

Vierendeelträger bei Modulgerüsten mit Drehfedern streuender Steifigkeit

T 2304/1

T 2304/1

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



Bericht zum Forschungsvorhaben

Vierendeelträger bei Modulgerüsten mit Drehfedern

streuender Steifigkeit

Berichter: Dr. Völkel
Zimmermann

Auftraggeber: Institut für Bautechnik, Berlin
Az IV 1-5-497/87

Datum des Berichtes: 19.03.1990

Auftrag: 25-14940-3

Textseiten: 27

Beilagen: 109

Das vorliegende Forschungsvorhaben wurde finanziell vom Institut für Bautechnik unterstützt. Das Versuchsmaterial stellten die Hersteller der untersuchten Modulgerüste kostenlos zur Verfügung.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenstellung der Beilagen	3
1. Zum Thema und Ablauf des Forschungsvorhabens	4
2. Versuchsmaterial	8
3. Drehfedersteifigkeit von Modul-Knoten	8
3.1 Durchführung der Versuche	8
3.2 Ergebnisse der M- ϕ -Versuche	10
3.2.1 Allgemeines	10
3.2.2 Vorversuche, jeweils einmalige Hysteresis- schleifen $\phi = f(\pm M_i)$ für in Schritt- weiten ΔM ansteigende Laststufen M_i	11
3.2.2.1 Knoten L	11
3.2.2.2 Knoten R	12
3.2.3 Hauptversuche, jeweils mehrmalige Hysteresis- schleifen $\phi = f(\pm M_i)$ für in Schrittweiten ΔM ansteigende Laststufen M_i	13
3.2.3.1 Knoten L	13
3.2.3.2 Knoten R	15
3.3 Bewertung der Ergebnisse der M- ϕ -Versuche	18
4. Großversuche mit Vierendeelträgern	19
4.1 Versuchsaufbau und -durchführung	19
4.2 Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung von F_u bei konstanter Belastung H	20
4.2.1 Allgemeines	20
4.2.2 Versuch VL 00	22
4.2.3 Versuch VL 07	23
4.2.4 Versuch VL 08	23
4.2.5 Versuch VR 01	24
4.2.6 Versuch VR 03	24
4.2.7 Versuche VR 05/VR 06	25
4.3 Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung von H_u bei konstanter Belastung F	25
4.3.1 Allgemeines	25
4.3.2 Versuche VL 05 und VL 06	26
4.3.3 Versuche VR 02 und VR 03	27
4.4 Bewertung der Ergebnisse der Großversuche	27

Zusammenstellung der Beilagen

Text	Bilder	Tabellen	Beilagen	
Versuchsaufbau für M- ϕ -Versuche	1-5	-	1-3	
M- ϕ -Diagramme der Versuche				
L 01 bis L 05	6-10	-	4-6	
R 01 bis R 07	11-17	-	7-10	
Anfangs-Drehwinkelsteifigkeit				
L 01 bis R 07	-	1	11	
(MPHI 01-46) L 11 bis L 56		2	12-14	
M- ϕ -Diagramme L 11 bis L 56	18-63	-	15-37	
Drehwinkelsteifigkeiten				
R 11 bis R 24	-	3	38	
M- ϕ -Diagramme R 11 bis R 24	64-77	-	39-45	
<u>Großversuche</u>				
Versuchsaufbau Modulgerüst	78-87	-	46-51	
Gerüst-Details	-	-	52-58	
System-Abmessungen	88	-	59	
Materialkennwerte	-	4	60	
Versuchsergebnisse in Meßwerten:	-	5-87	<u>Anhang A1</u>	
	in Diagrammen:			
Versuch F \rightarrow F _u :	VL 00	89-96	-	61-64
	VL 07	97-104	-	65-68
	VL 08	105-116	-	69-74
Versuch F \rightarrow F _u :	VR 01	117-126	-	75-79
	VR 03	127-134	-	80-83
	VR 05	135-142	-	84-87
	VR 06	143-154	-	88-93
Versuch H \rightarrow H _u :	VL 05	155-162	-	94-97
	VL 06	163-170	-	98-101
Versuch H \rightarrow H _u :	VR 02	171-178	-	102-105
	VR 04	179-186	-	106-109

1. Zum Thema und Ablauf des Forschungsvorhabens

Für die ersten Gerüste aus Stahl wurden Rohre und Kupplungen verwendet. Jede Verbindung zweier Rohre mußte durch eine Kupplung realisiert werden, was Arbeitszeit bei der Montage kostet. Die Fixierung einiger Verbindungen mit Schweißnähten unter Herstellung von Vertikalrahmen, evtl. auch Horizontalrahmen, brachte eine Reduzierung der Montagezeit, allerdings auf Kosten der Freiheit bei der Gestaltung von Grundriss des Gerüsts und Abstand der Gerüstlagen.

In den letzten Jahren fand bei den Gerüstsystemen ein weiterer Entwicklungsschub zu sogenannten Modul-Gerüstsystemen statt, bei denen die Riegel und Diagonalen über besondere Knotenkonstruktionen an die Ständer angeschlossen werden. Die Modul-Knoten erhöhen wieder die Freiheit in der Anordnung eines Gerüsts bei gleichzeitiger Montagefreundlichkeit durch Keilverbindungen oder durch die Möglichkeit, mehrere Anschlüsse durch ein Verbindungsteil zu erfassen.

Bei bestimmten, üblichen Gerüstkonstruktionen wird eine Einspannwirkung der Riegel in die Ständer benötigt, z. B. zur Erzielung ausreichender Schubsteifigkeit der Vierendeelträger, die bei einem Fassadengerüst durch Innen- und Außenständer und die Querriegel gebildet werden. Während in Großbritannien auch anstelle dieser Vierendeelträger, durch Anordnung von Diagonalen, Fachwerkträger ausgebildet werden dürfen, erlauben die Berufsgenossenschaften in Deutschland nicht, den freien Durchgang durch Diagonalen zu behindern.

Die für die Berechnung erforderliche Charakteristik der Drehfeder zwischen Riegel und Ständer wird durch Versuche ermittelt; sie ist in der Regel nichtlinear und streut erheblich.

Statische Berechnungen von Gerüsten mit mehreren solcher Drehfedern sind deshalb nur sehr aufwendig zu realisieren. Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für solche

Knoten sehen zur Vereinfachung in der Regel vor, daß bei der Untersuchung von Systemen mit einer mittleren Anschlußsteifigkeit gerechnet werden darf, wenn an den Stellen der größten Beanspruchungen im Riegel zusätzliche Grenzbetrachtungen an örtlichen Systemen mit der Streubreite der Anschlußsteifigkeit durchgeführt werden.

Der ursprüngliche Antrag zu dem Forschungsvorhaben vom 08.08.1986 sah vor, daß für zwei Gerüstsysteme, einem mit einer steifen (L) und einem mit einer relativ weichen (R) Drehfeder-Charakteristik, typische Vierendeelträger durch Versuch und Rechnung untersucht werden. Für jedes dieser Gerüstsysteme sollten 2 Lastfälle in je 3 gleichen Versuchen geprüft werden. Ziel der Untersuchungen war es:

- festzustellen, ob die bisherigen Rechenannahmen ausreichend sind,
- evtl. einen Vorschlag für vereinfachte Rechenannahmen zu erarbeiten.

Vorversuche mit Vierendeelträgern zeigten, daß es für das weitere Vorgehen maßgebend wichtig ist, die aktuellen Drehfedersteifigkeiten der verwendeten Charge der Riegelanschlüsse genauer zu kennen. Mitglieder des Sachverständigenausschusses "Gerüste" regten deswegen an, das Versuchsprogramm zu modifizieren und bei Kürzung des Umfangs der Großversuche Detailversuche zur Bestimmung der aktuellen Drehfedersteifigkeiten für die beiden vorgesehenen Modulknotten durchzuführen.

In die Zeit dieser Detailversuche fielen Überlegungen im Sachverständigenausschuß "Gerüste", bei Versuchen dieser Art stets vollständige Hysteresisschleifen im positiven und negativen Lastbereich zu fahren. Die Anregung wurde aufgegriffen und bei den Detailversuchen realisiert (Vorversuche). Dabei ist darauf hinzuweisen, daß es sich um die ersten Serienuntersuchungen dieser Art für solche Verbindungsmittel des Gerüstbaus handelt. Bei den früheren Zu-

lassungsversuchen waren beim gleichen Versuch die Lasten nur in einer Vorzeichenrichtung aufgebracht und vollständige Hysteresisschleifen allenfalls für kleine Lasten zur Bestimmung der Lose gefahren worden.

Die Ergebnisse der Detailversuche brachten relativ geringe Steifigkeiten im Verhältnis zu den Festlegungen der Zulassungsbescheide. Insbesondere bei höheren Laststufen nahmen die Verformungen nach Entlastung und erneuter Belastung deutlich erkennbar zu. Versuche mit wiederholten Belastungen auf dem gleichen Lastniveau zeigten zunehmende Verformungen bei jeder weiteren Wiederholung.

Da es nicht sinnvoll erschien, nach dem ursprünglichen Plan des Forschungsvorhabens weiterzuarbeiten, bevor nicht die neu aufgetretenen Fragen bei den Detailversuchen ausreichend beantwortet waren, wurde am 21.06.1988 eine Modifikation des Forschungsprogramms beantragt mit folgenden Zielen:

- Durch Belastungswiederholungen bei $x \cdot$ Gebrauchslast ($x = 0,33; 0,67; 1,0; 1,33; 1,67$) wird die Größe der Reduzierung der Steifigkeiten und die Zahl der Wiederholungen bestimmt, bis zu welcher der Vorgang abklingt.
- Durch Belastungswiederholungen nur bei z. B. $1,2 \cdot$ Gebrauchslast wird festgestellt, ob damit der Einfluß der Belastungswiederholungen auf kleinerem Lastniveau bereits abgedeckt ist.
- Durch Belastungswiederholungen auf höheren Lastniveaus wird untersucht, ob und in welchem Umfang die Traglast reduziert wird.
- Es wird untersucht, ob vorbelastete Teile der Verbindungs-konstruktion nach Lösen und erneutem Anziehen des Keils ein geändertes Last-Verformungs-Verhalten zeigen und welches geänderte Verhalten die Kombination der Klemmen und Verbindungspartner verschiedener, vorbelasteter Knoten ergibt.

Die Versuche sollten zunächst nur mit einem (L) der untersuchten Systeme durchgeführt werden. Danach sollte wenigstens noch ein Großversuch durchgeführt werden.

Dem Änderungsantrag wurde am 25. April 1988 stattgegeben.

Die erweiterten Detailversuche wurden in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführt (Hauptversuche), sie ergaben, daß die Verformungen einer Klauenverbindung bei wiederholter Belastung erst ab einem gewissen Lastniveau signifikant zunehmen und damit die Steifigkeit abnimmt. Die Ursache liegt in den Besonderheiten der Keilverbindung (Abbau der Vorspannung in der Keilverbindung).

Anstelle des einen noch geplanten Großversuchs wurden auch Detailversuche für den zweiten Modulknoten (R) durchgeführt.

Die Erfahrungen aus diesen Untersuchungen sind in der Zwischenzeit vom Sachverständigenausschuß "Gerüste" in Regeln für die Durchführung solcher Detailversuche für Modul-Knoten umgesetzt worden.

Im Hinblick auf das ursprüngliche Ziel des Forschungsvorhabens konnten so zwar weniger Erkenntnisse gewonnen werden, hinsichtlich des Verhaltens von Modul-Knoten-Verbindungen bei wiederholter Belastung auf gleichem Lastniveau und bei dem Durchfahren vollständiger Hysteresisschleifen im positiven und negativen Lastbereich wurde der Kenntnisstand jedoch erheblich erweitert.

Nachfolgend wird vor allem über die Ergebnisse der Detailversuche berichtet, in einem eigenen Abschnitt werden aber auch die Ergebnisse der wenigen durchgeführten Vierendeelträger-Versuche zu Beginn des Vorhabens vorgestellt. Die zugehörigen statischen Berechnungen sind in einem eigenen Bericht 25-14940-3/A2 vom Büro SIGMA Karlsruhe enthalten, das vereinbarungsgemäß diesen Teil des Forschungsvorhabens

übernehmen sollte. Die zahlenmäßige Auflistung der Ergebnisse der Versuche ist ebenfalls in einem eigenen Bericht 25-14940-3/A1 zusammengefaßt.

2. Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial wurde von den beiden Herstellerfirmen kostenlos zur Verfügung gestellt und an die FMPA geliefert.

Die Teile entsprachen hinsichtlich Form, Abmessungen und Werkstoff weitgehend den Angaben in dem Zulassungsbescheid.

In Tabelle 4, Beilage 60, sind Ergebnisse von Werkstoffuntersuchungen festgehalten.

Das System mit der größeren Drehwinkelsteifigkeit wird im Bericht mit L abgekürzt bezeichnet, das System mit der kleineren Steifigkeit mit R.

Kennbuchstabe im Bericht	Zulassung	Anlagen der Zulassung		Beilagen dieses Berichts
		Anschlußteil am Ständer	Kopf des Riegels	
L	Z 8.1-64	4	5	52, 53
R	Z 8.1-19	1,2	1, 3, 4, 5	54-58

3. Drehfedersteifigkeit von Modul-Knoten

3.1 Durchführung der Versuche

Für die Versuche zur Bestimmung der $M-\phi$ -Beziehung wurden 450 mm lange Ständerrohrabschnitte mit jeweils einem Gerüst-knoten in 1/2 in einer Versuchseinrichtung fest eingespannt. Am Knotenpunkt wurde ein 110 cm langer Gerüstriegel angeschlossen. Den Versuchsaufbau zeigt die Prinzipskizze in Bild 1, Beilage 1, und die Bilder 2 bis 5, Beilagen 2 und 3.

