

Zur Tragfähigkeit und Bemessung von  
Verbunddecken nach der m+k-Methode  
des EC 4

**T 2584**

T 2584

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

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

Prof. Dr.-Ing. H. Bode  
Fachgebiet Stahlbau  
Universität Kaiserslautern  
Postfach 3049

6750 Kaiserslautern

Forschungsbericht:

Zur Tragfähigkeit und Bemessung von Verbunddecken nach der  
m+k-Methode des EC4

von H. Bode und I. Storck

Auftraggeber: Institut für Bautechnik  
Reichpietschufer 74 - 76  
1000 Berlin 30

Dieser Bericht umfaßt 24 Seiten und 51 Anlagen

## G L I E D E R U N G

1. Allgemeines
2. Versuchsbeschreibung
  - 2.1 Versuchskörper
  - 2.2 Versuchsaufbau und Meßeinrichtung
  - 2.3 Versuchsdurchführung
3. Meßergebnisse
  - 3.1 Materialkennwerte
  - 3.2 Plattenabmessungen und Rißverteilung
  - 3.3 Versuchsergebnisse
    - 3.3.1 Zylinderkraft
    - 3.3.2 Durchbiegungen
    - 3.3.3 Endschlupf
    - 3.3.4 Dehnungen des Profilbleches
4. Vergleichsberechnungen und Auswertung
  - 4.1 Biegetragfähigkeit
  - 4.2 Querkrafttragfähigkeit
  - 4.3 Auswertung mit Teilverbundtheorie
    - 4.3.1 Versuche ohne Endverankerung
    - 4.3.2 Versuche mit Endverankerung
  - 4.4 Auswertung mit dem m+k-Verfahren
5. Schlußfolgerungen und Empfehlungen
  - 5.1 Verbesserung des Trag- und Verformungsverhaltens
  - 5.2 Empfehlungen zur Versuchsdurchführung
  - 5.3 Empfehlungen zur Auswertung von Verbunddeckenversuchen
    - 5.3.1 Sicherheitskonzept
    - 5.3.2 Teilverbundtheorie
    - 5.3.3 m+k-Verfahren
6. Zusammenfassung

## 1. Allgemeines

Durch das Institut für Bautechnik in Berlin wurde der Auftrag erteilt, durch Traglastversuche an Cofradal-Profilblechen mit relativ schlechten Verbundeigenschaften die m+k-Methode zu verbessern bzw. einzuschränken. Insbesondere ist zu untersuchen, welchen Einfluß die Plattendicke auf die Parameter m und k der EC4-Regelbemessung hat. Zusätzlich sollen Alternativen aufgezeigt und Empfehlungen zur Durchführung von Verbunddecken-Versuchen erarbeitet werden.

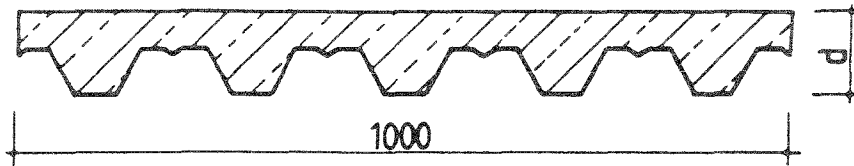
Es wurden insgesamt 10 Traglastversuche derart geplant und durchgeführt, daß die Resultate eine Ergänzung zu den bereits im SPRINT-Programm abgedeckten Ergebnisbereichen bilden. Für eine mittlere Plattendicke von  $d=16\text{cm}$  wurden Versuche mit langer (16LA und 16LB) und kurzer (16KA und 16KB) Schublänge gefahren. Ein möglicher Einfluß der Plattendicke  $d$  auf die Ergebnisse wurde durch Variation der Querschnittshöhe (11A, 11B, 20A und 20B) untersucht. Schließlich wurde an 2 Deckenplatten (16EA und 16EB) die Verbesserung des Tragverhaltens durch Endverankerungsmaßnahmen geprüft.

Die 6 Verbunddecken der 1. Versuchsserie wurden am 17.02.89 betoniert und in der Zeit vom 03.04.89 bis zum 14.04.89 getestet. Die 4 Decken der 2. Versuchsreihe, davon die beiden mit Endverankerung, wurden am 22.04.89 betoniert und vom 16.05.89 bis zum 18.05.89 geprüft.

## 2. Versuchsbeschreibung

### 2.1 Versuchskörper

Der Querschnitt der Versuchskörper ist in Bild 2.1 dargestellt. Sie bestehen aus 3.0m langen Profilblechen Cofradal 60/0.75mm mit einer Profilhöhe von 59mm und einer Nennblechdicke von 0.75mm incl. 0.04mm Verzinkung. Die Gesamtdicke  $d$  der Verbunddeckenplatten variiert zwischen 11 und 20cm.



Cofradal 60/0,75 mm

Bild 2.1: Querschnitt der Versuchskörper

Zwei 16cm dicke Versuchsplatten (16EA und 16EB) erhalten direkt über den Auflagern eine Endverankerung aus je 3 Kopfbolzendübeln  $\varnothing$  19mm gemäß Bild 2.2.

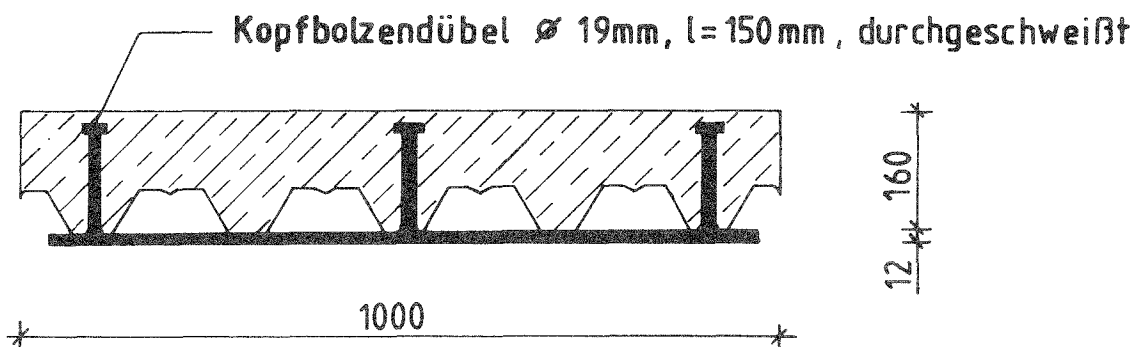


Bild 2.2: Schnitt durch Endverankerung (Versuche 16EA und 16EB)

## 2.2 Versuchsaufbau und Meßeinrichtung

Die Deckenstreifen werden durch 2 Einzellasten belastet, welche mit einem Zylinder über eine Lastverteilungskonstruktion aufgebracht werden.

Die Deckenversuche ohne Endverankerung werden mit einer 50kN-Lukaspresse gefahren, um die Versuche trotz der erwarteten, niedrigen Deckentraglasten möglichst genau steuern zu können.

Nur die beiden Decken mit Endverankerung werden mit einem servo-hydraulisch gesteuerten Prüfzylinder (Bauart Plunger der Firma MFL,  $F_{max}=1000kN$ ) belastet.

Die Zylinderkraft wird mit einer 250kN-Kraftmeßdose kontrolliert.

Zur Erfassung des Endschlupfes, der Mittendurchbiegung und der Lagerverformungen infolge der Nachgiebigkeit des Prüfrahmens werden induktive Wegaufnehmer gemäß Bild 2.3 angeordnet.

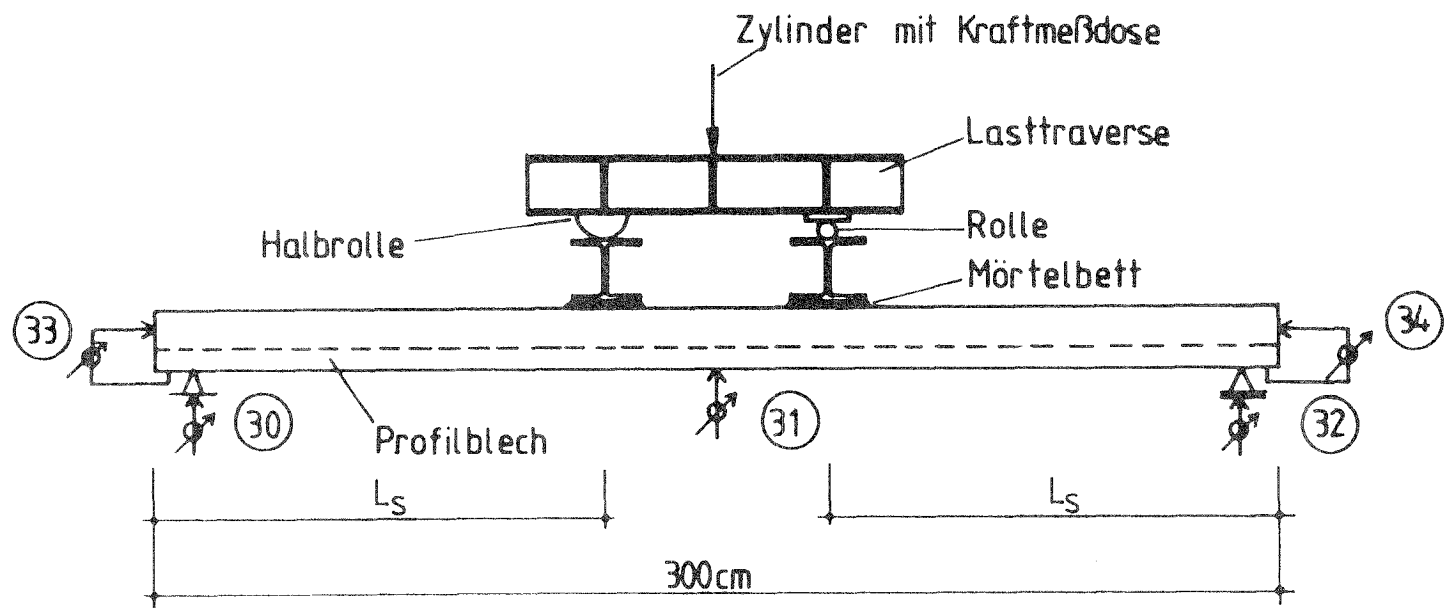
Zusätzlich werden bei jedem zweiten Deckenversuch (Versuche "B") Dehnungsmeßstreifen unter den Einzellasten und mitten zwischen Last und Auflager auf das Profilblech geklebt, und zwar je einer auf die Blechunterseite und einer in die Sicke.

Alle Meßdaten werden zur späteren Auswertung in einem Mikrocomputer gespeichert.

## 2.3 Versuchsdurchführung

Die Belastung wurde mit dem Prüfzylinder über eine Lastverteilungskonstruktion aufgebracht. Nach jeder Laststeigerung wurde mit der Messung solange gewartet, bis die Prüflast nicht mehr weiter abfiel. Das liefert die manchmal sogenannten "statischen Festigkeiten". Die Meßdaten aller Meßstellen wurden dann in einem Meßzyklus aufgezeichnet.

Um relativ frühzeitig den Haftverbund zwischen Stahlblech und Beton zu lockern und um den Beginn der Rißbildung im Beton zu beschleunigen, wurden bei jedem Versuch mindestens 20 Lastwechsel aufgebracht, bevor der eigentliche Traglastversuch gefahren wurde.



Meßstellen:

- (30) (32) Lagerverformung
- (31) Mittendurchbiegung
- (33) (34) Endschlupf

Bild 2.3: Versuchsaufbau und Meßeinrichtung



### 3. Meßergebnisse

#### 3.1 Materialkennwerte

Für die Zugversuche wurden aus den seitlich abgeschnittenen Blechrändern insgesamt 12 Zugproben entnommen und geprüft. Die Mittelwerte für Streckgrenze und Zugfestigkeit sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

Der Beton wurde als Transportbeton der Festigkeitsklasse B25 mit 16mm Größtkorn und Konsistenz K2 bestellt. An 3 Probewürfeln nach DIN 1048 wurde jeweils kurz vor dem Deckenversuch die mittlere Serienfestigkeit  $\beta_{ws}$  gemessen. Zusätzlich wurde ebenfalls an jeweils 3 Probewürfeln dreimal die Spaltzugfestigkeit des Betons ermittelt.

Stahlblech Cofradal 60/0.75mm	$\beta_s$	35.4 kN/cm <sup>2</sup>
	$\beta_z$	46.3 kN/cm <sup>2</sup>
Beton (Versuche 11A, 16LA)	$\beta_{ws}$	5.13 kN/cm <sup>2</sup>
Beton (Versuch 11B)	$\beta_{ws}$	5.07 kN/cm <sup>2</sup>
	$\beta_{sz}$	0.37 kN/cm <sup>2</sup>
Beton (Versuch 16LB)	$\beta_{ws}$	4.30 kN/cm <sup>2</sup> *
Beton (Versuche 16KA, 16KB)	$\beta_{ws}$	5.20 kN/cm <sup>2</sup>
	$\beta_{sz}$	0.40 kN/cm <sup>2</sup>
Beton (Versuche 20A, 20B)	$\beta_{ws}$	4.50 kN/cm <sup>2</sup>
Beton (Versuche 16EA, 16EB)	$\beta_{ws}$	4.33 kN/cm <sup>2</sup>
	$\beta_{sz}$	0.35 kN/cm <sup>2</sup>

Tabelle 3.1: Gemessene Werkstoffkennwerte

Für die Auswertung mit dem m+k-Verfahren wird die Würfeldruckfestigkeit in die Zylinderdruckfestigkeit wie folgt umgerechnet:

$$f_c = 0.85 \cdot \beta_{ws}$$

\* Dieses offensichtlich falsche Meßergebnis wird für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt. Für Versuch 16LB werden die Betonkennwerte von Versuch 11B übernommen.

### 3.2 Plattenabmessungen und Rißverteilung

In Tabelle 3.2 sind außer den tatsächlichen Querschnittsabmessungen auch die Schublänge  $L_S$  und der Riabstand vom Plattenende  $L_R$  aufgeführt.

Außerdem wird deutlich, daß das  $L_S/d$ -Verhältnis zwischen 4.0 und 10.5 variiert.

Test	Breite [mm]	d [mm]	$L_S$ (1) [mm]	$L_R$ (2) [mm]	$L_S/d$
11A	990	114	1200	1118	10,5
11B	989	114	1200	1234	10,5
16LA	981	160	1200	1390	7,5
16LB	980	160	1200	1483	7,5
16KA	980	162	650	941	4,0
16KB	980	162	650	1425	4,0
20A	989	202	1200	1383	5,94
20B	991	202	1200	1484	5,94
16EA	991	164	1200	1420	7,32
16EB	990	164	1200	1386	7,32

} mit End-  
Verankerung

- (1)  $L_S \hat{=}$  Schublänge  $\hat{=}$  Abstand Lasteinleitung - Plattenende  
(2)  $L_R \hat{=}$  Abstand Riß - Plattenende

Tabelle 3.2: Versuchsdaten

### 3.3 Versuchsergebnisse

#### 3.3.1 Zylinderkraft

Die Last-Durchbiegungs-Verläufe in Anhang A1 zeigen deutlich das spröde Verhalten der Cofradal-Verbunddecke ohne Endverankerung: zunächst steigt die Last-Verformungs-Kurve bis zur maximalen Prüflast  $P_u$  steil an (ein Zeichen für die steife Verdübelung vor der endgültigen Zerstörung des Haftverbundes), beim Auftreten des ersten Schlupfes fällt die Zylinderlast stark ab, bevor die Kurve schließlich bei größeren Relativverschiebungen noch einmal auf die Resttragfähigkeit  $P_R$  leicht ansteigt.

Für das Tragverhalten der Cofradal-Verbunddecke ohne Endverankerung sind also die beiden folgenden Laststufen für die Auswertung von Bedeutung:

$P_u \hat{=}$  maximale Zylinderlast

$P_R \hat{=}$  Resttragfähigkeit bei größeren Relativverschiebungen

Bei den Verbunddeckenplatten mit Endverankerung werden dagegen nach der Überschreitung der Haftfestigkeit durch den damit verbundenen Schlupf die Kopfbolzendübel zum Mittragen herangezogen. Die Last-Durchbiegungs-Kurve steigt mit wachsenden Verformungen deutlich bis zur Höchstlast an. Für dieses duktile Tragverhalten bei Endverankerung gilt:  $P_u = P_R$ .

Versuch	$P_u$ [kN]	$P_R$ [kN]	
11A	15.06	12.34	
11B	12.47	12.47	
16LA	21.89	12.15	
16LB	18.66	12.96	
16KA	43.00	24.80	
16KB	38.12	32.94	
20A	31.14	18.76	
20B	30.78	16.66	
16EA	34.58	34.58	] mit End- verankerung
16EB	29.94	29.94	

Tabelle 3.3: maximale Zylinderlast und Resttragfähigkeit

### 3.3.2 Durchbiegungen

Die Mittendurchbiegungen der Deckenstreifen korrigiert um die gemessenen Lagerverformungen sind im Anhang A1 für alle durchgeführten Versuche in Abhängigkeit von der Zylinderkraft dargestellt.

### 3.3.3 Endschlupf

Der gemessene Schlupf an beiden Deckenenden ist ebenfalls für alle Versuche im Anhang A1 in Abhängigkeit von der Prüflast aufgetragen.

Auch wir haben dabei die Erfahrung gemacht, daß man den tatsächlichen Schlupfbeginn eigentlich gar nicht genau messen kann.

### 3.3.4 Dehnungen des Profilbleches

Für die Versuche mit Dehnungsmeßstreifen (Versuche "B") sind im Anhang A1 für den Bereich unter der Lasteinleitung einige Last-Dehnungs-Verläufe gezeigt.

Zusätzlich sind für die Versuche 16LB (d=16cm, Ls=1.20m) und 16EB (d=16cm, Endverankerung, Ls=1.20m) die Dehnungsverläufe über die Blechlänge für die wichtigsten Laststufen aufgetragen.

#### 4. Vergleichsberechnungen und Auswertung

##### 4.1 Biegetragfähigkeit

Im folgenden werden die rechnerischen Traglasten unter Berücksichtigung des Eigengewichts  $g$  der Platte und  $G$  der Lasteinleitungskonstruktion für den Fall ermittelt, daß die vollplastischen Biegetragfähigkeiten erreicht werden könnten.

Die vollplastischen Momente der Verbundquerschnitte sind mit den Ist-Werten der Materialfestigkeiten berechnet.

$$M_{p1} = (P_{p1} + G) / 2 * a + g * l^2 / 8 \quad (4.1)$$

$$P_{p1} = 2 * (M_{p1} - g * l^2 / 8) / a - G \quad (4.2)$$

Versuch	$M_{p1}$ [kNm]	$a$ [m]	$l$ [m]	$G$ [kN]	$g$ [kN/m]	$P_{p1}$ [kN]	$P_{Ist}$ [kN]
11A	24.5	1.1	2.8	2.1	2.05	38.79	15.0
11B	24.5	1.1	2.8	2.1	2.05	38.79	12.5
16LA	39.3	1.1	2.8	2.1	3.19	63.67	21.9
16LB	39.0	1.1	2.8	2.1	3.16	63.18	18.7
16KA	39.6	0.55	2.8	3.18	3.21	129.38	43.0
16KB	39.6	0.55	2.8	3.18	3.21	129.38	38.1
20A	51.9	1.1	2.8	2.1	4.22	84.74	31.1
20B	51.9	1.1	2.8	2.1	4.23	84.73	30.8
16EA	40.2	1.1	2.8	2.17	3.29	65.06	34.6
16EB	40.2	1.1	2.8	2.17	3.28	65.08	29.9

Tabelle 4.1: Vergleich rechnerische Biegetragfähigkeit - maximale Prüflast

Die rechnerischen Traglasten werden deutlich unterschritten, d.h. die Verbundfestigkeit ist zu gering, um das vollplastische Moment aufbauen zu können. Es handelt sich also um ein typisches Teilverbundproblem, und zwar mit sprödem Versagen der Verbundfuge.

##### 4.2 Querkrafttragfähigkeit

Die rechnerische Querkrafttragfähigkeit der Profilblechstege beträgt mit den Ist-Werten der Materialfestigkeiten:

$$Q_{p1,a} = A_{steg} * \beta_s / 3^{0.5} = 89.8 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Die Versuchsergebnisse liegen deutlich niedriger, d.h. die Querkraft kann alleine durch das Profilblech aufgenommen werden.

#### 4.3 Auswertung mit Teilverbundtheorie

Zur Berücksichtigung der M-N-Interaktion im Stahlblech wurden mittels der Teilverbundtheorie die folgenden Diagramme mit den vorhandenen Querschnittsabmessungen und Materialkennwerten erstellt.

Dieses Verfahren ist an sich nur dann anwendbar, wenn wirklich duktiler Versagen vorliegt (was hier mit Ausnahme der Versuche mit Endverankerung nicht der Fall ist), doch liefert es bei der Auswertung mit Resttragfähigkeiten bei größeren Relativverschiebungen trotzdem relativ gute Ergebnisse, aus denen Bemessungswerte abgeleitet werden könnten.

##### 4.3.1 Versuche ohne Endverankerung

In Tabelle 4.2 werden aus den bereits in Tabelle 3.3 aufgeführten Resttragfähigkeiten unter Berücksichtigung der Eigenlasten von Decke und Lasteinleitungsstruktur die vorhandenen Momente an den Lasteinleitungsstellen berechnet.

Mit Hilfe der vorliegenden Teilverbunddiagramme lassen sich die entsprechenden Verdübelungsgrade und somit die Zugkräfte im Stahlblech bzw. Druckkräfte in der Betonplatte ermitteln. Schließlich erhält man die auf die Grundfläche bezogene Verbundfestigkeit aus folgender Beziehung:

$$\tau_u = N_u / (b * L_s) \quad (4.4)$$

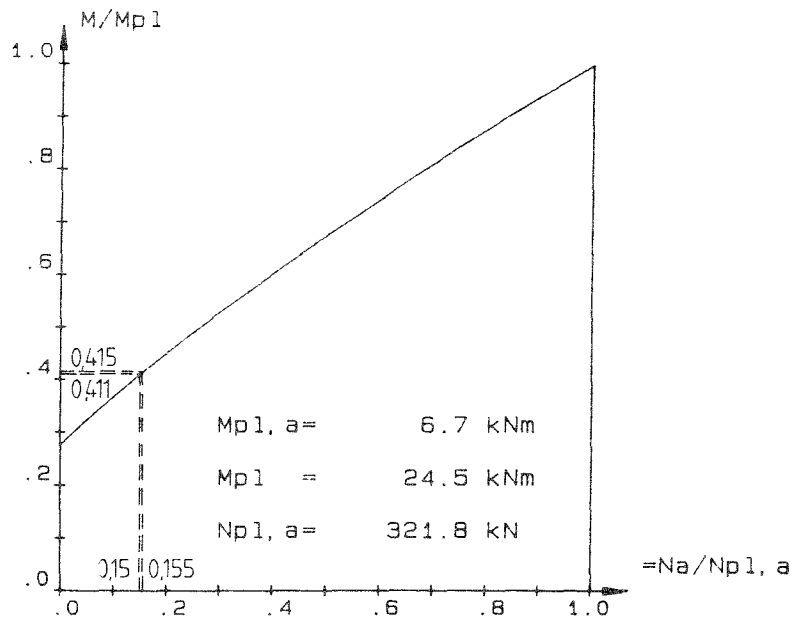
Die gleiche Auswertung, jedoch unter Betrachtung des Momentes an der jeweiligen Rißstelle, führt zu stark streuenden Werten für die Verbundfestigkeit und insgesamt zu einem überhöhten Mittelwert. Diese Berechnung und Vergleichswerte aus dem SPRINT-Programm sind im Anhang A3 aufgeführt.

##### 4.3.2 Versuche mit Endverankerung

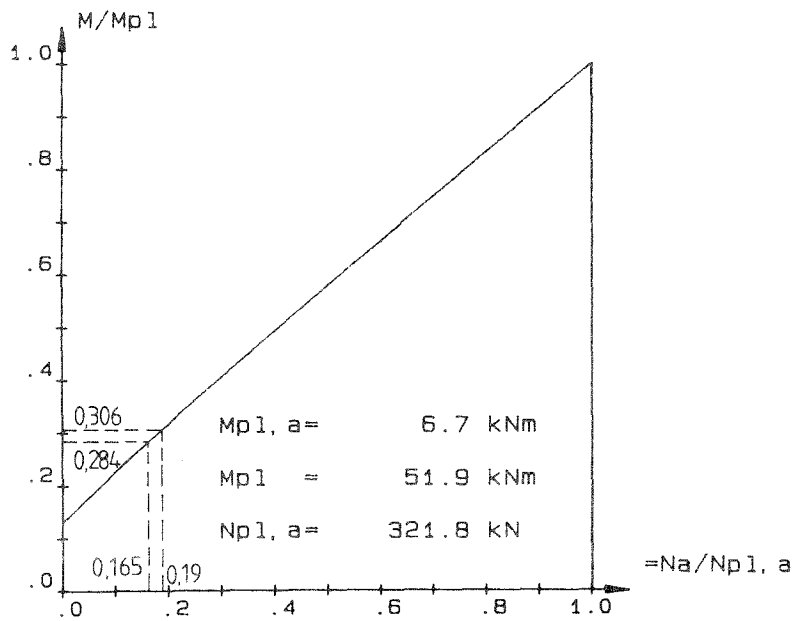
Für die Versuche mit Endverankerung wird in Tabelle 4.3 analog zu Kap. 4.3.1 die Zugkraft im Stahlblech ermittelt.

Vergleicht man die entsprechenden Versuche ohne zusätzliche Verankerungsmaßnahmen (16LA und 16LB) mit den Versuchen mit Endverankerung (16EA und 16EB), so wird deutlich, daß der Verdübelungsgrad von durchschnittlich 0.13 auf 0.45 gestiegen ist und damit eine deutliche Erhöhung der Tragfähigkeit erreicht wird.

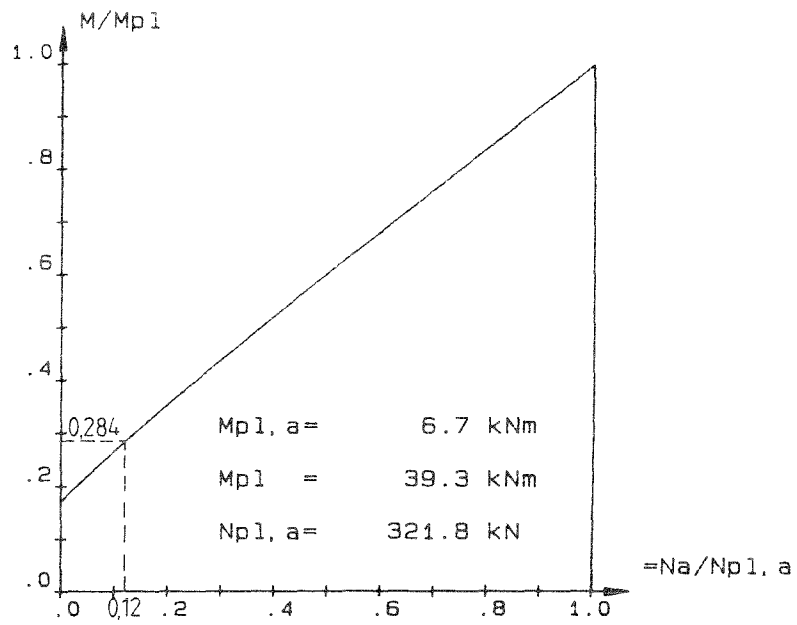
IfBt-Versuche 11A und 11B



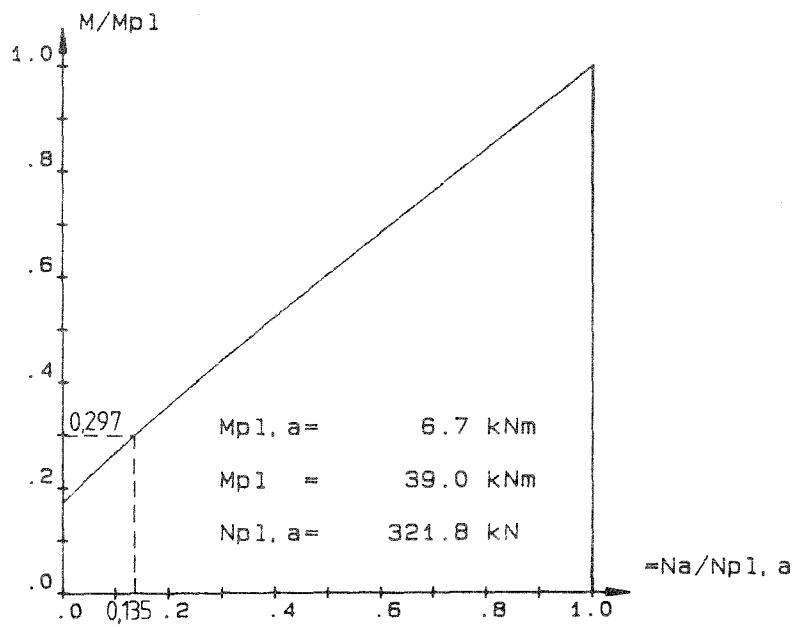
IfBt-Versuche 20A und 20B



IfBt-Versuch 16LA

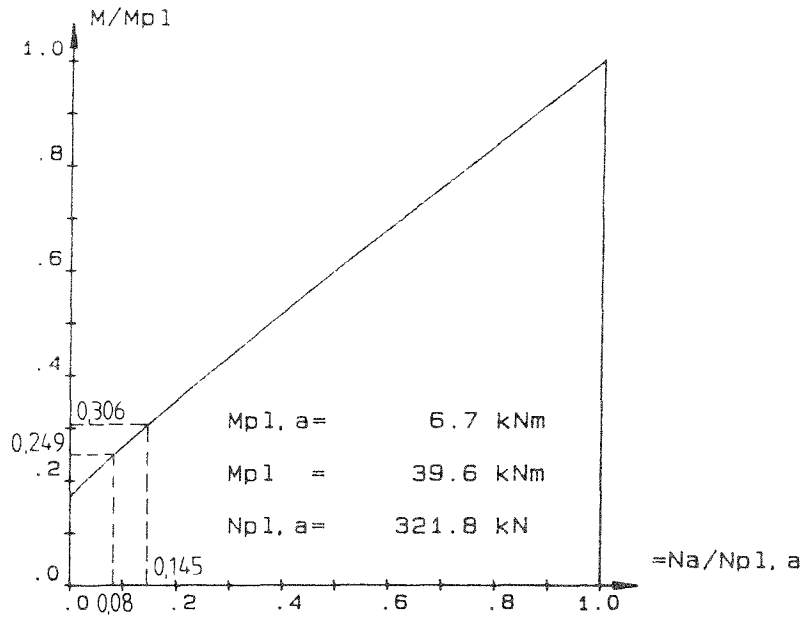


IfBt-Versuch 16LB



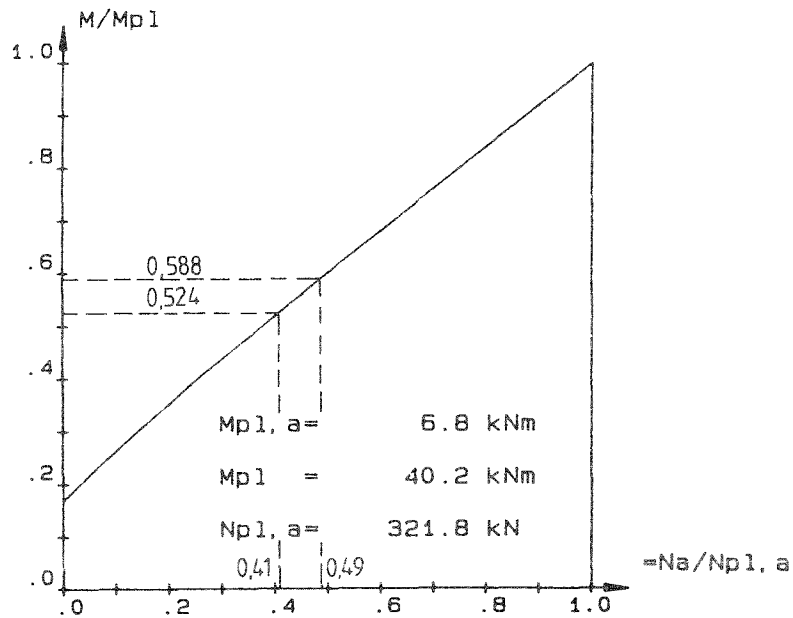


IfBt-Versuche 16KA und 16KB



IfBt-Versuche 16EA und 16EB

Versuche mit Endverankerung (3 Kopfbolzendübel 3/4")



Teilverbundtheorie

Test	$P_R$ (1) [kN]	G [kN]	g [kN/m]	$M_u$ (2) [kNm]	$\frac{M_u}{M_{pl}}$	$\eta$	$N_u$ [kN]	$L_S$ (3) [mm]	Breite [mm]	$\tau_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]
11A	12,34	2,1	2,05	10,08	0,411	0,15	48,27	1200	989	40,67
11B	12,47	2,1	2,05	10,16	0,415	0,155	49,88	1200	989	42,03
16LA	12,15	2,1	3,19	11,17	0,284	0,12	38,62	1200	982	32,77
16LB	12,96	2,1	3,16	11,59	0,297	0,135	43,44	1200	980	36,94
16KA	24,80	3,18	3,21	9,86	0,249	0,08	25,74	650	980	40,41
16KB	32,94	3,18	3,21	12,10	0,306	0,145	46,66	650	980	73,25
20A	18,76	2,1	4,22	15,88	0,306	0,19	61,14	1200	989	51,52
20B	16,66	2,1	4,23	14,74	0,284	0,165	53,10	1200	991	44,65
										∅ 45,28

(1)  $P_R$   $\hat{=}$  Resttragfähigkeit bei größeren Relativverschiebungen

(2)  $M_u$   $\hat{=}$  Versagensmoment an der Lasteinleitung

(3)  $L_S$   $\hat{=}$  Schublänge

Tabelle 4.2: Teilverbundtheorie

Mit der mittleren Verbundfestigkeit aus Tabelle 4.2 wird der Normalkraftanteil  $N_{verb}$ , der in der Verbundfuge übertragen wird, und damit auch der Anteil  $N_{end}$ , der über die Endverankerung eingeleitet wird, ermittelt.

