.

Will man der Einfachheit wegen eine Differenzierung vermeiden und uneinheitliche Sicherheitsbeiwerte bis herab zu etwa 2,3 hinnehmen, so kann es beim obigen Vorschlag $\tau_1 = 0,8 \text{ MN/m}^2$ für alle Bewehrungsarten bis max. $\emptyset 8 \text{ mm}$ bleiben. Andernfalls würde das Streben nach gleichmäßigem Sicherheitsniveau (Sicherheitsbeiwert etwa 2,5) ein Anheben von τ_1 für Stäbe und Gitterwerke mit Stabdurchmessern bis 6 mm auf $1,1 \text{ MN/m}^2$ rechtfertigen. Hierzu muß jedoch einschränkend bemerkt werden, daß sich diese Zahlen nur auf sehr wenige Bauteilversuche stützen.

A N H A N G

Literaturhinweise

- /1/ Haller, P.: Der Ziegelbau in der Schweiz,
Die Ziegelindustrie Heft 15, 1953 (6. Jahg),
S. 635 ff.
- /2/ Schwarz, B.: Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen,
"gi" Gesundheits-Ingenieur, 93.Jhg (1972),
Heft 7, S. 206 ff.
- /3/ Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Flachstürzen
(August 1977)

Steine

Folgende Steinarten wurden verwendet:

Hochlochziegel DIN 105 HLz A 12 - 1,2 - 2 DF

Kalksandsteine DIN 106 KS L - 12 - 1,4 - 2 DF

Formsteine (Ziegelschalen für Flachstürze)

Die Werte nachstehender Tabelle repräsentieren jeweils 10 Prüfungen

Ergebnisse der Prüfungen an den Steinen

Stein		HLz	KSL	Formsteine	
Prüfung					
Maße (mm)	l	241	240	249	
	b	114	114	113	
	h	111	113	70	
Löcher	Anzahl	48	14	/	
	Ø (mm)	13,5	25		
	Anteil a. d. La- gerfl. (%)	25	25		
Roh- dichte (g/cm ³)	Mittel	1,20	1,37	1,77	
	Std.Abw.	0,01	0,02	0,03	
Druck- festig- keit β (N/mm ²)	Mittel	18,0	16,3	48,0 ⁴⁾	9,3 ⁵⁾
	Std.Abw.	2,6	0,9	5,3	0,7
Saug- ver- halten	w _s ²⁾	3,0	1,1	/	
	w _A ³⁾	0,22	0,055		

Anmerkungen siehe nächste Seite

Anmerkungen zur Tabelle: Steinprüfungen

- 1) nach Trocknung bei 105°C und einem Tag Lagerung im Klima 20°C und 65 % relativer Luftfeuchte.
- 2) w_s = spezifisches Wasseraugvermögen nach /1/
in $[\text{kg}/\text{m}^2 \text{ min}]$, gemessen in der ersten Minute nach dem Eintauchen
- 3) w_A = Wasseraufnahme-Koeffizient nach /2/ in $[\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}]$
- 4) geprüft in Strangrichtung (parallel zur Lagerfuge)
nach /3/
- 5) geprüft senkrecht zur Strangrichtung (senkrecht zur Lagerfuge) mit $l \cdot b$ als Druckfläche

M ö r t e l

Der Mörtel der Gruppe IIIa wurde nach Eignungsprüfung so zusammengesetzt, daß die Prismen-Festigkeit zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung etwa bei dem geforderten Mittelwert von 20 N/mm^2 lag. Dies wurde erreicht mit einem Mischungsverhältnis Zement : Sand = 1 : 5 in Raumteilen. Die Sieblinie des verwendeten Zuschlages stellte sich folgendermaßen dar:

$<0,25$	$<0,5$	<1	<2	<4	$<8 \text{ mm}$
13	29	46	69	97	100 %

Die Schüttdichte (trocken) betrug $1,6 \text{ g/cm}^3$, die abschlämmbaren Bestandteile lagen bei 4 %.

Als Zement wurde ein PZ 35 F mit einer 28-Tage-Festigkeit von 49 N/mm^2 , einer Schüttdichte von $1,1 \text{ g/cm}^3$ und einem Blaine-Wert von $3600 \text{ cm}^2/\text{g}$ verwendet.

Sand und Zement wurden trocken eingewogen und in einem Zwangsmischer vorgemischt. Die Mischzeit nach Zugabe des Wassers, das in konstantem Verhältnis zugegeben wurde, betrug etwa 3 Minuten. Der Wasseranteil war zu Anfang so bestimmt worden, daß für den Maurer ein "kellengerechter" Mörtel entstand.

Aus jeder Mischung wurden 6 Prismen hergestellt und nach DIN 18555 T 3 (September 1982) durch Schocken verdichtet und entsprechend gelagert. Die nach DIN 18555 T 2, September 1982, gemessenen Ausbreitmaße lagen zwischen 165 und 180 mm, die durch Darren gewonnenen Wasser-Zement-Werte zwischen 1,06 und 1,13. Die zwei Herstellungsperioden werden in der Tabelle mit (1) und (2) gekennzeichnet. Der Werk-Frischmörtel der Gruppe III enthielt 220 kg Zement und 225 ltr Schaum (Ready-foam) je m^3 . Der Wassergehalt wurde zu 11,2 % bestimmt, das Ausbreitmaß betrug nach 6 Stunden 16 cm, nach 7,5 Stunden 15 cm.

Prüfergebnisse an Mörtelprismen

Mörtel	Alter	Anzahl Prismen	Roh- dichte	Druckfestigkeit		Biegezugfestigkeit	
				$\bar{\beta}_D$	s_D	$\bar{\beta}_{BZ}$	s_{BZ}
-	d	-	g/cm^3	N/mm^2		N/mm^2	
IIIa (1)	29-32	12	2,19	18,5	0,9	4,7	0,4
	77-84	24	2,16	21,3	0,8	6,3	0,4
IIIa (2)	29-37	16	2,16	19,5	0,7	6,0	0,4
	98-106	32	2,15	20,9	0,7	6,3	0,4
III	31	4	1,73	8,8	0,3	3,3	0,3
	104	8	1,73	9,4	0,2	3,5	0,1

Mit dem Gerät "GRINDO-SONIC" der Fa. Lemmens-Elektronika, Leuven-Haasrode, Belgien, wurde an allen Prismen im Alter von 4 Wochen der dynamische Biege-Elastizitäts-Modul bestimmt; er betrug für Mörtelgruppe (s = Stand.Abw.; n = Probenzahl)

IIIa (1) : 23 653 N/mm^2 (s = 763 N/mm^2 n = 36)

IIIa (2) : 22 546 N/mm^2 (s = 627 N/mm^2 n = 48)

III : 10 704 N/mm^2 (s = 275 N/mm^2 n = 12)

Bei dieser Messung wird das Prisma elastisch auf einer Seitenfläche gelagert; es wird durch Anschlagen mit einem Bleistift in Eigenschwingungen (Biegeschw.) versetzt, welche von einem Taster aufgenommen werden. Das GRINDO-SONIC-Gerät mißt nach Abklingen des Einschwingvorgangs die Zeit für 8 Perioden; aus ihr wird - verknüpft mit Masse und Abmessungen des Prismas sowie Formfaktoren - der E-Modul errechnet.

Um Anhaltswerte über die Festigkeit des Mörtels im Mauerwerk zu erhalten, wurden nach dem Ausziehversuch aus der Lagerfuge jedes Probekörpers 6 Bohrkern $\varnothing 16,5$ mm naß herausgebohrt. Sie wurden mit Gips auf ein Höhe/Durchmesser-Verhältnis von ca. 1 abgeglichen und zeitlich so geprüft, daß die Festigkeit des Gipses etwa der des Mörtels entsprach.

Prüfergebnisse an Mörtelbohrkernen

Mörtel Stein	Verarbeitung ⁺⁾ der Steine bei Herstellung	Alter (d)	Anzahl	Druckfestigkeit (N/mm ²)		Verhältnis $\bar{\beta}_D$ Bohrk/Prisma
				$\bar{\beta}_D$	s_D	
IIIa (1)	V	79-87	150	29,7	4,2	1,40
HLz	W	84	29	19,2	1,8	0,90
IIIa (2)	V	117-127	149	25,7	2,9	1,23
KSL	W	111-120	28	20,1	1,9	0,96
III HLz	V	119-121	30	21,1	2,1	2,25

⁺⁾ V = leicht vorgenäßt (= 2 sec getaucht)

W = wassergesättigt (= 24 h unter Wasser gelagert)

Prüfung des Mörtels der Wandplatten

Für die Wandplatten wurde ein Mörtel der Gruppe IIIa aus den gleichen Ausgangsmaterialien und mit gleicher Zusammensetzung wie für die Ausziehversuche verwendet. Von jeder zweiten Mischung (jeweils für eine Lagerfuge) wurden Prismen hergestellt, das auf Seite A 4 Gesagte gilt auch für den Mörtel der Wandplatten.

Prüfergebnisse der Mörtelprismen

Anzahl Prismen	Alter	Roh- dichte	Biegezugfestigkeit		Druckfestigkeit	
			$\bar{\beta}_{BZ}$	S_{BZ}	$\bar{\beta}_D$	S_D
-	d	g/cm ³	N/mm ²		N/mm ²	
14	69-72	2,12	5,1	0,4	19,0	1,2
28	134-167	2,13	4,9	0,4	18,9	1,4

Der dynamische Biege-Elastizitäts-Modul der Prismen betrug im Mittel 21 900 N/mm² (S = 740 N/mm² n = 38).