Die Kraft wurde von einem 150 cm langen Einzelprüfzylinder (EPZ) mit einem Hebelarm von 100 cm zum Ständerrohr über eine Kraftmeßdose eingeleitet. Die Winkeländerungen wurden 15 cm vom Ständerrohr entfernt mit einem elektrischen Winkelgeber gemessen.

Die Verdrehungsanteile aus der Versuchseinrichtung sind um ca. 2 Zehnerpotenzen kleiner als die Gesamtverdrehungen.

Der elastische Anteil der Verdrehungen aus dem Ständerrohrstück und aus dem Abschnitt des Riegels bis zum Winkelgeber beträgt etwa

$$L: \phi_{e1} = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ [rad/kNcm]}$$

$$R: \phi_{e1} = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ [rad/kNcm]}$$

(für eine Querlast von 1 kN im Abstand von 100 cm vom Ständerrohrtrand, s. Beilage 1). Dabei sind die Nennmaße der Rohre angesetzt und im Klauenbereich $EI = \infty$.

In einigen Kontrollversuchen mit Winkelmessungen zugleich an der Klaue und im Abstand von 15 cm vom Ständerrohrtrand entfernt wurde die Größenordnung von ϕ_{e1} bestätigt.

Die im Abstand von 15 cm vom Ständerrohrtrand gemessenen Winkel ϕ_v müssen also um ϕ_{e1} verkleinert werden.

$$\phi_v^* = \phi_v - \phi_{e1} \cdot F.$$

In den Diagrammen der Beilagen sind die Winkel ohne Korrektur aufgetragen, weil die untersuchte Fragestellung eher auf den qualitativen Verlauf der Kurven in Abhängigkeit von den aufbrachten Momenten zielte.

Die Steifigkeiten für den Knoten L sind unter Berücksichtigung der Korrektur angegeben. Beim Knoten R macht bei den Steifigkeiten die Korrektur maximal 4 % aus. Deshalb wurde darauf verzichtet.

Der EPZ wurde weggesteuert gefahren, Kraft und Winkel wurden mit Hilfe einer Vielstellen-Meßanlage registriert und ausgewertet. Der $M-\phi$ -Verlauf wurde während des Versuchs auf einem Grafik-Bildschirm und unmittelbar nach Versuchsende als Hardcopy festgehalten.

3.2 Ergebnisse der $M-\phi$ -Versuche

3.2.1 Allgemeines

Aus den geplotteten $M-\phi$ -Diagrammen wurden die in den folgenden Tabellen angegebenen Steigungen zunächst mit Hilfe eines Lineals eingezeichnet und dann als Verhältnis $\Delta M/\Delta\phi$ berechnet. Für den Vergleich mit den in den Zulassungen angegebenen Werten erfolgte dabei eine Beschränkung auf den Bereich kleinerer Momente im Gebrauchslastbereich und auf den Bereich der $M-\phi$ -Diagramme ohne Vergrößerung der Verdrehung aus wiederholtem Durchfahren der Hysteresisschleife auf einer Laststufe. Zur Bestimmung der Anfangssteigung wurde eine Tangente im Nullpunkt an die Kurve gelegt. Die resultierende Steigung wurde dann in guter Näherung in der Regel bis zu Momenten von ± 30 kN cm als konstant angesetzt. Der Vergleich mit den in den Zulassungen festgelegten Steigungen erfolgte dann für Momente $M_i = \pm 30$ kN cm.

Für den Knoten L legt die Zulassung fest:

$$\left. \begin{array}{l} \min c_\phi = 9\,460 - 99 |M| \\ \max c_\phi = 37\,700 - 365 |M| \\ \bar{c}_\phi = 19\,050 - 187 |M| \\ \text{zul } M = \pm 44 \text{ kN cm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{mit Dimensionen:} \\ M \text{ [kN cm]} \\ c_\phi \text{ [kN cm/rad]} \end{array}$$

Für den Knoten R legt die Zulassung für die hier untersuchte Variante fest:

Für den Bereich positiver Momente:

M = 0 bis 50	min c_ϕ =	500	} mit Dimensionen:
	max c_ϕ =	7 100	
	\bar{c}_ϕ =	1 100	
	zul M =	46	
			M [kN cm]
			c_ϕ [kN cm/rad]

Für den Bereich negativer Momente:

M = 0 bis 30	min c_ϕ =	700	} mit Dimensionen:
	max c_ϕ =	4 300	
	\bar{c}_ϕ =	1 100	
	zul M =	-57	
			M [kN cm]
			c_ϕ [kN cm/rad]

Beim wiederholten Durchfahren der Hysteresisschleifen auf gleichem Lastniveau $\pm M_i$ zeigen die M - ϕ -Diagramme für den Knoten R nahezu von Anfang an, für den Knoten L etwa vom Bereich des zulässigen Moments an, die Tendenz, daß die Verdrehungen zunehmen. Dieser Vorgang klingt für die hier untersuchte Zahl der Wiederholungen ($n < 10$) nicht ab. Er bedeutet praktisch eine zunehmende Vergrößerung der Lose. Die Ursache für diese Erscheinung ist offensichtlich das Abbauen der Vorspannung in der Keilverbindung.

3.2.2 Vorversuche, jeweils einmalige Hysteresisschleifen

$\phi = f(\pm M_i)$ für in Schrittweiten ΔM ansteigende Laststufen M_i

3.2.2.1 Knoten L

Die Bilder 6 bis 10, Beilagen 4 bis 6, zeigen die M - ϕ -Diagramme der Versuche L 01 bis L 05. In Tabelle 1, Beilage 11, sind die ermittelten Anfangssteifigkeiten aufgeführt.

In der folgenden Tabelle sind aus Versuchen ermittelte Anschlußfedersteifigkeiten entsprechenden Werten der Zulassung gegenübergestellt:

Knoten L	min c_ϕ	max c_ϕ	\bar{c}_ϕ
	[kN cm/rad]		
Versuche n = 2 x 5 M = ± 20 bis ± 30 kN cm	2 518	24 219	11 171
Zulassung			
M = \pm 0 kN cm	9 460	37 700	19 050
M = \pm 30 kN cm	6 490	26 750	13 440

3.2.2.2 Knoten R

Die Bilder 11 bis 17, Beilagen 7 bis 10, zeigen die M- ϕ -Diagramme der Versuche R 01 bis R 07. In Tabelle 1, Beilage 11, sind die ermittelten Anfangssteifigkeiten aufgeführt.

In der folgende Tabelle sind aus Versuchen ermittelte Anschlußfedersteifigkeiten entsprechenden Werten der Zulassung gegenübergestellt:

Knoten R		min c_ϕ	max c_ϕ	\bar{c}_ϕ
		[kN cm/rad]		
Versuche n = 7	M = 20 bis 30 kN cm	679	1 760	1 158
	M = -20 bis -30 kN cm	652	883	722
Zulassung	M = 20 kN cm	500	7 100	1 100
	M = -29 kN cm	700	4 300	1 100

3.2.3 Hauptversuche, jeweils mehrmalige Hysteresisschleifen
 $\phi = f(\pm M_i)$ für in Schrittweiten ΔM ansteigende Last-
stufen M_i

3.2.3.1 Knoten L

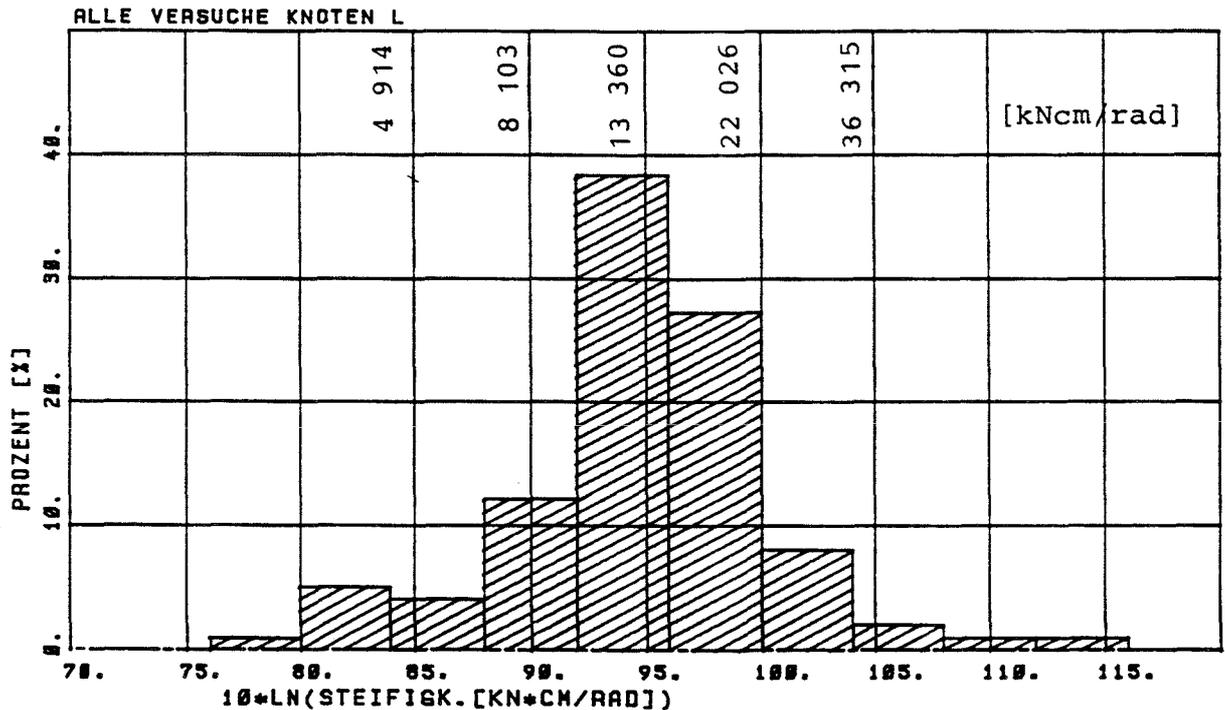
Die Bilder 18 bis 63, Beilagen 15 bis 37, zeigen die $M-\phi$ -Diagramme der Versuche L 11 bis L 56. In Tabelle 2, Beilagen 12 bis 14, sind die ermittelten Anfangssteifigkeiten aufgeführt.

In der folgende Tabelle sind aus Versuchen ermittelte Anschlußfedersteifigkeiten entsprechenden Werten der Zulassung gegenübergestellt:

Knoten L	min c_ϕ	max c_ϕ	\bar{c}_ϕ
	[kN cm/rad]		
Versuche, Keil im großen Loch, n = 45, M = ± 20 bis ± 30 kN cm*	3 280	48 130	15 350
Versuche, Keil im kleinen Loch, n = 28, M = ± 20 bis ± 30 kN cm*	4 360	99 430	17 370
Alle Hauptversuche n = 89	3 280	99 430	16 070
Alle Haupt- und Vorversuche n = 99	2 520	99 430	15 580
Zulassung M = ± 0 kN cm	9 460	37 700	19 050
M = ± 30 kN cm	6 490	26 750	13 440

* z. T. etwa linearer Verlauf bis ± 50 kN cm

Das folgende Diagramm zeigt die Verteilung der Anschlußfedersteifigkeiten.



Zur Frage, ab welcher Laststufe sich bei wiederholtem Durchfahren der Hysteresisschleifen eine Vergrößerung der Verdrehung zeigt, gibt die folgende Tabelle nach den Ergebnissen der Hauptversuche Auskunft:

$K = \frac{M_i}{zul M}$	n_G	n_+	n_-	$\frac{n_+}{n_G}$
0,9	6	6	0	1,00
1,0	10	7	3	0,70
1,1	11	5	6	0,45
1,2	7	1	6	0,14
1,3	5	1	4	0,20

mit M_i Laststufe des Moments
 zul M zulässiges Moment nach Zulassung
 [± 44 kN cm]
 n_G Anzahl der Versuche einer Laststufe
 n_+ Teilanzahl der Versuche ohne Zuwachs der Verdrehung
 n_- Teilanzahl der Versuche mit Zuwachs der Verdrehung

3.2.3.2 Knoten R

Die Bilder 64 bis 77, Beilagen 39 bis 45 zeigen die $M-\phi$ -Diagramme der Versuche R 11 bis R 24.