Vers.	$P_u$ [kN]	$M_u$ [kNm]	$M_u$ $M_{p1}$	$\eta$	$N_u$ [kN]	$L_s$ [mm]	$b$ [mm]	$N_{verb}$ [kN]	$N_{end}$ [kN]	$N_{dü}$ [kN]
16EA	34.57	23.65	0.588	0.49	157.7	1200	991	53.8	103.9	34.6
16EB	29.94	21.07	0.524	0.41	131.9	1200	990	53.8	78.1	26.0

$$\text{mit: } N_{verb} \hat{=} \tau_u * L_s * b \quad \text{und} \quad \tau_u = 45.3 \text{ kN/m}^2 \quad (4.5)$$

$$N_{end} \hat{=} N_u - N_{verb} \quad (4.6)$$

$$N_{dü} \hat{=} N_{end} / n_{dü} \quad \text{und} \quad n_{dü} = 3 \quad (4.7)$$

Tabelle 4.3: anteilige Normalkraftübertragung

#### 4.4 Auswertung mit dem m+k-Verfahren

In Tabelle 4.4 wird die Versagenslast  $V_t$  ( $\hat{=} \max Q$ ) aus der maximalen Zylinderlast und dem Eigengewicht von Decke und Lasteinleitungskonstruktion ermittelt. Als Schublänge gilt analog zum EC4 der Abstand zwischen konzentrierter Lasteinleitung und Plattende.

In Bild 4.1 wird  $Y = V_t / (b * d_s * \sqrt{f_c})$  über  $X = A_s / (b * L_s * \sqrt{f_c})$  für alle Versuche ohne Endverankerung unter Angabe der vorhandenen Plattendicken aufgetragen. Die entsprechenden Werte aus dem SPRINT-Programm werden ebenfalls in dieses Diagramm aufgenommen.

In Bild 4.2 sind die Resultate einer statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse aufgetragen (Die statistische Auswertung ist in Anhang A2 ausführlich dargelegt.). Zunächst wurde mittels linearer Einfach-Regression eine Gerade durch die Versuchsergebnisse gelegt, und dann wurden nach [1] die charakteristischen Werte für  $Y$  ermittelt, beides jeweils einmal nur für die in Kaiserslautern durchgeführten Tests und einmal für alle uns bekannten, bisher mit dem Cofradal-Blech durchgeführten Versuche.

In Bild 4.3 sind charakteristische Werte dargestellt, die durch Abminderung des minimalen  $Y$ -wertes gleichartiger Versuche um 10% analog zum EC4 ermittelt werden. Zum anschaulichen Vergleich sind zusätzlich noch die charakteristischen Geraden der statischen Auswertung aus Bild 4.2 in das Diagramm aufgenommen.

[1] Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten des IfBt

m + k - Verfahren

Test	$P_u$ (1) [kN]	G [kN]	g [kN/m]	$V_t$ (2) [kN]	b [mm]	d [mm]	$d_s$ [mm]	$L_s$ (3) [mm]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$y = \frac{V_t}{b \cdot d_s \cdot \sqrt{f_c}}$ [10 <sup>-3</sup> ]	$x = \frac{A_s}{b \cdot L_s \cdot \sqrt{f_c}}$ [10 <sup>-3</sup> ]	charakt. Wert (min. 10%) [10 <sup>-3</sup> ]
11A	15,0	2,1	2,05	11,63	989	114	78	1200	910	43,61	22,83	0,116	-
11B	12,5	2,1	2,05	10,38	989	114	78	1200	910	43,10	20,50	0,117	18,45
16LA	22,0	2,1	3,19	16,84	982	161	125	1200	910	43,61	20,77	0,117	-
16LB	18,7	2,1	3,16	15,14	980	160	124	1200	910	43,10	18,98	0,118	17,08
16KA	43,0	3,18	3,21	27,91	980	162	126	650	910	44,20	34,00	0,215	-
16KB	38,1	3,18	3,21	25,46	980	162	126	650	910	44,20	31,01	0,215	27,91
20A	31,1	2,1	4,22	22,93	989	202	166	1200	910	37,40	22,84	0,125	-
20B	30,8	2,1	4,23	22,80	991	202	166	1200	910	37,40	22,66	0,125	20,39

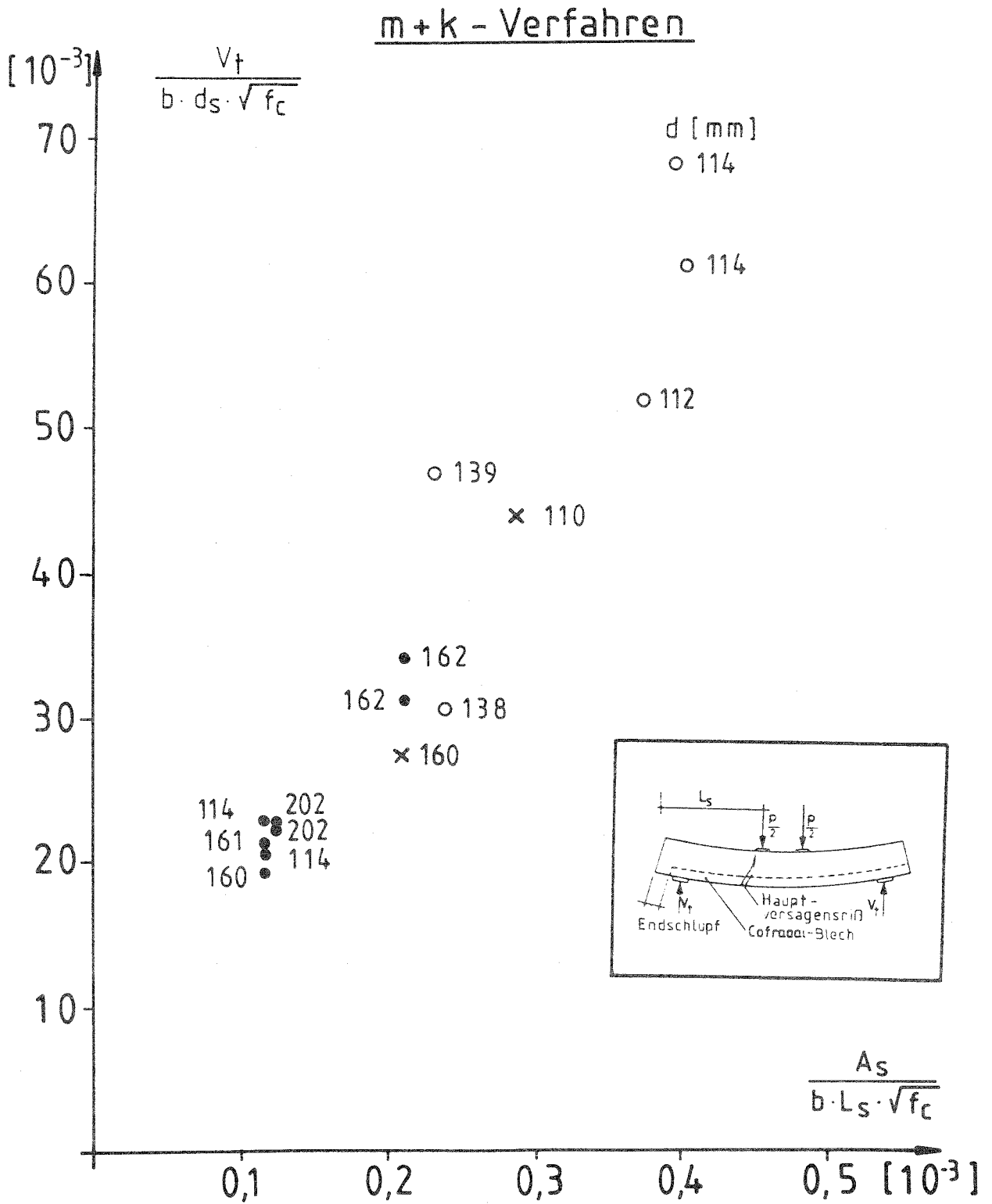
(1)  $P_u$   $\hat{=}$  maximale Zylinderlast

(2)  $V_t$   $\hat{=}$  Versagenslast incl. Eigengewicht g und Lasteinleitungsstruktur G

(3)  $L_s$   $\hat{=}$  Schublänge

Tabelle 4.4: m+k-Verfahren

Bild 4.1:



- Kaiserslautern
- × TNO
- Salford

Bild 4.2:

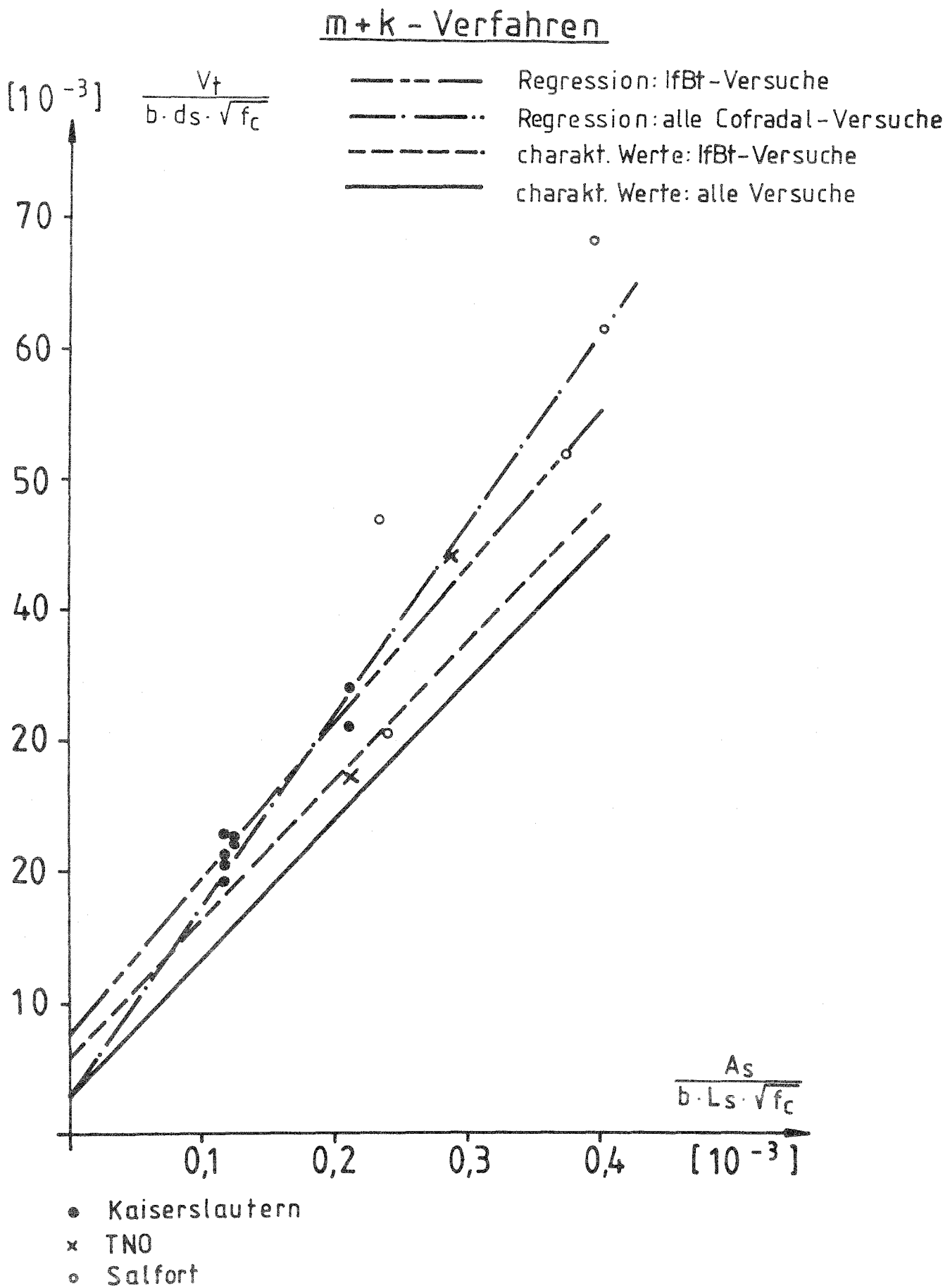
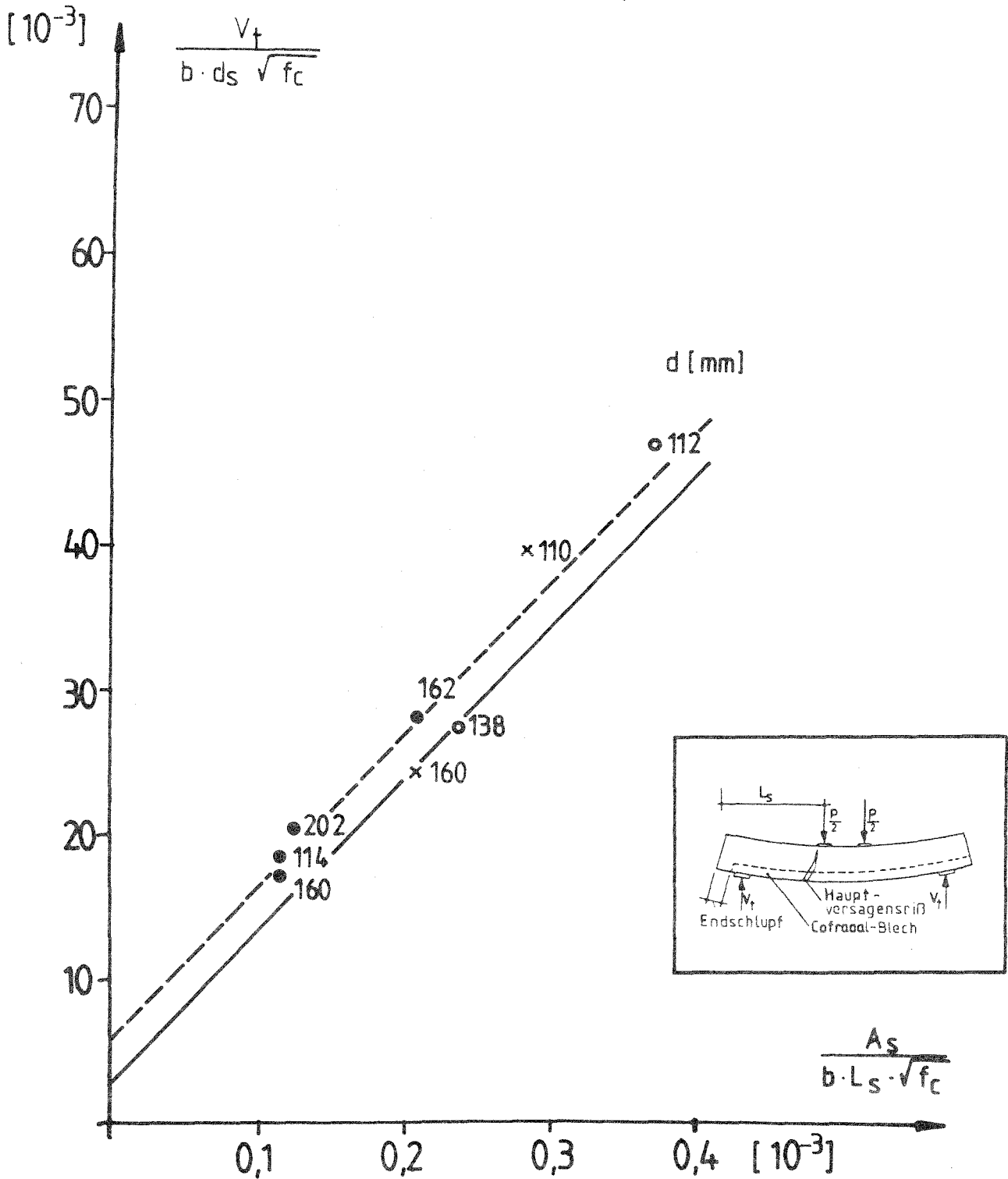


Bild 4.3:

## m + k - Verfahren

(charakt. Werte nach EC 4 (Minimum -10%) im Vergleich zu den charakteristischen Geraden aus Bild 4.2)



● Kaiserlautern

× TNO

● Salford

Ein signifikanter Einfluß der Plattendicke auf die Parameter  $m$  und  $k$  läßt sich hier nicht feststellen. Natürlich trägt die dickere Platte mehr, was die  $m+k$ -Methode auch berücksichtigt. Allerdings dürften die Parameter  $m$  und  $k$  selbst von der Plattendicke abhängig sein, was im EC4 nicht berücksichtigt wird. Für duktilen Versagen mit ausreichend großem Schlupf in der Verbundfuge läßt sich das auch formelmäßig zeigen. Das Diagramm Bild 4.3 gibt dies etwas vereinfacht, aber ganz anschaulich wieder:

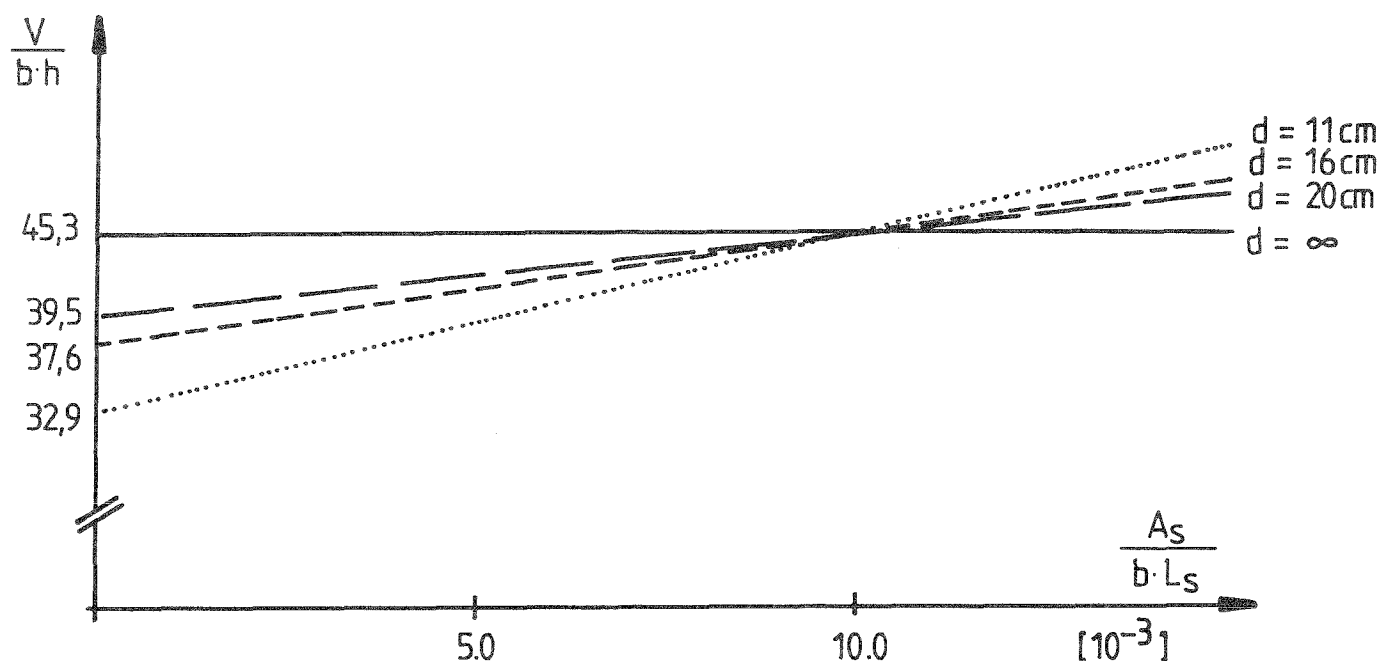


Bild 4.3: Einfluß der Plattendicke nach Art der  $m+k$ -Methode

Wölfel hat dies ebenfalls für linear-elastisches Verhalten mit unvollständigem Zusammenwirken zeigen können.

Bei der Anwendung der  $m+k$ -Methode erfolgt die Auswertung jedoch mit dem Spitzenwert der Belastung vor oder bei Beginn des Endschlupfes. Danach fällt die Traglast der Cofradal-Decken ohne Endverankerung stark ab. Dieses Versagen ist spröde, und der Einfluß der Plattendicke auf die Parameter  $m$  und  $k$  dürfte kleiner sein als bei unvollständigem Zusammenwirken mit deutlichem Schlupf in der Verbundfuge.

Weitere Auswertungen der Versuchsergebnisse an der Rißstelle oder mit der Resttragfähigkeit bei größeren Relativverschiebungen führen zu stärker streuenden Ergebnissen (s.a. Anhang A3).



## 5. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

### 5.1 Verbesserung des Trag- und Verformungsverhaltens

Die Last-Durchbiegungs-Verläufe in Anhang A1 zeigen deutlich das spröde Verhalten der Cofradal-Verbunddecke, d.h. es bleibt nach der Zerstörung des unzuverlässigen Haftverbundes mit deutlichem Lastabfall nur noch eine geringe Resttragfähigkeit erhalten. Offensichtlich ist die Verzahnung zwischen den schrägen Stegsicken und dem Rippenbeton nach Überschreiten des Haftverbundes relativ wenig wirksam. Das liegt daran, daß bei diesem offenen Trapezprofilblech ohne Hinterschnitt eine vertikale Trennung zwischen Beton und Blech stattfinden kann. Dadurch wird der Gleitwiderstand (overriding resistance) reduziert. Das zeigt sich im übrigen auch darin, daß weder der Beton unmittelbar an den Sicken noch die Stahlblechsicken selbst nach Beendigung der Versuche sichtbar beschädigt oder verformt waren.

Durch zusätzliche Endverankerungsmaßnahmen (wie bei den Versuchen 16EA und 16EB) können die Verbundeigenschaften soweit verbessert werden, daß nicht nur der Verdübelungsgrad deutlich ansteigt (s. a. Teilverbunddiagramme in Kap. 4.3), sondern auch die Versagenslast gegenüber vergleichbaren Decken ohne Endverankerung (16LA, 16LB) durchschnittlich um 37% zunimmt. Vergleicht man die Resttragfähigkeiten bei größeren Relativverschiebungen, so liegt der Zuwachs sogar bei durchschnittlich 61%.

In der Anwendung kann durch das direkte Durchschweißen von Kopfbolzendübeln durch das Profilblech auf den Träger eine deutliche Erhöhung der Tragfähigkeit und der Duktilität auch von Verbunddecken mit unbefriedigenden Verbundeigenschaften erzielt werden, wie das hier beim Cofradal-Blech der Fall ist.

### 5.2 Empfehlungen zur Versuchsdurchführung

Versuche sollten grundsätzlich weggeregelt gefahren werden, da nur so das vollständige Tragverhalten bei Laststeigerung bis zur Traglast beobachtet werden kann. Man erhält dann als Last-Durchbiegungs-Verlauf nicht nur die monoton steigende Kurve bis zur Traglast, sondern den Schlupfbeginn am linken und rechten Plattenende, den damit verbundenen, mehr oder weniger deutlichen Lastabfall und die Resttragfähigkeit mit zunehmendem Schlupf in der Verbundfuge. Das alles ist zur Beurteilung des gesamten Trag- und Versagensverhaltens sehr interessant und wichtig.

Das Blech sollte "wie angeliefert" verwendet werden; es weist im allgemeinen also einen Schmierfilm aus der Profilierung auf.

Grundsätzlich wichtig ist die dynamische Vorbelastung, die zusammen mit dem eventuellen Schmierfilm zu einer frühzeitigen Zerstörung des unzuverlässigen Haftverbundes und damit zur alleinigen Wirkung der mechanischen Verdübelung führen wird. Dem anfänglichen Peakwert wird somit die unzuverlässige Spitze genommen. Ob dann Rißeinleitungsbleche erforderlich sind, wagen wir zu bezweifeln.

Es sollten 6 Verbunddeckenversuche für eine Plattendicke gefahren werden, und zwar nicht wie im EC4 nur mit den beiden Schublängen A und B, sondern möglichst im gesamten  $L_s$ -Bereich mit

- min  $L_s = 4d$ , da sonst bei der Auswertung mit dem m+k-Verfahren die Verbundfestigkeit bei auflagennahen Lasten überschätzt würde.
- max  $L_s$  so, daß noch Horizontalschubversagen stattfindet.

Die Belastung sollte mit 2 Einzellasten aufgebracht werden (damit ist auch die Schublänge  $L_s$  eindeutig bestimmt).

Bei Anwendung des m+k-Verfahrens auf andere Plattendicken sollten mindestens 4 weitere Versuche durchgeführt werden, um den Einfluß der Plattendicke auf das Tragverhalten abschätzen zu können. Das ist dann von besonderer Wichtigkeit, wenn Platten mit duktilem Versagen untersucht werden. In diesen Fällen kann das Profilblech zusätzlich zur Zugkraft auf Biegung beansprucht werden, bis es vollplastisch ausgenutzt ist oder örtlich beult. Daraus ergibt sich eine höhere Plattentragfähigkeit, die aber nicht auf das Konto einer höheren Verbundfestigkeit geht.

Bei Auswertung der Versuche nach der m+k-Methode darf auf keinen Fall gestattet werden, lediglich Versuche mit kleiner Plattendicke und kurzer Schublänge und Versuche mit großer Plattendicke und langer Schublänge durchzuführen (siehe Bild 4.3).

### 5.3 Empfehlungen zur Auswertung von Verbunddeckenversuchen

#### 5.3.1 Sicherheitskonzept

Wir müssen zwischen der Last bei beginnendem Endschlupf und der Tragfähigkeit bei größeren Relativverschiebungen unterscheiden. Im Falle von duktilem Tragverhalten mit guten Verbundeigenschaften wird letztere den Maximalwert bilden. Verbunddecken mit sprödem Versagen - wie die Cofradal-Decke - weisen eine wesentlich geringere Resttragfähigkeit gegenüber dem anfänglichen Peakwert auf.

Wird das Versuchsergebnis mit diesem Peakwert (kein oder beginnender Endschlupf) ausgewertet (m+k-Verfahren), so sollte der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_m$  mindestens 1.50 betragen.

Liegt duktiler Trag- und Versagensverhalten vor (was genauer definiert werden müßte), werden also Maximalwerte bei größeren Relativverschiebungen oder Resttragfähigkeiten benutzt, so kann der Teilsicherheitsbeiwert auf  $\gamma_m = 1.25$  reduziert werden; sowohl das m+k-Verfahren als auch die Teilverbundtheorie sind dann anwendbar.