B e w e h r u n g

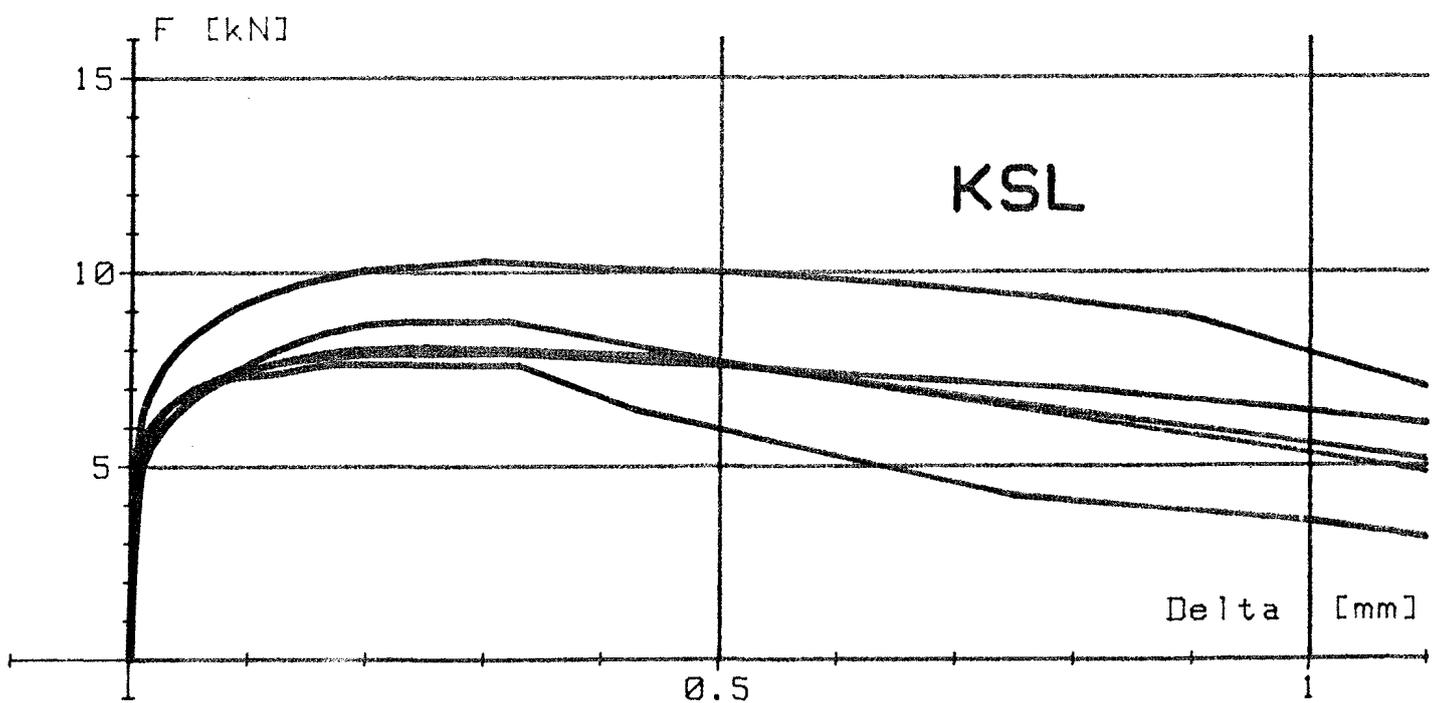
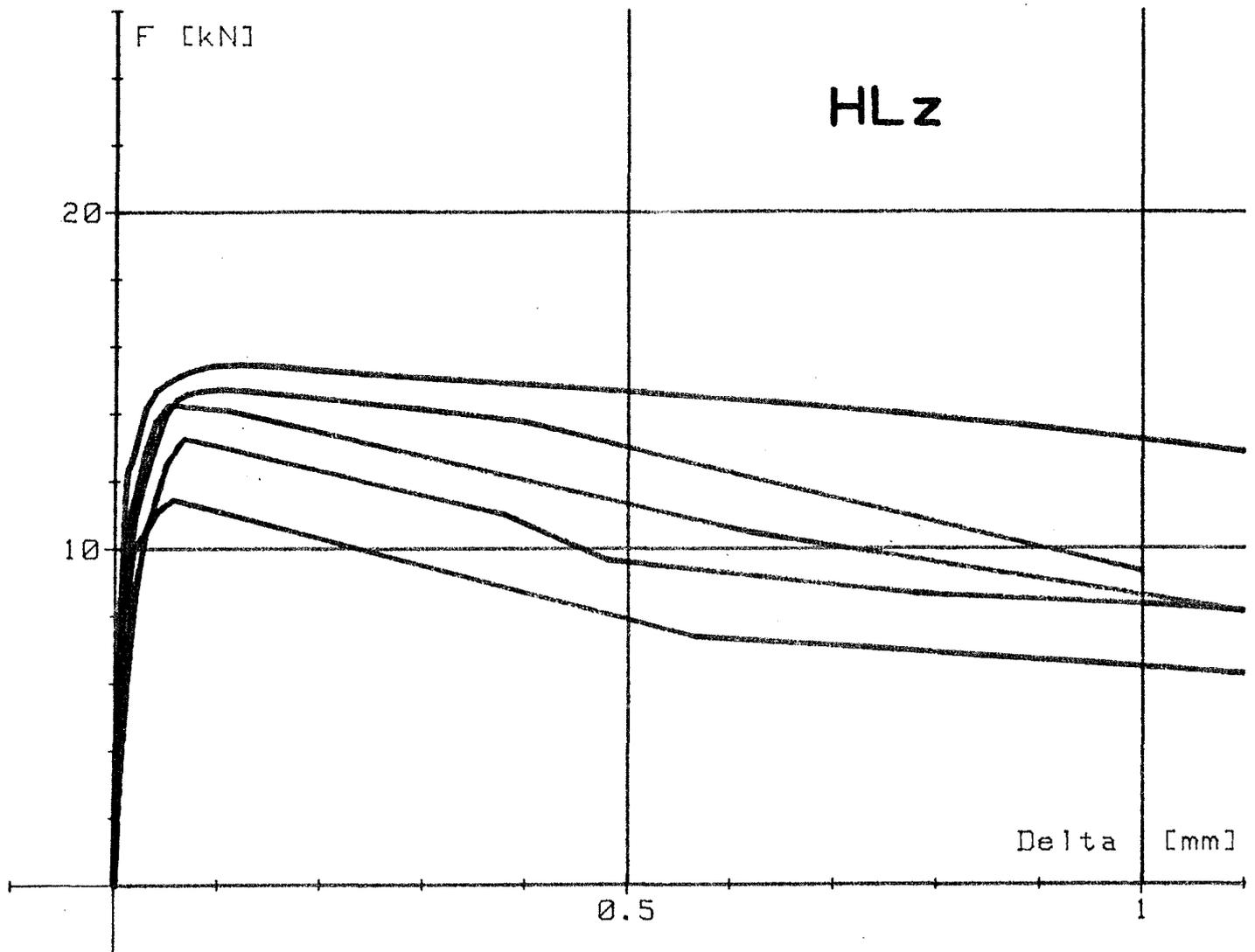
Verwendet wurde verzinkter Stabstahl BSt 420/500 RU mit Durchmesser 8 mm, und Bewehrungsgitter ("Murfor") mit verzinkten Längsstäben BSt 500/550 RK, Durchmesser 5 mm.

	∅ 8 mm	∅ 5 mm
Durchmesser (mm)	8,54	5,05
Steckgrenze (N/mm ²)	479 ⁺)	616
Bruchspannung (N/mm ²)	677 ⁺)	654
Bruchdehnung δ_{10} (%)	19,8	8,4
bezog. Rippenfläche	0,072	0,054
Dicke der Zinkschicht (mm)	0,28	0,02