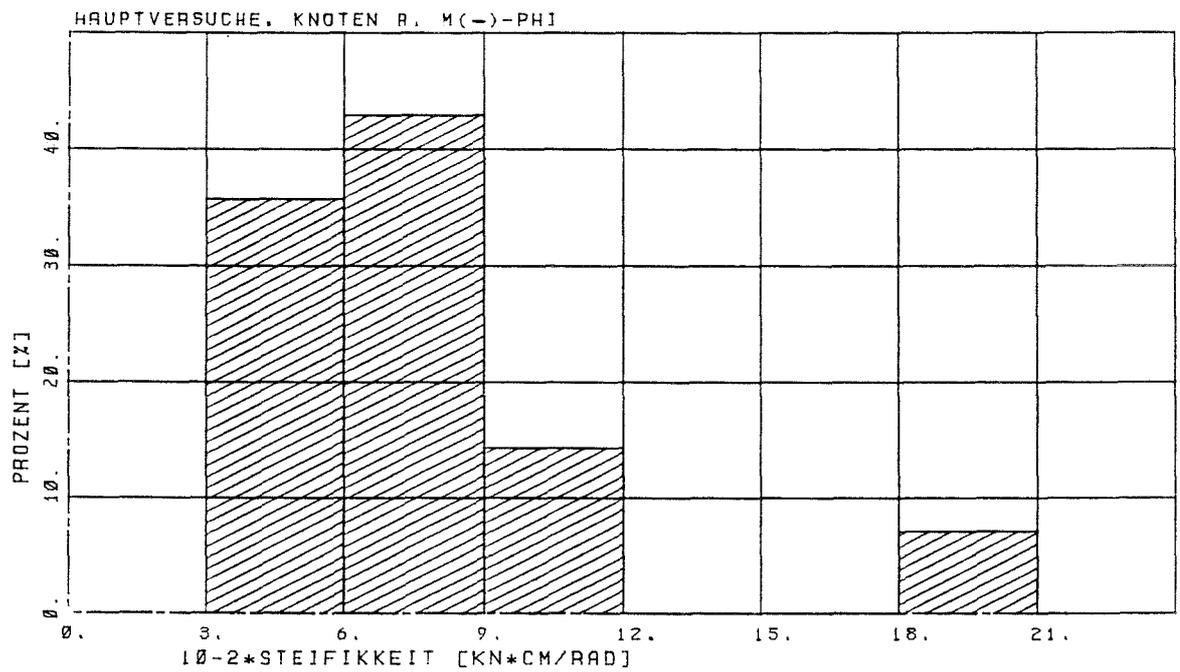
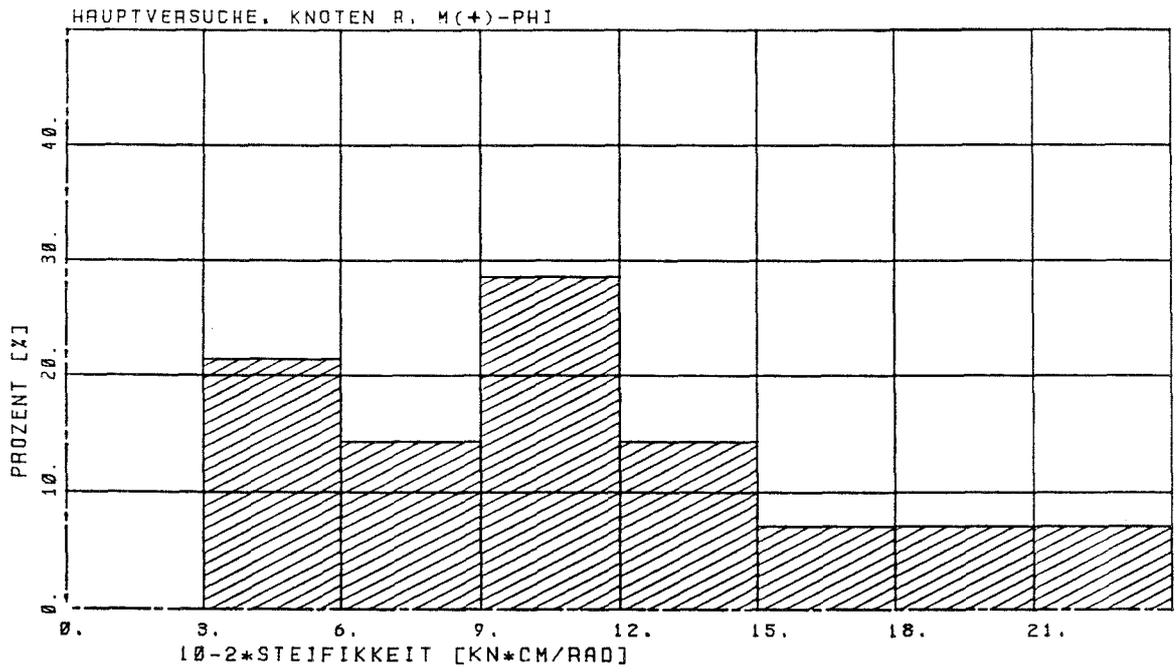
In Tabelle 3, Beilage 38, sind ermittelte Anfangssteifigkeiten aufgeführt. Dazu ist jedoch anzumerken, daß bei den Knoten R bereits nach der ersten Hysteresisschleife schon bei kleinen Laststufen ($M_i = \pm 10 \text{ kN cm}$ bis $\pm 20 \text{ kN cm}$) die Keile locker wurden. Die $M-\phi$ -Beziehungen stellten sich demnach als Diagramme mit erheblicher Lose und erst anschließenden Steigungen dar. Die Lose nahm dabei mit der Anzahl der Hysteresisschleifen auf gleicher Laststufe zu.

Die in Tabelle 3 angegebenen Anfangssteigungen sind näherungsweise als Steigung der Geraden vom Mittelpunkt der Lose zum Punkt auf der $M-\phi$ -Kurve $\pm M_i$ beim Durchfahren der letzten Hysteresisschleife der ersten Laststufe genommen. Dabei ist zu beachten, daß bei weiteren Wiederholungen der Hysteresisschleife die Verdrehungen noch größer werden können. Zum Vergleich zu dieser Anfangssteigung sind außerdem Lose und aktuelle Steigung der $M-\phi$ -Kurve angegeben. Die Lose wurde als Abstand der Schnittpunkte der aktuellen Steigungen mit der ϕ -Achse ermittelt. Als neuer Nullpunkt wurde die Mitte dieses Abstandes gewählt. Bei einigen $M-\phi$ -Diagrammen hätten sich dabei negative Losen ergeben. In solchen Fällen wurde als Nullpunkt der Schnittpunkt der aktuellen Steigung im positiven Momentenbereich mit der ϕ -Achse gewählt, die Lose Null angenommen und aktuelle und Anfangssteigung gleichgesetzt.

In der folgenden Tabelle sind aus Versuchen ermittelte Anschlußfedersteifigkeiten (Anfangssteifigkeiten nach Tabelle 3, Beilage 38) entsprechenden Werten der Zulassung gegenübergestellt:

Knoten R	min c_ϕ	max c_ϕ	\bar{c}_ϕ
	[kN cm/rad]		
n = 14, M = 18,4 bis 46,0 kN cm	430	2 230	1 136
n = 14, M = -18,4 bis -46,0 kN cm	370	1 990	789
M = 0 bis 50 kN cm	500	7 100	1 100
Zulassung: M = 0 bis -30 kN cm	700	4 300	1 100
		M = -30 bis -65 kN cm	

Die folgenden Diagramme zeigen die Verteilung der Anschlußfedersteifigkeiten:



3.3 Bewertung der M- ϕ -Versuche

Anhand der Ergebnisse der M- ϕ -Versuche lassen sich insbesondere folgende Aussagen treffen:

- (1) Bei Modulknotten der hier untersuchten Art mit einer Keilverbindung wird beim wiederholten Durchfahren vollere Hysteresisschleifen von bestimmten Laststufen M_i an die Vorspannung in der Keilverbindung abgebaut. Die Verdrehungen werden dadurch bei jeder Wiederholung größer, ohne daß dieser Vorgang bis zu der hier untersuchten Anzahl von Wiederholungen ($n < 10$) abklingt.
- (2) Die ermittelten Steifigkeiten für beide untersuchten Knoten bestätigen etwa die Festlegungen in der Zulassung.

Der festgestellte Abbau der Vorspannung sollte im Zulassungsverfahren berücksichtigt werden.

Der Sachverständigenausschuß hat bereits vorab aufgrund dieser Erkenntnisse festgelegt, daß die Vorspannung erst oberhalb der Laststufe $M_i = 1,2 \cdot \text{zul } M$ abgebaut werden darf. Für beide Knoten ist diese Bedingung jedoch nicht erfüllt. Beim Knoten R baut sich die Vorspannung schon bei kleinen Laststufen ab etwa $M_i = 0,1$ bis $0,2 \text{ zul } M$. Beim Knoten L wurde Abbau der Vorspannung ab $M_i = 1,0 \cdot \text{zul } M$ festgestellt.

Der Abbau der Vorspannung hat eine Reduzierung der Steifigkeit und ggf. eine Reduzierung des Tragmoments zur Folge, falls es über die Verformungsbegrenzung zu ermitteln ist. Selbst wenn die Bedingung eingehalten wird, daß sich die Vorspannung erst über $M_i = 1,2 \cdot \text{zul } M$ abbauen darf, ist zu überlegen, ob die Steifigkeit oberhalb dieses Punktes und das Tragmoment aus der Kurve einer einmaligen monoton ansteigenden Belastung ermittelt werden dürfen. Dafür spricht, daß höhere Belastungen als $\text{zul } M$ normalerweise nicht auftreten sollen und daß das Auftreten einer solchen Belastung mit wechselndem Vorzeichen unwahrscheinlich ist.

In das Merkheft "Versuche" sollte außerdem aufgenommen werden, daß der Einfluß der wiederholten Benutzung eines Knotens (Anschlagen und Lösen des Keils) im Zulassungsverfahren zu untersuchen ist.

4. Großversuche mit Vierendeelträgern

4.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Den Versuchsaufbau für die Belastungsversuche an Modulgerüsten zeigen die Bilder 78 bis 87, Beilagen 46 bis 51.

Die Bauart und die Abmessungen der für die Vierendeelträger verwendeten Gerüstbauteile sind aus den Beilagen 52 bis 58 zu ersehen. Die Abmessungen der Bauteile stimmten mit den Angaben in den Zeichnungen überein, die an Stichproben aus den verwendeten Bauteilen ermittelten Materialkennwerte sind in Tabelle 4, Beilage 60, aufgeführt.

In Bild 88, Beilage 59, sind die Abmessungen der Vierendeelträger bei den Versuchen wiedergegeben.

Beim Vierendeelträger mit dem Knoten L waren die Riegel immer mit dem Keil im großen Loch angeschlossen.

Die Vierendeelträger wurden auf dem Spannboden der FMPA liegend geprüft. Die Kräfte F_1 und F_2 in Achsrichtung der Ständerrohre wurden mit zwei gleichartigen, gekoppelten Druckkolben, die rechtwinklig zur Ständerrohrachse wirkenden Kräfte H_1 und H_2 mit zwei Zug-Druck-Kolben erzeugt.

Alle 4 Kolben waren mit elektrischen Kraftmeßdosen bestückt.

Die Verschiebungen der Knotenpunkte mit Querriegeln wurden mit ohmschen Wegaufnehmern (WA) gemessen, die Knotenpunktverdrehungen mit paarweise mit konstantem Abstand von 130 mm an den Riegelenden mit speziellen Haltern befestigten ohmschen Wegaufnehmern (s. Bilder 80 und 82, Beilagen 47 und 48).

Der Riegel unmittelbar über den Fußpunkten der Gerüste war mit je 2 Dehnungsmeßstreifen (DMS) (bei einigen Versuchen mit je 4 DMS) im Abstand von 170 mm von den Ständerrohren entfernt bestückt (s. Bilder 80 und 84, Beilagen 47 und 49).

Bei den Versuchen VR 05/VR 06 war zusätzlich der Querriegel gegenüber der Krafteinleitung von H_2 mit je 2 DMS, 170 mm von den Stabenden entfernt, bestückt.

Bei den Belastungsversuchen wurde zur Stabilisierung des Systems stets eine Grundlast F aufgebracht, danach die Kräfte H_1 und H_2 . Dann wurden die Kräfte $F_1 = F_2$ bis F_u gesteigert, bzw. bei niedrigen, konstanten $F_1 = F_2$ die Kräfte H_1 und $H_2 = 2H_1$ bis zum Versagen der Vierendeelträger gesteigert, hierbei wurden die einzelnen Laststufen jeweils in entgegengesetzter Kraftrichtung ($\pm H$) wiederholt.

Alle Meßwerte der Kräfte, Verschiebungen und Dehnungen wurden mit einer Vielstellen-Meßanlage registriert und von einem Rechner gespeichert und ausgewertet.

4.2 Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung von F_u bei konstanter Belastung H

4.2.1 Allgemeines

Es wurden 3 Versuche an Vierendeelträgern mit den Knoten L und 3 Versuche an Vierendeelträgern mit den Knoten R (siehe folgende Tabelle) durchgeführt. Dabei war der Versuch VR 06 die Fortsetzung des nach einigen Laststufen abgebrochenen Versuchs VR 05.

Folgende Höchstlasten F_u (je Ständerrohr) wurden erreicht:

Bezeichnung der Versuche	Knoten	H1/H2 kN	F_u kN
VL 00	L	0,5/1,0	24,8
VL 07	L	0,6/1,2	30,0
VL 08	L	0,6/1,2	47,7
VR 01	R	0,6/1,2	17,1
VR 03	R	0,6/1,2	16,4
VR 05/VR 06	R	0,6/1,2	14,8

Nach Erreichen der Höchstlasten F_u nahmen die Verformungen in Richtung der H-Lasten bei abfallender F-Last rasch zu, nach Entlastung waren alle Keile lose und die Vierendeelträger bleibend verformt.

In den Bildern 87 bis 154, Beilagen 61 bis 74, sind ausgewertete Meßergebnisse der Verschiebungen, Knoten-Drehwinkel und Dehnungen in Abhängigkeit von einer Längskraft F im Ständerrohr dargestellt. Die zugehörigen Meßwerte sind in den Tabellen 77 bis 87, Beilagen 113 bis 158, im Tabellen-Anhang 25-14940-3/A1 aufgeführt; eine Erläuterung zu den Tabellen gibt auch dessen Beilage 112. Die Meßwerte 1 bis 4 sind die Kräfte F_1 , F_2 , H_1 und H_2 . Aus den Meßwerten 5 bis 20 der elektrischen Wegaufnehmer wurden die Drehwinkel der Knotenpunkte errechnet, (z. B. für WA 5 und 6 der Winkel 5 (in Grad), in der Tabelle 77, in der Spalte (5) eingetragen). Entsprechend für die folgenden Paarungen 7/8; 9/10; 11/12 usw. bis 19/20. Die WA-Paare hatten in den Haltern einen konstanten Abstand von 130 mm, die Eichwerte der WA wurden in den Rechner so eingegeben, daß bei der Auswertung alle linksdrehenden Winkel mit + Vorzeichen und alle rechtsdrehenden Winkel mit - Vorzeichen erschienen (vgl. auch Beilage 112 des Anhangs 25-14940-3/A1). Die Vorzeichen der Verschiebungen wurden mit den Vorzeichen der H-Kräfte übereinstimmend gewählt.