### 5.3.2 Teilverbundtheorie

Der Teilverbundtheorie liegt ein verständliches mechanisches Modell zugrunde und erlaubt einfache Traglastberechnungen, auch für unterschiedliche Spannweiten, Deckenstärken, Stahlarten und Betonfestigkeiten. Auch Endverankerungselemente und zusätzliche Bewehrungsstäbe können in die Teilverbundberechnungen mit eingeschlossen werden.

Zur Anwendung der Teilverbundtheorie muß duktiler Tragverhalten vorliegen. Spröde Peaks in der Last-Verformungs-Kurve können nicht berücksichtigt werden, sondern nur Tragfähigkeiten bei ausreichend großen Relativverschiebungen zwischen Aufbeton und Profilblech.

### 5.3.3 m+k-Verfahren

Bei der m+k-Methode nach EC4 können sich infolge der Reduktion des Minimalwertes der Ergebnisse jeder Versuchsgruppe um 10% bei Decken mit schlechten Verbundeigenschaften, deren Versuchsergebnisse evtl. stark streuen, in der Bemessung negative Werte für k ergeben, da das gesamte Niveau abgesenkt wird. Negative k-Werte, die mechanisch unsinnig sind, können aber auch dadurch auftreten, daß man die Neigung der Geraden durch die Wahl der Schublänge der durchzuführenden Versuche beeinflussen kann.

Wir schlagen dagegen eine statistische Auswertung der vorhandenen Versuchsergebnisse vor (s. a. Bild 4.2 und Anhang A2), um realistischere Werte für die Tragfähigkeit zu erhalten. Der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_m$  richtet sich dann trotzdem nach der Versagensart.

## 6. Zusammenfassung

Es wurden 10 Traglastversuche mit Cofradal-Verbunddecken unterschiedlicher Plattendicke durchgeführt, davon 2 mit Endverankerung.

Es zeigte sich, daß das an sich spröde Trag- und Versagensverhalten der Cofradal-Decke durch eine Endverankerung mit durchgeschweißten Kopfbolzendübeln an den Blechenden deutlich verbessert werden kann. Erst dadurch wird man unserer Meinung nach in die Lage versetzt, die Cofradal-Decke allgemein bauaufsichtlich zuzulassen, ohne die zulässigen Lasten nennenswert reduzieren zu müssen.

Die Auswertung der durchgeführten Versuche wurde sowohl mit der Teilverbundtheorie als auch mit dem m+k-Verfahren durchgeführt, wobei das m+k-Verfahren durch eine zeitgemäße (richtige) statistische Auswertung der Versuchsergebnisse ergänzt und verbessert wurde.

Für die Bemessung wird im Falle der Ausnutzung spröder Peakwerte der Last-Verformungs-Kurve die Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_m$  auf mindestens 1.50 empfohlen.

Auf eine dynamische Vorbelastung sollte man - im Gegensatz zum EC4-Entwurf - auf keinen Fall verzichten.

Wünschenswert sind natürlich Verbunddecken mit duktilem Trag- und Versagensverhalten. Beim Cofradal-Typ läßt sich das durch zusätzliche Endverankerungen erreichen (Es sei angemerkt, daß diese Endverankerung in den angelsächsischen Ländern ohnehin vorhanden ist, da die Kopfbolzen des Trägerverbundes in der Regel durch die Bleche hindurchgeschweißt werden!). Ansonsten wird eine gute Duktilität verbunden mit hoher Horizontalschubtragfähigkeit mit hinterschnittenen Profilblechen mit zusätzlichen Noppen oder Sicken erreicht: die Trennung in der Verbundfuge ist dann wirksam verhindert und der Verschiebewiderstand entsprechend groß, und das auch bei deutlich sichtbarem Endschlupf.

..... H. Bode .....

Prof. Dr.-Ing. H. Bode

(Leiter)

..... I. Storck .....

Dipl.-Ing. I. Storck

(Sachbearbeiterin)

A N H A N G    A 1

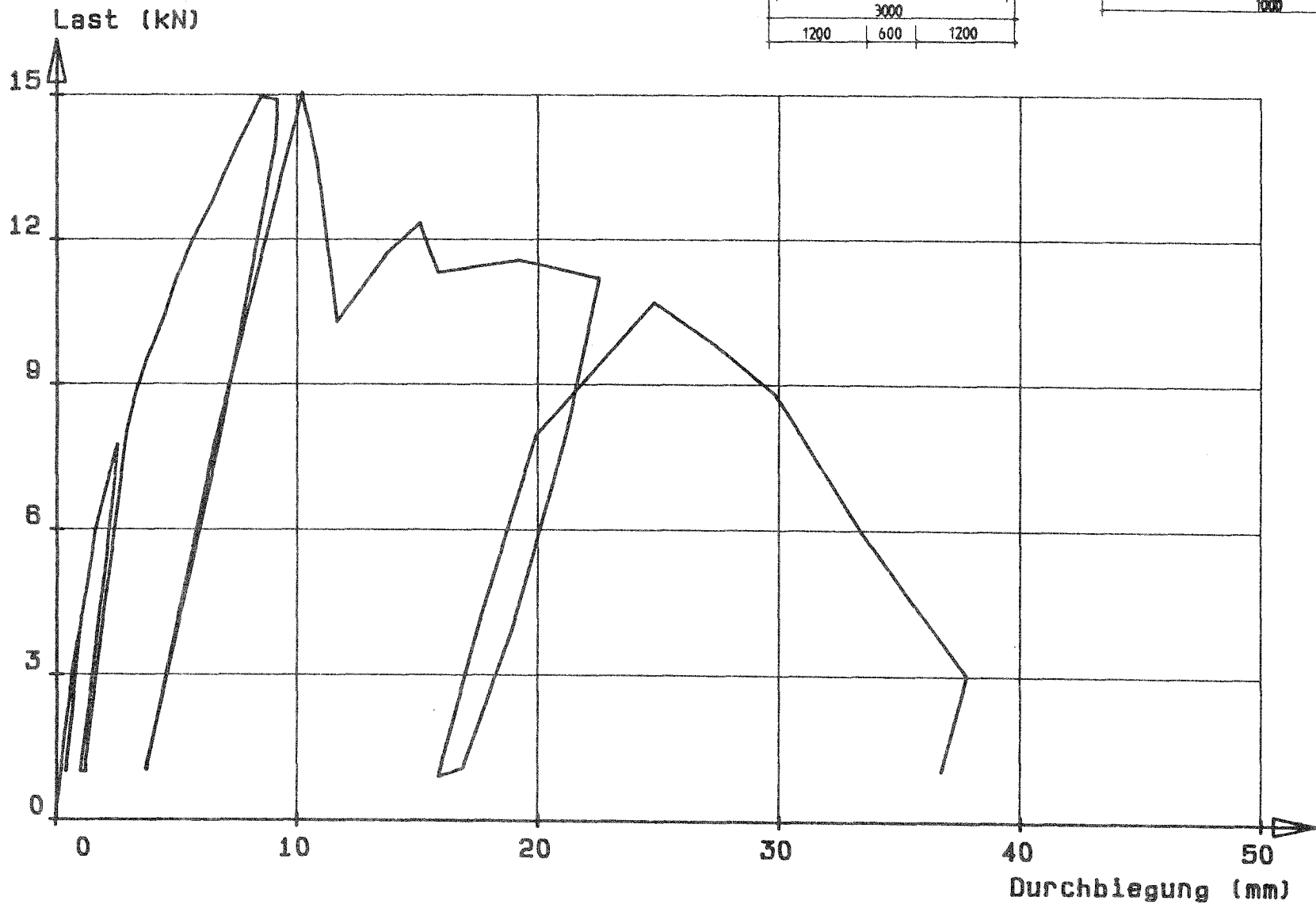
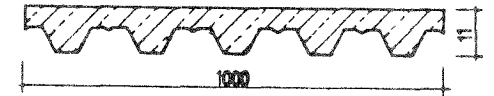
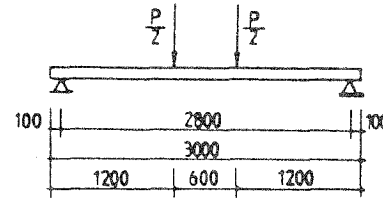
Plots:        Last-Durchbiegungs-Verläufe

              Last-Schlupf-Verläufe

              Last-Dehnungs-Verläufe

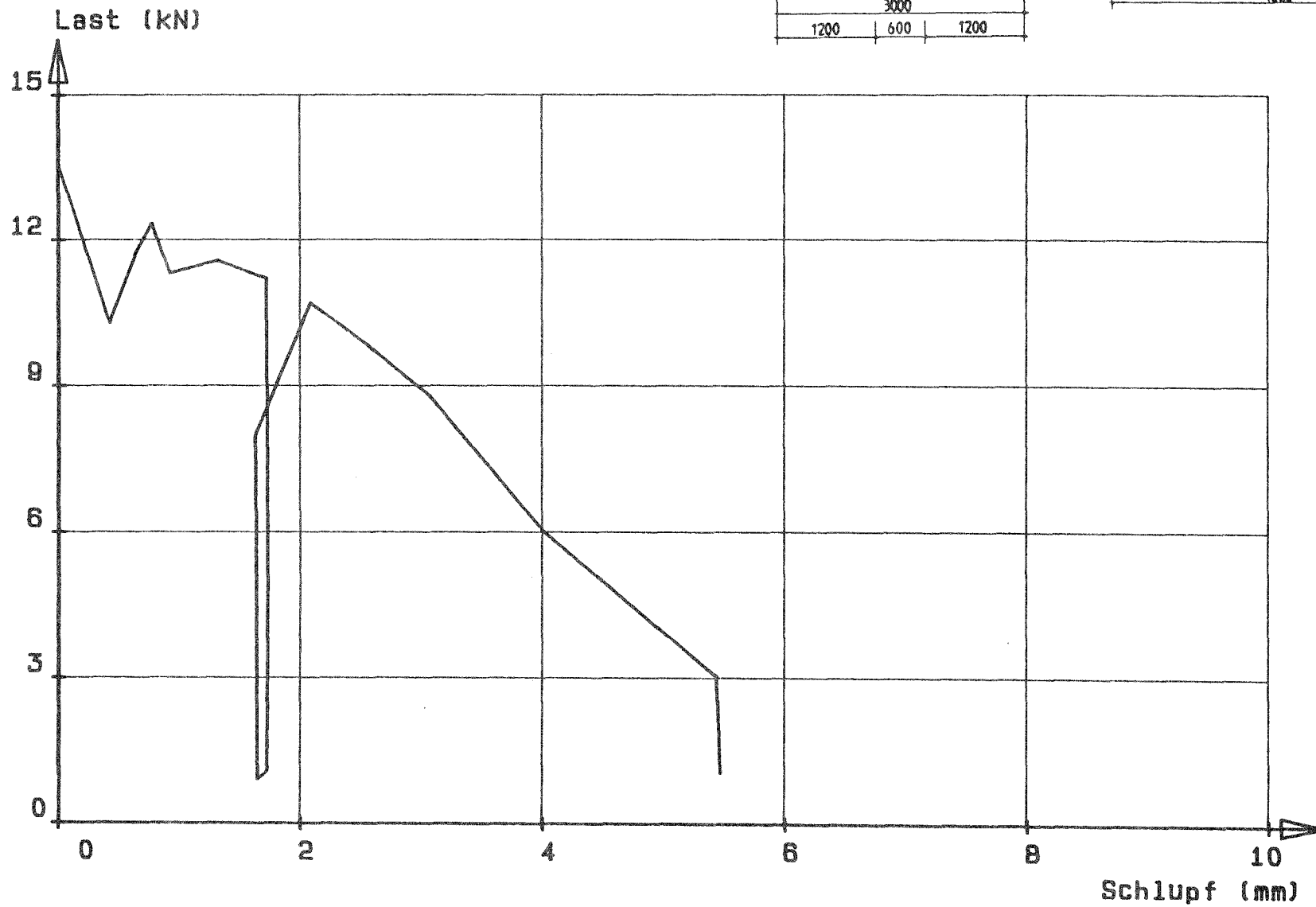
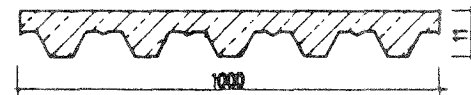
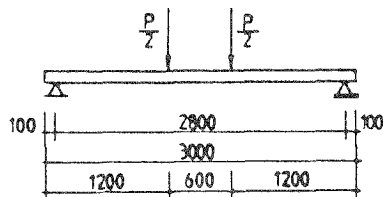
Diagramme: Dehnungsverläufe über die Blechlänge

# IfBt-Versuch 11A



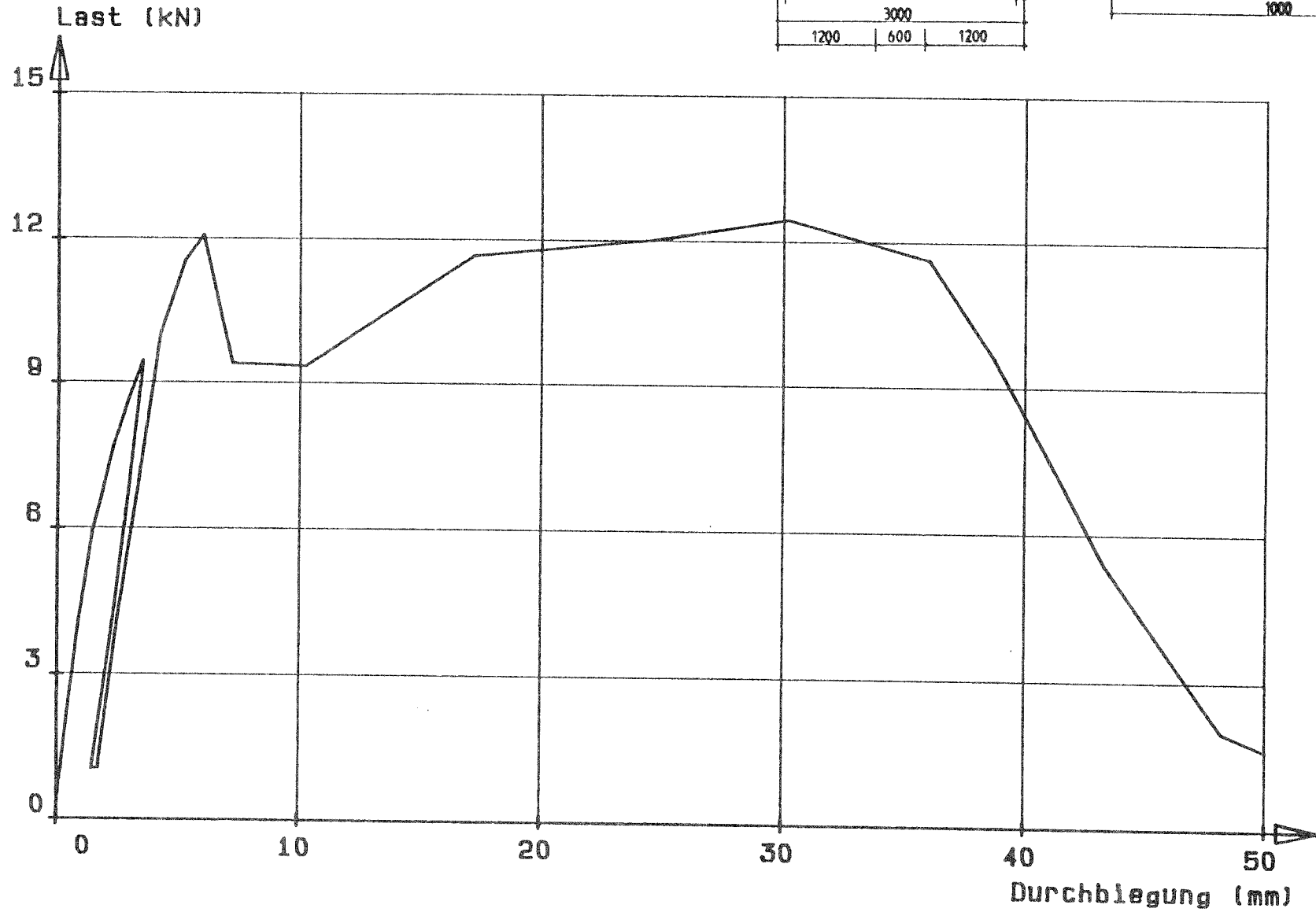
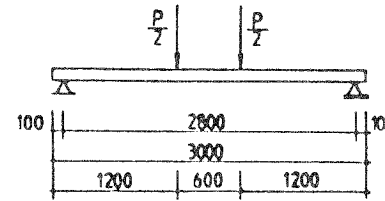
A1.1

# IfBt-Versuch 11A



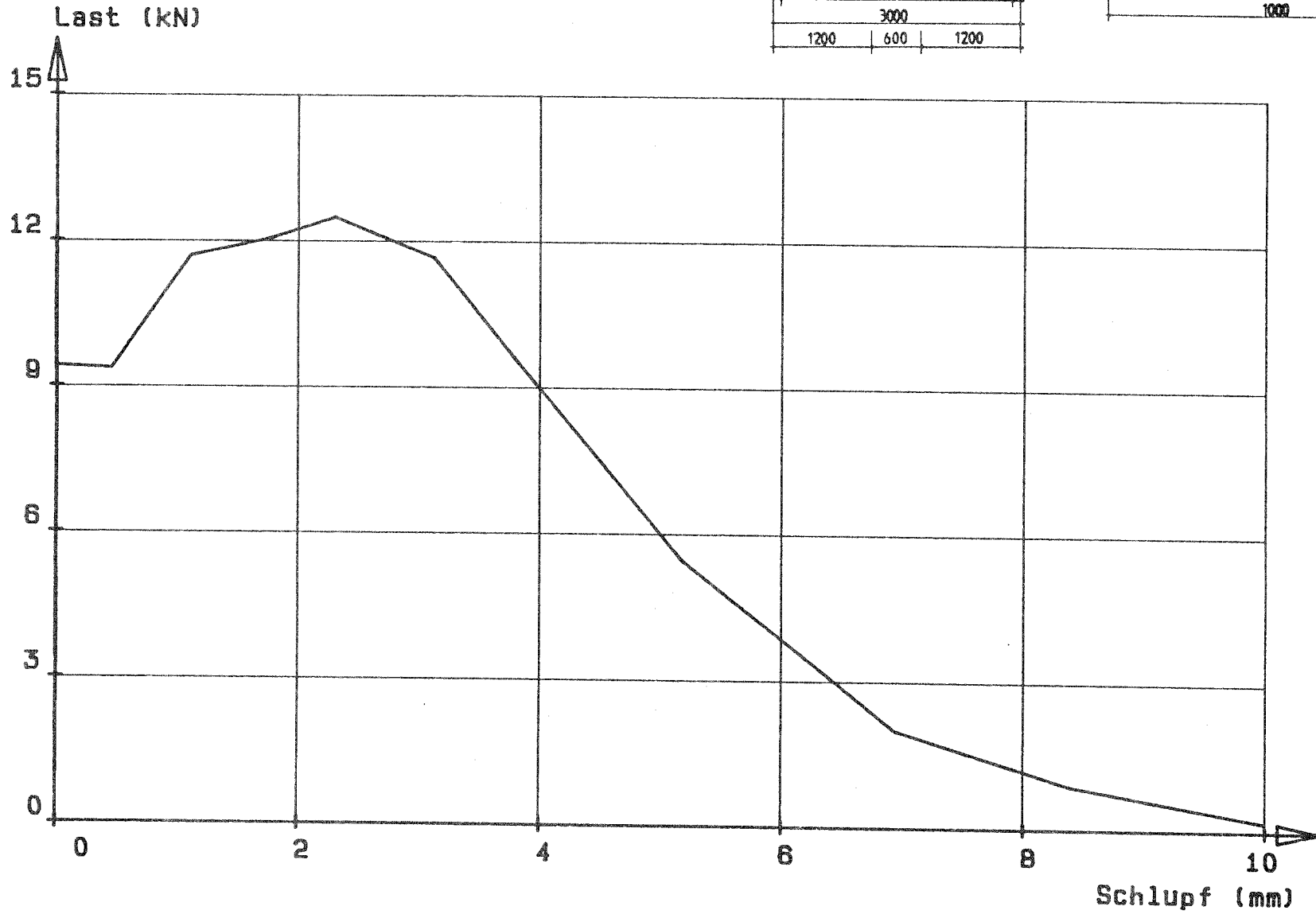
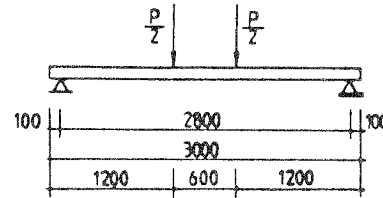
A1.2

# IfBt-Versuch 118

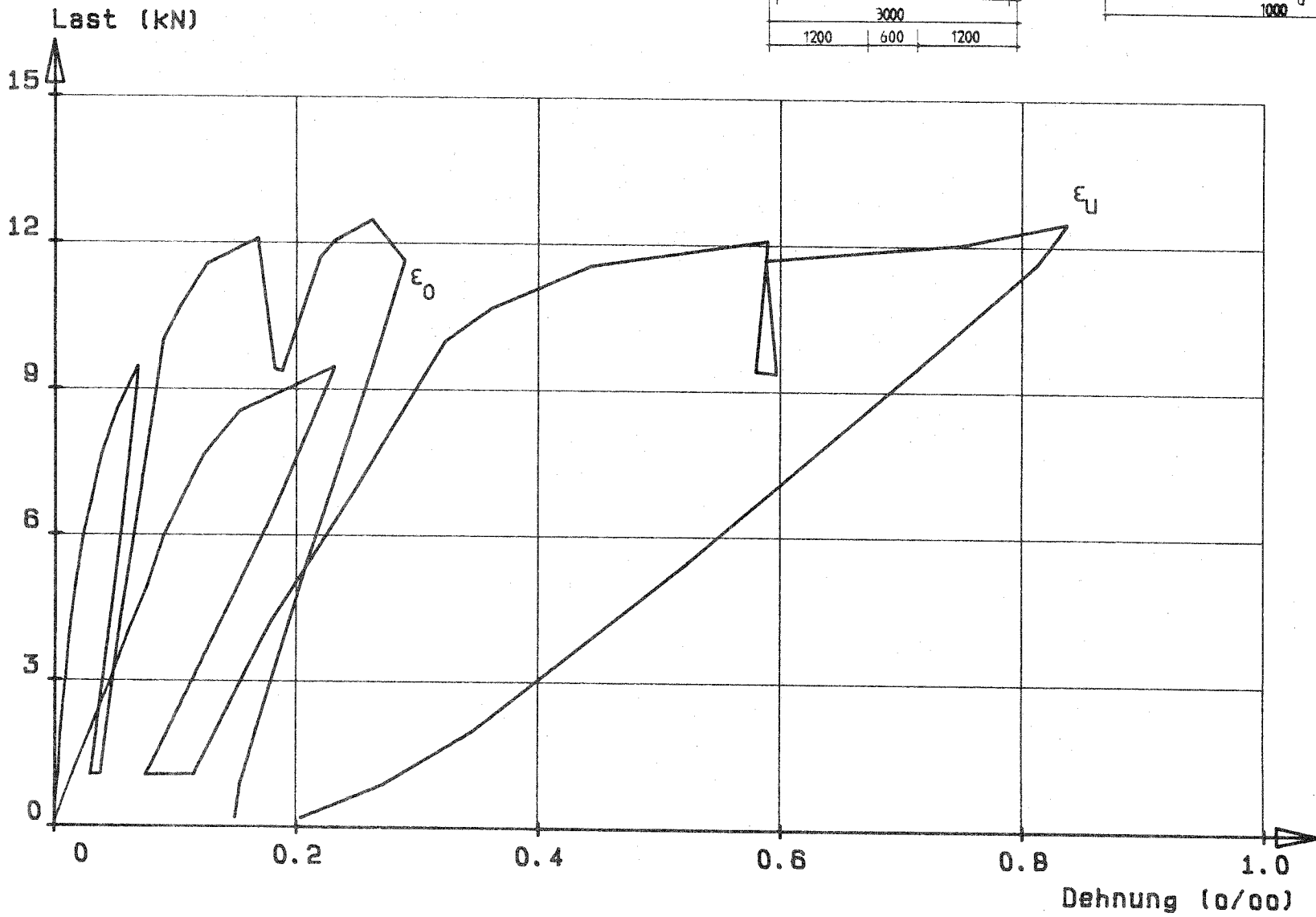
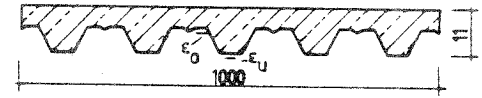
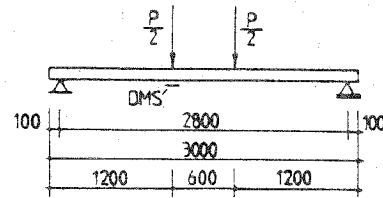




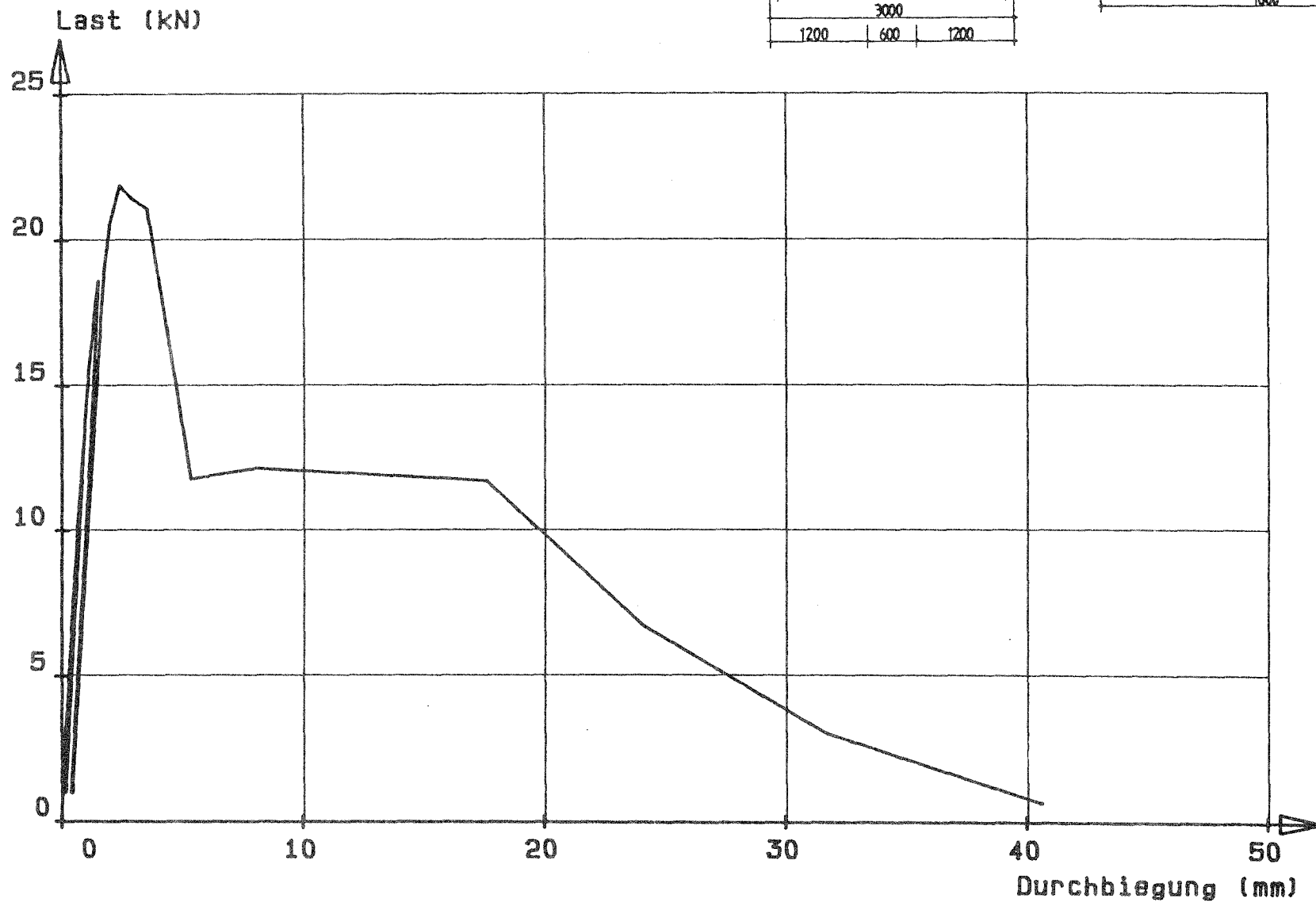
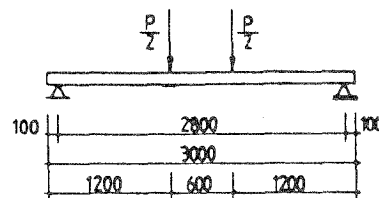
# IfBt-Versuch 118