⁺) auf den Stahlquerschnitt (ohne Zinkschicht) bezogen

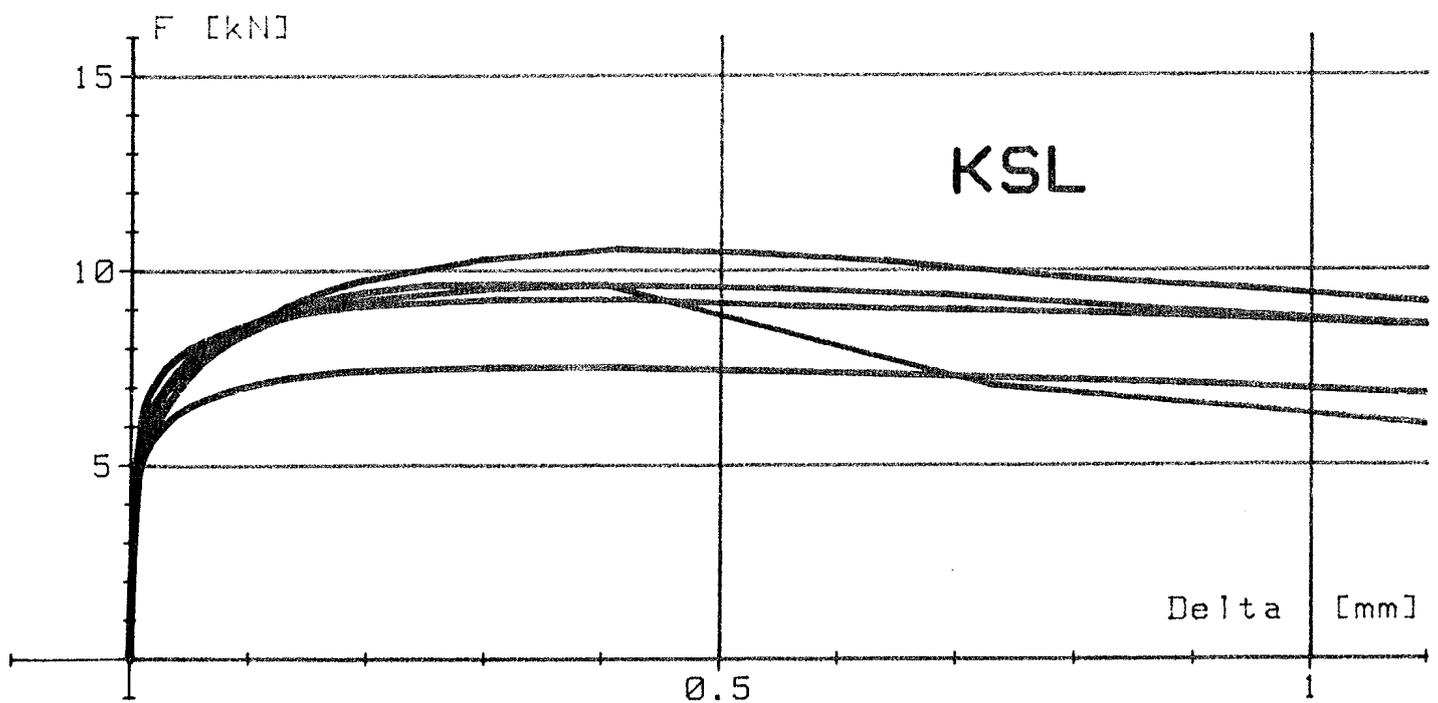
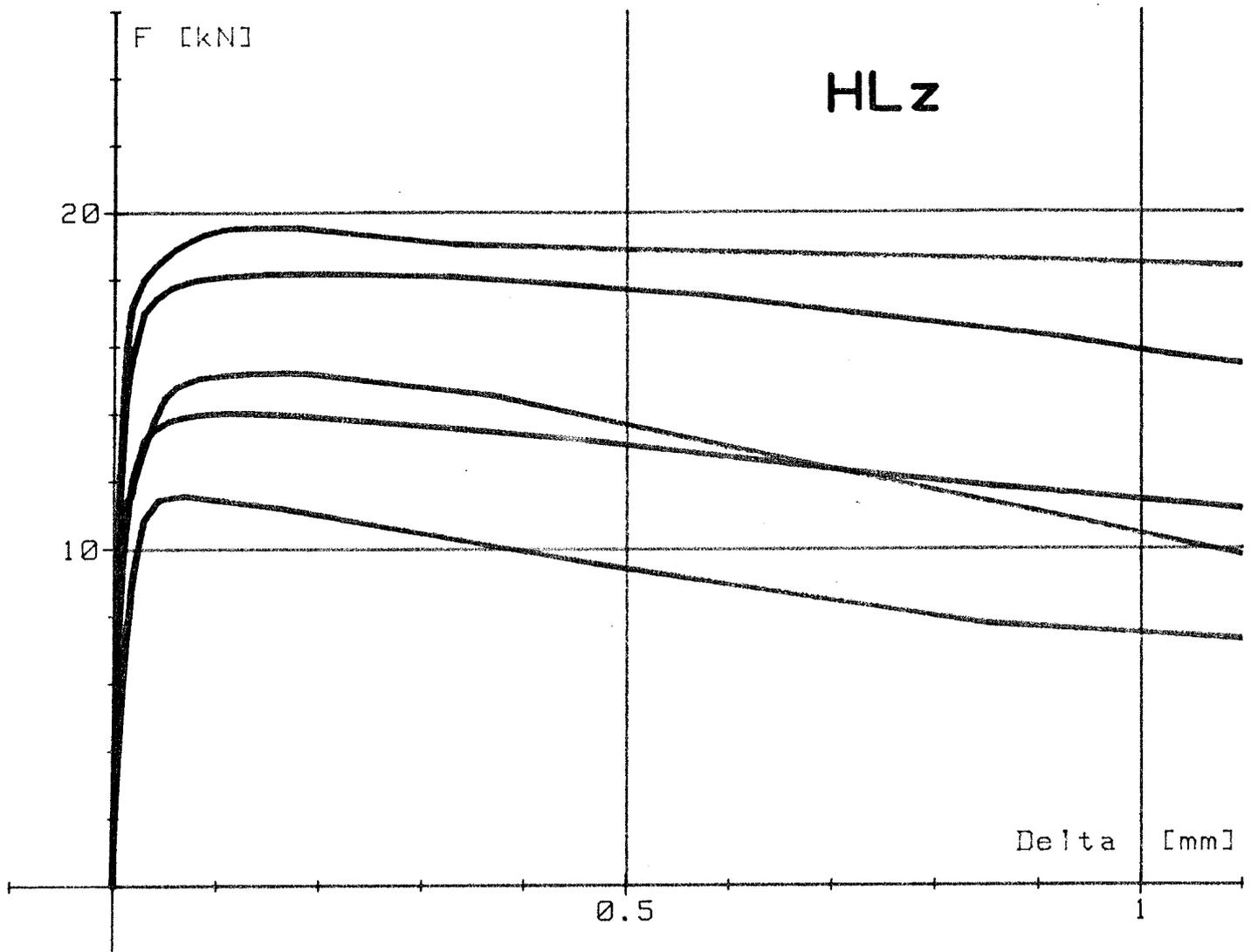
Belastungsgrad = 0