4.2.2. Versuch VL 00

Beim Versuch VL 00 (Tabelle 77 im Anhang A1 und Bilder 89 bis 96, Beilagen 61 bis 64) wurde ein Vierendeelträger mit dem Konten L zunächst mit $F_1 = -0,7$ kN und $F_2 = -0,5$ kN zur Stabilisierung in Ständerrohr-Achsrichtung belastet, danach wurden die über den Versuch hinweg konstant zu haltenden Horizontalkräfte $H_1 = -0,5$ und $H_2 = -1,1$ kN (Sollwerte: $-0,6$ und $-1,2$) aufgebracht und die Messungen begonnen. Die Kräfte F_1 und F_2 (als Druckkräfte in Achsrichtung der Ständerrohre mit negativem Vorzeichen festgelegt) wurden danach stufenweise gesteigert bis zur Höchstlast von $F_1 = -24,7$ und $F_2 = -24,9$ kN, wobei versucht wurde, die Kräfte H_1 und H_2 mit je einer Öldruckpumpe konstant auf $-0,6$ und $-1,2$ kN zu halten, was wegen der zunehmenden Verformungen nur in gewissen Toleranzen gelang.

Nach Erreichen der Höchstlast nahmen die Verformungen bei Lastabfall zu. Nach Entlastung blieb der Rahmen bleibend verformt, die Knotenpunkte Nr. 22 und 23, bei den Einleitungsstellen der H-Kräfte, blieben verschoben. Die elektrischen Wegaufnehmer an diesen Stellen waren schon nach der Messung Nr. 12 wegen der großen Verformungen aus den Meßstellen herausgerutscht und lieferten danach keine brauchbaren Meßwerte mehr.

Die Meßergebnisse der Dehnungsmessungen stimmten in der Tendenz mit der durch die Drehwinkel der Knotenpunkte gegebenen Richtung überein, die absolute Größe der Meßwerte stimmte jedoch in den meisten Fällen nicht mit den Meßwerten im 2. Meßquerschnitt überein. Auch bei späteren Versuchen mit 4 DMS je Meßquerschnitt wurde zwischen den beiden Meßquerschnitten keine Übereinstimmung erreicht.

Die relativ kleinen Kräfte aus dem System werden offensichtlich von Eigenspannungen und Zwangskräften aus dem Verkeilen der Stäbe so überlagert oder abgebaut, daß kein eindeutiges Spannungsbild entsteht.

Bei Vorversuchen mit eindeutig als Biegeträger gelagerten Stäben (frei drehbar auf den Kanten der Keilköpfe aufliegend) mit definierter Lasteinleitung in 1/2 ergaben die Dehnungsmessungen hinsichtlich der Biegemomente eindeutig reproduzierbare, dem Belastungszustand in den beiden Meßquerschnitten entsprechende Dehnungswerte.

4.2.3 Versuch VL 07

Der Versuch VL 07 zeigt gegenüber Versuch VL 00 eine wesentlich geringere Anfangslose (ca. 8 mm gegenüber 20 mm beim Vergleich der Meßpunkte 22). Hier wurden unmittelbar vor Versuchsbeginn alle Keile noch einmal auf festen Sitz kontrolliert und nachgeschlagen. Dadurch blieben auch bei höheren Laststufen die Verschiebungen geringer, entsprechend kleiner fielen auch die Knotendrehwinkel aus.

Deutlich wirkt sich das Verkeilen im lastabhängigen Dehnungsverlauf aus, wie die Bilder 95 und 103, Beilagen 64 und 68, im Vergleich zeigen.

4.2.4 Versuch VL 08

Der Versuch VL 08 wurde mit vielen kleinen Laststufen und Entlastungen bis zur Höchstlast von 47,7 kN gefahren. Die Meßwerte stimmen weitgehend mit den bei VL 07 gemessenen Werten überein.

Die zusätzlichen DMS Nr. 29 bis 32 haben keine bessere Übereinstimmung der Schnittkräfte in den beiden Meßquerschnitten ergeben.

Eine aus den Dehnungsmessungen Nr. 25/26 und 27/28 vorgenommene Auswertung zur Ermittlung der Normalkräfte und der Momente zeigen die Bilder 115 und 116, Beilage 74. Normalkräfte und Momente zeigen, daß die Zwängungen bei Entlastung z. T. größer sind als die Schnittkräfte bei niedrigen Laststufen ($0,5 F_u$).

Bei anderen Versuchen wurde auf eine derartige Auswertung verzichtet.

4.2.5 Versuch VR 01

Beim Versuch VR 01 (Tabelle 80, Beilagen 128 bis 133, Anhang A1 und Bilder 117 bis 126, Beilagen 75 bis 79) wurde nach 26 Laststufen entlastet und bei der Wiederbelastung die Kraft-richtung von H_1 und H_2 umgekehrt (+H statt -H). Die Messungen Nr. 28 bis 33 zeigen in den Diagrammen, Bilder 117 bis 126, Beilagen 75 bis 79, in diesen Lastbereichen noch gute Symmetrie, die Wegaufnehmer 22 und 23 hatten in dieser Richtung keinen ausreichend großen Meßbereich.

Bei den Dehnungsmessungen zeigt sich hier in einem Meßquerschnitt eine reine Biegebeanspruchung von $\pm 90 \cdot 10^3 \text{ } \epsilon$ [‰], dies entspricht $\sigma = \pm 19 \text{ N/mm}^2$ oder $M = 0,08 \text{ kNm}$.

Im anderen Meßquerschnitt wäre nach den Dehnungs-Meßergebnissen der Momentenanteil nur $48 \cdot 10^3 \text{ } \epsilon$ und ein Normalkraftanteil aus $4 \cdot 10^3 \text{ } \epsilon$ zu errechnen ($N = 0,3 \text{ kN}$).

4.2.6 Versuch VR 03

Beim Versuch VR 03 konnten bei $H_1 = -0,7$ und $H_2 = -1,4 \text{ kN}$ die Kräfte F_1 und F_2 bis $16,5 \text{ kN}$ gesteigert werden, die großen Verschiebungen bei sehr niedrigen Lasten (-60 mm bei $F = -0,7 \text{ kN}$) zeigen jedoch, daß die Keile von den vorausgegangenen Belastungswechseln schon weitgehend lose waren. Die Erweiterung der Dehnungsmessungen auf 4 DMS je Meßquerschnitt hat keine klare Aussage über die in dem Querriegel wirkenden Schnittkräfte erbracht, wie aus der Tabelle 81, Beilagen 133 bis 136 (Anhang A1) und den Bildern 133 und 134, Beilage 83, zu ersehen ist.

4.2.7 Versuche VR 05/VR 06

Die Versuche VR 05 und VR 06 können als ein Versuch betrachtet werden.

Nach der Belastung mit $F = -5,8 \text{ kN}$, bei relativ großen Verformungen, wurde der Versuch abgebrochen. Die Keile wurden erneut bis zum Prellschlag eingeschlagen und der Versuch unter der Bezeichnung VR 06 erneut gestartet. Wie aus den Diagrammen, Bilder 135 bis 154, Beilagen 84 bis 93 und den Tabellen 82 und 83, im Anhang A1, Beilagen 137 bis 149, zu ersehen ist, waren die Verschiebungen bei VR 06 deutlich kleiner. Aus den Dehnungsmessungen waren auch bei diesen Versuchen keine eindeutigen Schnittkräfte in den Meßquerschnitten abzuleiten. Die große "Lose" bei den Entlastungen deutet auf entspannte Keile hin.

4.3 Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung von H_U bei konstanter Belastung F

4.3.1 Allgemeines

Es wurden 2 Versuche an Vierendeelträgern mit den Knoten L und 2 Versuche an Vierendeelträgern mit den Knoten R (siehe folgende Tabelle) durchgeführt.

Bei konstanter Ständerrohr-Achskraft F ($F_1 = F_2 \approx 0,5 \text{ kN}$) wurden die Horizontallasten H_1 und H_2 stufenweise, abwechselnd in beiden Vorzeichenrichtungen bis zur Höchstlast gesteigert.

Folgende Höchstlasten wurden erreicht:

Bezeichnung der Versuche	Knoten	H_1/H_2 kN	$H_U(H_1/H_2)$ kN
VL 05	L	0,2/0,1	3,4/7,1
VL 06	L	0,4/0,6	3,4/6,7
VR 02	R	0,3/0,3	3,0/6,1
VR 04	R	0,3/0,3	3,4/6,6

Nach Erreichen der Höchstlasten H_U nahmen die Verformungen bei abfallender H-Last rasch zu, nach Entlastung waren alle Keile lose, die Ständerrohre waren bleibend verformt.

Die Meßergebnisse sind in den Tabellen 84 bis 87, Beilagen 143 bis 158, im Anhang A1 aufgeführt und hier in den Bildern 155 bis 188, Beilage 94 bis 109, als Last-Verformungs-Diagramm dargestellt.

Die Verformungen sind, der Belastungsart entsprechend, größer als bei den Versuchen mit $F \rightarrow F_U$.

Die Dehnungsmessungen haben auch bei diesen Versuchen nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Dies gilt sowohl für den Versuche VR 02 mit je 2 DMS als auch für den Versuch VR 04 mit je 4 DMS in jedem Meßquerschnitt.

4.3.2 Versuche VL 05 und VL 06

Beim Versuch VL 05 wurde bei $H_2 = -4$ kN der Knotenpunkt 23 bereits um 52 mm verschoben (Messung Nr. 6). Aus den Aufzeichnungen der Dehnungen ist zu ersehen, daß danach die Keile lose waren (Beilagen 94 bis 97), die Diagramme verlaufen unstetig.

Beim Versuch VL 06 sind die gleichen Tendenzen zu erkennen, im Bereich $H_2 = \pm 2$ kN verlaufen die gemessenen Verformungen noch relativ stetig, danach werden zunehmend Unstetigkeiten erkennbar (Beilagen 98 bis 101).

4.3.3 Versuche VR 02 und VR 04

Für die Versuche VR 02 und VR 04 lassen sich aus den Meßwerten und Diagrammen (Beilagen 102 bis 109) die gleichen Aussagen ableiten.

4.4 Bewertung der Ergebnisse der Großversuche

Im Anhang 25-14940-3/A2 zu diesem Bericht sind die Berechnungen, die parallel zu den Großversuchen durchgeführt wurden, dokumentiert und der Vergleich bewertet.

Der Vergleich von Ergebnissen solcher Versuche an Gerüstausschnitten mit Modulknotten mit Ergebnissen begleitender Berechnungen wird dadurch erschwert, daß sich beim Anschlagen der Keile infolge von Imperfektionen geometrische Unverträglichkeiten ergeben, die im vorliegenden Fall sowohl in der Ebene der Vierendeelträger als auch rechtwinklig dazu zu zusätzlichen Beanspruchungen führen.

Bei der Montage solcher Gerüste machen sich die Imperfektionen dadurch bemerkbar, daß beim Anschluß der 2. Klaue eines Riegels oft Kraft aufgebracht werden muß, um Klemme und Tasse oder Scheibe zusammenzubringen. Die Vierendeelträger zeigten nach der Montage Verwindungen aus ihrer Ebene heraus.

Diese Erscheinung sollte bei einer möglichen Fortsetzung der Untersuchungen genauer verfolgt werden.

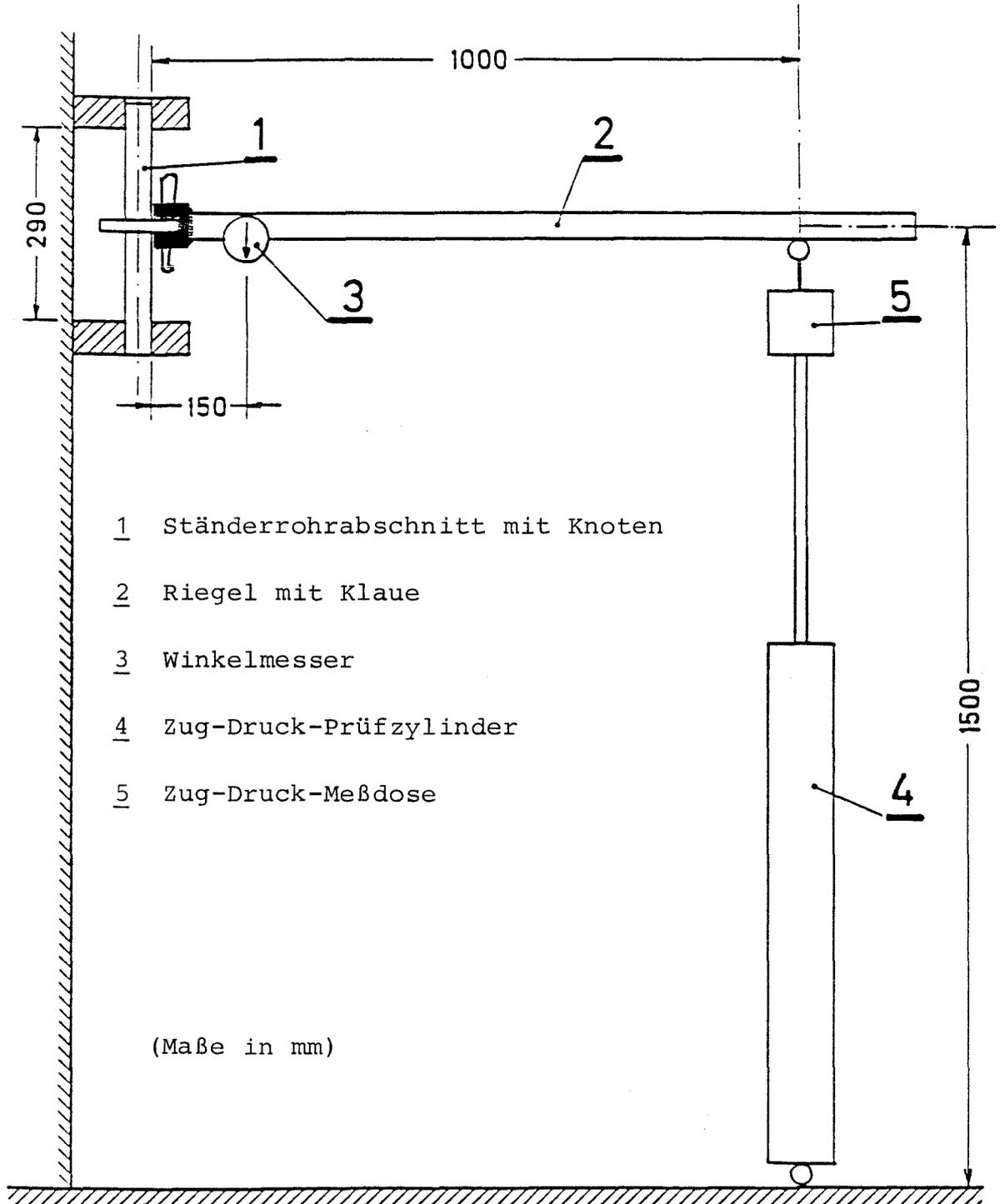


Bild 1. Versuchsaufbau



Bild 2. Versuchseinrichtung für $M-\phi$ -Versuche mit Vielstellenmeßanlage (1) und Steuerschrank für EPZ (2)