IfBt-Versuch 118

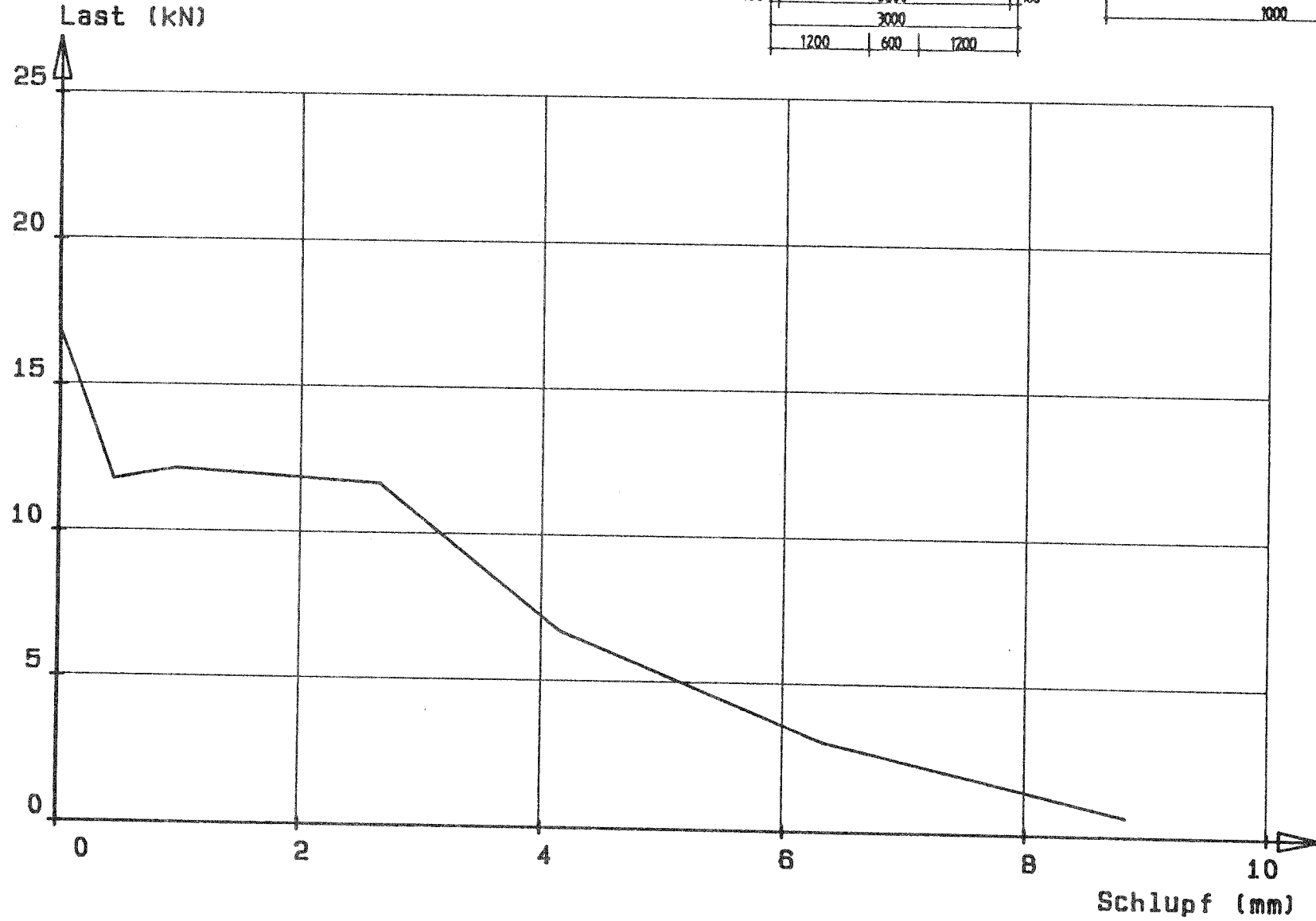
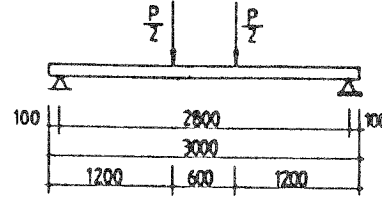


# IfBt-Versuch 16LA



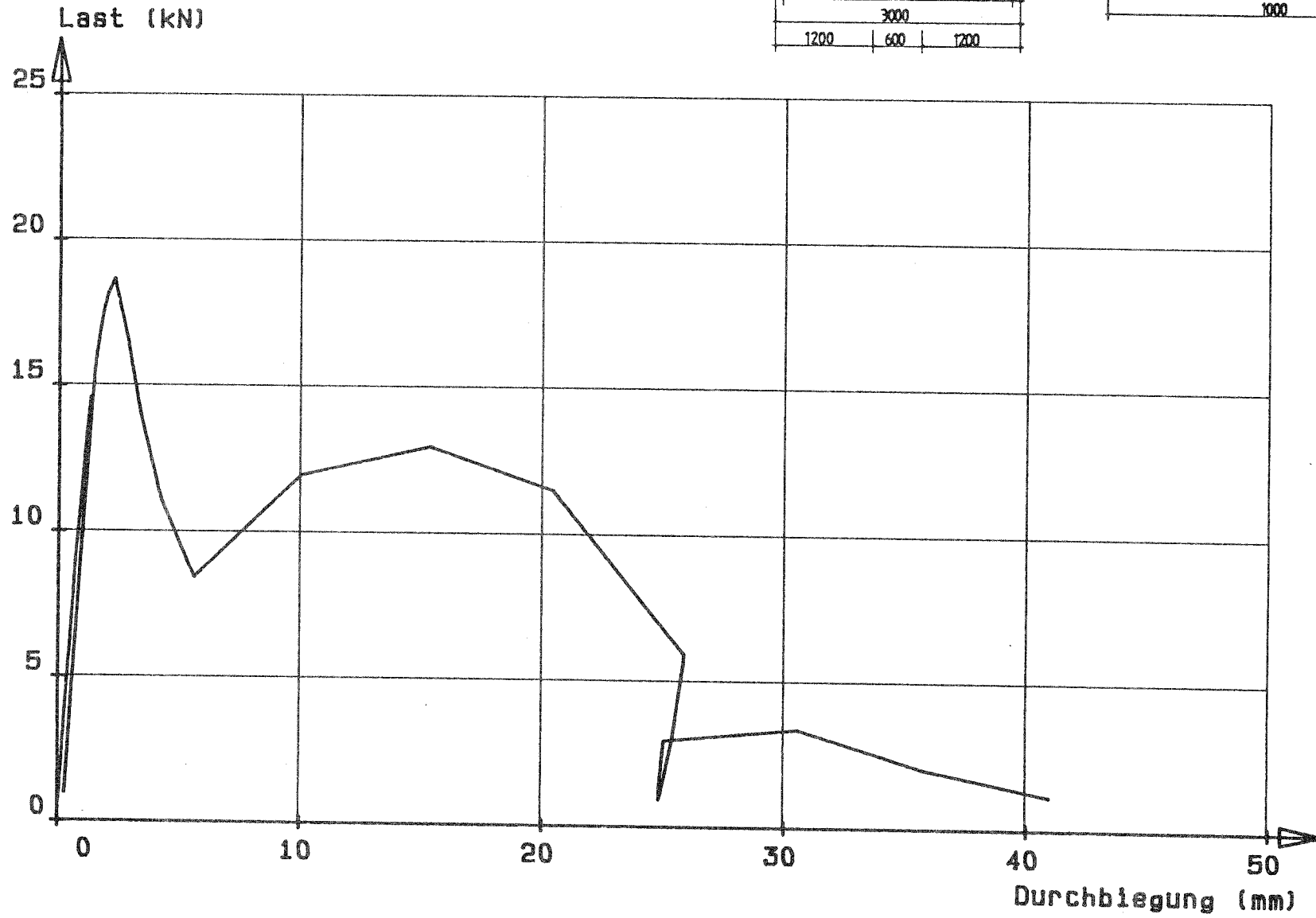
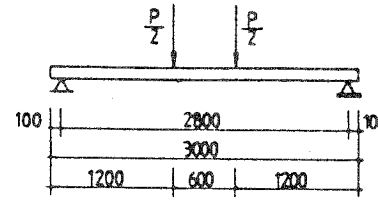
A1.6

# IfBt-Versuch 16LA

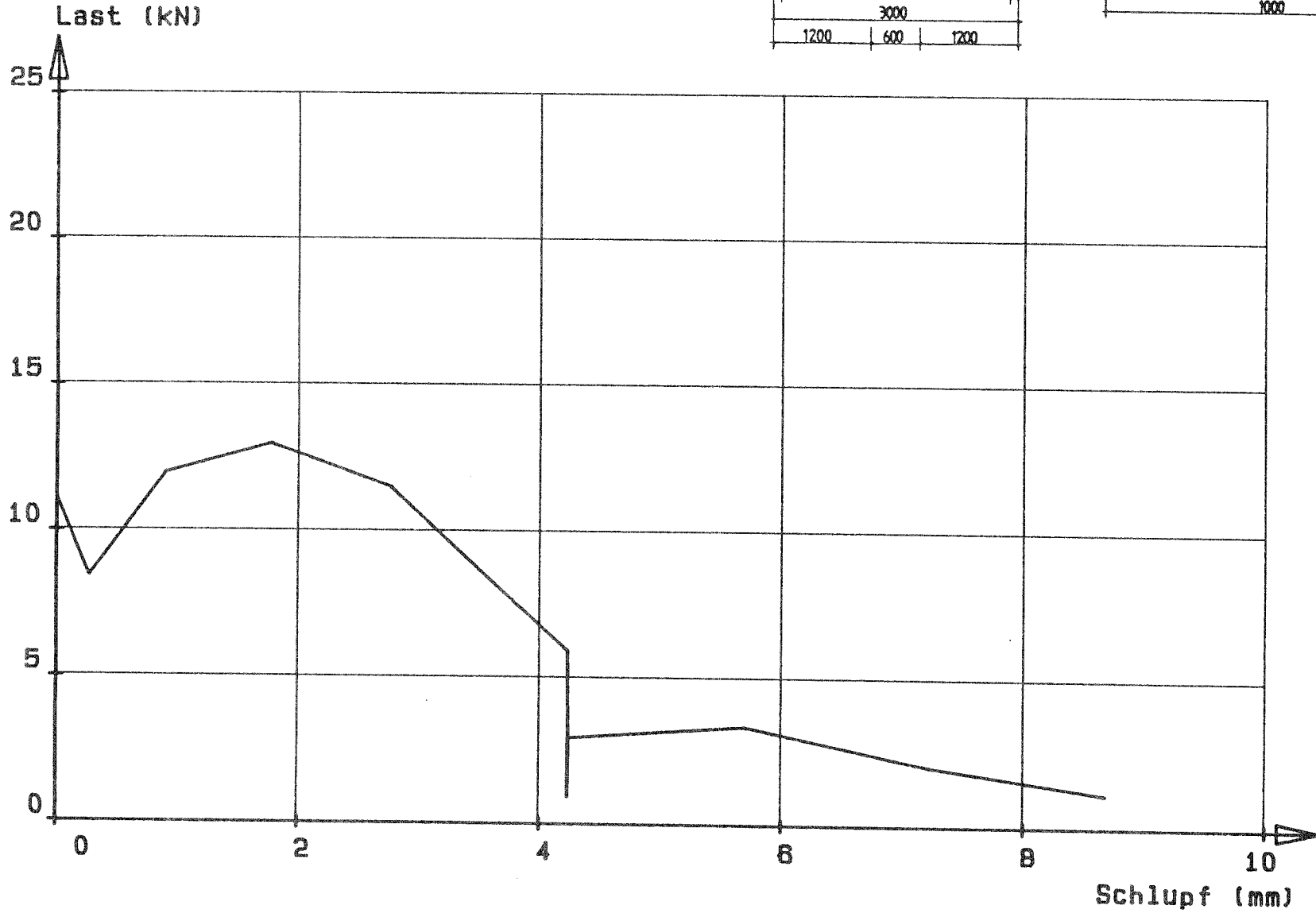
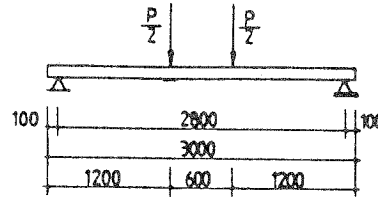


AI.7

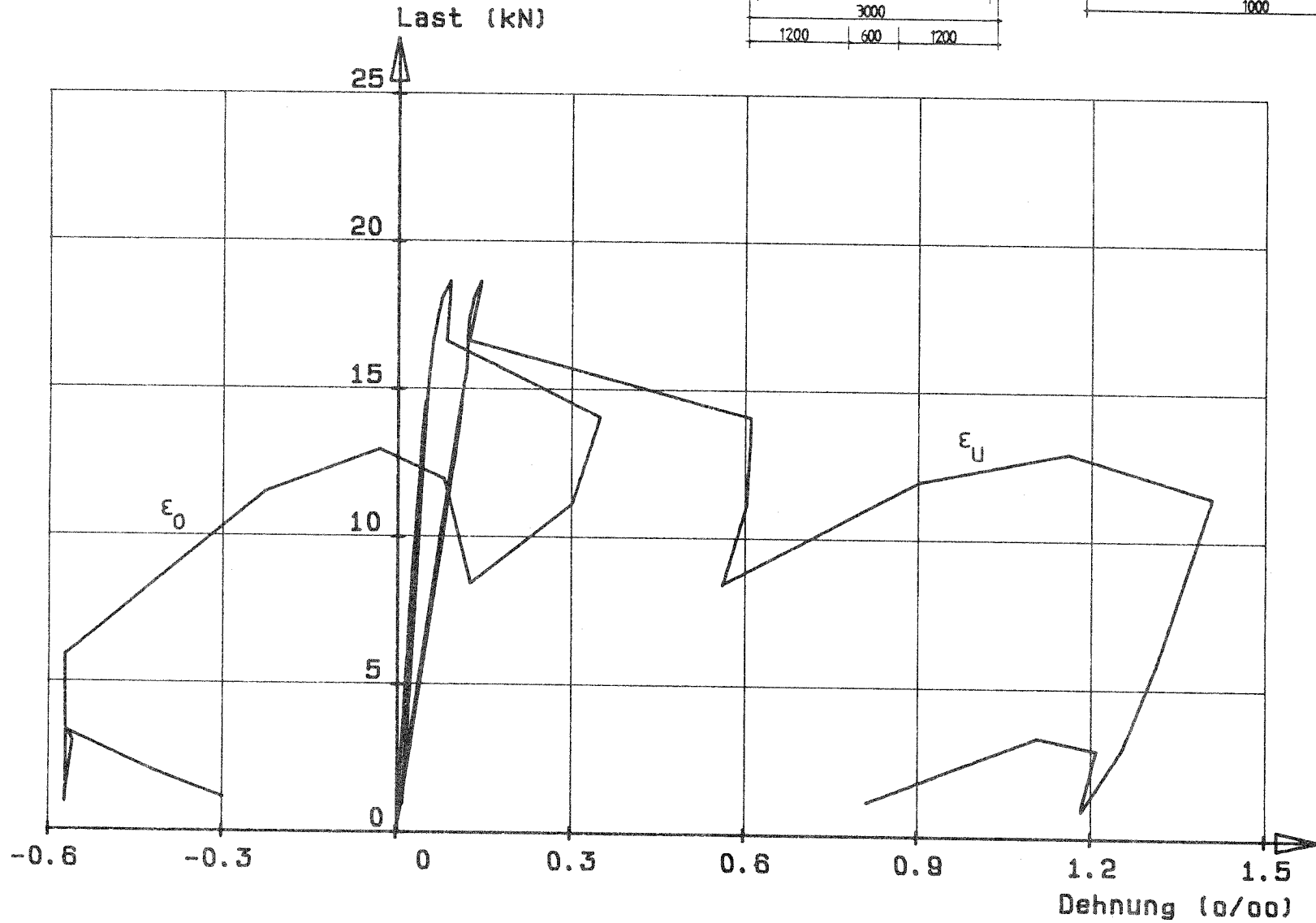
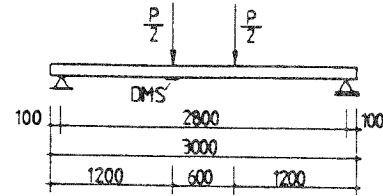
# IfBt-Versuch 16LB



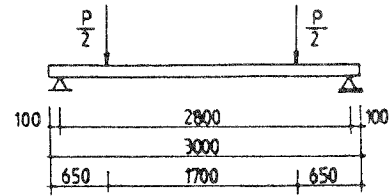
IfBt-Versuch 16LB



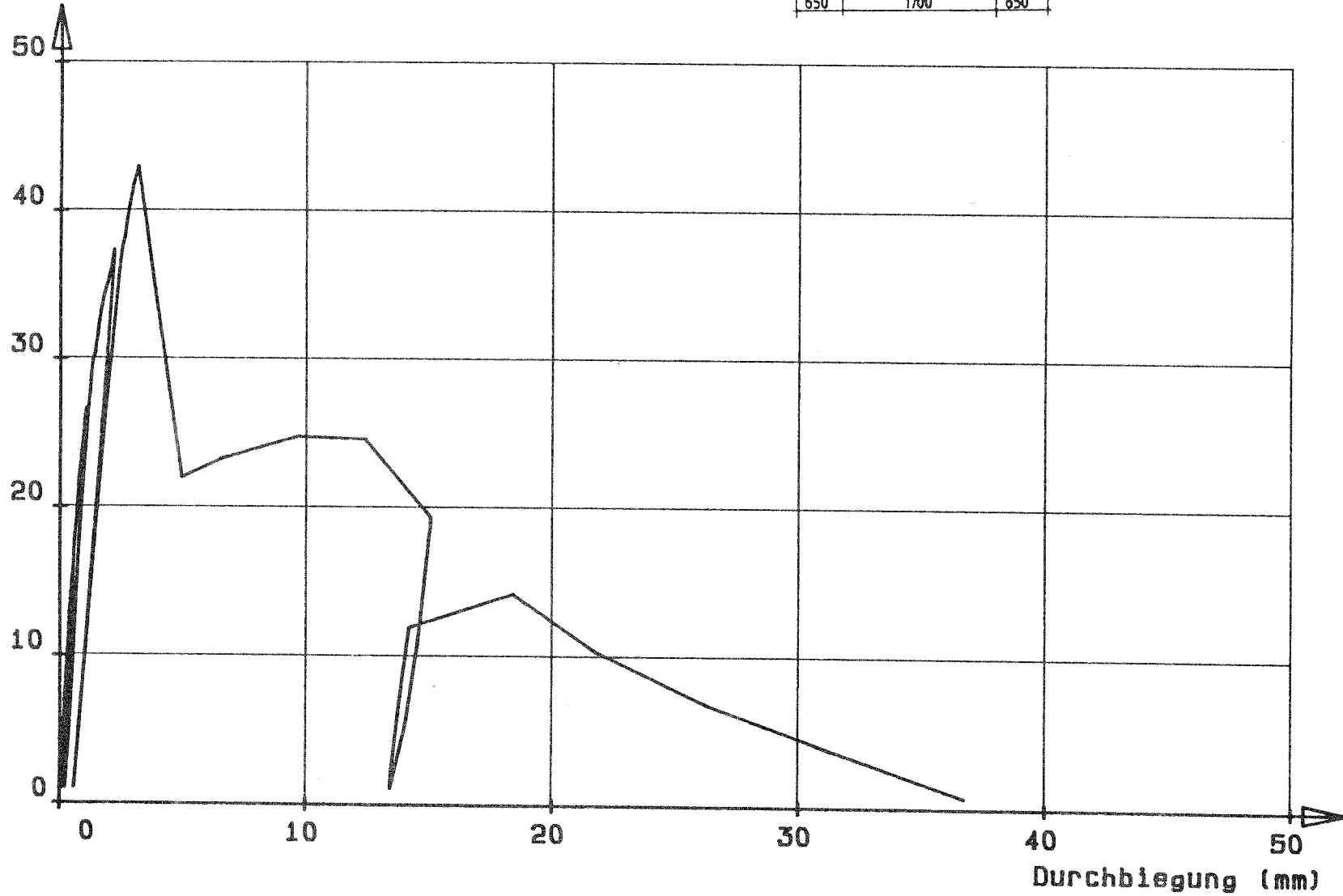
# IfBt-Versuch 16LB



# IfBt-Versuch 16KA

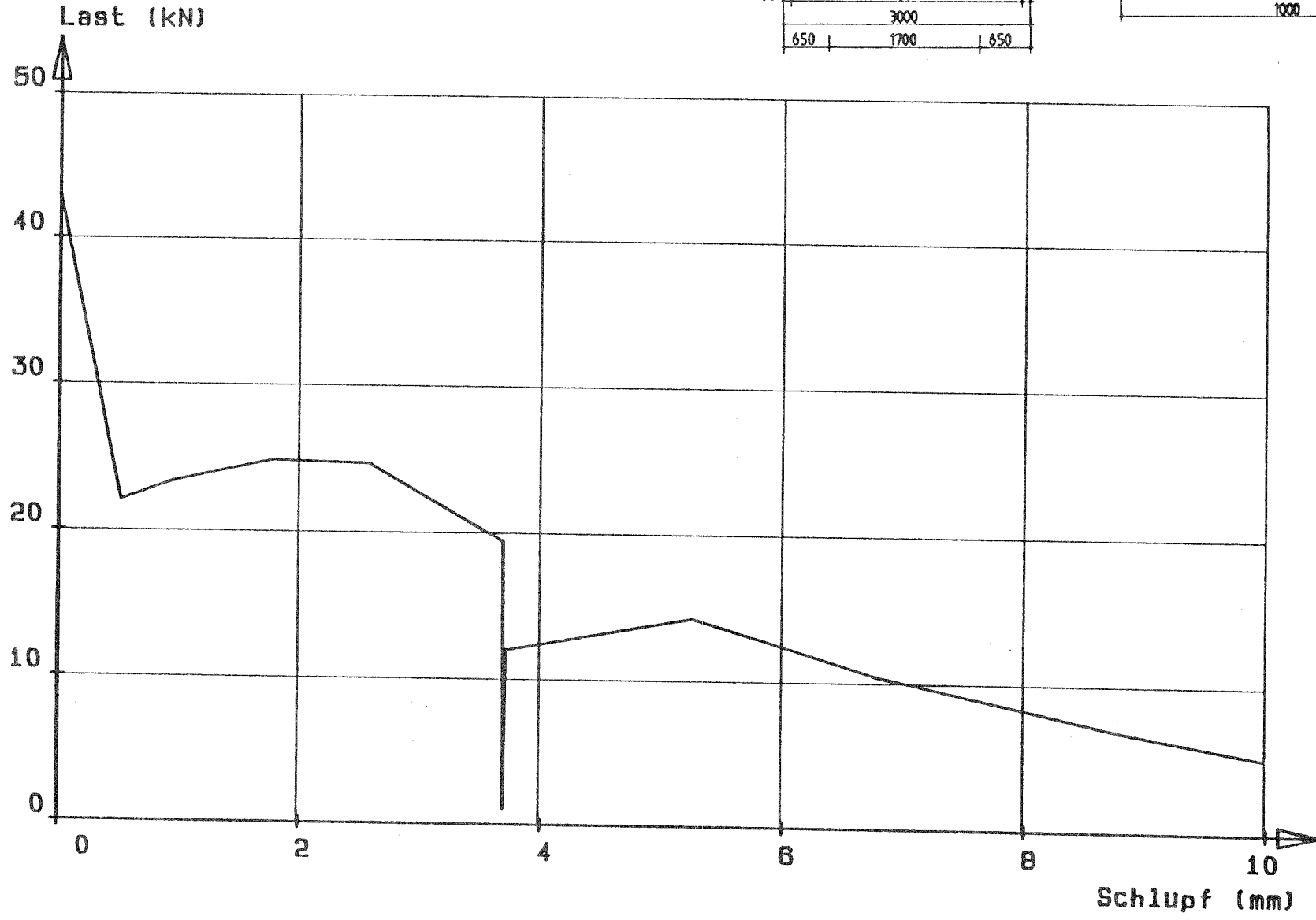
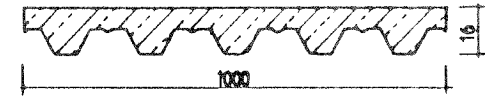
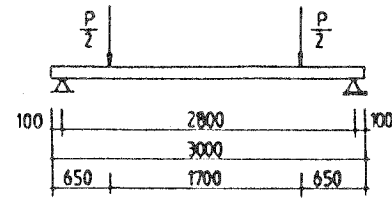


Last (kN)

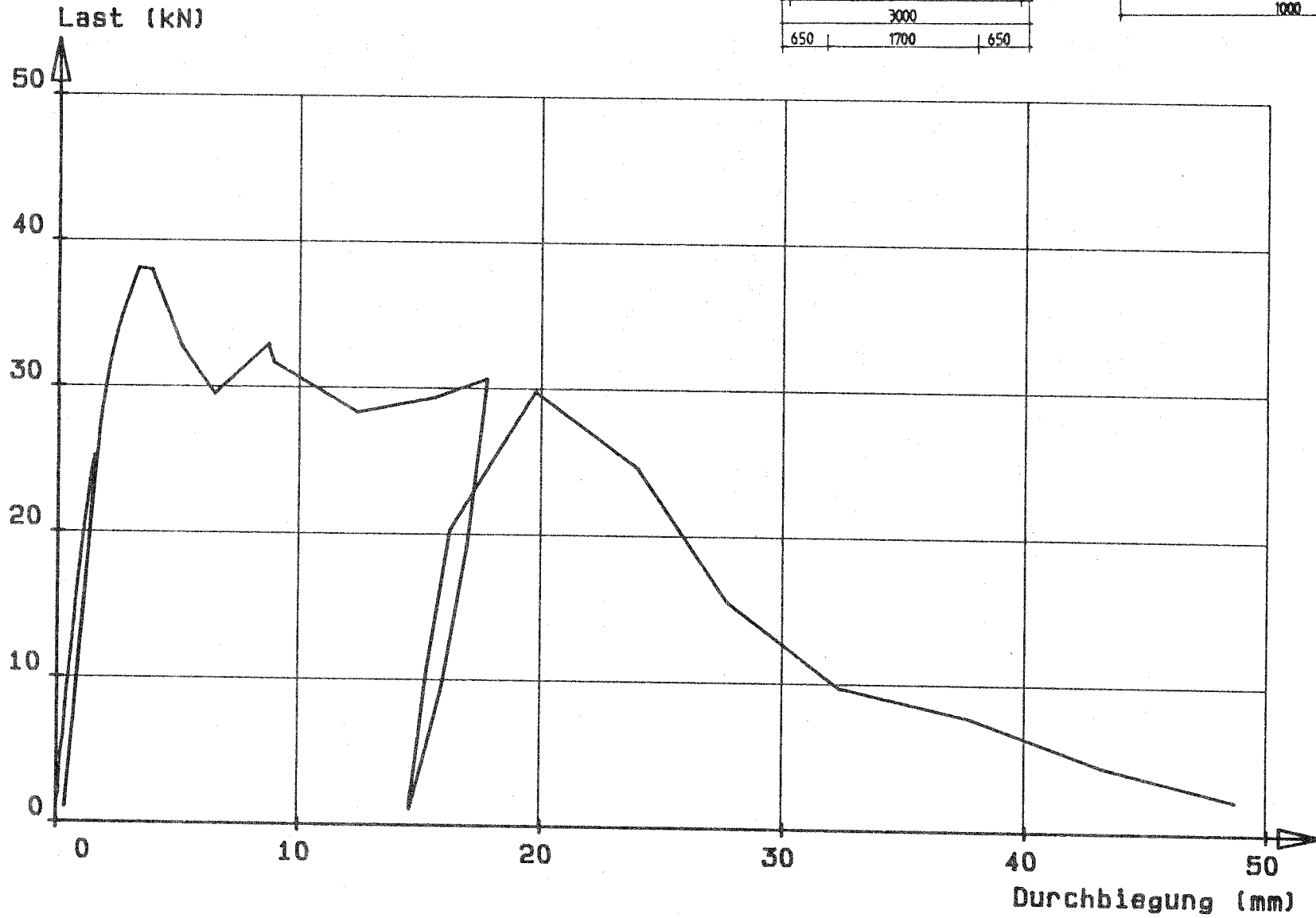
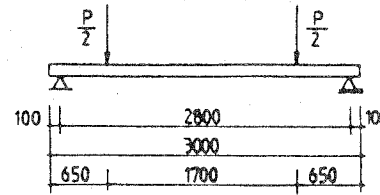




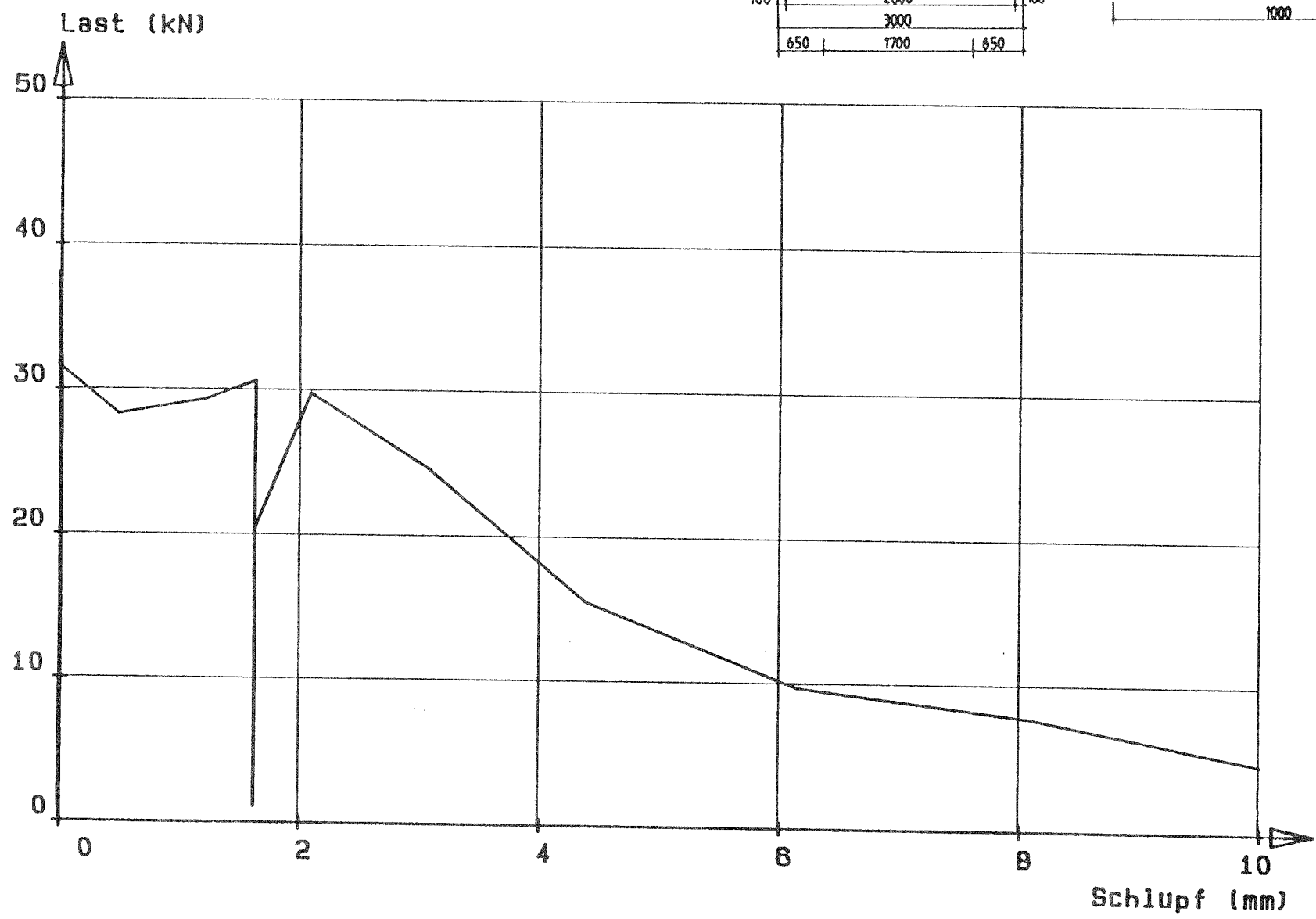
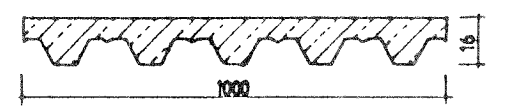
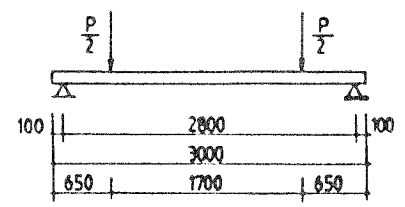
# IfBt-Versuch 16KA