Mörtelgruppe IIIa , Stabstahl

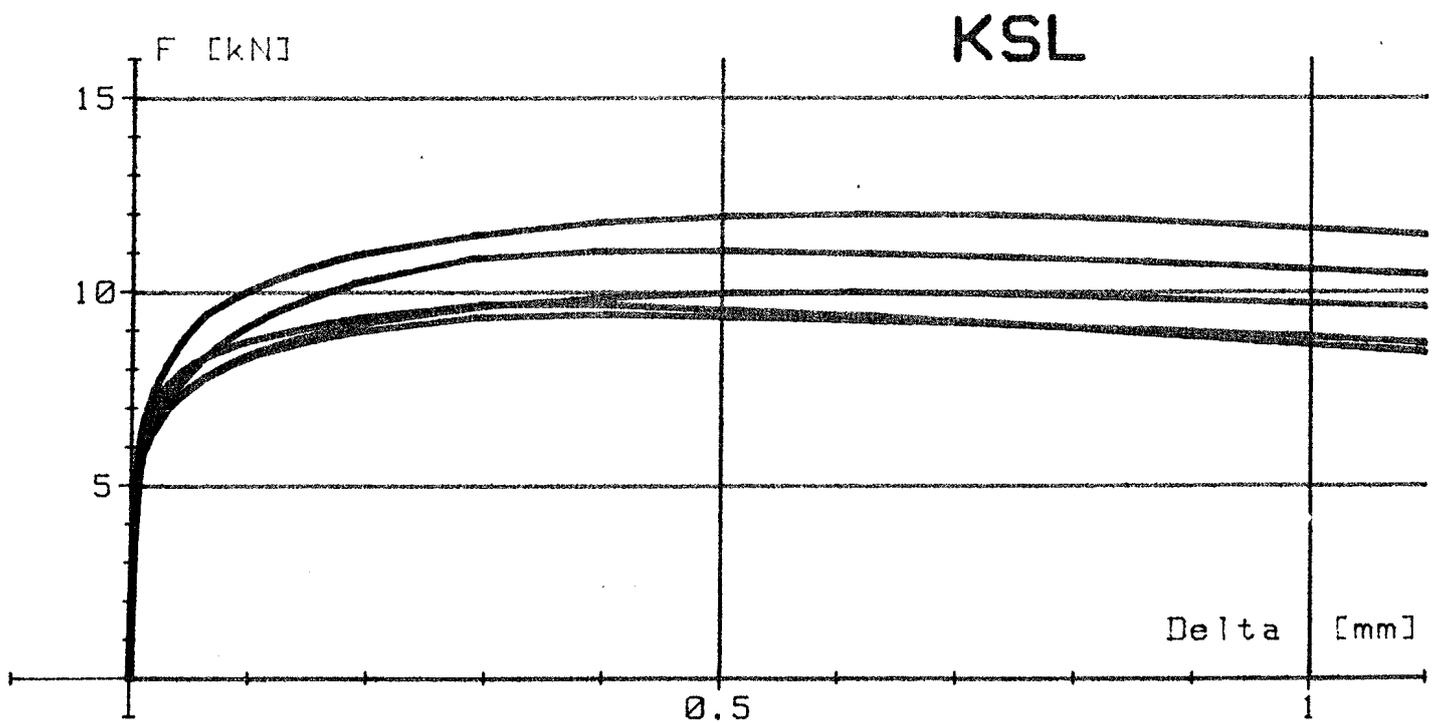
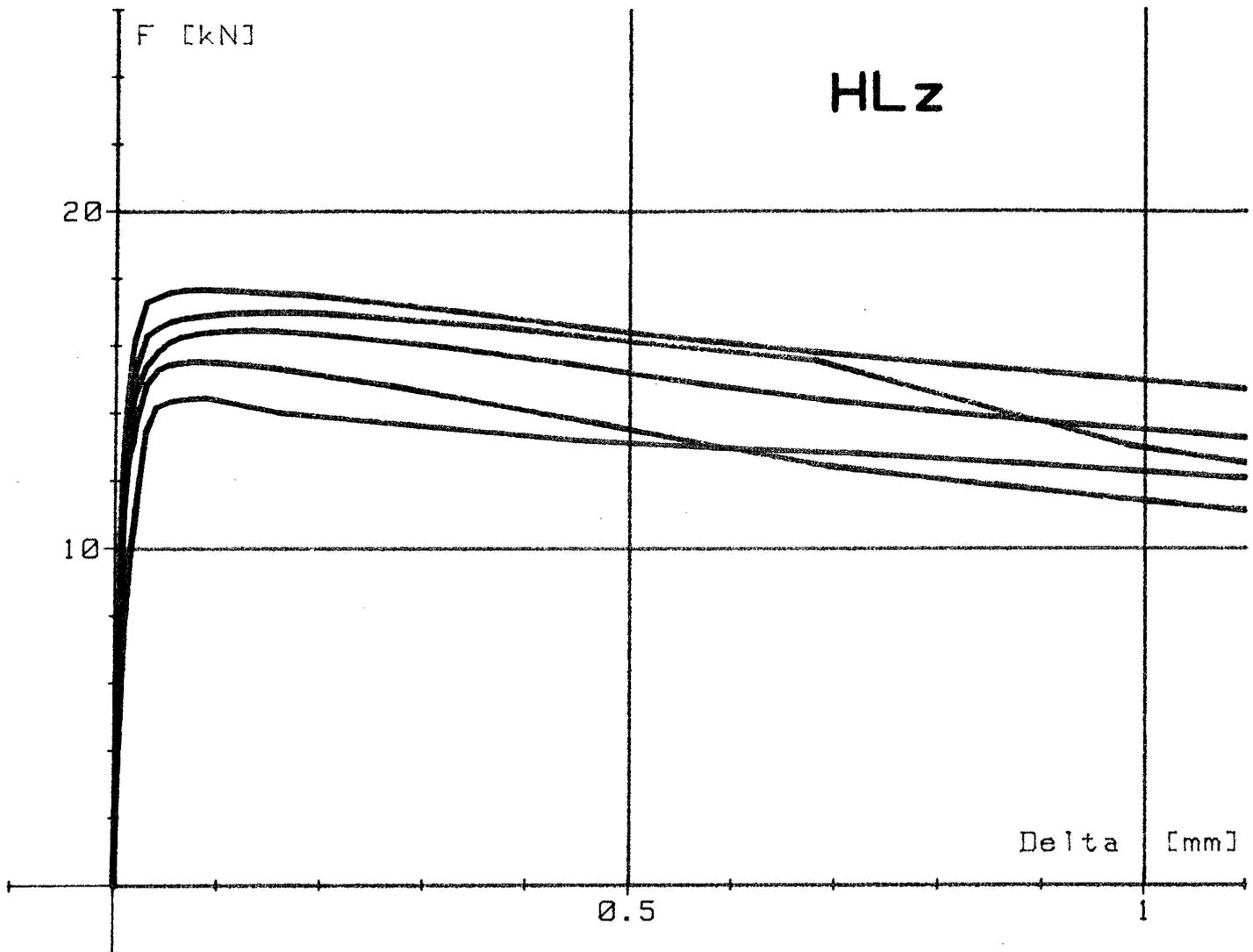


Belastungsgrad = 0.0025