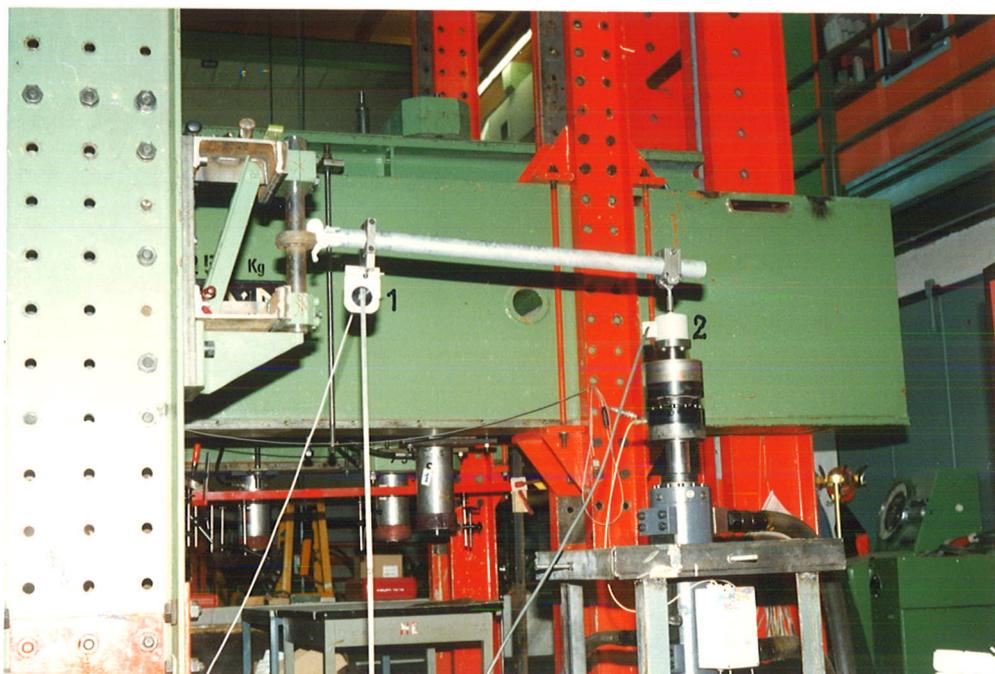


Bild 3. Knoten R mit Winkelmesser (1) und EPZ mit Kraftmeßdose (2)