# IfBt-Versuch 16KB

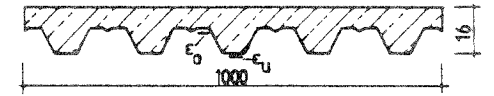
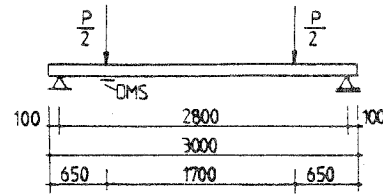


# If8t-Versuch 16KB

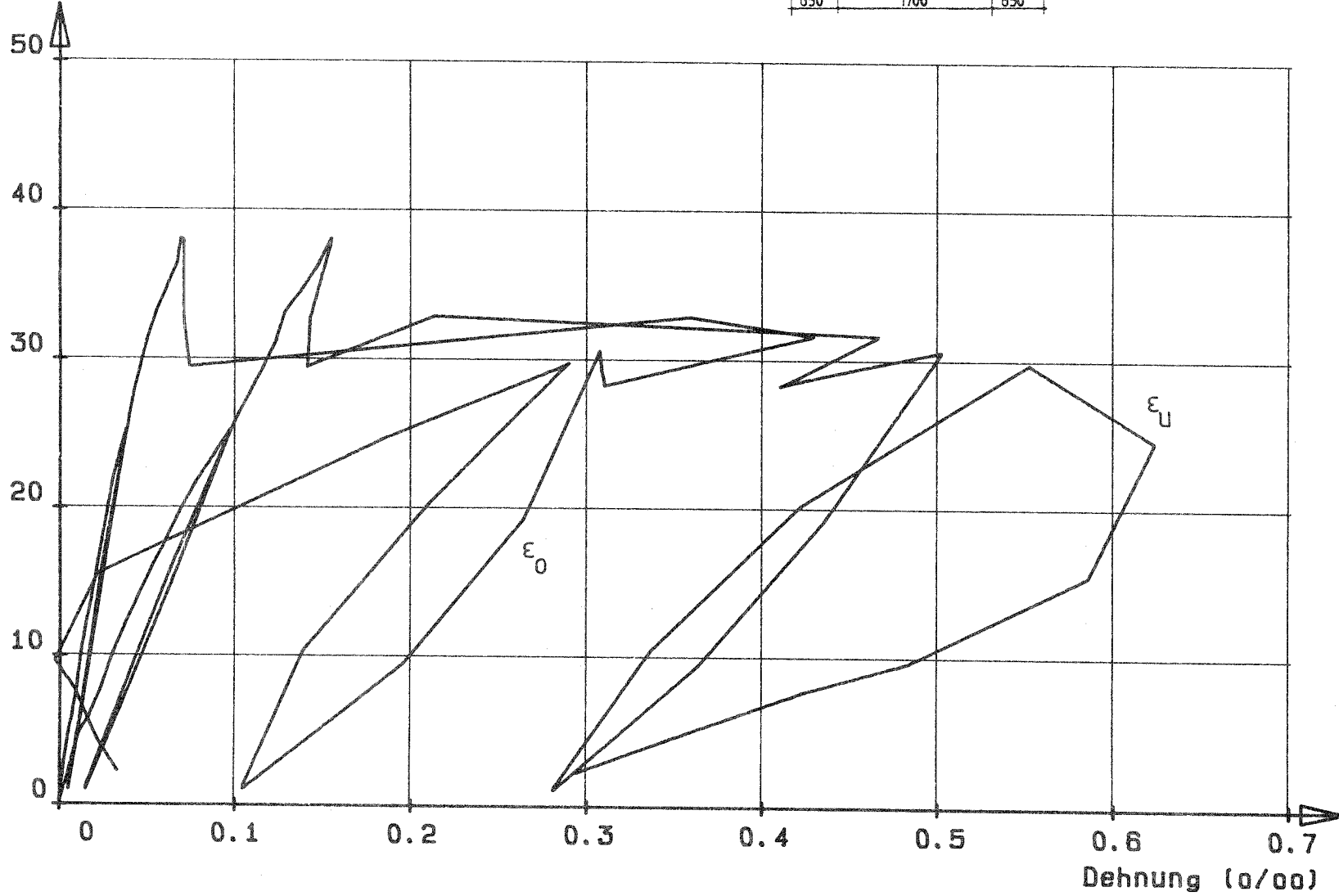


A1.14

# If8t-Versuch 16KB

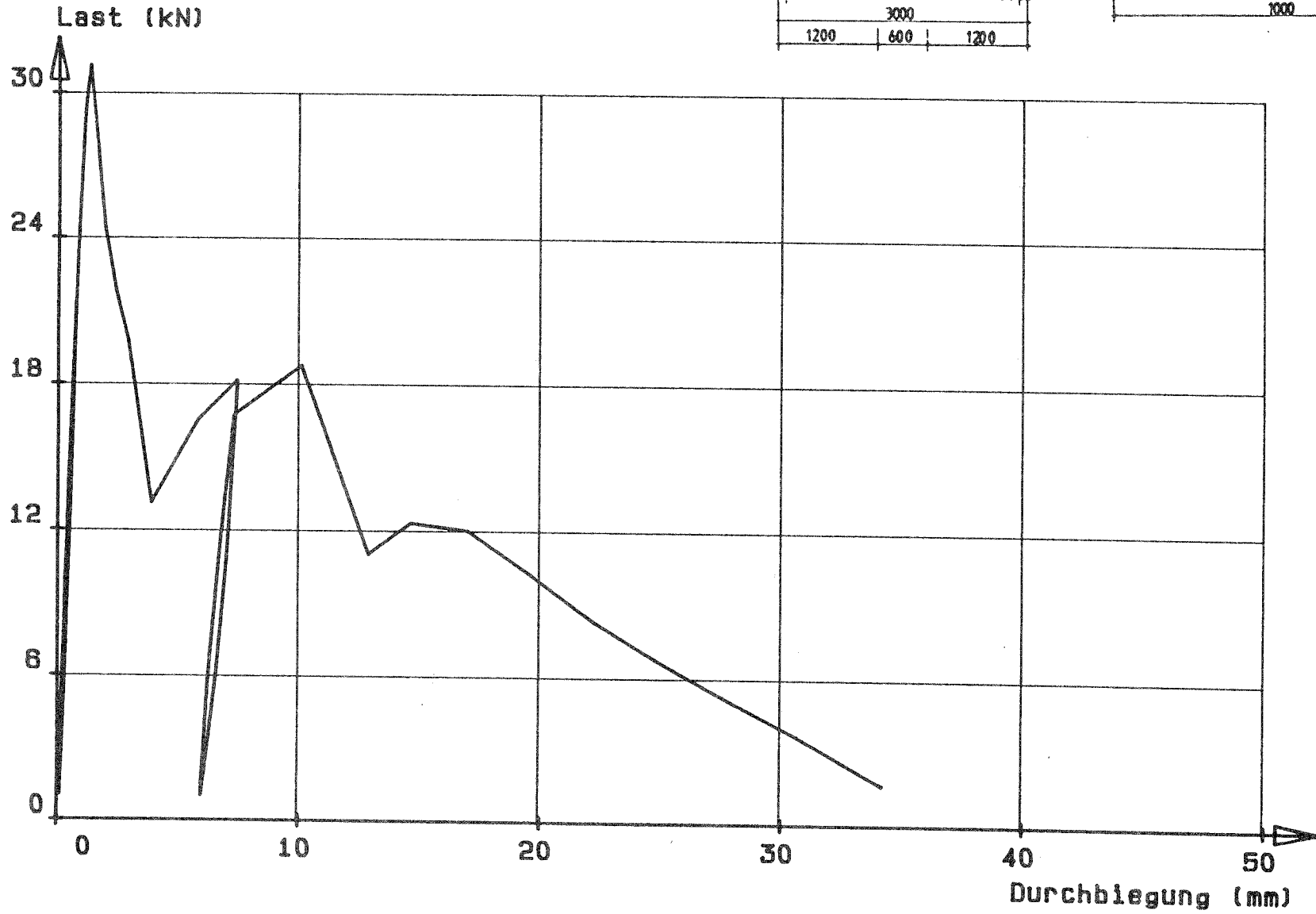
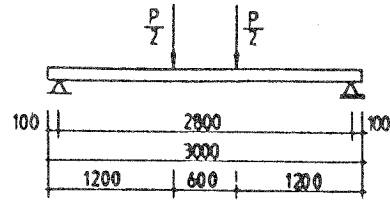


Last (kN)

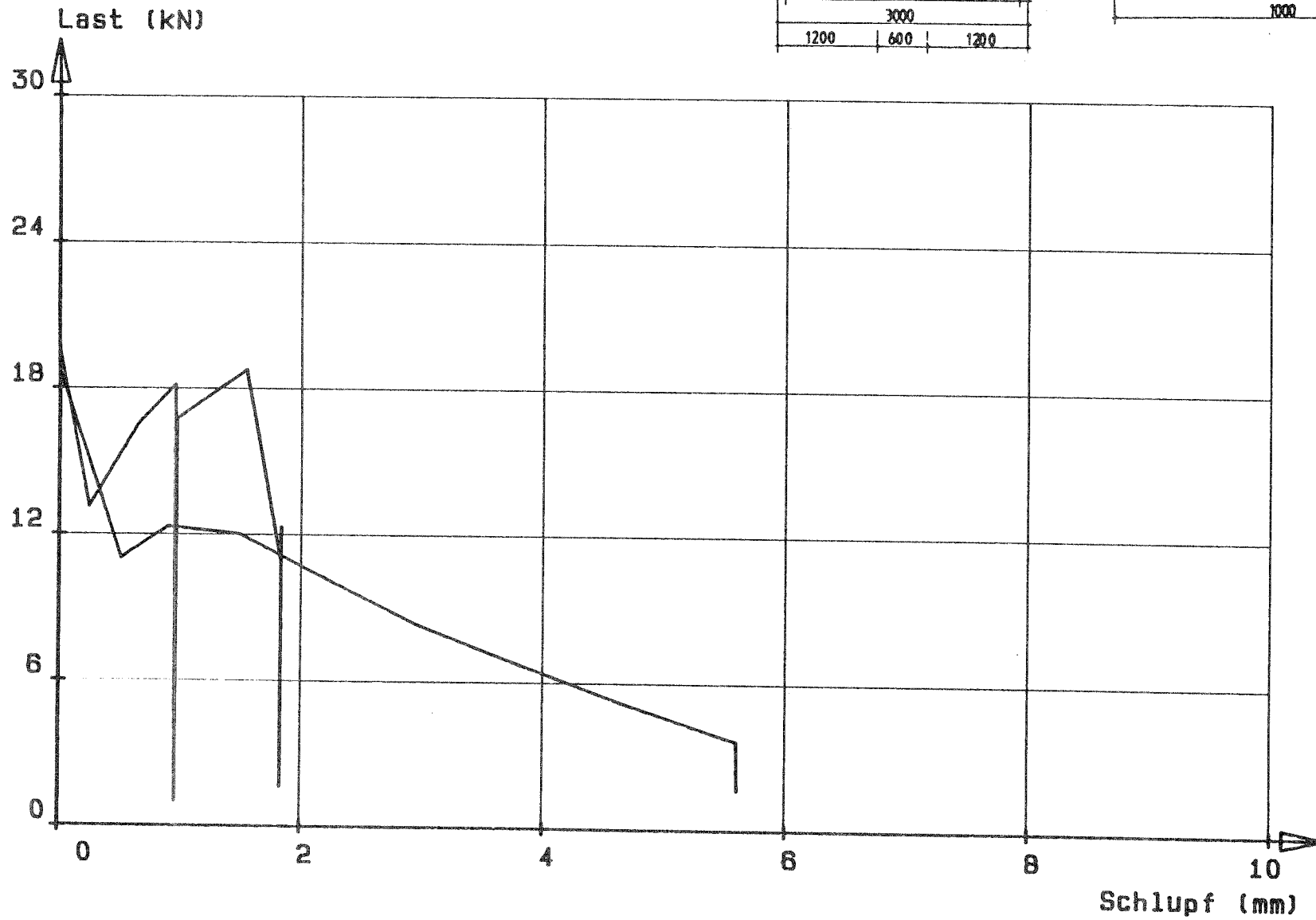
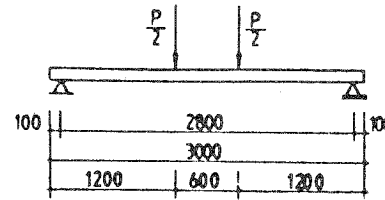


Al. 15

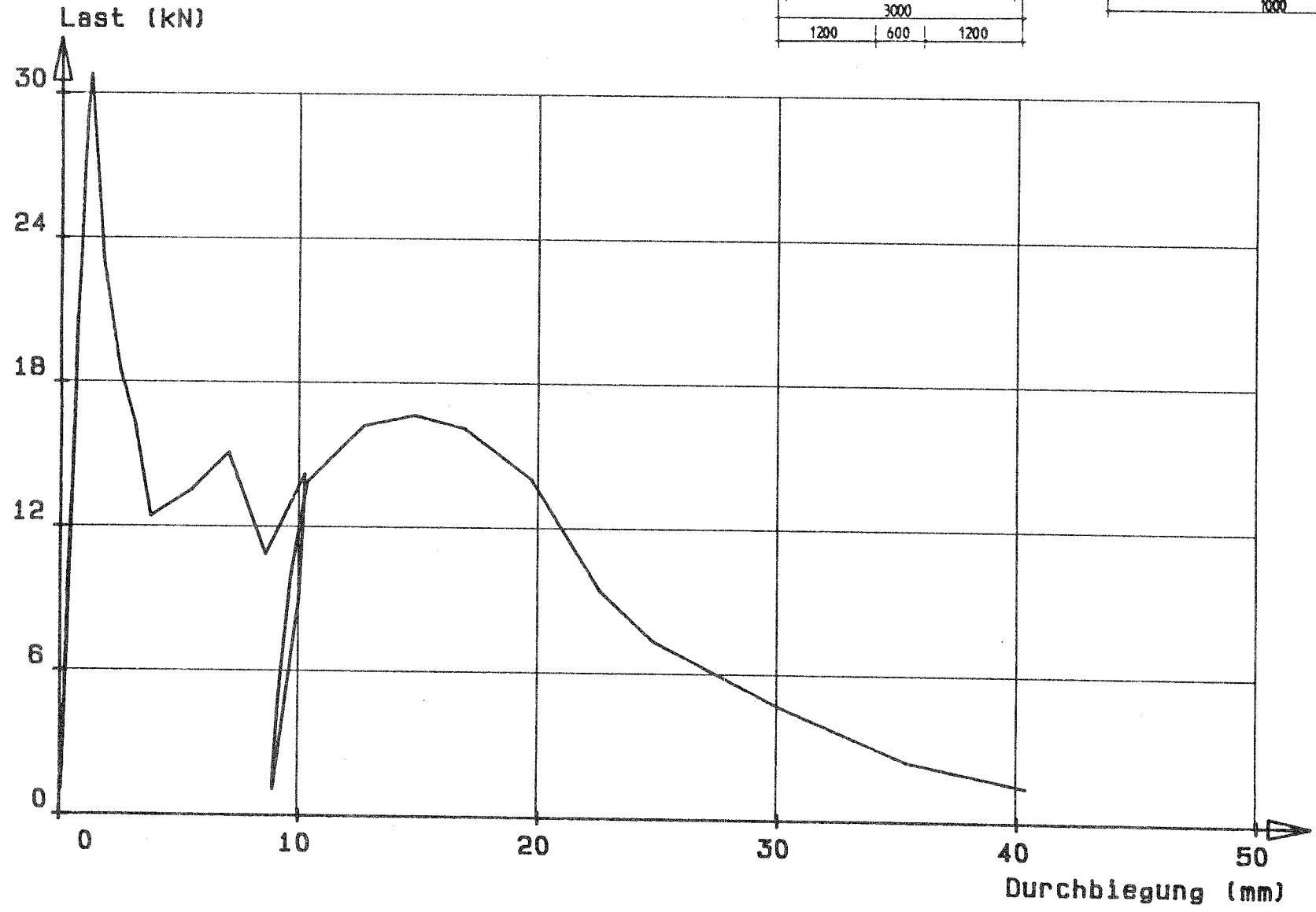
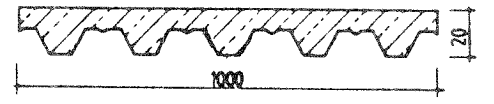
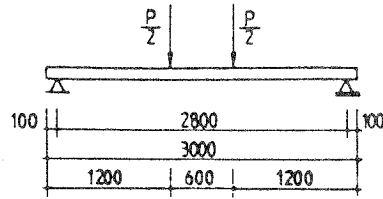
# IfBt-Versuch 20A



# IfBt-Versuch 20A

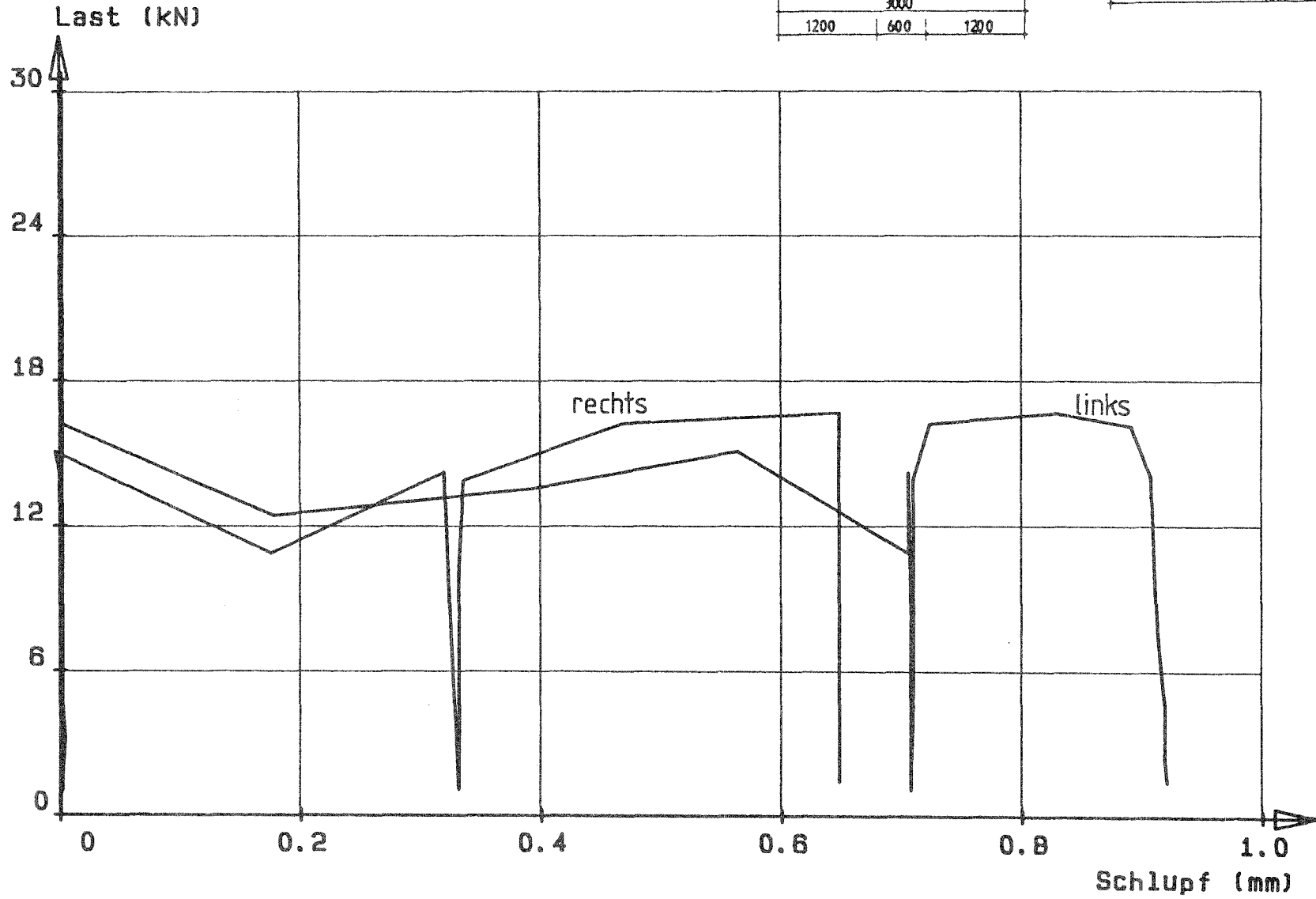
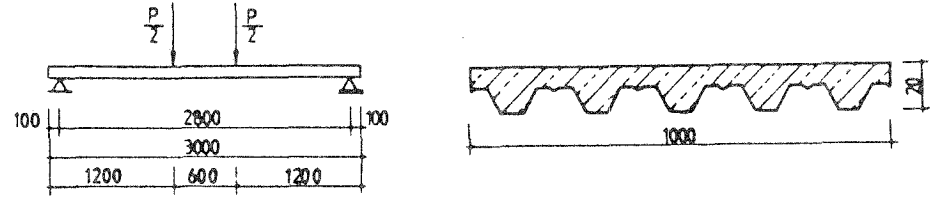


IfBt-Versuch 208



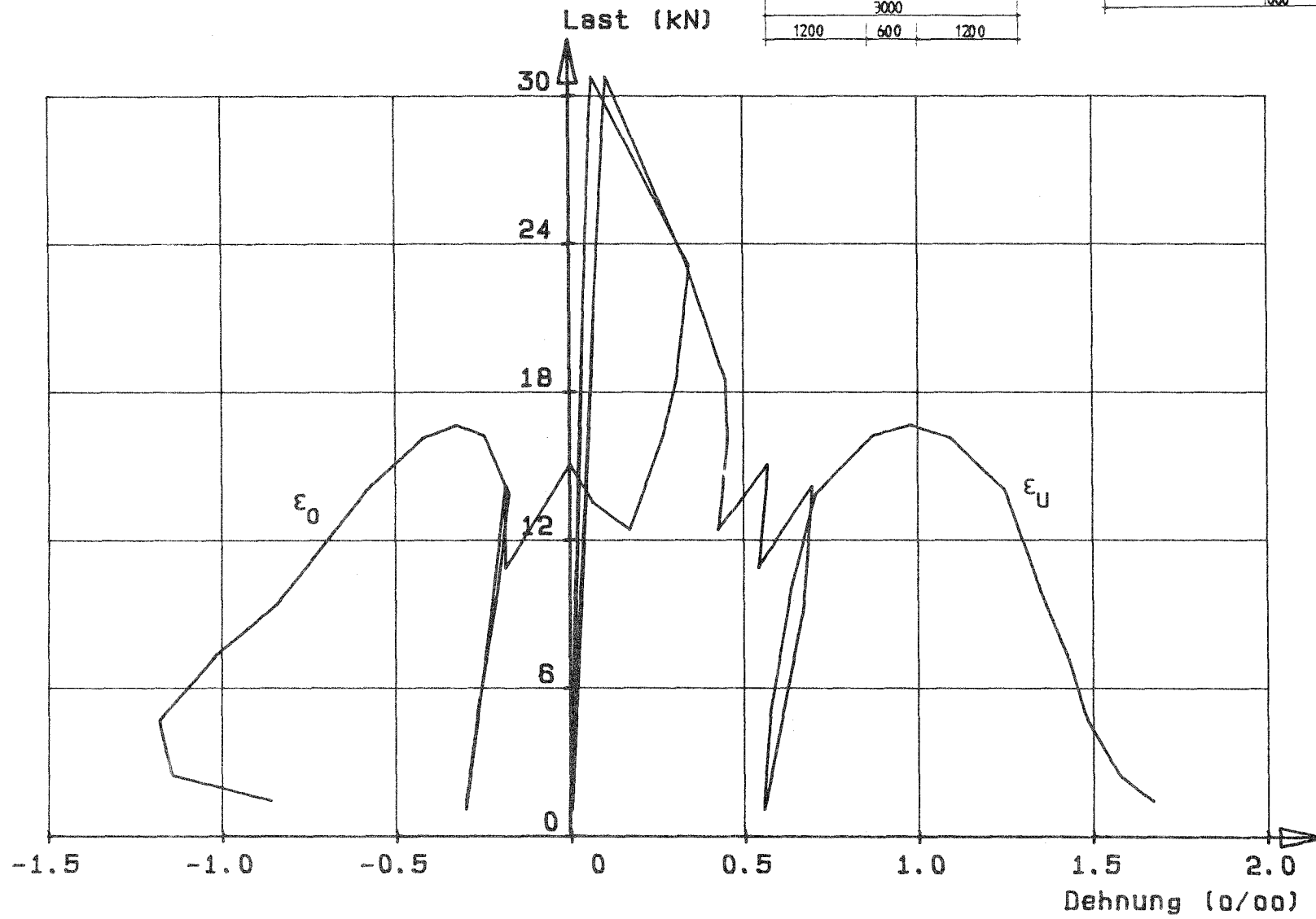
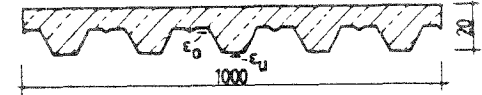
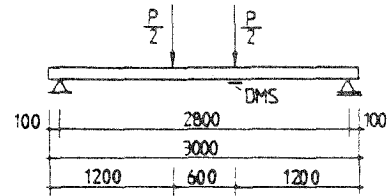
A1.18

IfBt-Versuch 20B



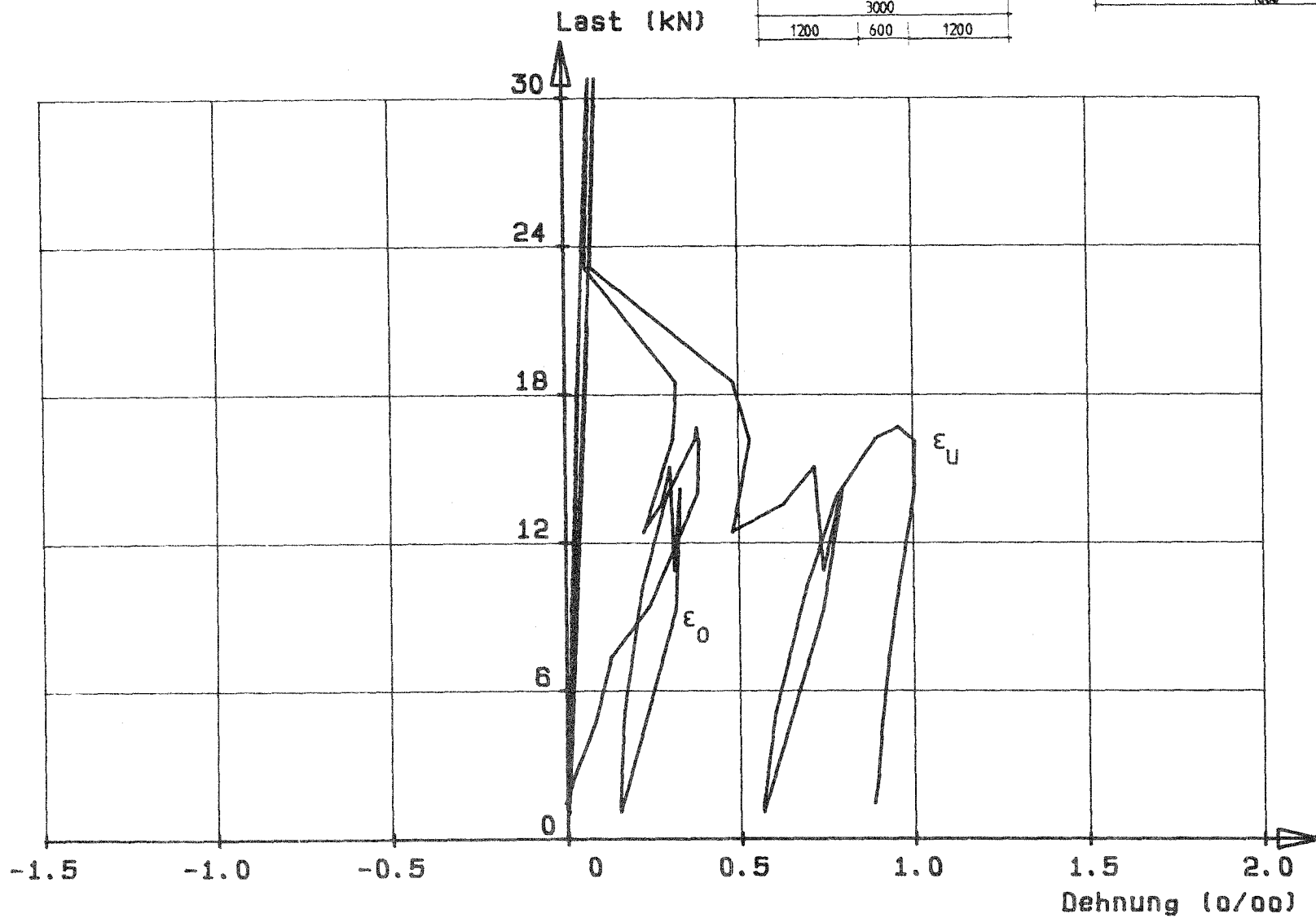
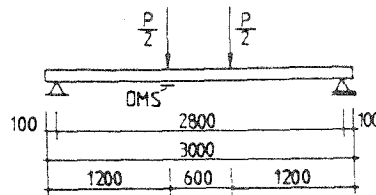