Mörtelgruppe IIIa, Stabstahl



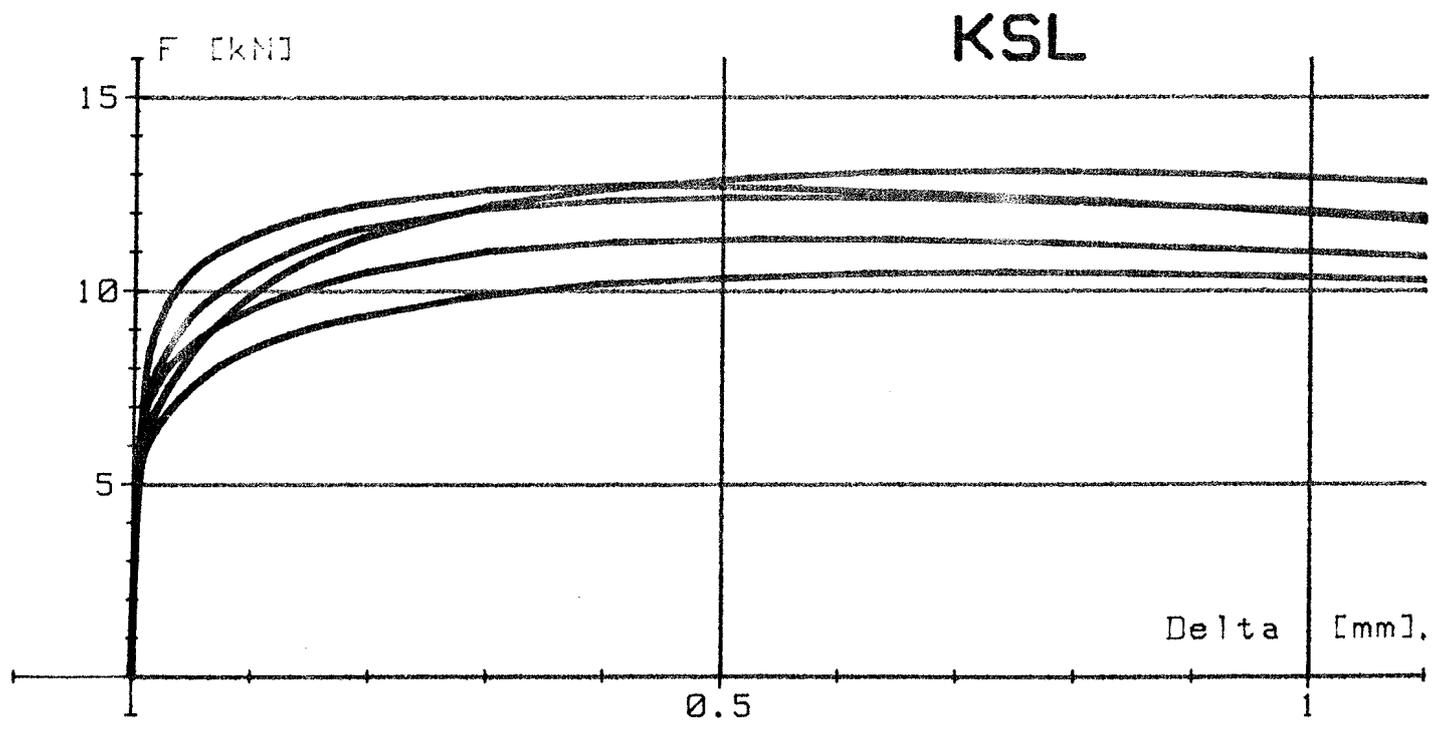
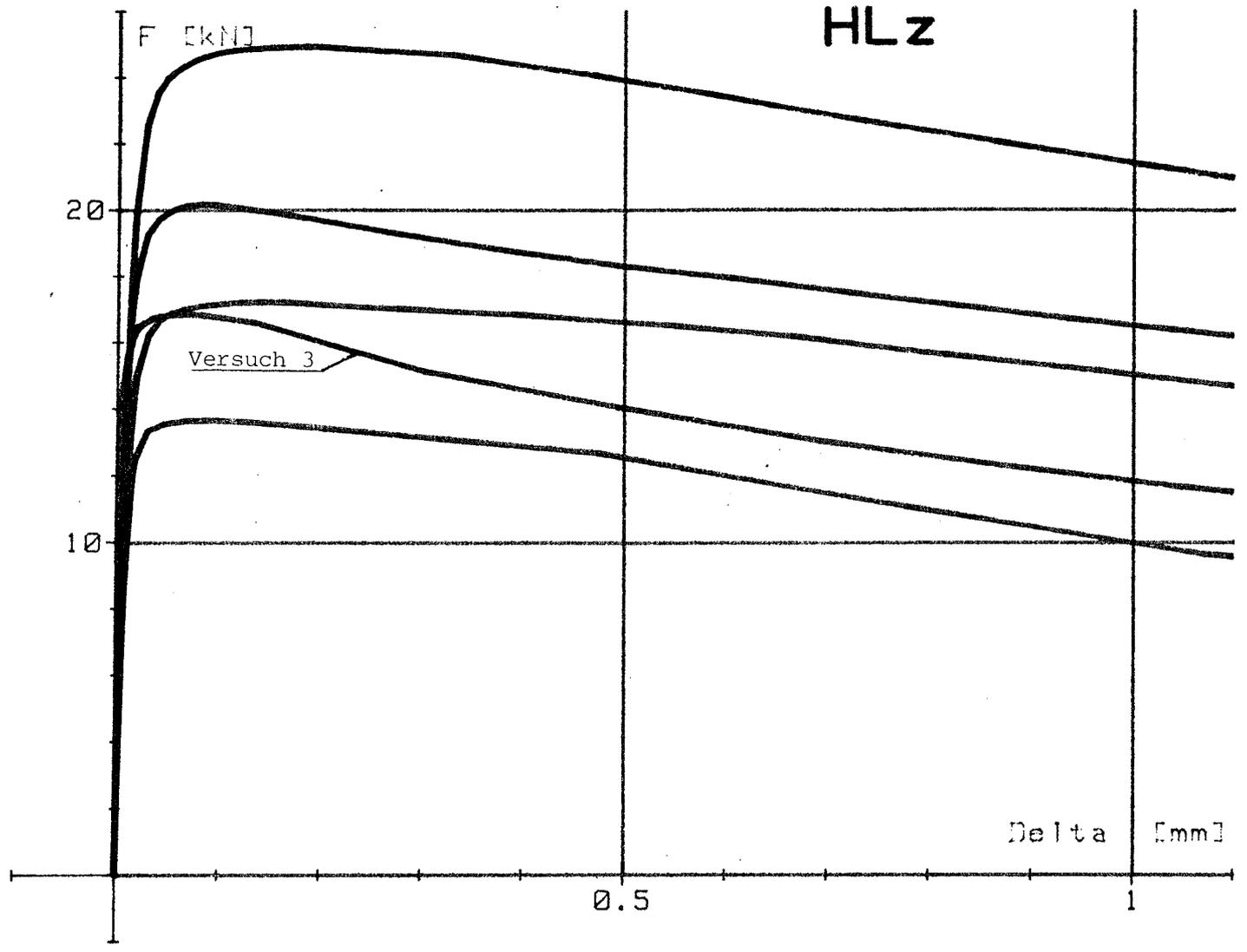
Belastungsgrad = 0.03
Mörtelgruppe IIIa, Stabstahl