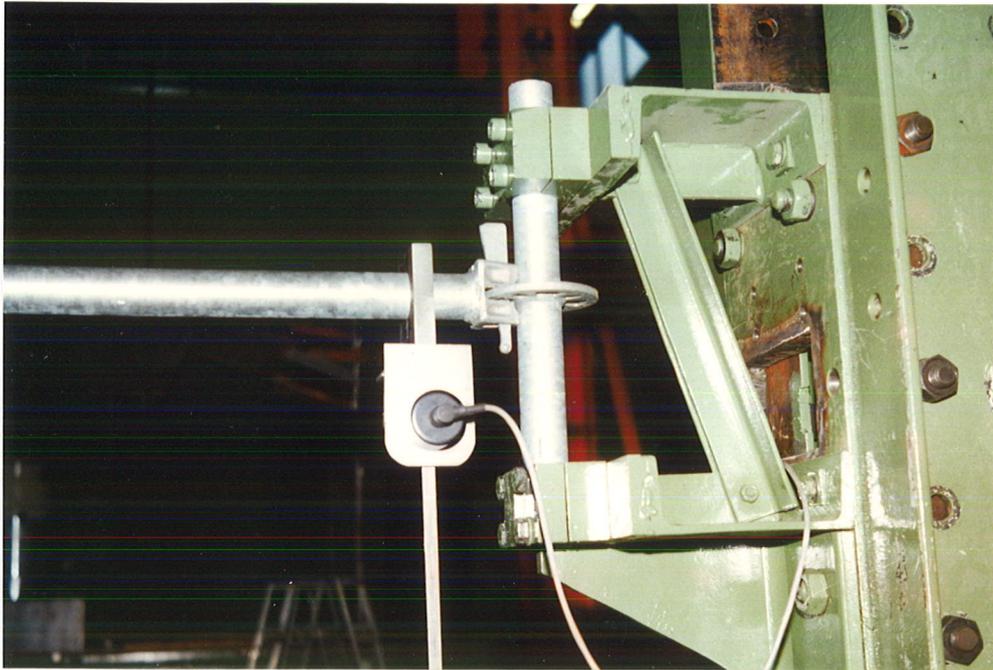


Bild 4. Knoten L mit Winkelmesser

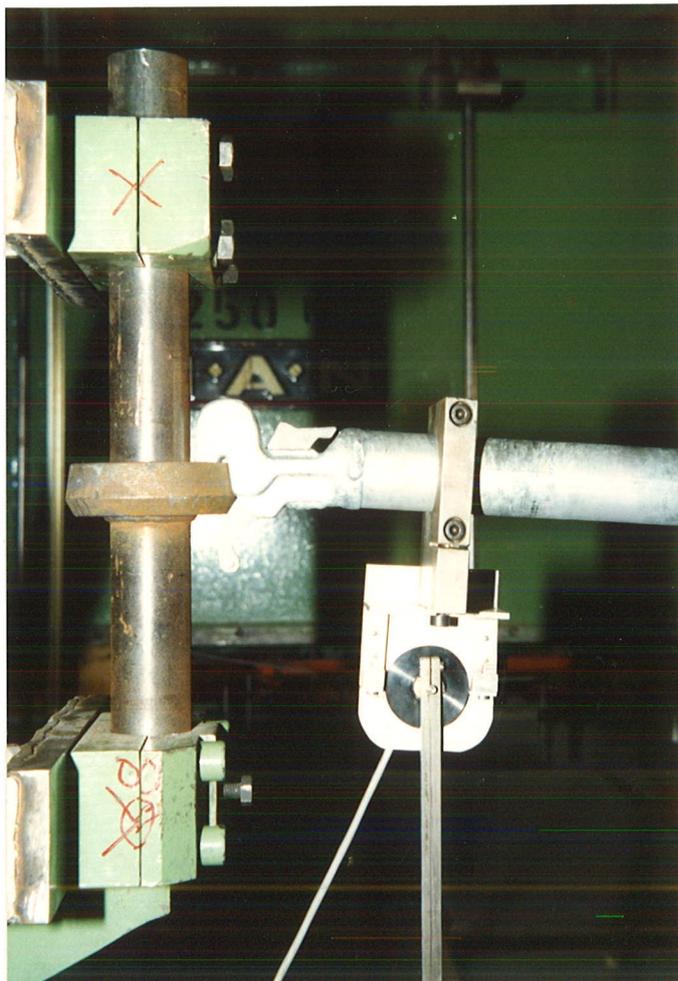


Bild 5.
Knoten R mit
Winkelmesser

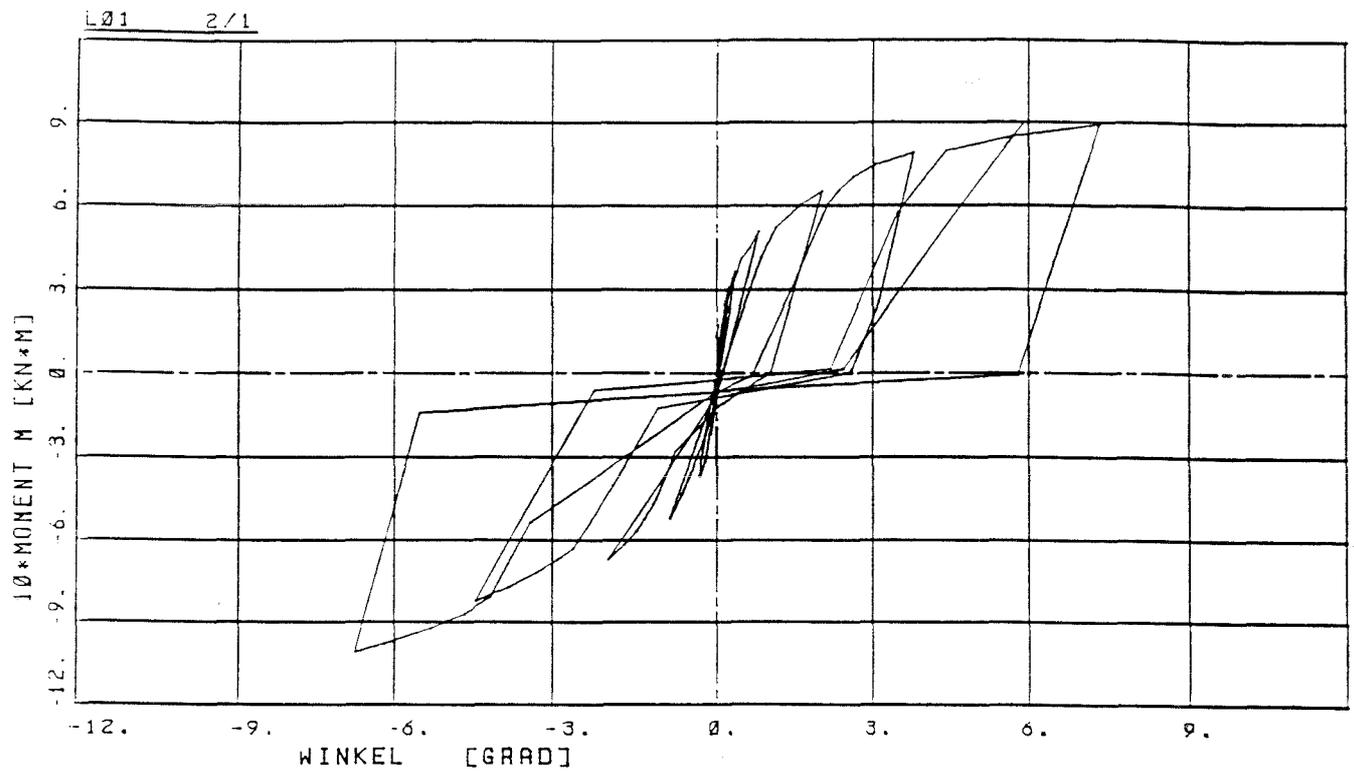


Bild 6. Versuch L 01, Keil im großen Loch

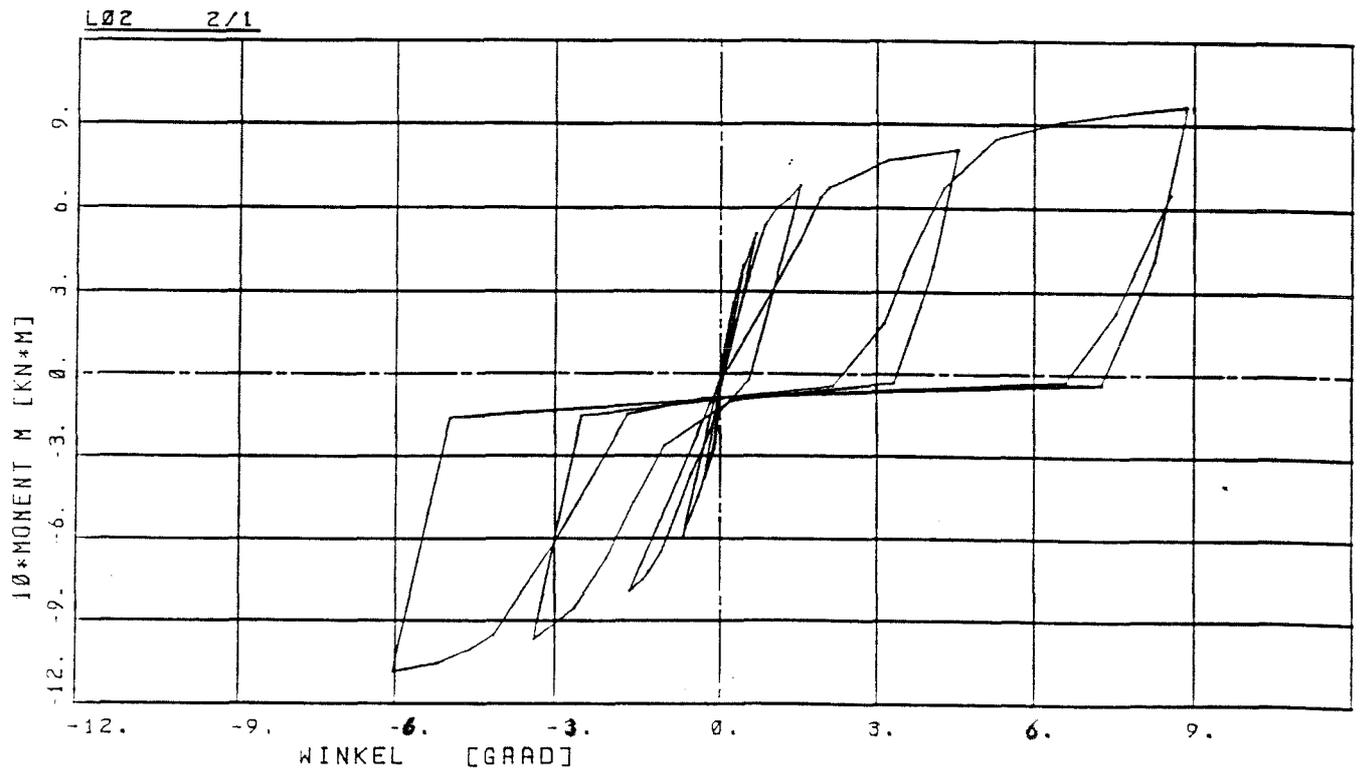


Bild 7. Versuch L 02, Keil im kleinen Loch

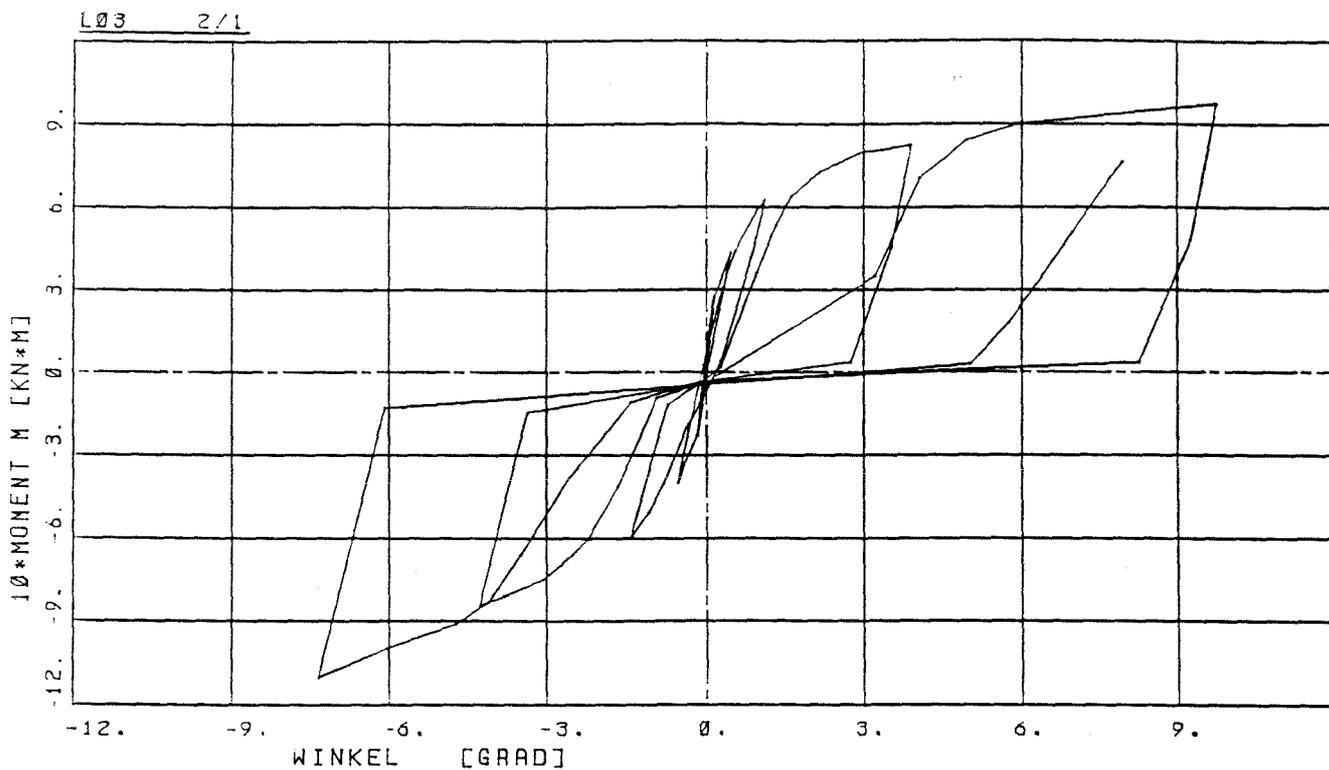


Bild 8. Versuch L 03, Keil im großen Loch

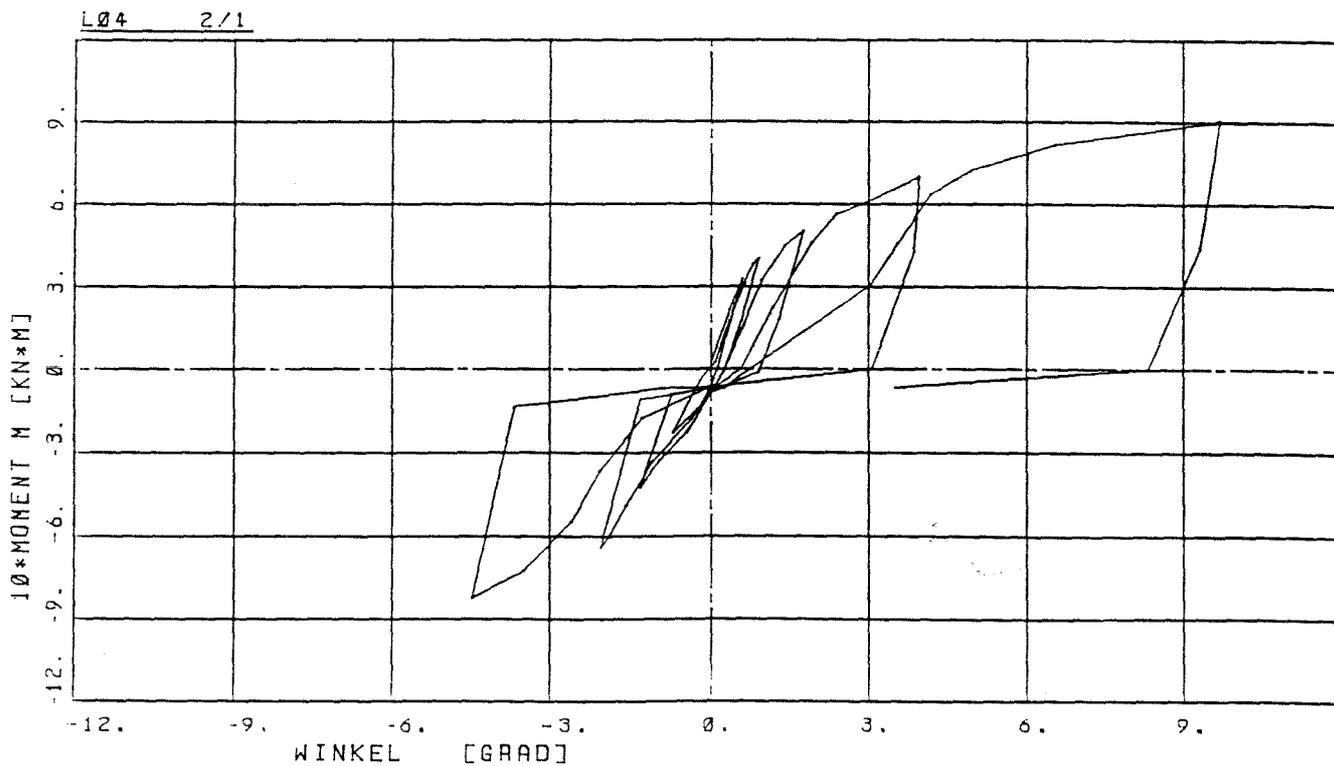


Bild 9. Versuch L 04, Keil im großen Loch

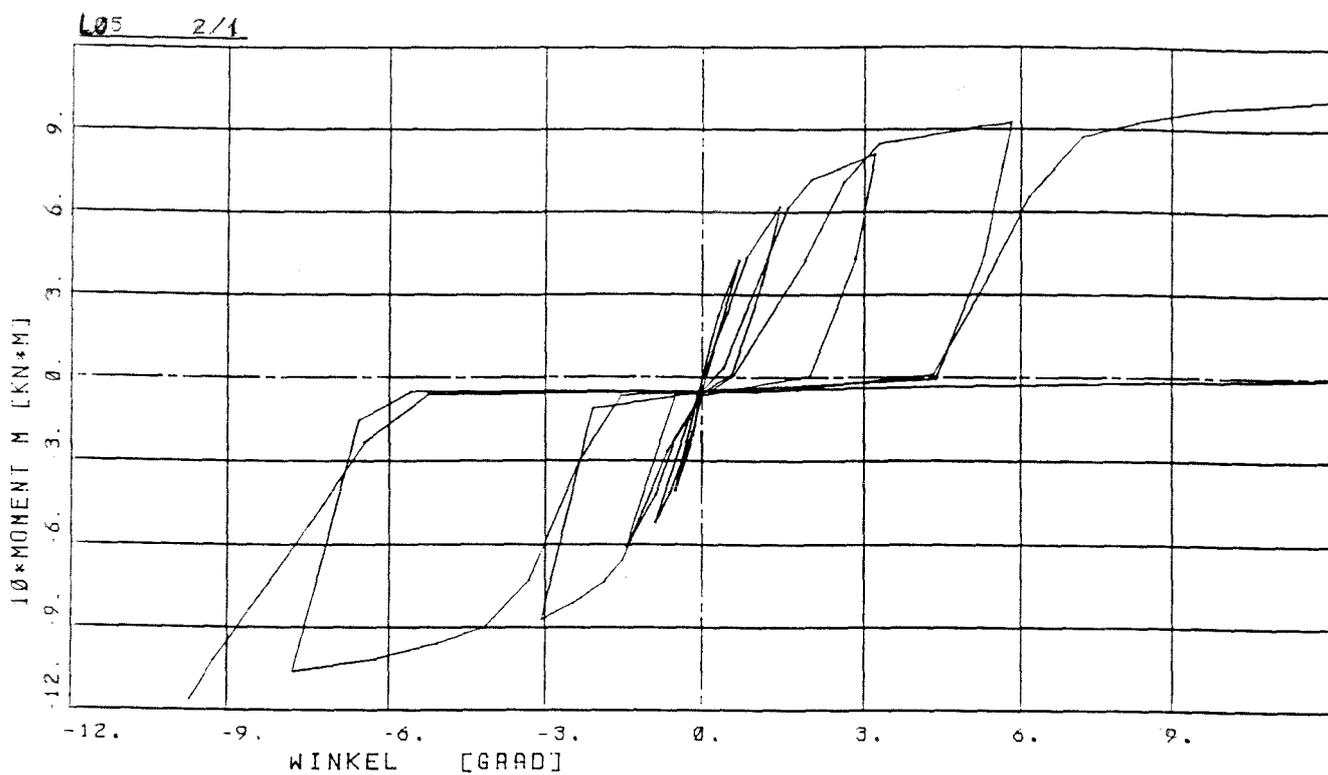


Bild 10. Versuch L 05, Keil im großen Loch

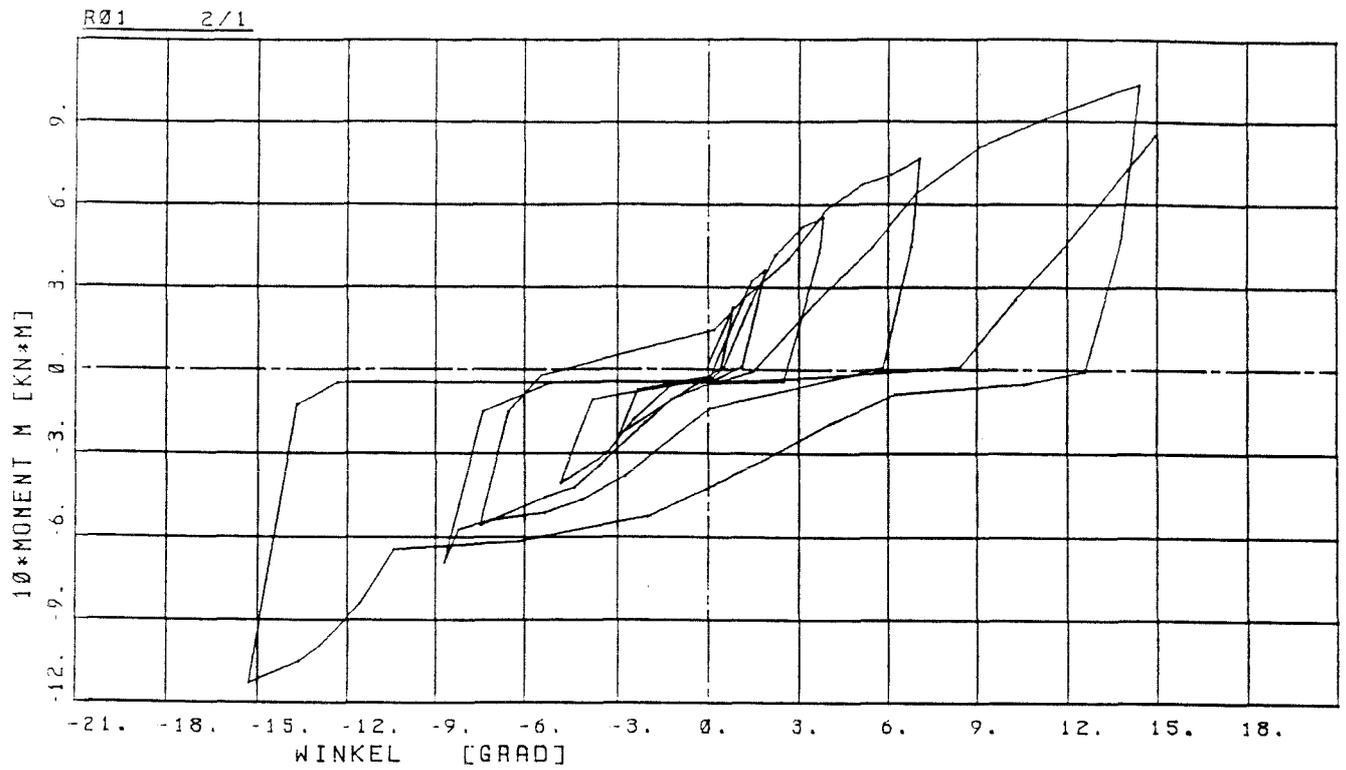


Bild 11. Versuch R 01

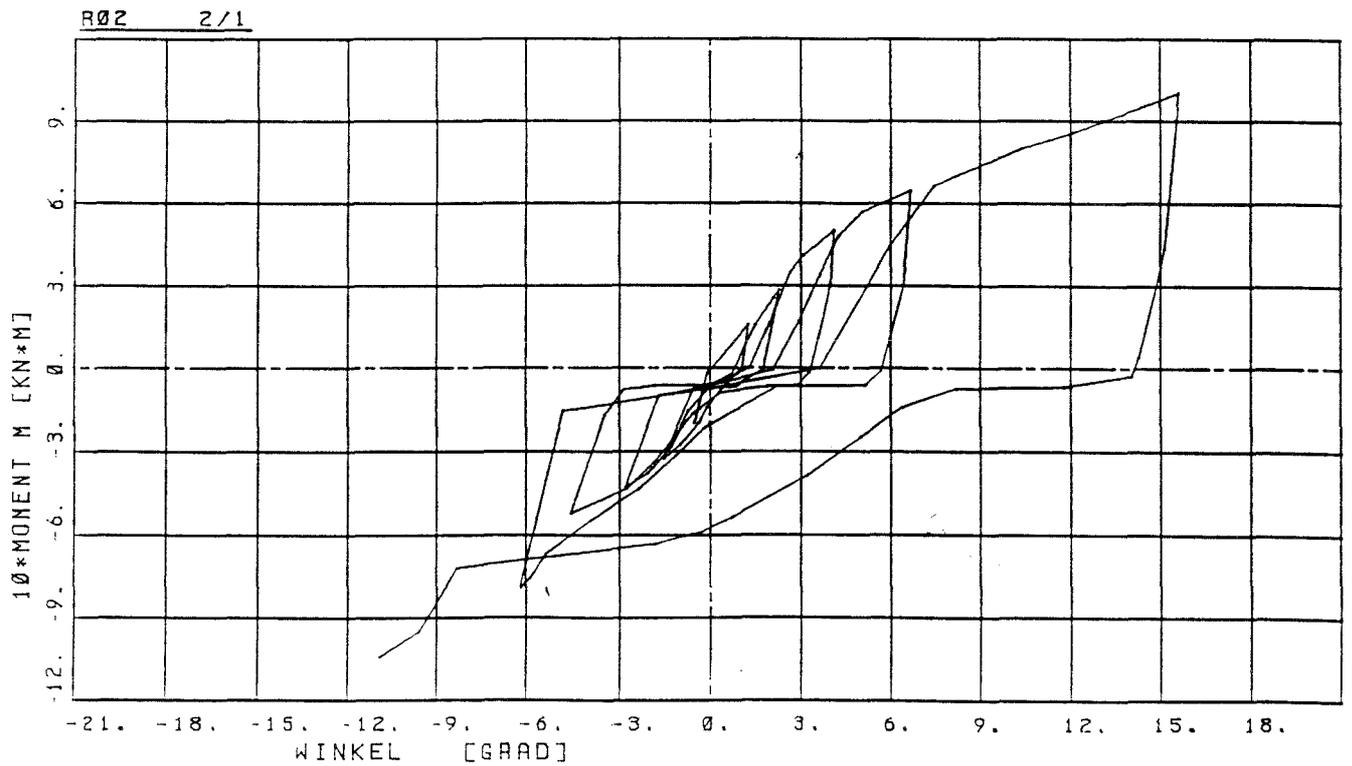


Bild 12. Versuch R 02

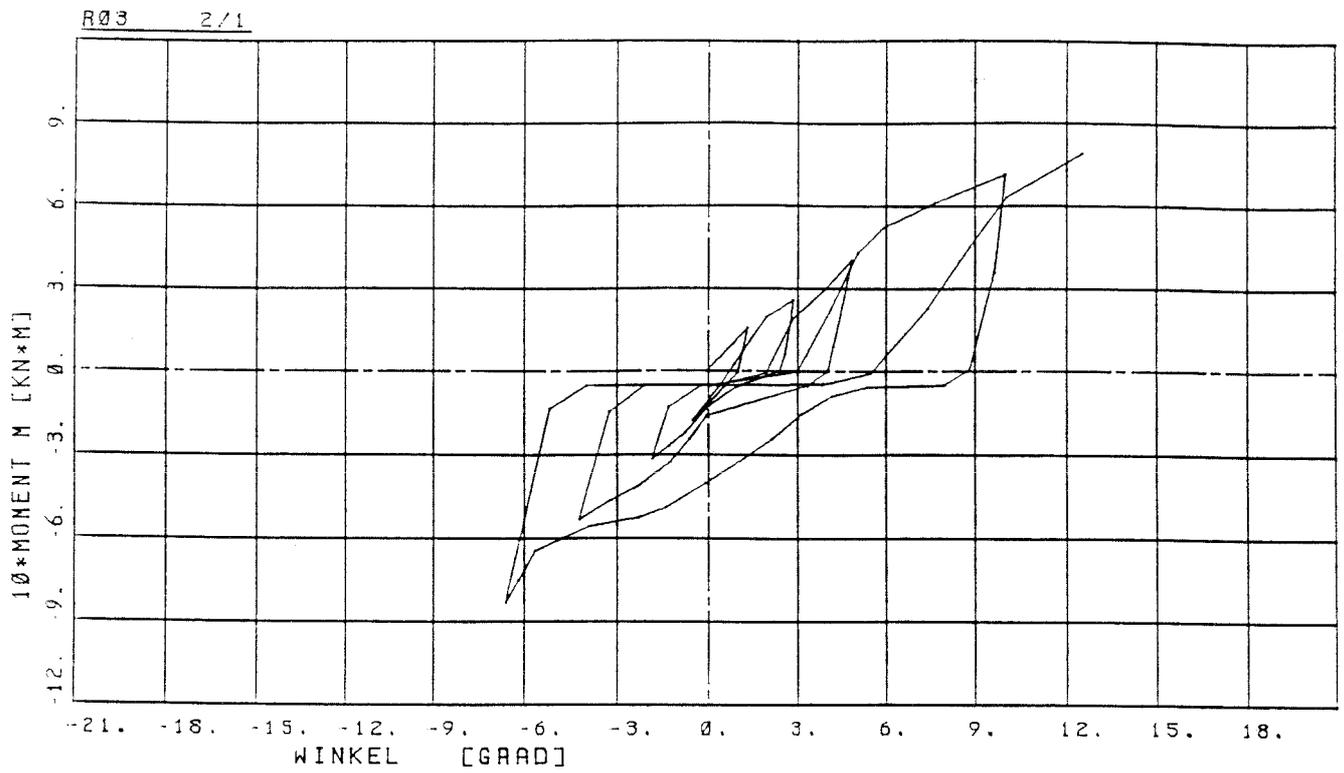


Bild 13. Versuch R 03

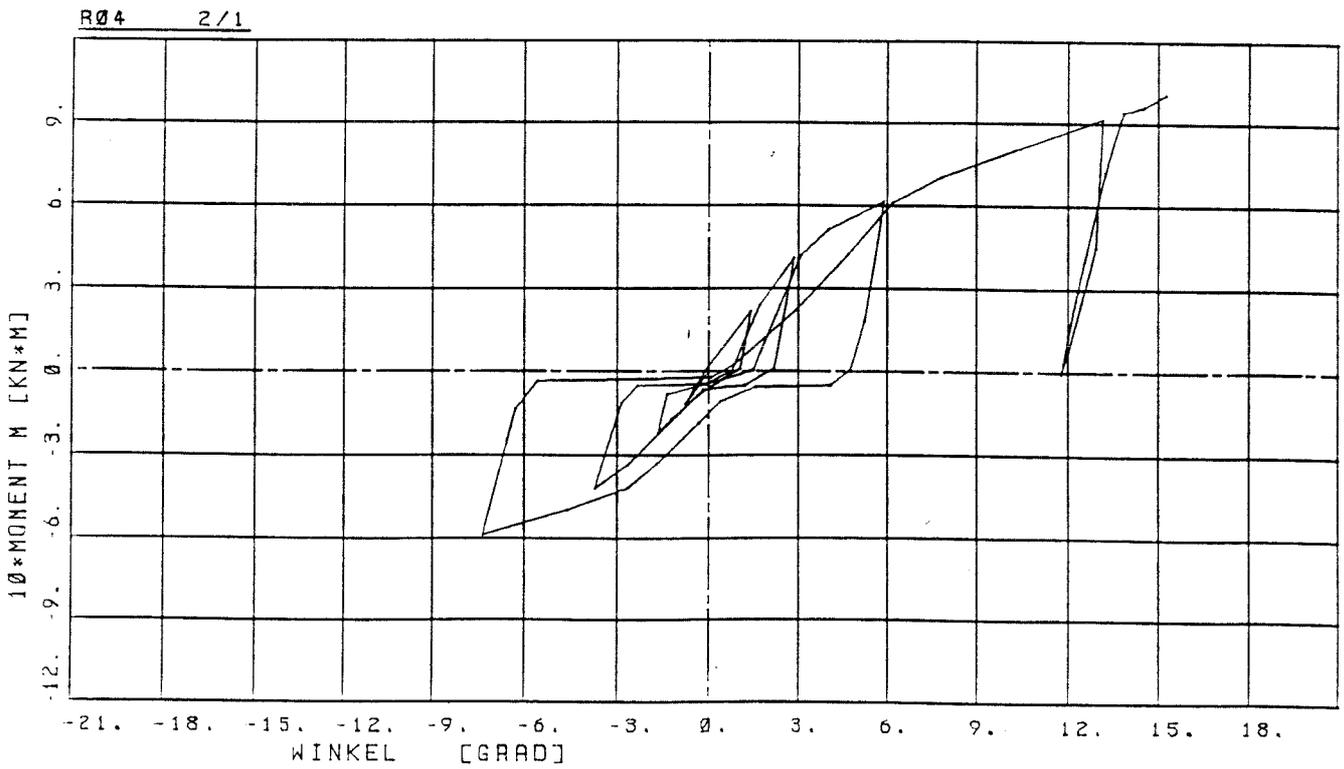


Bild 14. Versuch R 04

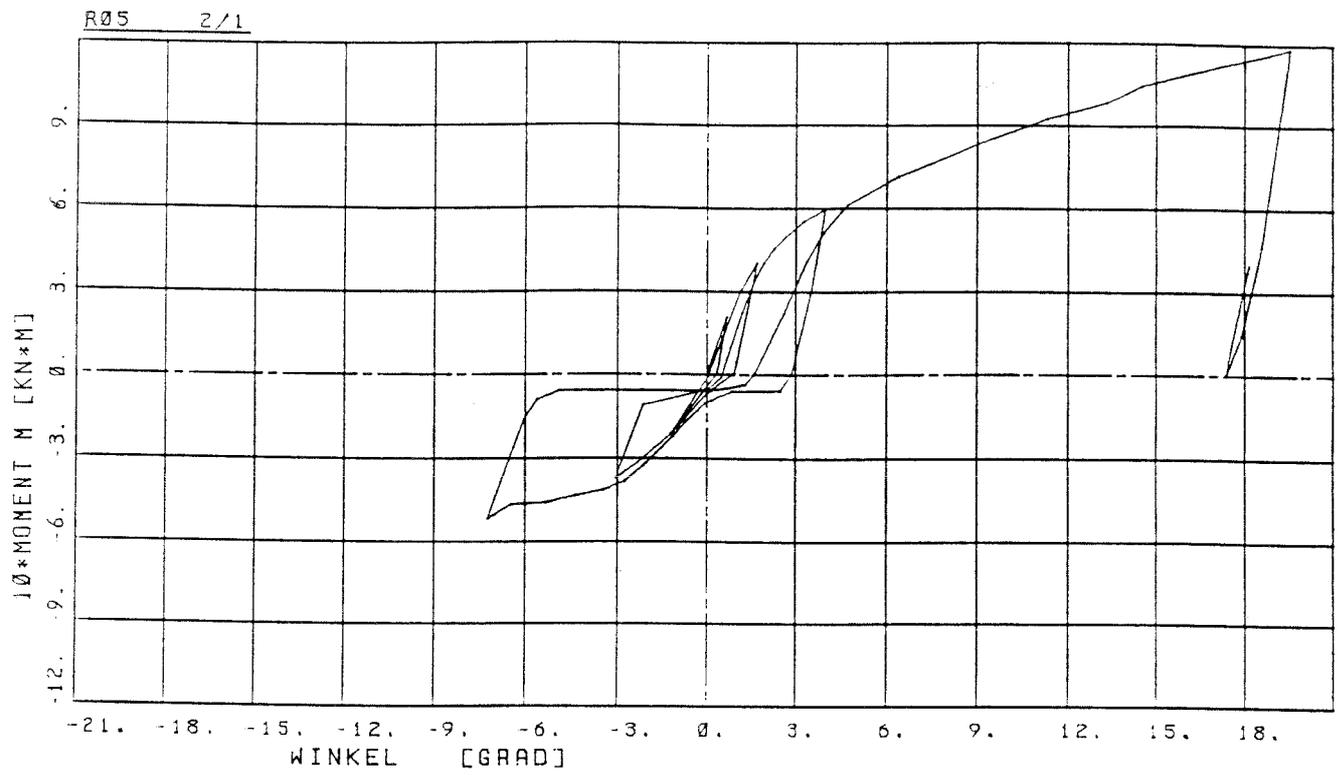


Bild 15. Versuch R 05

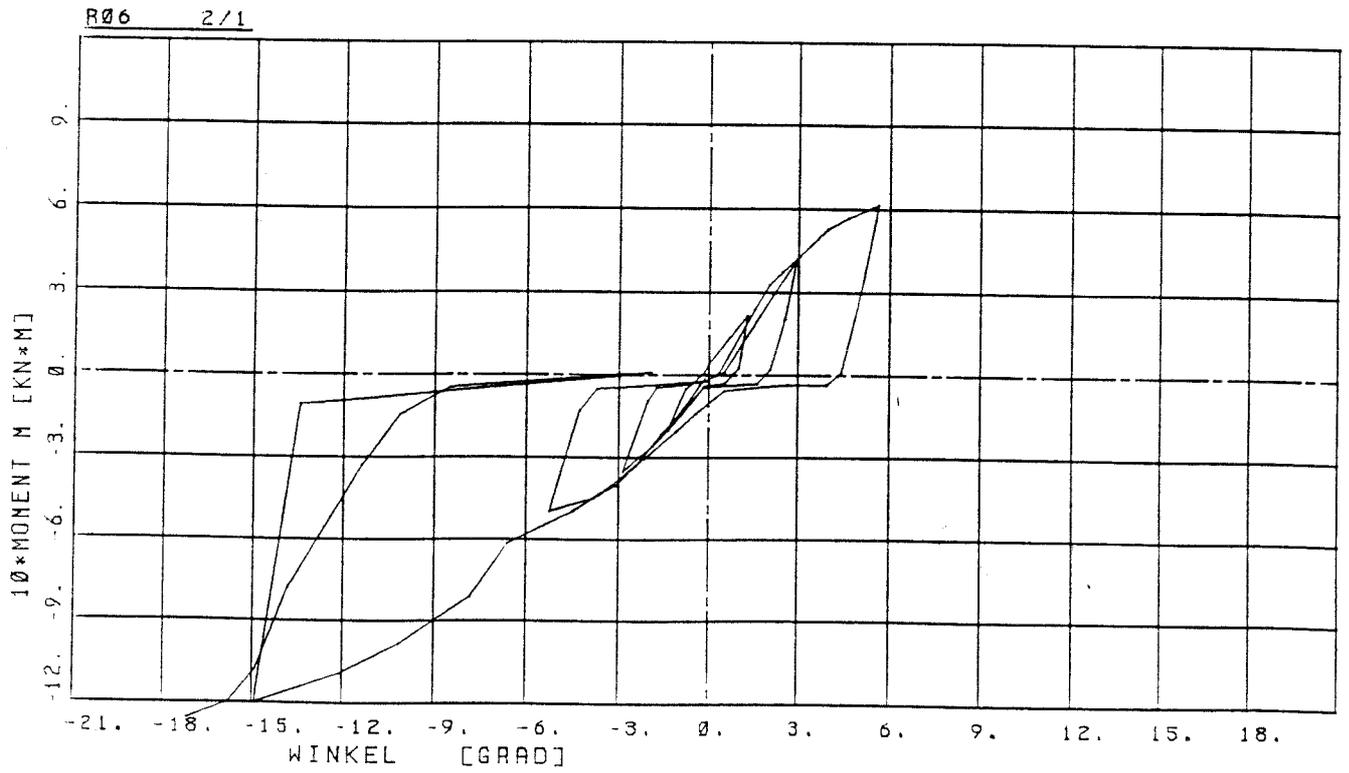


Bild 16. Versuch R 06

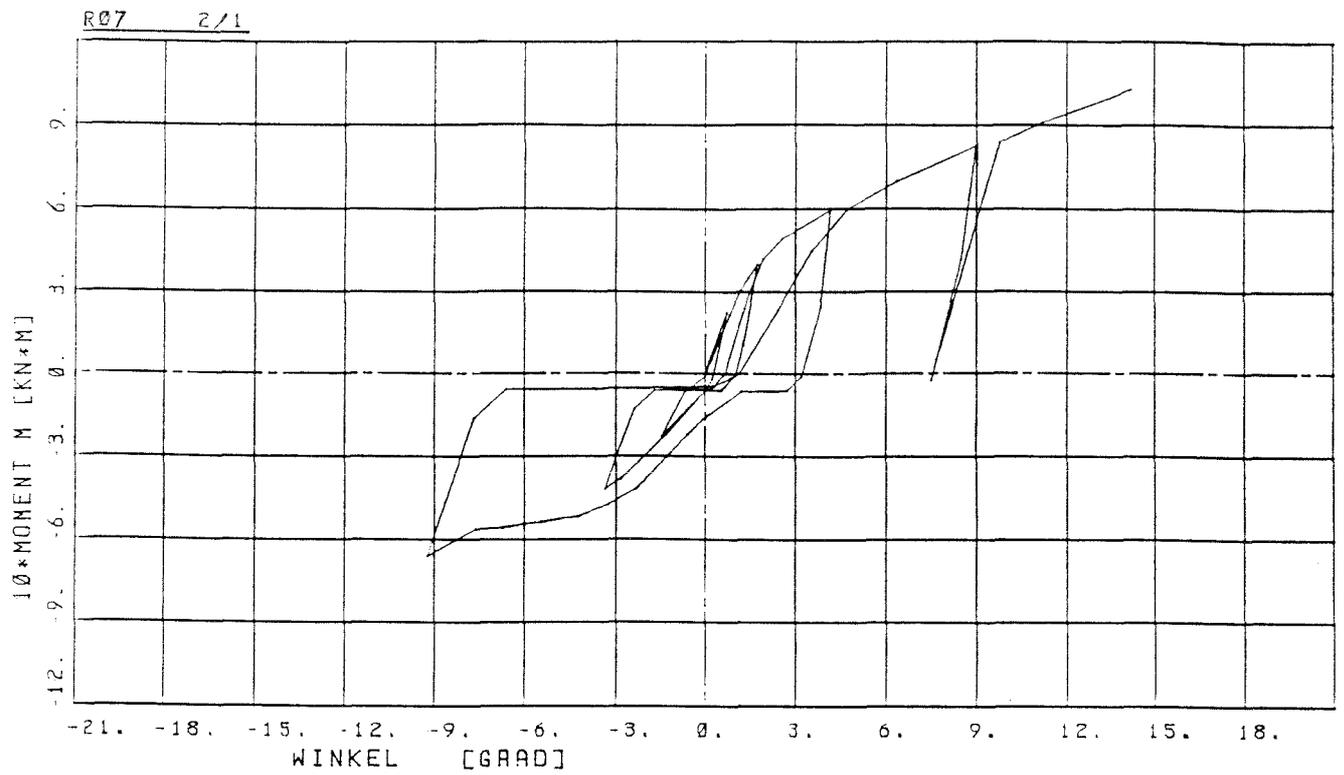


Bild 17. Versuch R 07

Tabelle 1. Zusammenstellung der Anfangs-Drehwinkelsteifigkeiten c_{ϕ} [kNcm/rad] von Knoten L und R

1	2	3	4
Knoten	Momenten-Bereich 0 bis ...	Drehwinkel- steifigkeit c_{ϕ}	Bemerkungen
Nr.	kNm	kNcm/rad	
L 01	0,3 -0,3	12 850 12 850	Keil im großen Loch der Lochscheibe bei L 01 und L 03 bis L 05 Keil im kleinen Loch der Lochscheibe Bei allen Versuchen: 1. Belastung + M
L 02	0,3 -0,3	8 686 24 219	
L 03	0,3 -0,2	17 627 17 627	