IfBt-Versuch 20B

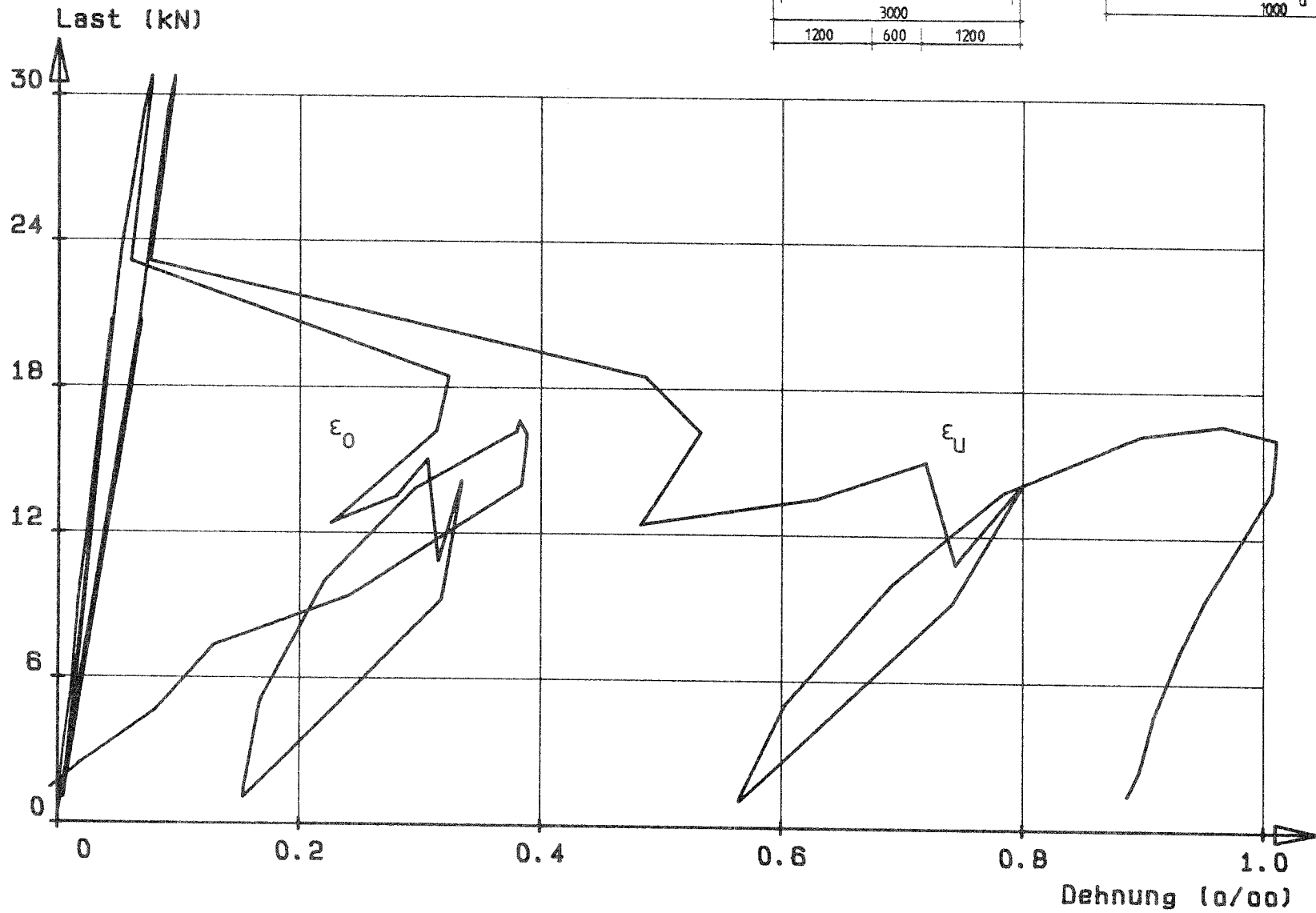
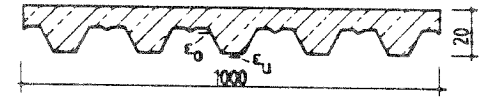
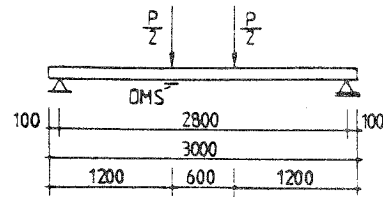


A1.20

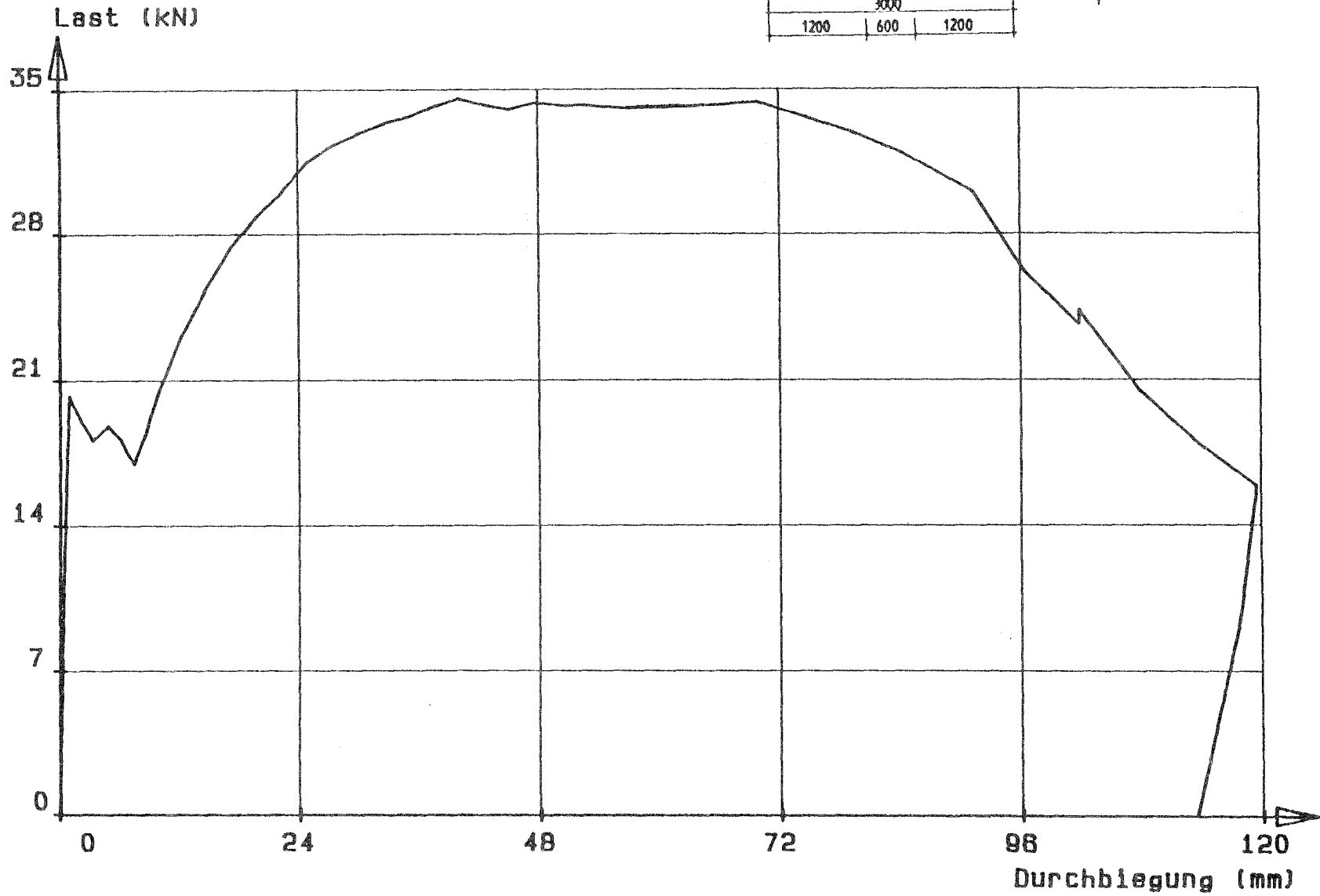
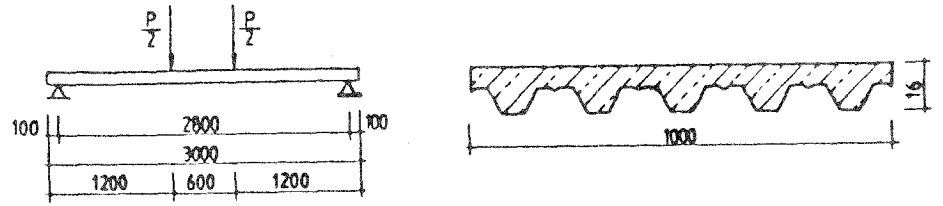
IfBt-Versuch 20B



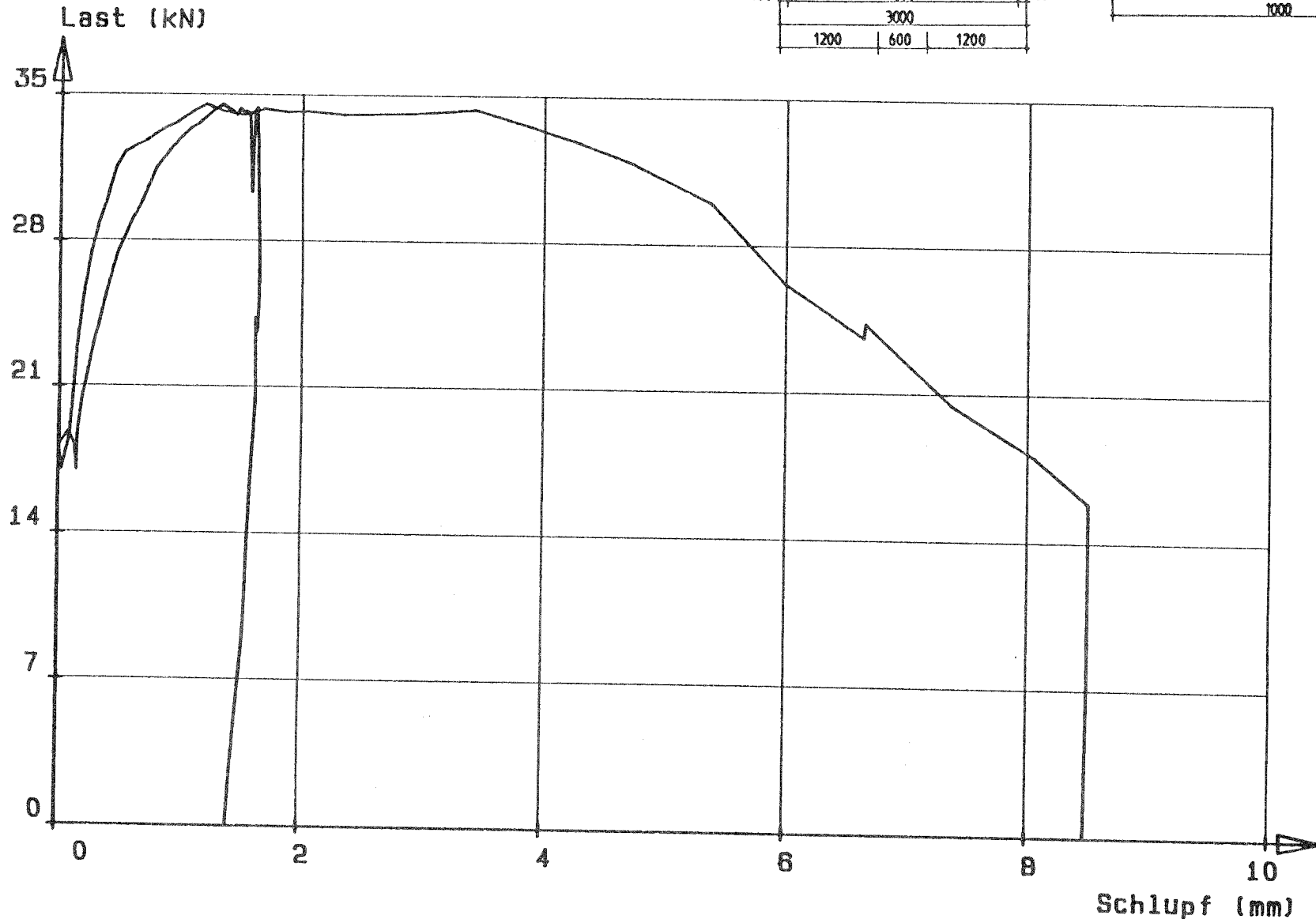
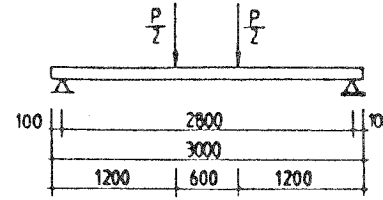
# IfBt-Versuch 208



# IfBt-Versuch 16EA

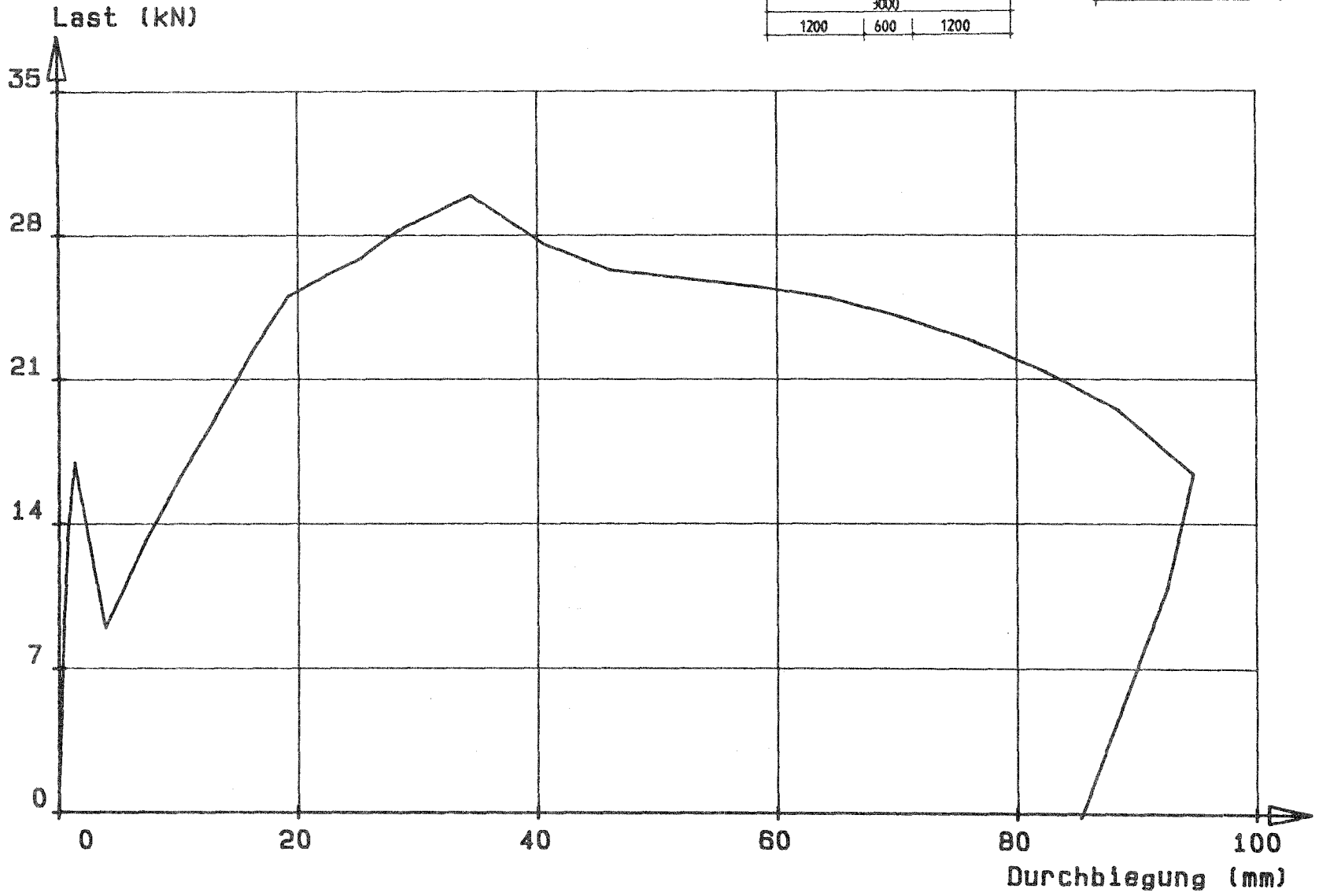
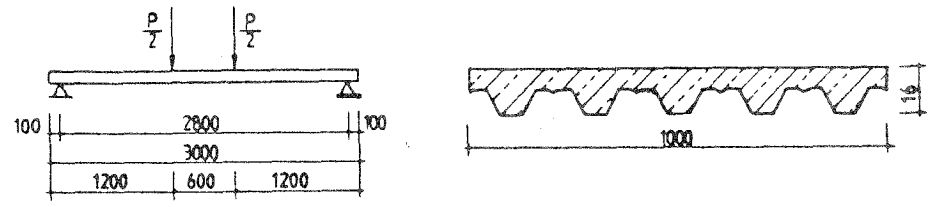


# IfBt-Versuch 16EA



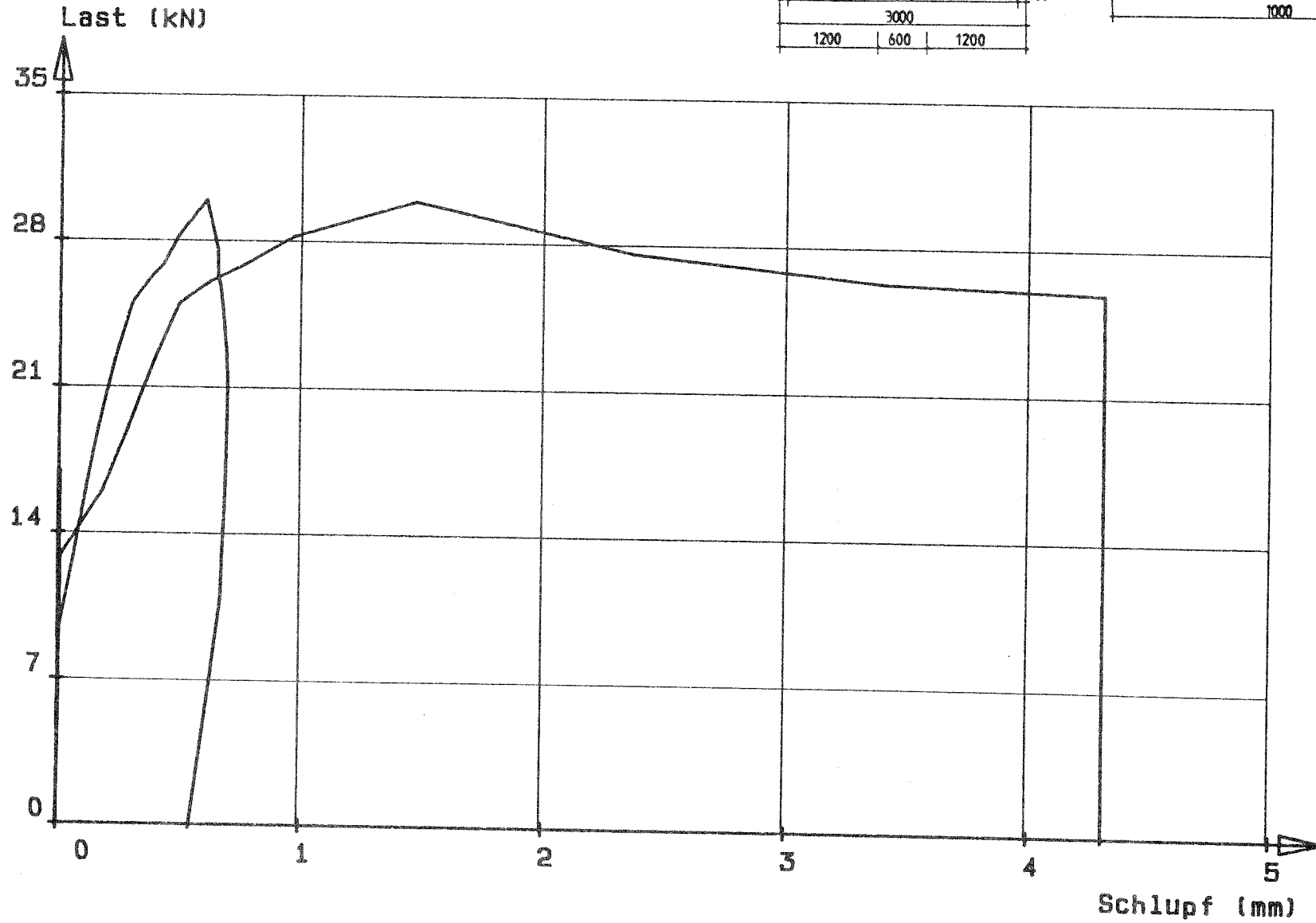
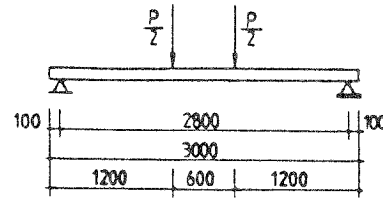
A1.24

# IfBt-Versuch 16EB

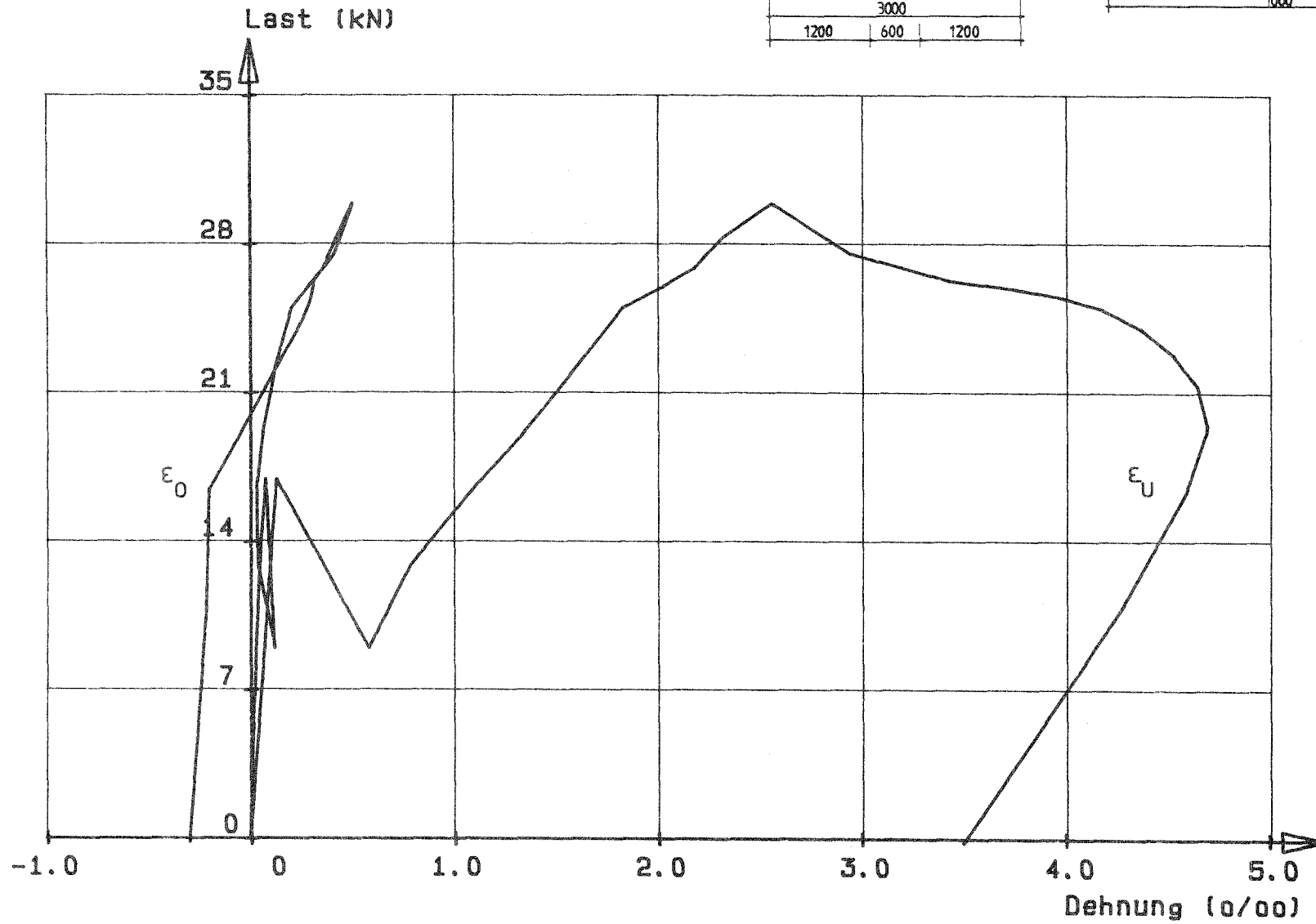
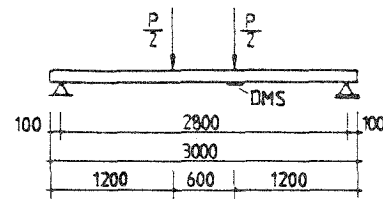


A1.25

# IfBt-Versuch 16EB



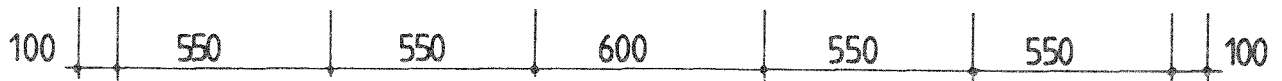
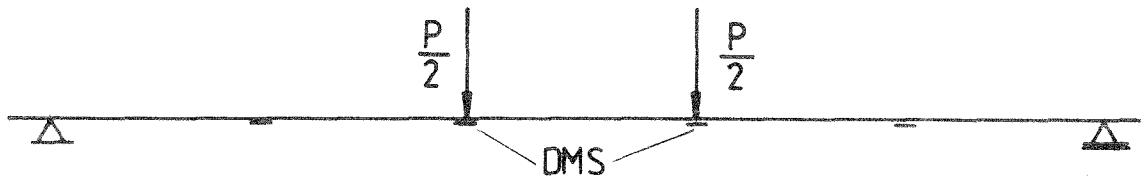
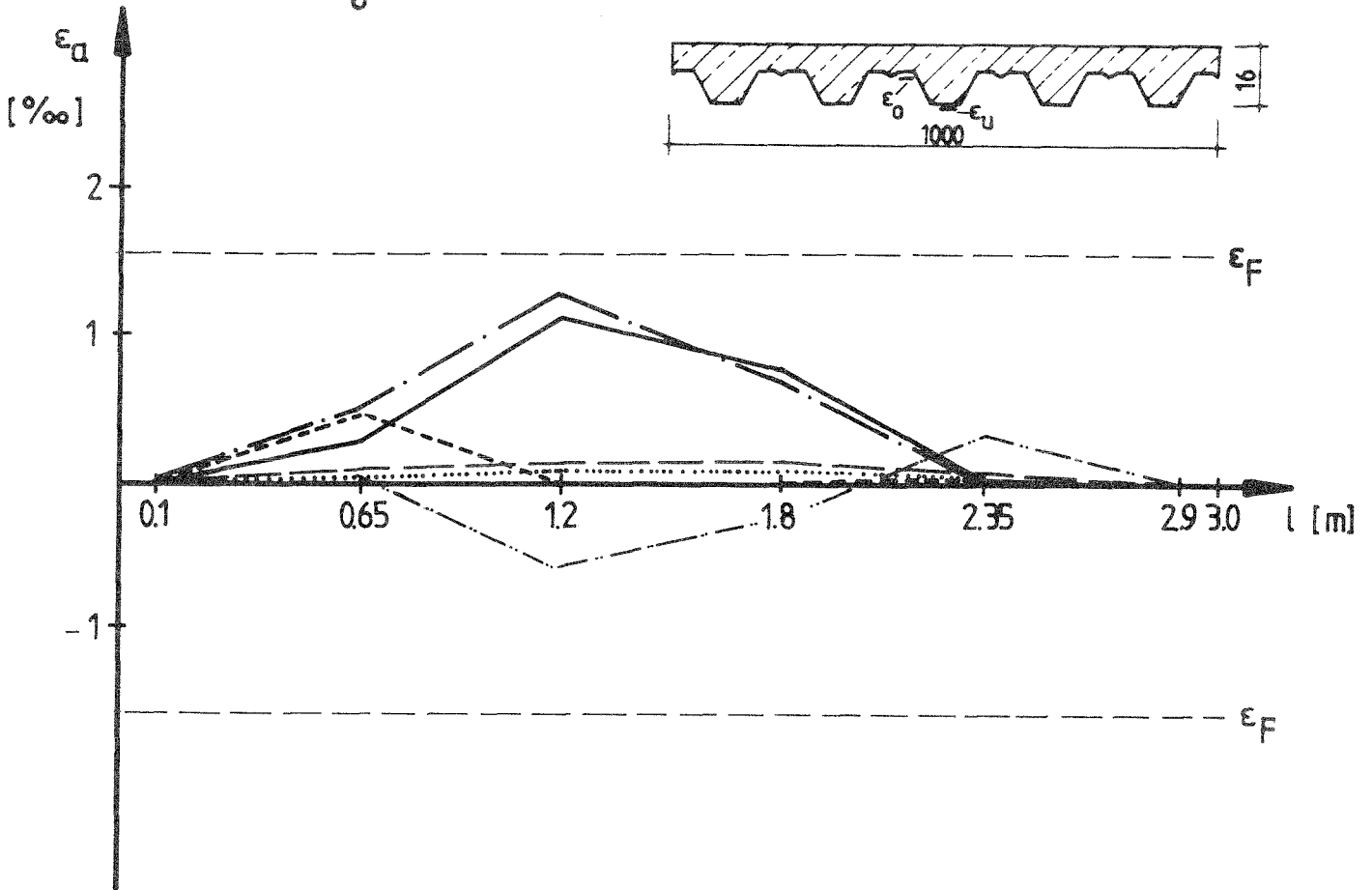
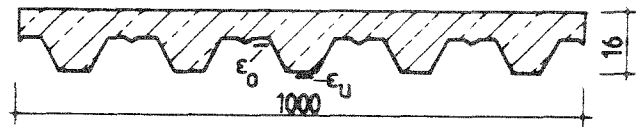
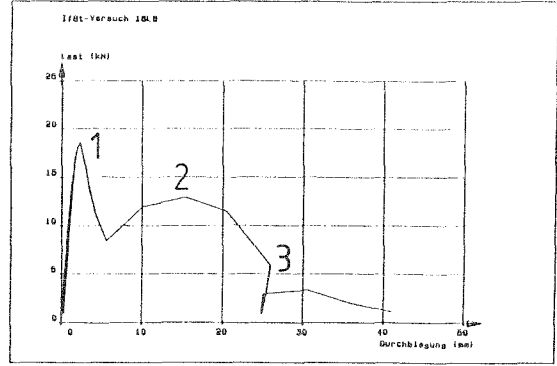
IfBt-Versuch 16EB