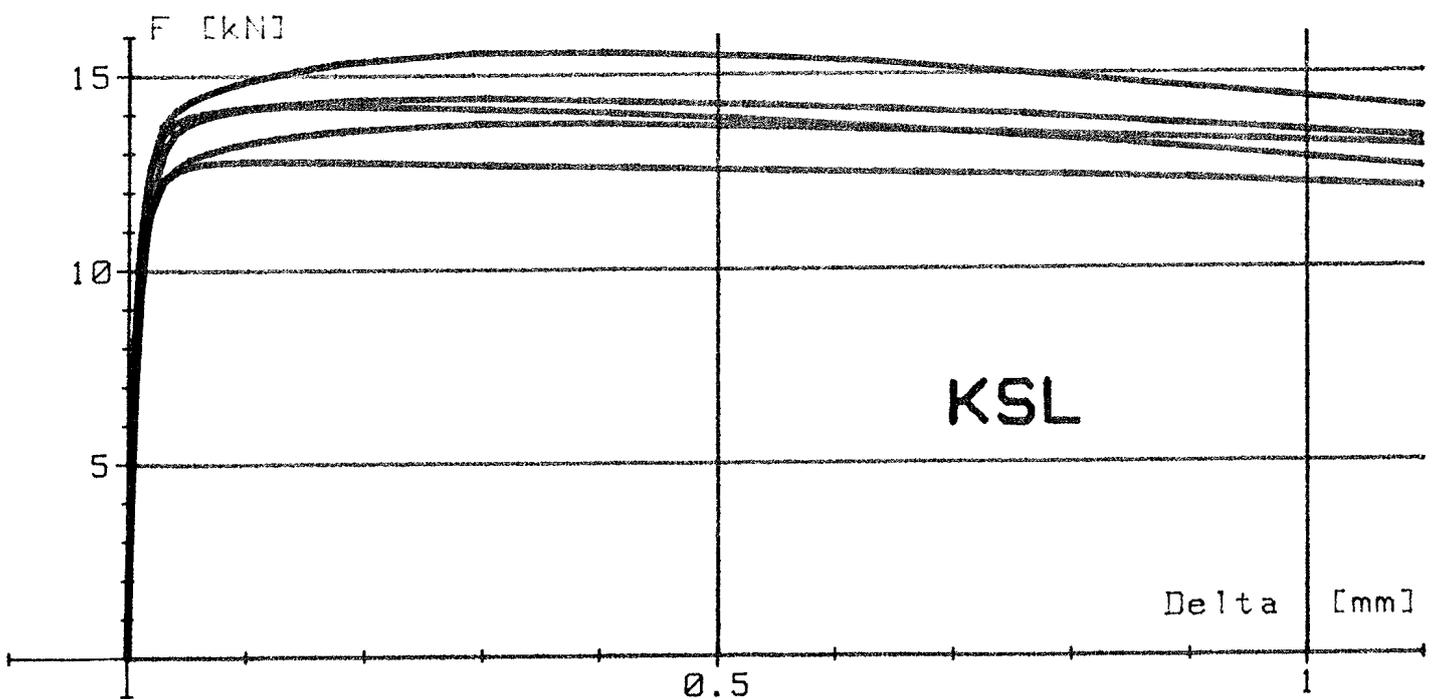
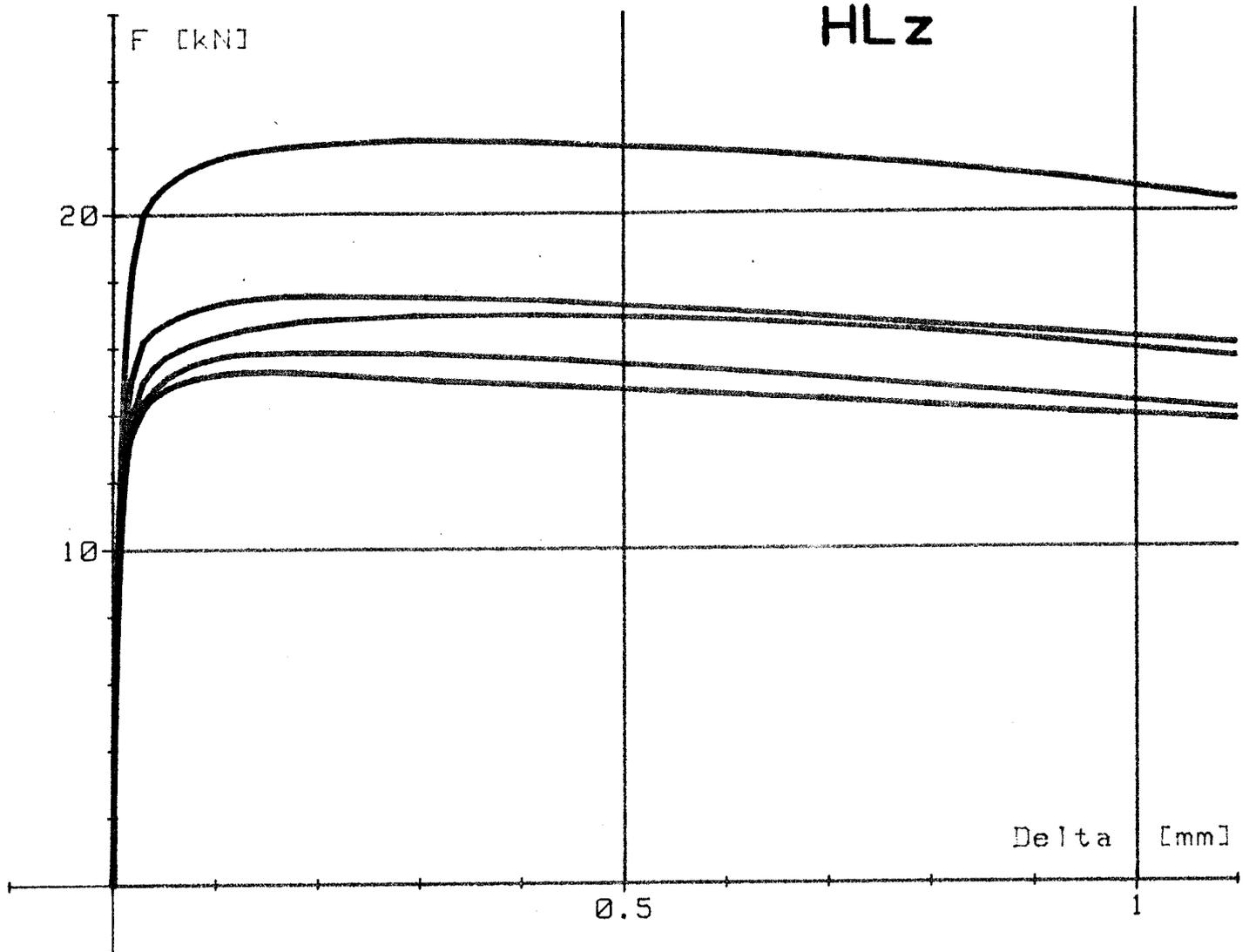
- A12 -