L 04	0,2 -0,2	4 202 2 518	
L 05	0,2 -0,3	5 569 5 569	
R 01	0,2 -0,3	1 560 657	Bei allen Versuchen: 1. Belastung + M 
R 02	0,2 -0,3	767 759	
R 03	0,2 -0,3	679 679	
R 04	0,2 -0,3	753 653	
R 05	0,3 -0,2	1 732 883	
R 06	0,3 -0,3	856 772	
R 07	0,2 -0,2	1 760 652	

Tabelle 2. Zusammenstellung der Anfangs-Drehwinkelsteifigkeiten c_ϕ [kNcm/rad] von Knoten L

1	2	3	4	5	6	7	
Knoten	Momenten-Bereich 0 bis ...	Drehwinkel- steifigkeit c_ϕ	Bemerkungen				
			K	gr kl	+/-		
Nr.	kNm	kNcm/rad	1)	2)	3)		
L 11	0,3 -0,4	15 851 11 598	1,0	x		+	1) $K = \frac{M_i}{\text{zul } M}$ 2) gr = Keil im großen Loch kl = Keil im kleinen Loch der Lochscheibe 3) + = kein Zuwachs der Verdrehung (gleichbleibende Steifigkeit) - = zunehmende Verdrehung (abnehmende Steifigkeit)
L 12	0,3 -0,2	12 611 8 185	1,33	x		-	
L 13	0,4 -0,6	8 906 7 970	1,33	x		-	
L 14	0,5 -0,3	15 920 15 513	1,33	x		-	
L 15	0,2 -0,2	20 844 16 156	1,0		x	+	
L 16	0,2 -0,4	13 447 13 447	1,0	x		+	
L 17	0,2 -0,4	18 604 16 570	1,0	x		+	
L 18	0,3 -0,3	17 035 14 474	1,0	x		-	
L 19	0,4 -0,4	12 611 13 754	1,0	x		+	
L 20	0,3 -0,3	24 656 13 447	1,2	x		-	
L 21	0,2 -0,3	18 892 12 877	1,2		x	-	
L 22	0,4 -0,4	17 428 22 802	1,2	x		+	
L 23	0,4 -0,4	12 916 11 152	1,2	x		-	
L 24	0,3 -0,2	13 447 12 017	1,2	x		-	
L 25	0,2 -0,3	16 801 11 392	1,2		x	-	
L 26	0,3 -0,3	10 440 9 767	1,1	x		-	
L 27	0,2 -0,3	11 640 13 156	1,1	x		-	
L 28	0,4 -0,2	14 408 11 530	1,1	x		-	

Tabelle 2. Zusammenstellung der Anfangs-Drehwinkelsteifigkeiten c_ϕ [kNcm/rad] von Knoten L (Fortsetzung)