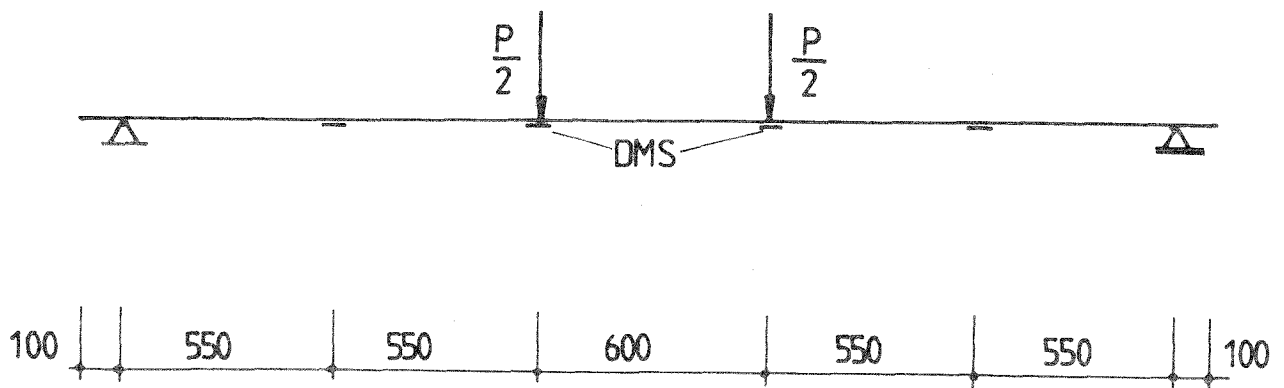
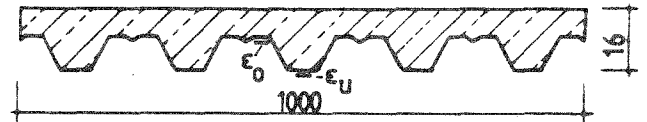
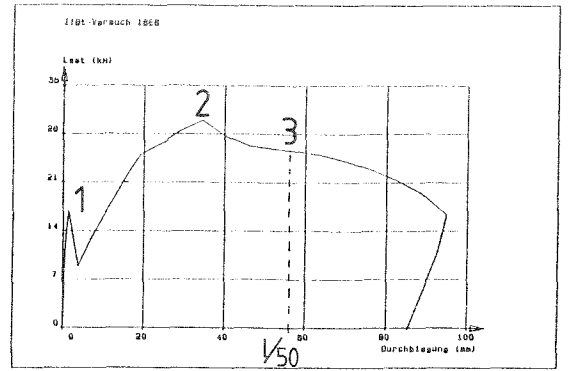
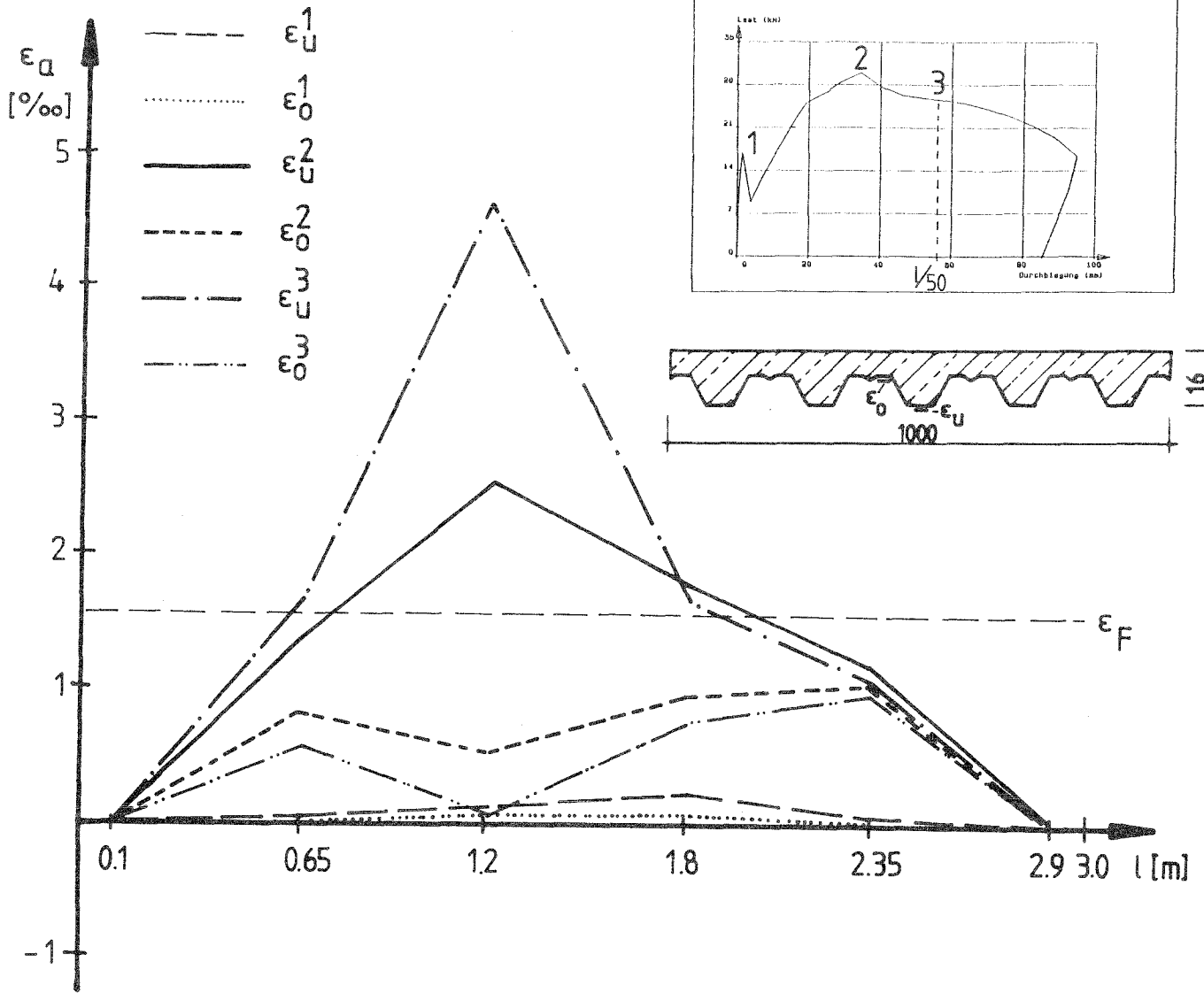


# IfBt-Versuch 16LB

- $\epsilon_U^1$
- .....  $\epsilon_0^1$
- $\epsilon_U^2$
- - -  $\epsilon_0^2$
- · -  $\epsilon_U^3$
- · · -  $\epsilon_0^3$



# IfBt-Versuch 16EB



A N H A N G    A 2

Statistische Versuchsauswertung

# Statistische Auswertung der IFB+-Versuche

## Lineare Einfach-Regression nur für IFB+-Versuche

(mit LS berechnete Versuchswerte)

Berechnung mit programmiertem HP

Versuch	$x_i$ [ $10^{-3}$ ]	$y_{i,V}$ [ $10^3$ ]	$y_{i,R}$ [ $10^{-3}$ ]
11A	0,116	22,83	20,980
11B	0,117	20,50	21,106
16LA	0,117	20,77	21,106
16LB	0,118	18,98	21,223
16KA	0,215	34,00	32,542
16KB	0,215	31,01	32,542
20A	0,125	22,84	22,040
20B	0,125	22,66	22,040
$\Sigma$	1,168	193,59	193,588

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \underline{\underline{0,1435 \cdot 10^{-3}}}$$

$$\bar{y}_{i,V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i,V} = \underline{\underline{24,1988 \cdot 10^{-3}}}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \underline{\underline{0,0443 \cdot 10^{-3}}}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (y_{i,V} - \bar{y}_{i,V})^2} = \underline{\underline{5,3615 \cdot 10^{-3}}}$$

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} = 0,9636$$

=> sehr guter Zusammenhang

$$a = \frac{\sum x_i \sum x_i y_{i,V} - \sum y_{i,V} \sum x_i^2}{(\sum x_i)^2 - n \cdot \sum x_i^2} = \underline{\underline{7,4536 \cdot 10^{-3}}}$$

$$b = \frac{\sum y_{i,V} \sum x_i - n \sum x_i y_{i,V}}{(\sum x_i)^2 - n \cdot \sum x_i^2} = \underline{\underline{116,6906}}$$

$$y_{i,R} = a + b \cdot x_i$$

(Rechenwert)

$y_{i,V} \hat{=}$  Versuchswert

# Statistische Auswertung aller Cofradalversuche

## Lineare Einfachregression

Versuch	$x_i$ [ $10^{-3}$ ]	$y_{i,N}$ [ $10^{-3}$ ]	$y_{i,R}$ [ $10^{-3}$ ]
11A	0,116	22,83	19,946
11B	0,117	20,50	20,094
16LA	0,117	20,77	20,094
16LB	0,118	18,98	20,242
16KA	0,215	34,00	34,590
16KB	0,215	31,01	34,590
20A	0,125	22,84	21,278
20B	0,125	22,66	21,278
Slab 4	0,369	52,14	57,369
Slab 5	0,398	61,86	67,659
Slab 6	0,387	68,11	60,032
Slab 8	0,238	30,54	37,992
Slab 9	0,227	47,18	36,365
Spec 10	0,212	27,2	34,146
Spec 11	0,285	44,0	44,944
$\Sigma$	3,264	524,62	524,619

$$\bar{X} = \underline{0,2176 \cdot 10^{-3}}$$

$$\bar{Y}_{i,N} = \underline{34,9747 \cdot 10^{-3}}$$

$$S_x = \underline{0,1024 \cdot 10^{-3}}$$

$$S_y = \underline{15,9377 \cdot 10^{-3}}$$

$$r = \underline{0,9506}$$

=> sehr gute Zusammenhang

$$a = \underline{2,7880 \cdot 10^{-3}}$$

$$b = \underline{147,9168}$$

$$Y_{i,R} = a + b \cdot x_i$$

# Statistische Auswertung nach den IFT-Grundlagen mit linearer

## Regression

### Formelzusammenstellung

$Y_{i,v}$   $\hat{=}$  Versuchswerte

$Y_{i,r}$   $\hat{=}$  Werte nach linearer Einfachregression

$Y_{i,c}$   $\hat{=}$  charakteristische Werte

$$\begin{array}{l} S_{y_v} = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum Y_{i,v}^2 - n \cdot \bar{Y}_v^2)} \\ S_{y_r} = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum Y_{i,r}^2 - n \cdot \bar{Y}_r^2)} \end{array} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} \bar{Y}_v = \frac{1}{n} \sum Y_{i,v} \\ \bar{Y}_r = \frac{1}{n} \sum Y_{i,r} \end{array}$$

$$r = \frac{\sum Y_{i,v} \cdot Y_{i,r} - n \cdot \bar{Y}_v \cdot \bar{Y}_r}{(n-1) S_{y_v} \cdot S_{y_r}} \quad \text{Korrelationskoeffizient}$$

$$b = r \cdot \frac{S_{y_v}}{S_{y_r}}$$

$$a = \bar{Y}_v - b \cdot \bar{Y}_r$$

Abweichung von der Mittelwertkorrektur:

$$\delta_i = \frac{Y_{i,v}}{a + b \cdot Y_{i,r}} \hat{=} \text{del}(i)$$

$$\delta_i' = \ln \delta_i \hat{=} \text{dels}(i)$$

$$(\delta_i' - \bar{\delta}_i')^2 \hat{=} \text{dd}(i)$$

$$S_{\Delta'} = \sqrt{\frac{1}{n-2} (\sum (\delta_i' - \bar{\delta}_i')^2)} \hat{=} s_{\Delta}$$

Streu korrekturgröße

$$S_k = \exp(\bar{s}' - k_s \cdot s_{\Delta}') \hat{=} \text{Delta}$$

↑  
Fraktalfaktor

Charakteristische Werte

$$y_{ic} = (a + b \cdot y_{i,r}) \cdot S_k$$

Grundannahmen für die Auswertung

- logarithmische Normalverteilung der Tragfähigkeit
- Aussagewahrscheinlichkeit  $w = 0,75$
- Fraktalfaktor  $k_s = 2,250$  für  $n=8$   
 $k_s = 2,007$  für  $n=15$

Statistische Versuchsauswertung

(nach IfBt - Grundlagen mit Regression)

Fraktalfaktor  $K_s = 2.250000$

i	$Y_{i,v}$	$Y_{i,r}$	$\text{del}(i)$	$\text{dels}(i)$	$\text{dd}(i)$	$Y_{i,c}$
1	.022830	.020990	1.087655	.084024	.007355	.018023
2	.020500	.021106	.971283	-.029138	.000751	.018122
3	.020770	.021106	.984075	-.016053	.000205	.018122
4	.018980	.021223	.894308	-.111705	.012093	.018223
5	.034000	.032542	1.044798	.043824	.002076	.027942
6	.031010	.032542	.952917	-.048227	.002161	.027942
7	.022840	.022040	1.036292	.035649	.001398	.018924
8	.022660	.022040	1.028125	.027737	.000869	.018924
Summe	.193590	.193589	7.999454	-.013888	.026907	.166223
Mittel	.024199	.024199	.999932	-.001736	.003363	.020778

Syv = .005361  
Syr = .005166  
r = .963571  
a = .000000  
b = 1.000006

sDelta = .066967  
Delta = .858635



Statistische Versuchsauswertung

(nach IfBt - Grundlagen mit Regression)

Fraktillfaktor  $K_s = 2.007000$

i	$Y_{i,v}$	$Y_{i,r}$	$\text{del}(i)$	$\text{dels}(i)$	$\text{dd}(i)$	$Y_{i,c}$
1	.022830	.019946	1.154387	.143569	.021601	.014610
2	.020500	.020094	1.028867	.028458	.001015	.014720
3	.020770	.020094	1.042418	.041543	.002020	.014720
4	.018980	.020242	.945552	-.055986	.002765	.014829
5	.034000	.034590	.987516	-.012563	.000084	.025436
6	.031010	.034590	.900673	-.104613	.010244	.025436
7	.022840	.021278	1.081974	.078787	.006755	.015595
8	.022660	.021278	1.073447	.070875	.005517	.015595
9	.052140	.057369	.911173	-.093023	.008032	.042275
10	.061860	.061659	1.005598	.005582	.000081	.045446
11	.068110	.060032	1.137297	.128654	.017439	.044243
12	.030540	.037992	.807212	-.214169	.044423	.027951
13	.047180	.036365	1.303102	.264747	.071904	.026748
14	.024800	.034146	.729722	-.315092	.097151	.025108
15	.044000	.044944	.982357	-.017801	.000207	.033090
Summe	.522220	.524619	15.091290	-.051030	.289237	.385801
Mittel	.034815	.034975	1.006086	-.003402	.019282	.025720

$S_{y_v} = .016033$   
 $S_{y_r} = .015151$   
 $r = .945581$   
 $a = -.000182$   
 $b = 1.000621$

$s_{\Delta} = .149161$   
 $\Delta = .738770$

## A N H A N G    A 3

Teilverbund-Ergebnisse aus dem SPRINT-Programm

Teilverbundtheorie an der Rißstelle: - Kaiserslautern  
- Salford  
- TNO

m+k-Verfahren an der Rißstelle

m+k-Verfahren mit Resttragfähigkeit bei größeren Relativverschiebungen

Zum Vergleich: Ergebnisse aus dem SPRINT-Programm

Bezeichnung	$P_{zyl}$	$L_{s,A,B}$	$M_{Test,A,B}$	$M_{pl}$	$M_{Test,A,B}/M_{pl}$	$\eta_{A,B}$	$r_{u,A,B}$
-	kN	m	kNm	kNm	-	-	kN/m <sup>2</sup>
Cofradal 160 mm Slab 1	21,28	(A) 0,548	5,32	31	0,17	-	-
		(B) 1,548	10,64	31	0,343	0,13	25,55
Cofradal 160 mm Slab 2	24,26	(A) 0,55	6,07	31	0,196	2)	-
		(B) 1,55	12,13	31	0,392	0,185	36,75
Cofradal 110 mm Slab 4	33,26	(A) 0,3	4,16	19	0,219	2)	-
		(B) 0,9	9,32	19	0,438	0,08	30,96
Cofradal 110 mm Slab 5	37,1	(A) 0,3	4,66	20	0,23	2)	-
		(B) 0,8	9,33	20	0,466	0,11	43,16
Cofradal 110 mm Slab 6	41,28	(A) 0,19	5,16	19	0,27	2)	-
		(B) 0,79	10,32	19	0,543	0,2	77,78
Cofradal 135 mm Slab 7	23,3	(A) 0,423	4,37	26	0,168	2)	-
		(B) 1,173	8,74	26	0,336	0,065	17,1
Cofradal 135 mm Slab 8	26,35	(A) 0,426	4,94	26	0,19	2)	-
		(B) 1,176	9,89	26	0,38	0,125	33,32
Cofradal 135 mm Slab 9	24,37	(A) 0,424	4,57	26	0,175	2)	-
		(B) 1,174	9,14	26	0,352	0,1	25,75

Bezeichnung	$P_{\text{Zyl}}$	$L_{s,A,B}$	$M_{\text{Test,A,B}}$	$M_{\text{pl}}$	$M_{\text{Test,A,B}}/M_{\text{pl}}$	$\eta_{A,B}$	$\tau_{A,B}$
-	KN	m	kNm	kNm	-	-	kN/m <sup>2</sup>
Cofradal 160 mm Specimen 10	36	Ⓐ 0,475	6,75	37	0,182	1) -	-
		Ⓑ 1,225	13,5	37	0,365	0,14	35,66
Cofradal 110 mm Specimen 11	36	0,6	$M=M_{\text{pl,a}}$ 9	23	0,39	0	0

Teilverbundtheorie ( mit  $L_R$  )

Test	$P_R$ (1) [kN]	G [kN]	g [kN/m]	$M_u$ (2) [kNm]	$\frac{M_u}{M_{pl}}$	$\eta$	$N_u$ [kN]	$L_R$ (3) [mm]	Breite [mm]	$\tau_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]
11A	12,34	2,1	2,05	9,42	0,384	0,12	38,62	1118	989	34,92
11B	12,47	2,1	2,05	10,43	0,425	0,165	53,10	1234	989	43,51
16LA	12,15	2,1	3,19	12,71	0,323	0,165	53,10	1390	982	38,90
16LB	12,96	2,1	3,16	13,95	0,358	0,20	64,36	1483	980	44,28
16KA	24,80	3,18	3,21	14,68	0,371	0,215	69,19	941	980	75,03
16KB	32,94	3,18	3,21	27,49	0,694	0,605	194,69	1425	980	139,41
20A	18,76	2,1	4,22	18,03	0,347	0,235	75,62	1383	989	55,28
20B	16,66	2,1	4,23	17,71	0,341	0,225	72,41	1484	991	49,23
										Ø 60,07

(1)  $P_R$   $\hat{=}$  max. Zylinderdruckkraft beim Gleiten

(2)  $M_u$   $\hat{=}$  Moment an Rißstelle

(3)  $L_R$   $\hat{=}$  Abstand Riß - Plattenende

Salford		Cofradal				60/0,75 mm		Quelle /3/					
Nr.	Bezeichnung	b	d	$t_N$	$\ell$	$A_a$	$L_S$	$\beta_S$	$\beta_{W10}$	g	$d_s$	$\beta_{W20}$	$f_c$
-	-	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
9	Slab 1	838	159,5	0,6566	4000	744,8	1000	344	29,3	9,85	123,2	25,49	21,66
10	Slab 2	838	160,8	0,6646	4000	753,9	1000	343,4	28,5	9,855	124,5	24,8	21,08
11	Slab 4	843,3	112,4	0,683	2000	774,8	500	338	33,4	3,17	76,1	29,06	24,7
12	Slab 5	841	113,7	0,6832	2000	775	500	342,7	29,0	3,21	77,4	25,23	21,45
13	Slab 6	843	113,8	0,667	2000	756,6	500	343,8	29,1	3,195	77,5	25,32	21,52
14	Slab 7	839,3	139,3	0,6644	3000	753,7	750	345,5	27,8	6,225	103	24,19	20,56
15	Slab 8	839,1	138,1	0,6684	3000	758,2	750	348,5	34,5	6,165	101,8	30,02	25,52
16	Slab 9	840,7	139,4	0,6526	3000	740,3	750	344,6	36,3	6,180	103,1	31,58	26,84

Salford		Cofradal			60/0,75 mm		Quelle /3/		
Nr.	Bezeichnung	$V_t$	$V_t/2b \cdot d_s \sqrt{f_c}$	$A_s/b \cdot L_S \sqrt{f_c}$	Mittelwert	Abweichung	charakt. Wert		
-	-	kN	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	%	10 <sup>-3</sup>		
9	Slab 1	21,28	-	-	-	-	-		
10	Slab 2	24,26	-	-	-	-	-		
11	Slab 4	33,26	52,14	0,369	60,70	- 14,2	46,93		
12	Slab 5	37,3	61,86	0,398	60,70	+ 1,9	-		
13	Slab 6	41,28	68,11	0,387	60,70	+ 12,2	-		
14	Slab 7	23,3	-	-	-	-	-		
15	Slab 8	26,35	30,54	0,238	38,86	- 21,5	27,49		
16	Slab 9	24,37	47,18	0,227	38,86	+ 21,4	-		

Cofradal 60/0,75 mm  
 $k = - 7,83 \cdot 10^{-3}$   
 $m = 148,4$

TNO		Cofradal						60/0,75 mm		Quelle /1/						
Nr.	Bezeichnung	b	d	b <sub>s</sub>	d <sub>s</sub>	l	L <sub>s</sub>	t <sub>N</sub>	A <sub>a</sub>	g	β <sub>S</sub>	β <sub>WS</sub>	f <sub>c</sub>	V <sub>t</sub>	A <sub>a</sub> /b <sub>s</sub> · L <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>	V <sub>t</sub> /b <sub>s</sub> · d <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>
-	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	-	-
7	specimen 10	1000	160	1000	126	3000	850	0,695	948	13,3	331	34,4	27,5	35,9	0,212 · 10 <sup>-3</sup>	27,2 · 10 <sup>-3</sup>
8	specimen 11	1000	110	1000	76	2000	600	0,688	939	6,0	341	35,5	30,1	36,7	0,285 · 10 <sup>-3</sup>	44,0 · 10 <sup>-3</sup>

TNO		Cofradal			60/0,75 mm		Quelle /1/	
Nr.	Bezeichnung	V <sub>t</sub> /b <sub>s</sub> · d <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>	Mittelwert	Abweichung	charakt. Wert	k-Wert	m-Wert	
-	-	-	-	%	-	-	-	
7	specimen 10	27,2 · 10 <sup>-3</sup>	27,2 · 10 <sup>-3</sup>	-	24,4 · 10 <sup>-3</sup>	- 21,6 · 10 <sup>-3</sup>	230,1	
8	specimen 11	44,0 · 10 <sup>-3</sup>	44,0 · 10 <sup>-3</sup>	-	39,6 · 10 <sup>-3</sup>			

m + k - Verfahren ( mit  $L_R$  )

Test	$P_u$ [kN]	G [kN]	g [kN/m]	$V_t$ [kN]	b [mm]	d [mm]	$d_s$ [mm]	$L_R^{(1)}$ [mm]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$y = \frac{V_t}{b \cdot d_s \cdot \sqrt{f_c}}$ [10 <sup>-3</sup> ]	$x = \frac{A_s}{b \cdot L_s \cdot \sqrt{f_c}}$ [10 <sup>-3</sup> ]	charakt. Wert (min. 10%) [10 <sup>-3</sup> ]
11A	15,0	2,1	2,05	11,63	989	114	78	1118	910	43,61	22,83	0,125	-
11B	12,5	2,1	2,05	10,38	989	114	78	1234	910	43,10	20,50	0,114	18,45
16LA	22,0	2,1	3,19	16,84	982	161	125	1390	910	43,61	20,77	0,101	-
16LB	18,7	2,1	3,16	15,14	980	160	124	1483	910	43,10	18,98	0,095	17,08
16KA	43,0	3,18	3,21	27,91	980	162	126	941	910	44,20	34,00	0,148	-
16KB	38,1	3,18	3,21	25,46	980	162	126	1425	910	44,20	31,01	0,098	27,91
20A	31,1	2,1	4,22	22,93	989	202	166	1383	910	37,40	22,84	0,109	-
20B	30,8	2,1	4,23	22,80	991	202	166	1484	910	37,40	22,66	0,101	20,39

A3.6

(1)  $L_R \cong$  Abstand Riß - Plattenende



Salford		Cofradal			60/0,75 mm		Quelle /3/						
Nr.	Bezeichnung	b	d	$t_N$	$\ell$	$A_a$	$L_R$	$\beta_S$	$\beta_{W10}$	g	$d_s$	$\beta_{W20}$	$f_c$
-	-	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
9	Slab 1	838	159,5	0,6566	4000	744,8	1548	344	29,3	9,85	123,2	25,49	21,66
10	Slab 2	838	160,8	0,6646	4000	753,9	1550	343,4	28,5	9,855	124,5	24,8	21,08
11	Slab 4	843,3	112,4	0,683	2000	774,8	802,3	338	33,4	3,17	76,1	29,06	24,7
12	Slab 5	841	113,7	0,6832	2000	775	799,1	342,7	29,0	3,21	77,4	25,23	21,45
13	Slab 6	843	113,8	0,667	2000	756,6	790,1	343,8	29,1	3,195	77,5	25,32	21,52
14	Slab 7	839,3	139,3	0,6644	3000	753,7	1173,0	345,5	27,8	6,225	103	24,19	20,56
15	Slab 8	839,1	138,1	0,6684	3000	758,2	1176,4	348,5	34,5	6,165	101,8	30,02	25,52
16	Slab 9	840,7	139,4	0,6526	3000	740,3	1174,3	344,6	36,3	6,180	103,1	31,58	26,84

$L_R \hat{=}$  Abstand Rißeinleitungsblech - Plattenende

Salford		Cofradal			60/0,75 mm		Quelle /3/	
Nr.	Bezeichnung	$V_t$	$V_t/2b \cdot d_s \sqrt{f_c}$	$A_s/b \cdot L_R \sqrt{f_c}$	Mittelwert	Abweichung	charakt. Wert	
-	-	kN	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	%	$10^{-3}$	
9	Slab 1	21,28	-	-	-	-	-	
10	Slab 2	24,26	-	-	-	-	-	
11	Slab 4	33,26	52,14	0,230	60,70	- 14,2	46,93	
12	Slab 5	37,3	61,86	0,249	60,70	+ 1,9	-	
13	Slab 6	41,28	68,11	0,245	60,70	+ 12,2	-	
14	Slab 7	23,3	-	-	-	-	-	
15	Slab 8	26,35	30,54	0,152	38,86	- 21,5	27,49	
16	Slab 9	24,37	47,18	0,145	38,86	+ 21,4	-	