Belastungsgrad = 0.15

Mörtelgruppe IIIa, Stabstahl



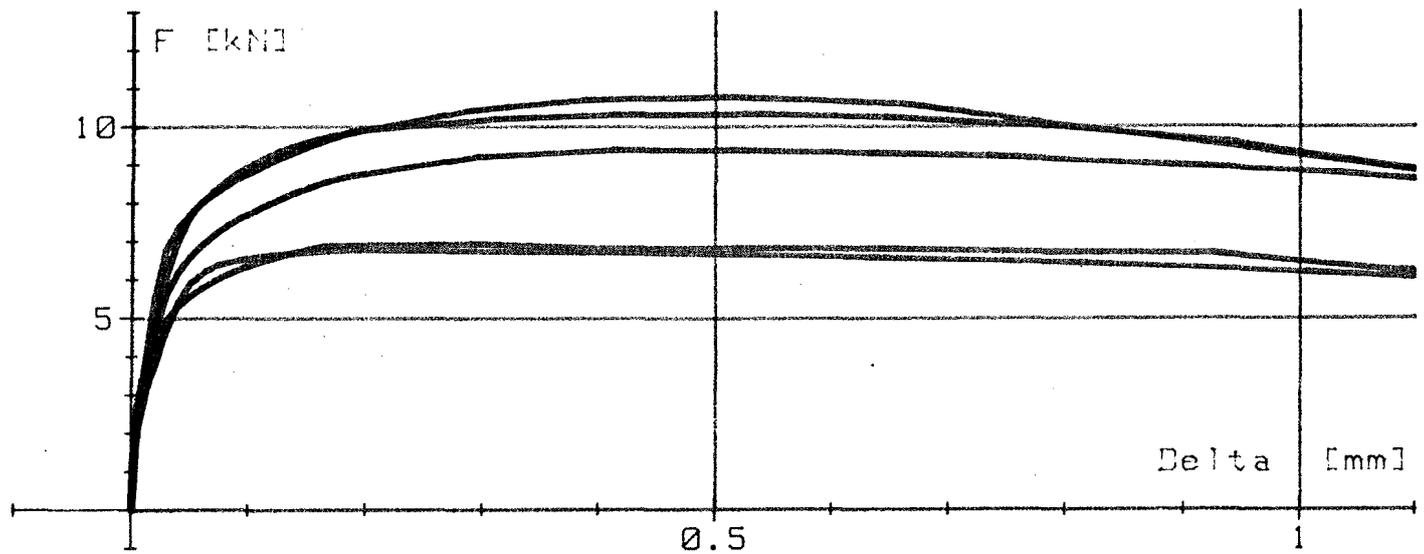
Belastungsgrad = 0.15

Mörtelgruppe IIIa, Stabstahl
Steine wassergesättigt

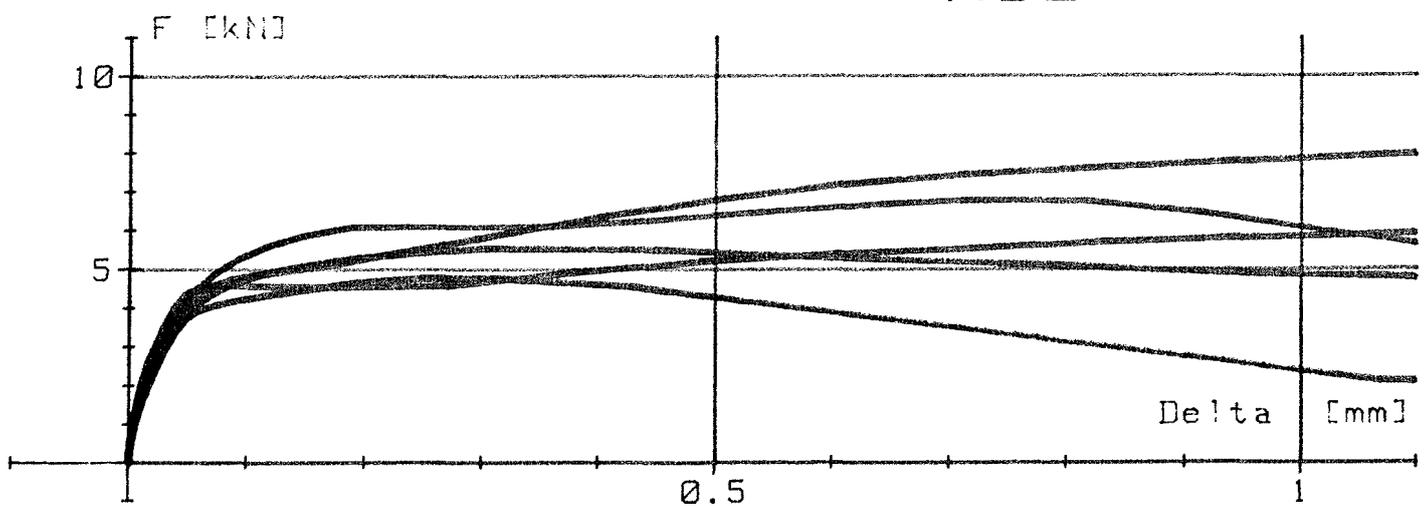
Belastungsgrad = 0.03

Mörtelgruppe IIIa, Bewehrungsgitter

HLz

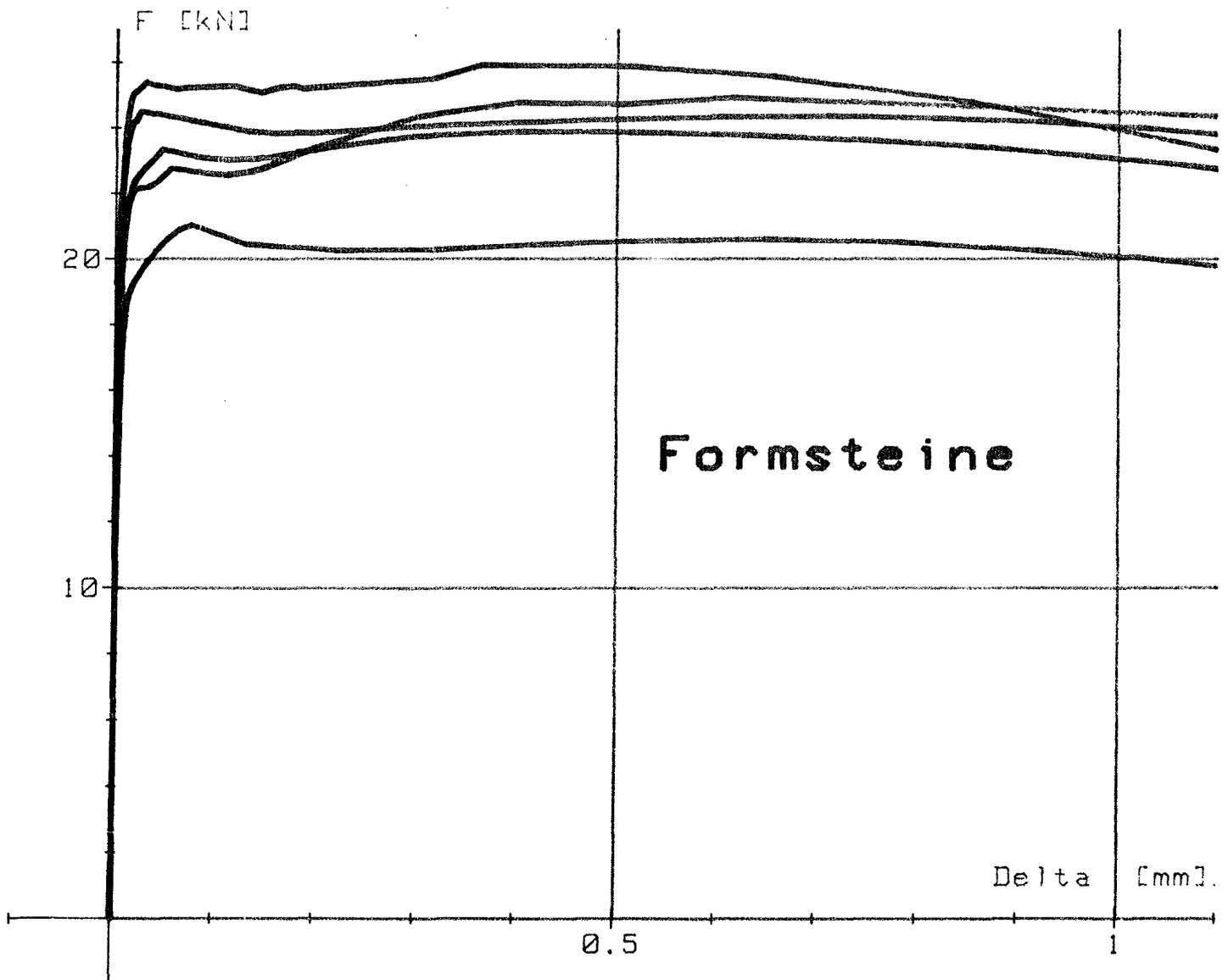


KSL



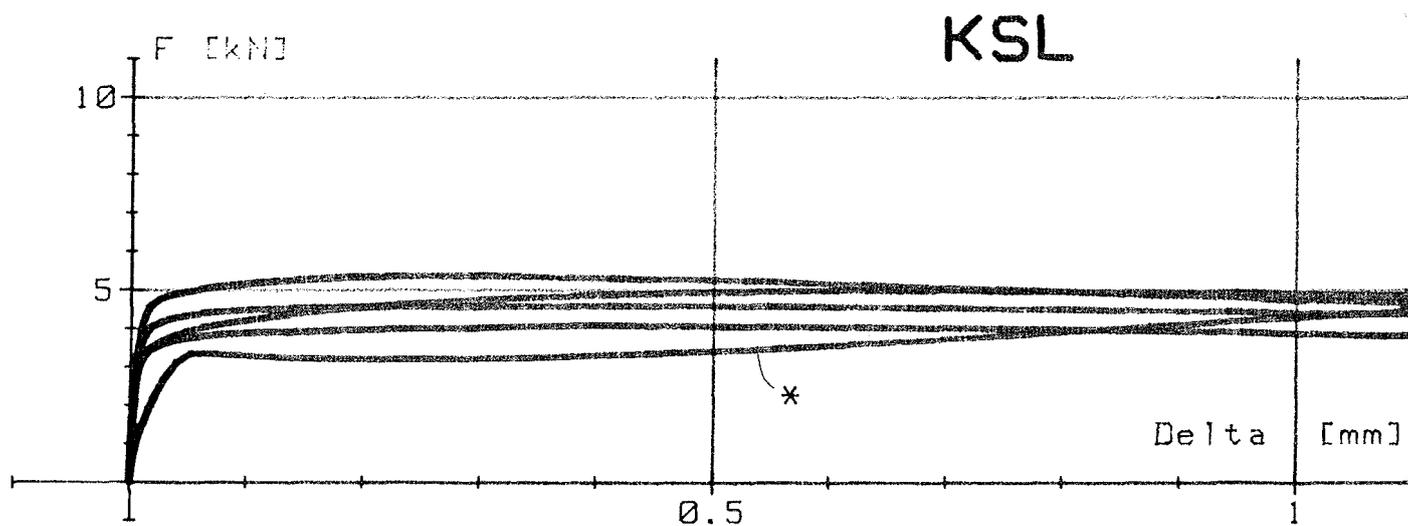
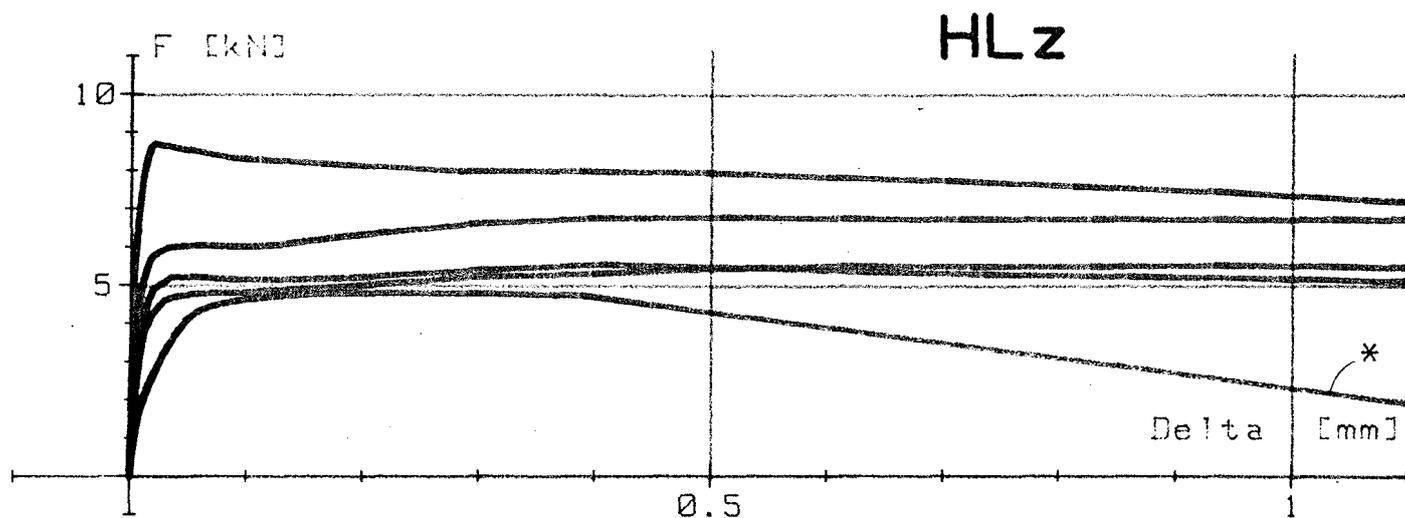
Belastungsgrad = 0

Mörtelgruppe IIIa , Stabstahl



Belastungsgrad = 0.15

Werk-Frischmörtel Mgr III
Stabstahl und Bewehrungsgitter(*)