Cofradal 60/0,75 mm

$k = -10,39 \cdot 10^{-3}$

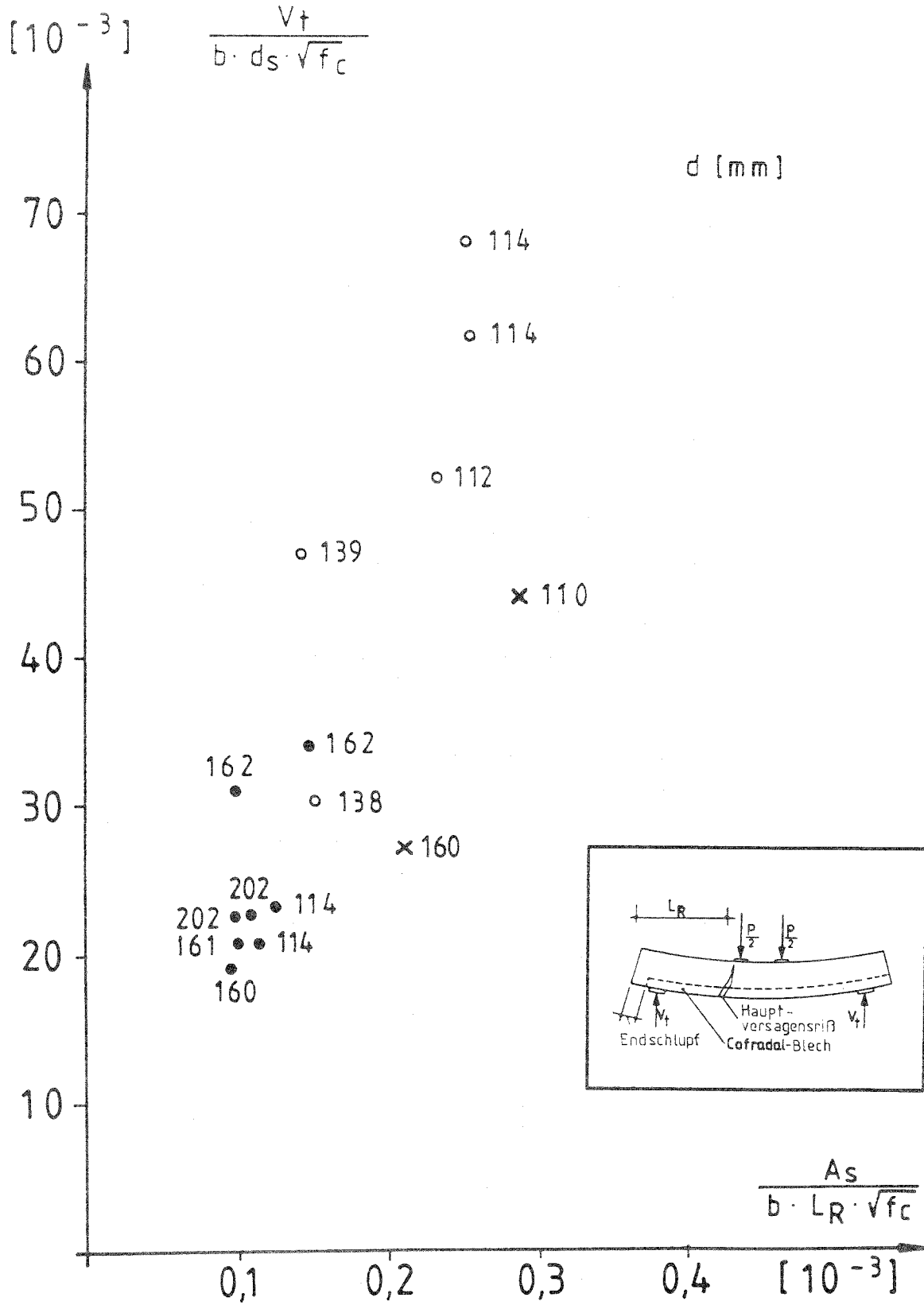
$m = 249,2$

TNO		Cofradal						60/0,75 mm		Quelle /1/						
Nr.	Bezeichnung	b	d	b <sub>s</sub>	d <sub>s</sub>	l	L <sub>s</sub>	t <sub>N</sub>	A <sub>a</sub>	g	β <sub>S</sub>	β <sub>WS</sub>	f <sub>c</sub>	V <sub>t</sub>	A <sub>a</sub> /b <sub>s</sub> · L <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>	V <sub>t</sub> /b <sub>s</sub> · d <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>
-	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	-	-
7	specimen 10	1000	160	1000	126	3000	850	0,695	948	13,3	331	34,4	27,5	35,9	0,212 · 10 <sup>-3</sup>	27,2 · 10 <sup>-3</sup>
8	specimen 11	1000	110	1000	76	2000	600	0,688	939	6,0	341	35,5	30,1	36,7	0,285 · 10 <sup>-3</sup>	44,0 · 10 <sup>-3</sup>

TNO		Cofradal		60/0,75 mm		Quelle /1/		
Nr.	Bezeichnung	V <sub>t</sub> /b <sub>s</sub> · d <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>	Mittelwert	Abweichung	charakt. Wert	k-Wert	m-Wert	
-	-	-	-	%	-	-	-	
7	specimen 10	27,2 · 10 <sup>-3</sup>	27,2 · 10 <sup>-3</sup>	-	24,4 · 10 <sup>-3</sup>	- 21,6 · 10 <sup>-3</sup>	230,1	
8	specimen 11	44,0 · 10 <sup>-3</sup>	44,0 · 10 <sup>-3</sup>	-	39,6 · 10 <sup>-3</sup>			

Anordnung der Rißeinleitungsbleche unbekannt

# m+k - Verfahren



- Kaiserslautern
- × TNO
- o Salford

m + k - Verfahren ( mit  $P_R$  )

Test	$P_R$ (1) [kN]	G [kN]	g [kN/m]	$V_t$ [kN]	b [mm]	d [mm]	$d_s$ [mm]	$L_s$ [mm]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$y = \frac{V_t}{b \cdot d_s \cdot \sqrt{f_c}}$ [10 <sup>-3</sup> ]	$x = \frac{A_s}{b \cdot L_s \cdot \sqrt{f_c}}$ [10 <sup>-3</sup> ]	charakt. Wert (min. 10%) [10 <sup>-3</sup> ]
11A	12,34	2,1	2,05	10,30	989	114	78	1200	910	43,61	20,22	0,116	18,20
11B	12,47	2,1	2,05	10,36	989	114	78	1200	910	43,10	20,47	0,117	-
16LA	12,15	2,1	3,19	11,91	982	161	125	1200	910	43,61	14,69	0,117	13,22
16LB	12,96	2,1	3,16	12,27	980	160	124	1200	910	43,10	15,38	0,118	-
16KA	24,80	3,18	3,21	18,81	980	162	126	650	910	44,20	22,91	0,215	20,62
16KB	32,94	3,18	3,21	22,88	980	162	126	650	910	44,20	27,87	0,215	-
20A	18,76	2,1	4,22	16,76	989	202	166	1200	910	37,40	18,68	0,125	-
20B	16,66	2,1	4,23	15,73	991	202	166	1200	910	37,40	15,64	0,125	14,07

(1)  $P_R \cong$  Resttragfähigkeit bei größeren Relativverschiebungen

TNO		Cofradal							60/0,75 mm		Quelle /1/					
Nr.	Bezeichnung	b	d	b <sub>s</sub>	d <sub>s</sub>	l	L <sub>s</sub>	t <sub>N</sub>	A <sub>a</sub>	g	B <sub>S</sub>	B <sub>WS</sub>	f <sub>c</sub>	V <sub>t</sub> <sup>(1)</sup>	A <sub>a</sub> /b <sub>s</sub> · L <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>	V <sub>t</sub> /b <sub>s</sub> · d <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>
-	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	-	-
7	specimen 10	1000	160	1000	126	3000	850	0,695	948	13,3	331	34,4	27,5	31,6	0,212 · 10 <sup>-3</sup>	23,9 · 10 <sup>-3</sup>
8	specimen 11	1000	110	1000	76	2000	600	0,688	939	6,0	341	35,5	30,1	36,7	0,285 · 10 <sup>-3</sup>	44,0 · 10 <sup>-3</sup>

TNO		Cofradal			60/0,75 mm		Quelle /1/	
Nr.	Bezeichnung	V <sub>t</sub> /b <sub>s</sub> · d <sub>s</sub> √f <sub>c</sub>	Mittelwert	Abweichung	charakt. Wert	k-Wert	m-Wert	
-	-	-	-	%	-	-	-	
7	specimen 10	23,9 · 10 <sup>-3</sup>	23,9 · 10 <sup>-3</sup>	-	21,5 · 10 <sup>-3</sup>	—	—	
8	specimen 11	44,0 · 10 <sup>-3</sup>	44,0 · 10 <sup>-3</sup>	-	39,6 · 10 <sup>-3</sup>			

(1) mit P<sub>R</sub> ≙ max. Zylinderdruckkraft beim Gleiten

Salford fuhr leider nur lastgesteuert

# m + k - Verfahren

[Auswertung mit Resttragfähigkeit  $P_R$ ]

[10<sup>-3</sup>]

$$\frac{V_t}{b \cdot d_s \cdot \sqrt{f_c}}$$

70

60

50

40

30

20

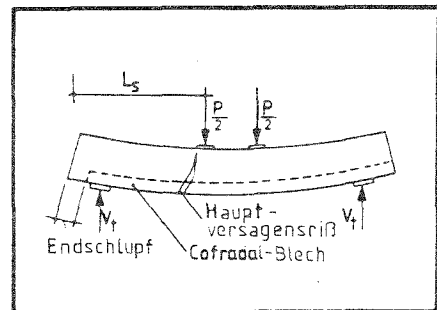
10

110  
x

• 162

• 162  
x 160

114  
114  
160  
161  
202  
202



$$\frac{A_s}{b \cdot L_s \cdot \sqrt{f_c}}$$

0,1

0,2

0,3

0,4

[10<sup>-3</sup>]

• Kaiserslautern

x TNO

A N H A N G    A 4

Photographische Dokumentation

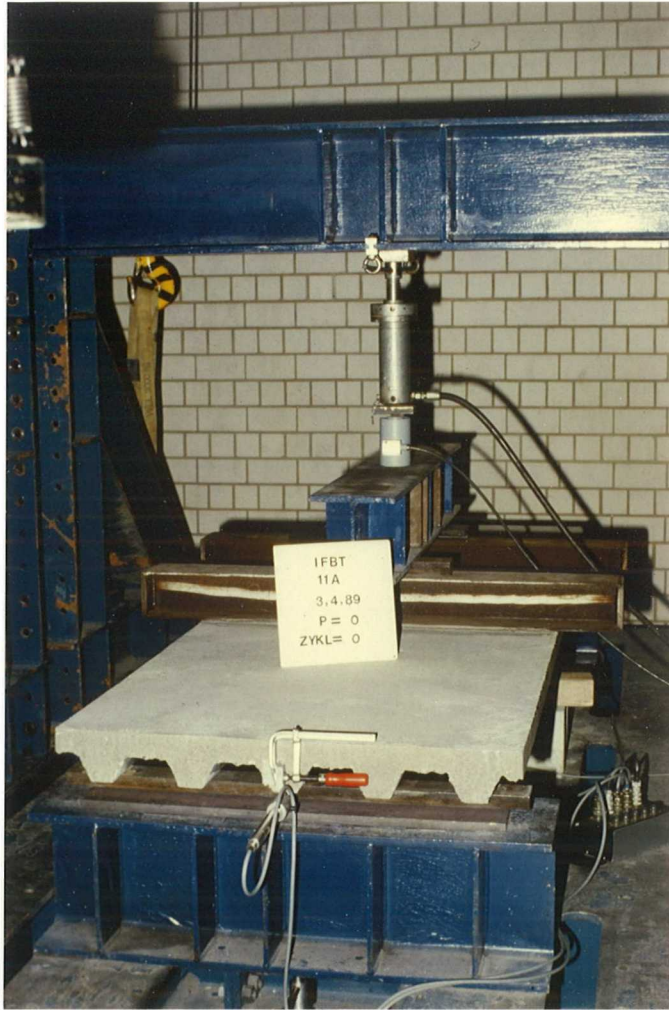


Bild A.1: Versuchsaufbau der Cofradal-Versuche mit  $L_s=1.20m$

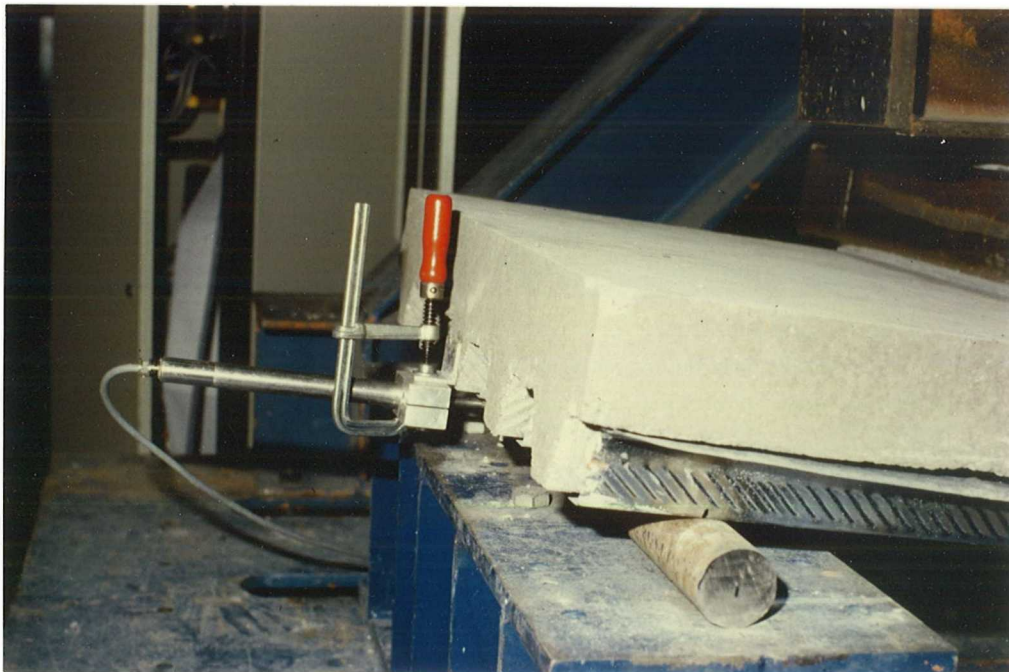


Bild A.2: Messung des Endschlupfes mit induktivem Wegaufnehmer



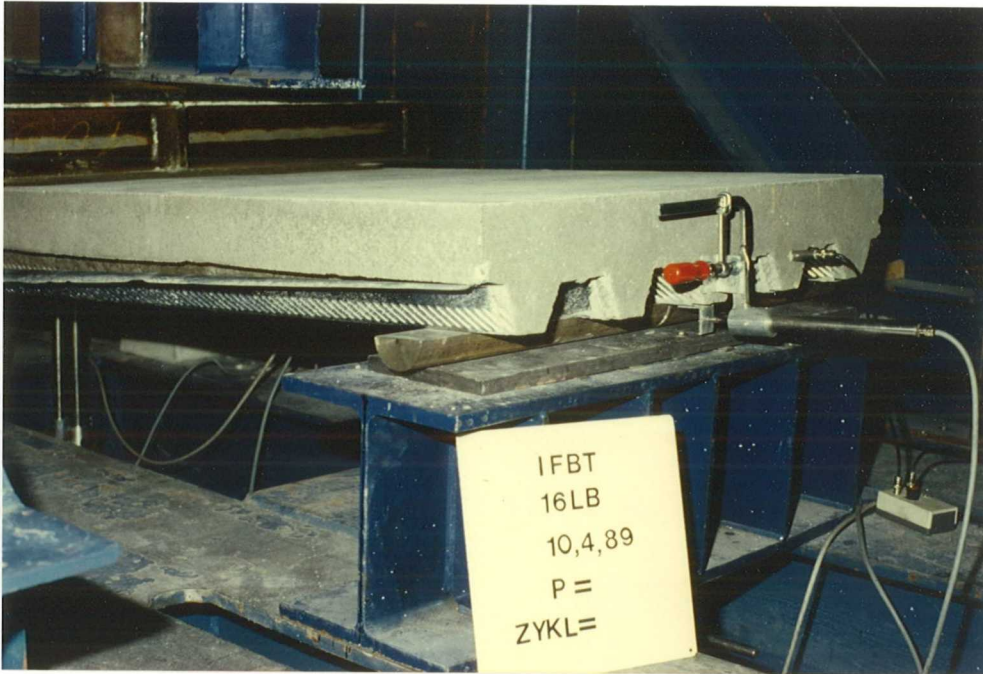


Bild A.3: deutlicher Endschlupf und seitlich abgelöste Blechränder bei Versuchsende

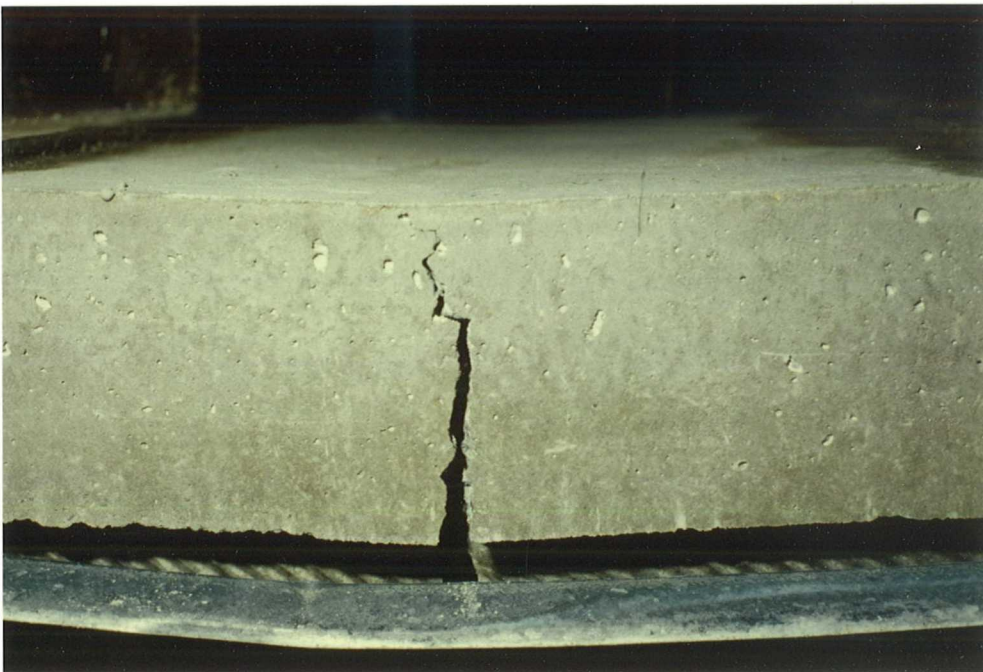


Bild A.4: typischer Hauptversagensriß zwischen den Lastleitungen

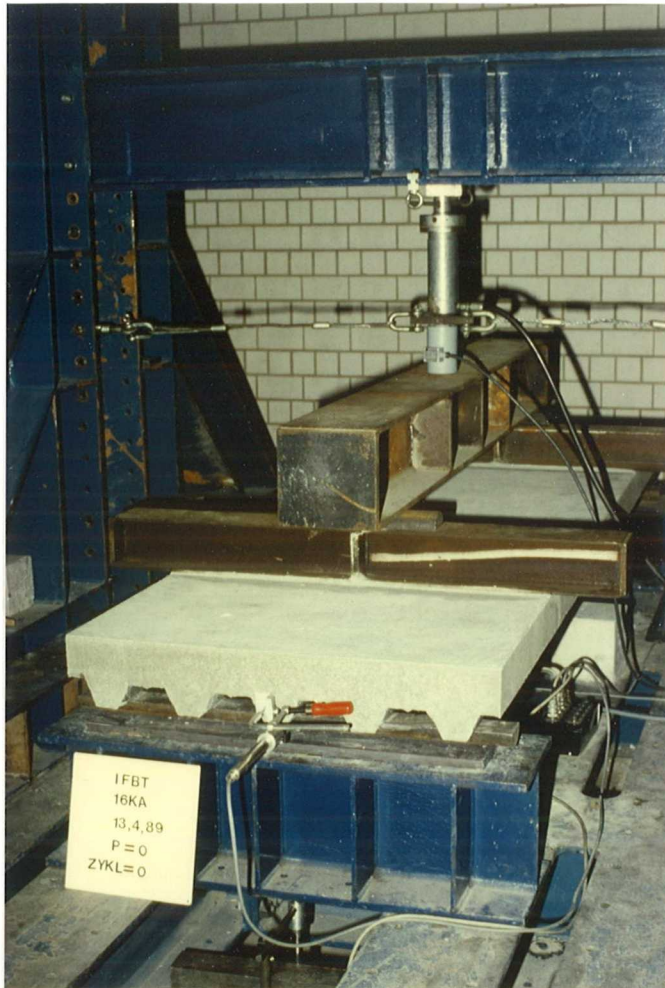


Bild A.5: Versuchsaufbau der Cofradal-Versuche mit  $L_s=0.65m$

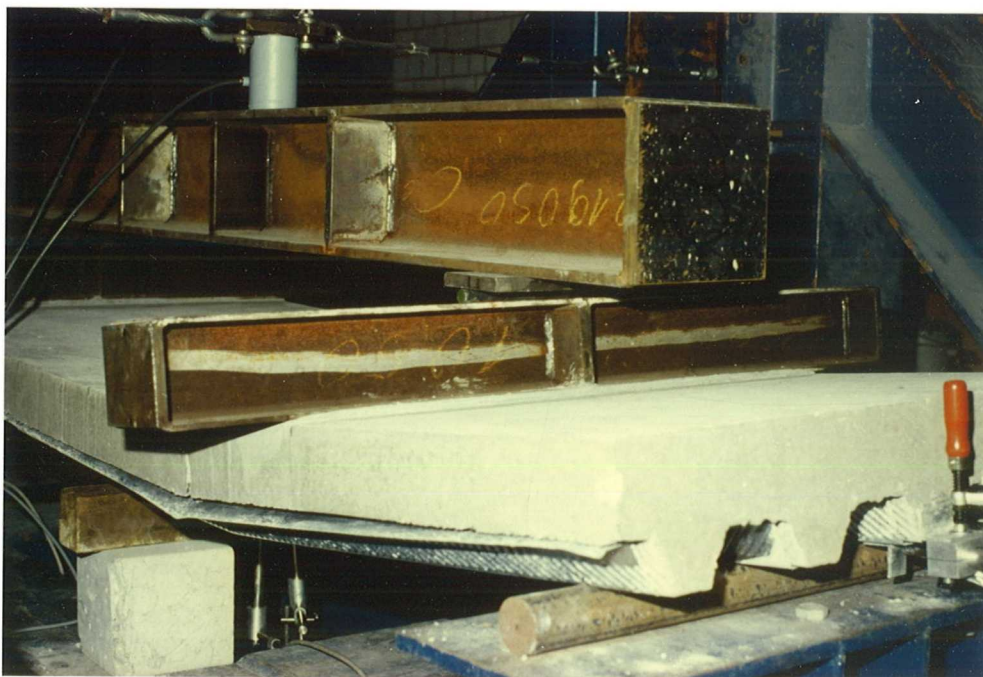


Bild A.6: deutlicher Endschlupf und Hauptversagensriß nahe der rechten Lasteinleitung

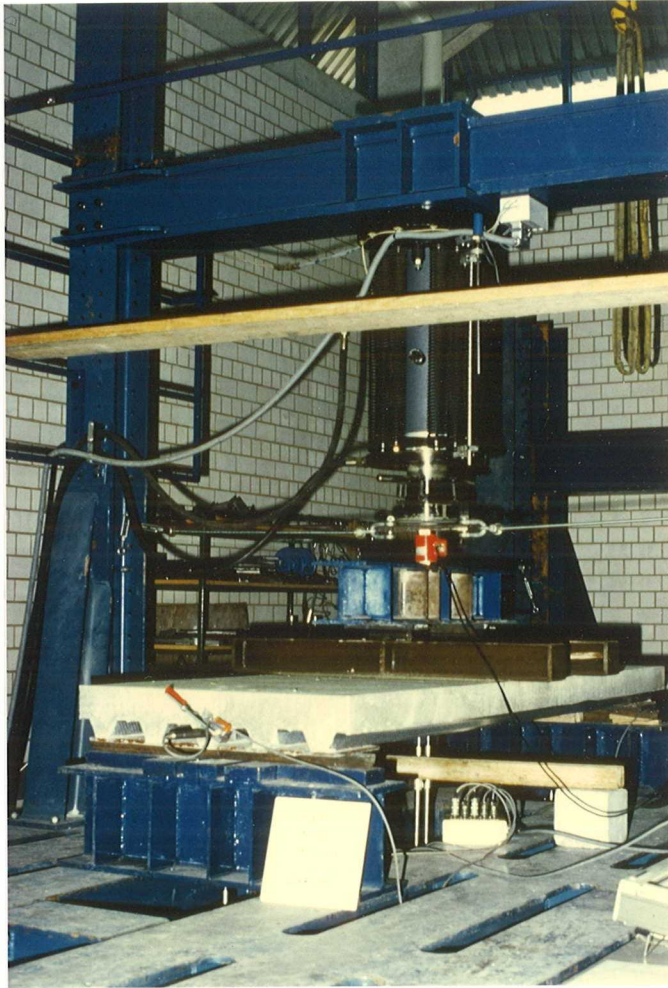


Bild 4.7: Versuchsaufbau der Cofradal-Versuche mit Endverankerung

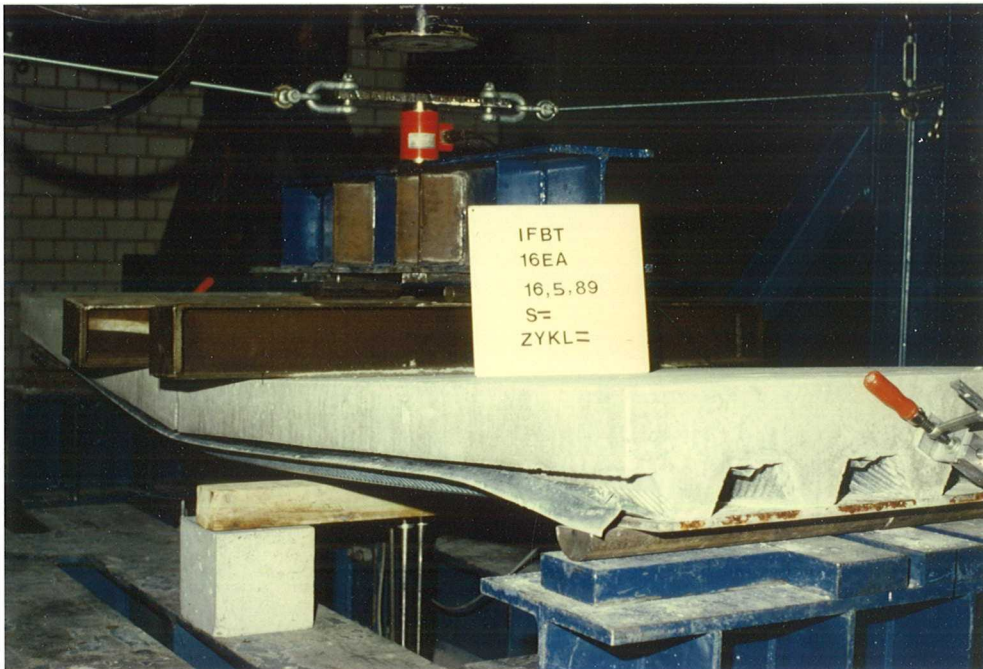


Bild 4.8: Decke mit Endverankerung nach Überschreitung der Resttragfähigkeit

1584

## Résumé

Il a été effectué 10 essais avec des dalles collaborantes de type Cofradal de différentes épaisseurs, dont deux avaient un ancrage à l'extrémité.

Il a été constaté que le comportement fragile des planchers Cofradal peut être amélioré par un ancrage avec des goujons soudés à travers la tôle. Avec cette méthode, le plancher Cofradal peut être utilisé sans que les charges admissibles soient profondément réduites.

L'interprétation des résultats des essais, qui ont été accomplis, est faite à l'aide de la théorie de l'interaction partielle ainsi que la m+k-méthode. Cette dernière méthode a été améliorée et complétée par une évaluation statistique des résultats.

Dans le cas où la valeur fragile maximale de la courbe charges-déformations est utilisée, il est recommandé pour le dimensionnement, d'augmenter le coefficient de sécurité partielle  $\gamma_m$  à une valeur d'au moins 1.50.

On ne doit en aucun cas renoncer à une charge préliminaire dynamique (contrairement à l'étude EC4).

Il est souhaitable d'utiliser des dalles collaborantes avec un comportement ductile. Cela est atteint avec des planchers de type Cofradal à l'aide d'un ancrage supplémentaire à l'extrémité. (Il est à noter que ce procédé d'ancrage d'extrémité existe déjà normalement dans les pays anglo-saxon. En effet, les goujons des poutres mixtes sont généralement soudés à travers la tôle.). Habituellement, une bonne ductilité liée avec une forte résistance à l'effort tranchant horizontal est atteinte avec des tôles profilées de type Holorib et des bossages additionnels: le décollement bac/béton est efficacement empêché et la résistance au déplacement est respectivement élevée, et cela aussi avec un glissement remarquable.

Zusammenfassung

Es wurden 10 Traglastversuche mit Cofradal-Verbunddecken unterschiedlicher Plattendicke durchgeführt, davon 2 mit Endverankerung.

Es zeigte sich, daß das an sich spröde Trag- und Versagensverhalten der Cofradal-Decke durch eine Endverankerung mit durchgeschweißten Kopfbolzendübeln an den Blechenden deutlich verbessert werden kann. Erst dadurch wird man unserer Meinung nach in die Lage versetzt, die Cofradal-Decke allgemein bauaufsichtlich zuzulassen, ohne die zulässigen Lasten nennenswert reduzieren zu müssen.

Die Auswertung der durchgeführten Versuche wurde sowohl mit der Teilverbundtheorie als auch mit dem m+k-Verfahren durchgeführt, wobei das m+k-Verfahren durch eine zeitgemäße (richtige) statistische Auswertung der Versuchsergebnisse ergänzt und verbessert wurde.

Für die Bemessung wird im Falle der Ausnutzung spröder Peakwerte der Last-Verformungs-Kurve die Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_m$  auf mindestens 1.50 empfohlen.

Auf eine dynamische Vorbelastung sollte man - im Gegensatz zum EC4-Entwurf - auf keinen Fall verzichten.

Wünschenswert sind natürlich Verbunddecken mit duktilem Trag- und Versagensverhalten. Beim Cofradal-Typ läßt sich das durch zusätzliche Endverankerungen erreichen (Es sei angemerkt, daß diese Endverankerung in den angelsächsischen Ländern ohnehin vorhanden ist, da die Kopfbolzen des Trägerverbundes in der Regel durch die Bleche hindurchgeschweißt werden!). Ansonsten wird eine gute Duktilität verbunden mit hoher Horizontalschubtragfähigkeit mit hinterschnittenen Profilblechen mit zusätzlichen Noppen oder Sicken erreicht: die Trennung in der Verbundfuge ist dann wirksam verhindert und der Verschiebewiderstand entsprechend groß, und das auch bei deutlich sichtbarem Endschlupf.

Summary

Ten shear bond capacity tests have been carried out with the Cofradal-slab with different slab depths. Two of the samples had additional end anchorage means.

The obviously brittle behaviour of the Cofradal-slab can be appreciably improved by using through-welded headed studs as a means of end anchorage. Only thus the Cofradal-slab might obtain a permission without a considerable reduction of the allowable loads.

A

The accomplished tests were evaluated by means of the partial interaction theory as well as the m+k-method. In addition the m+k-method was complemented and improved by a statistical test evaluation.

If brittle peak values are used for the evaluation of test results, an enlarged material safety factor  $\gamma_m$  of no less than 1.50 is recommended.

In contrast to the EC4-draft a cyclic preloading should always precede the capacity test.

Composite slabs with ductile behaviour would of course be desirable. Concerning the Cofradal-slab this can be achieved by using additional end anchorage means (In Anglo-Saxon building structures made of steel, through-welded headed studs are normally provided.). Otherwise good ductility linked with high horizontal shear bond capacity can be gained by using profiled metal decks with re-entrant shape combined with additional embossments or indentations: separation along the steel-concrete-interface is prevented effectively and the resistance against relative displacements is respectively high, even at considerable end slip.