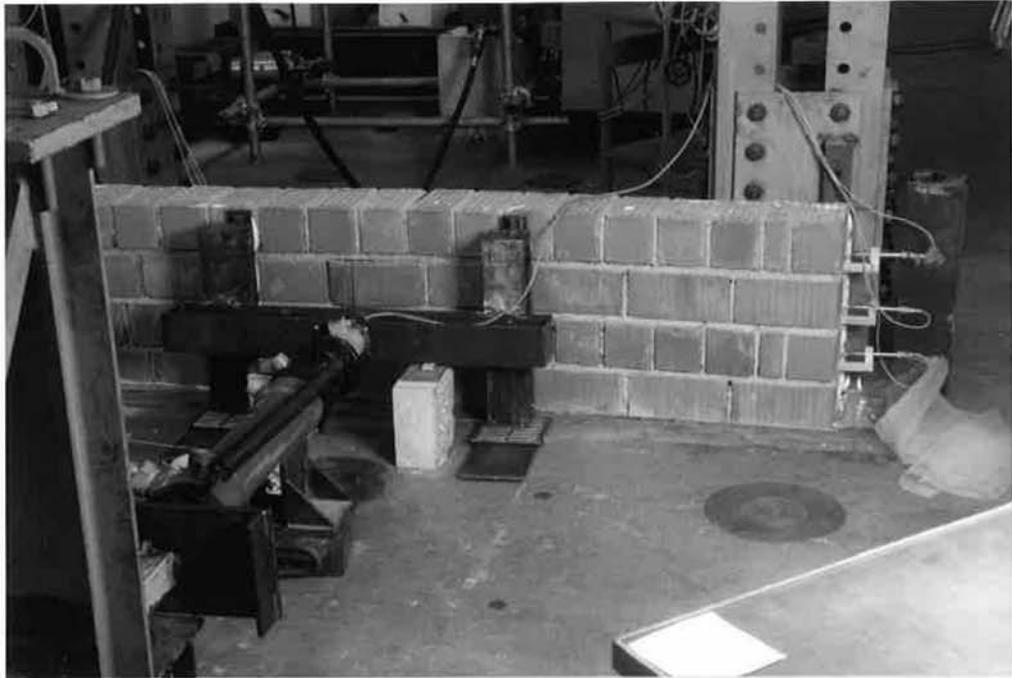


Foto 1: Wand mit HLZ und Bewehrungsgitter
Versuchsaufbau/Prüfeinrichtung

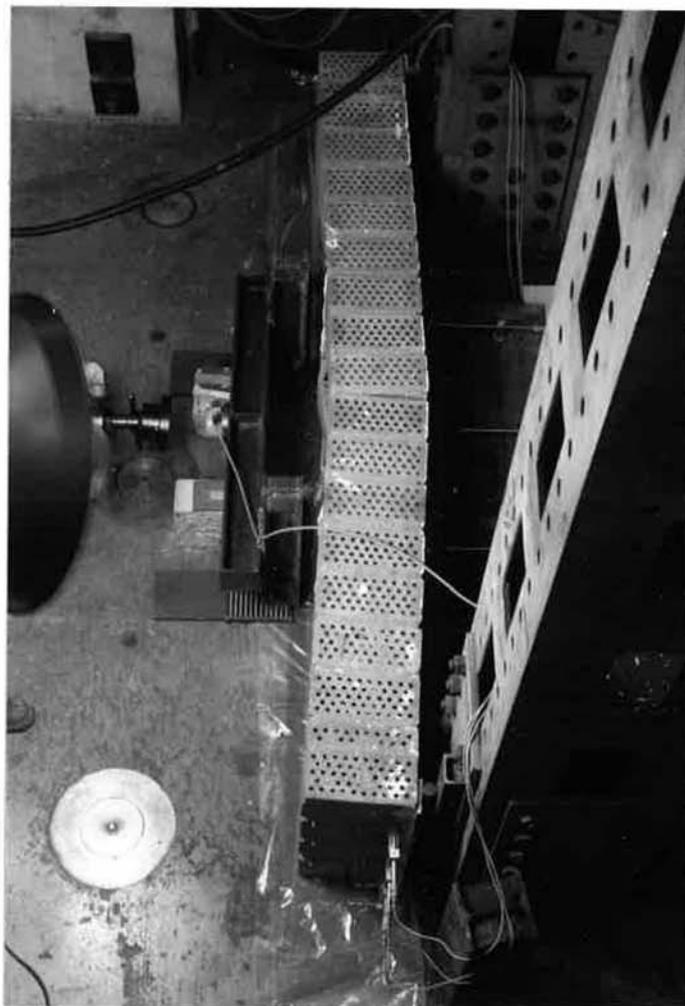


Foto 2: Wand mit HLZ und Bewehrungsgitter, Stahlbruch
Biegeform im Bruchzustand



Foto 3: Wand mit HLz und Bewehrungsgitter, Stahlbruch.
Druckseite

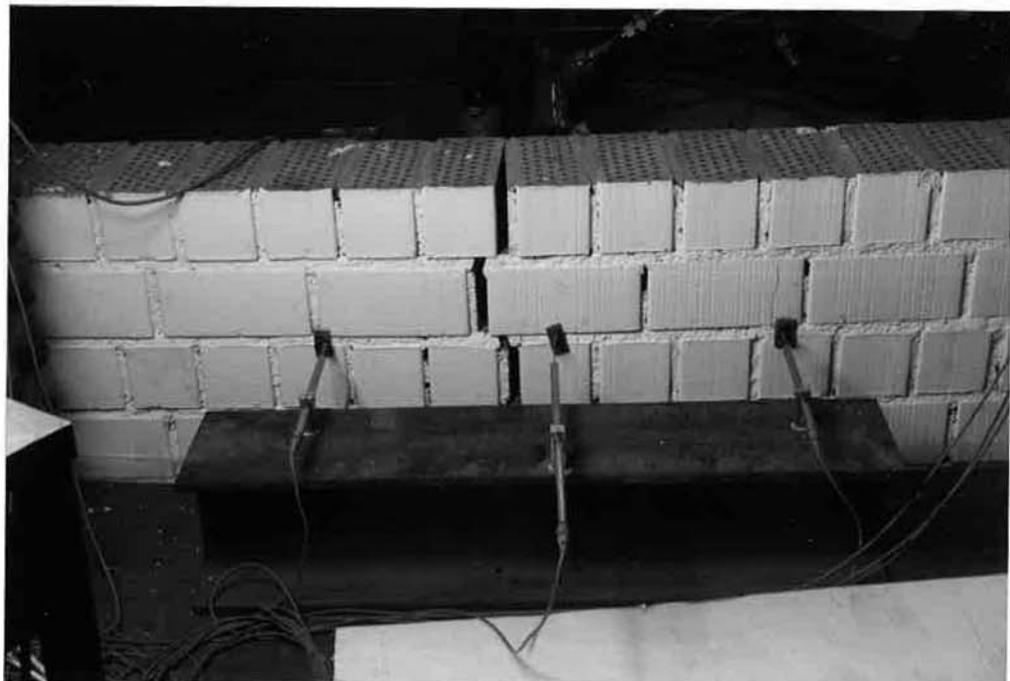


Foto 4: Wand mit HLz und Bewehrungsgitter, Stahlbruch.
Zugseite. Durchbiegungsmessung.



Foto 5: Wand mit HLz und Stabstahl.
Grenzfall zwischen Verank.Bruch und Fließen
des Stahles

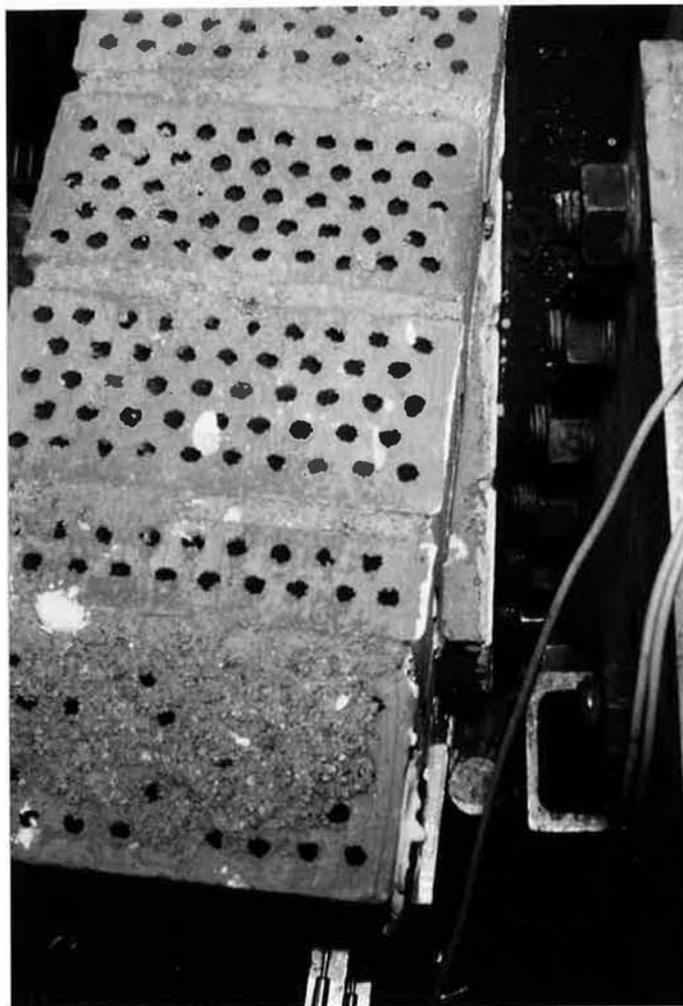


Foto 6: Wand mit HLz und Stabstahl
Haftversagen zwischen den Steinlagen,
Zugseite rechts

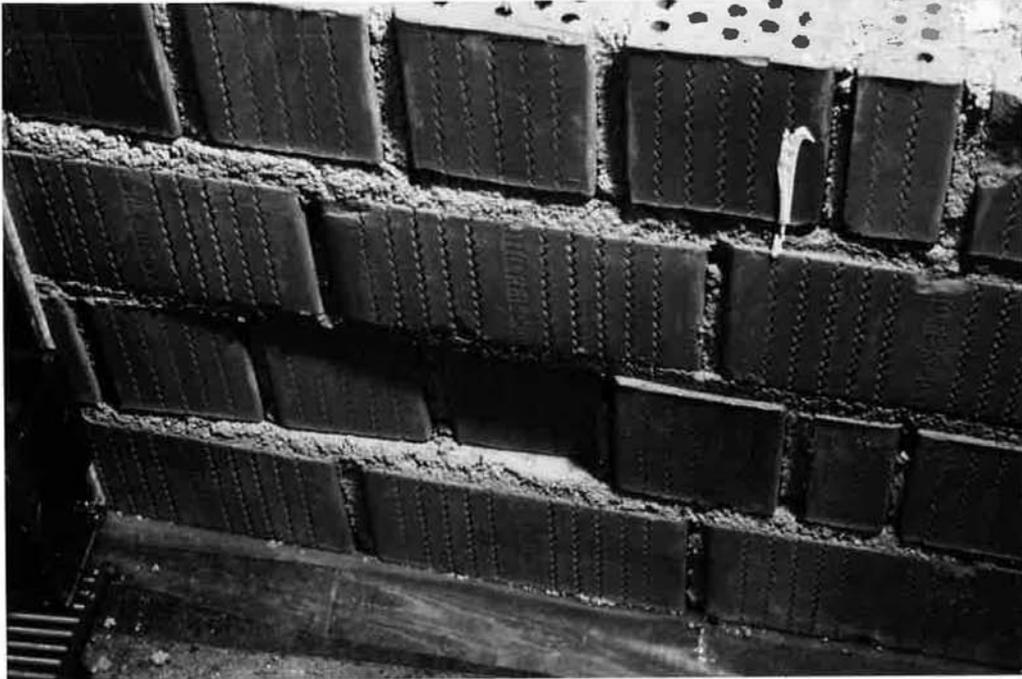


Foto 7: Wand mit HLZ und Stabstahl
Haftversagen zwischen den Steinlagen,
Druckseite



Foto 8: Wand mit KSL und Stabstahl
Rißbildung/Durchbiegungsmessung

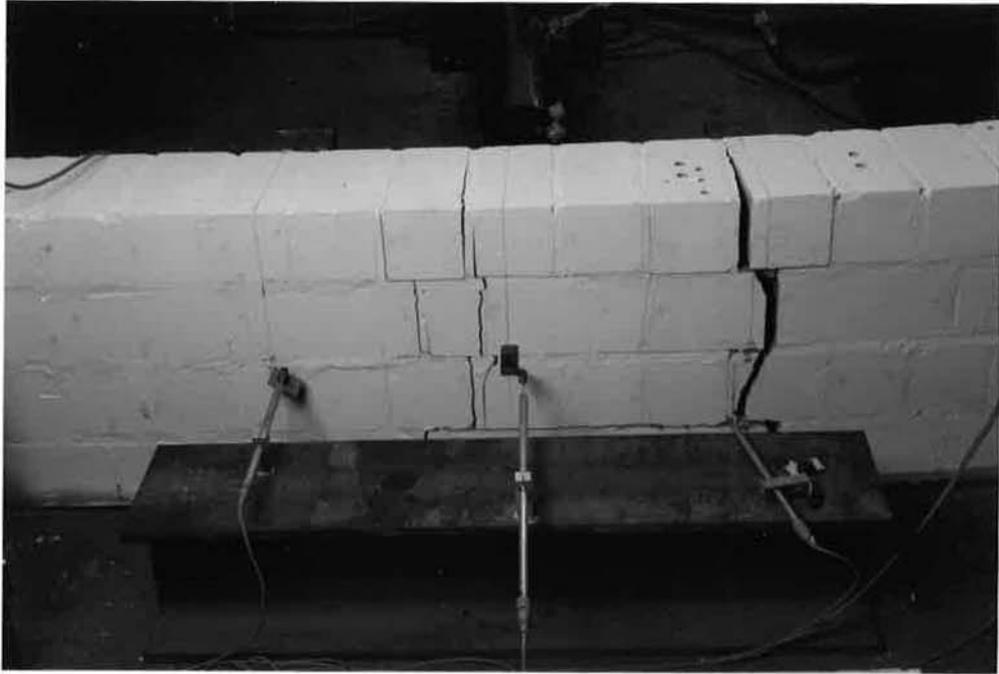


Foto 9: Wand mit KSL und Bewehrungsgitter,
Stahlbruch