1	2	3	4	5	6	7
Knoten Nr.	Momenten- Bereich 0 bis ... kNm	Drehwinkel- steifigkeit c_ϕ kNcm/rad	Bemerkungen			
			K 1)	gr 2)	kl 3)	+/- 3)
L 29	0,4 -0,2	14 408 20 145	1,1	x		-
L 30	0,4 -0,3	9 317 9 927	1,1	x		-
L 31	0,4 -0,4	4 379 4 361	1,33		x	-
L 32	0,3 -0,2	16 801 10 262	1,2		x	-
L 33	0,4 -0,4	11 871 11 422	1,1		x	+
L 34	0,4 -0,3	13 600 11 007	1,1		x	-
L 35	0,3 -0,3	15 124 9 317	1,1		x	-
L 36	0,4 -0,4	11 212 10 716	1,1		x	+
L 37	0,3 -0,4	13 156 10 623	1,1		x	-
L 38	0,3	16 348	(1,1)		x	} nur + M- Belastung (ansteigend)
L 39	0,3	17 788	(1,1)		x	
L 40	0,2	30 176	(1,1)	x		
L 41	0,3 -0,3	8 652 8 906	1,0		x	-
L 42	0,3 -0,2	9 927 11 109	1,0		x	-
L 43	0,2 -0,2	99 434 54 644	1,1		x	-
L 44	0,3 -0,3	18 892 19 195	0,9	x		+
L 45	0,2 -0,2	48 134 24 165	0,9	x		+
L 46	0,3 -0,3	31 757 16 801	0,9	x		+
L 47	0,2 -0,4	20 840 20 149	0,9	x		+

Tabelle 2. Zusammenstellung der Anfangs-Drehwinkelsteifigkeiten c_ϕ [kNcm/rad] von Knoten L (Fortsetzung)

1	2	3	4	5	6	7	
Knoten	Momenten-Bereich 0 bis ...	Drehwinkel- steifigkeit c_ϕ	Bemerkungen				
			Nr.	kNm	kNcm/rad	K 1)	gr kl 2)
L 48	0,3 -0,3	13 156 17 785	0,9	x		+	(Bild 63, Beilage 37) } nur 1 Schleife gefahren
L 49	0,3 -0,3	8 023 8 940	0,9	x		-	
L 50	0,3 -0,3	12 378 12 378	0,9	x		+	
L 51	0,3 -0,3	5 050 3 684	0,9	x			
L 52	0,3 -0,3	21 585 25 181	1,0		x	+	
L 53	0,2 -0,2	22 362 9 106	1,3		x	-	
L 54	0,2 -0,3	16 348 3 275	1,7	x		-	
L 55	0,3 -0,4	20 149 4 627	1,7	x		-	
L 56	0,2 -0,3	35 467 14 237	0,3	x		+	

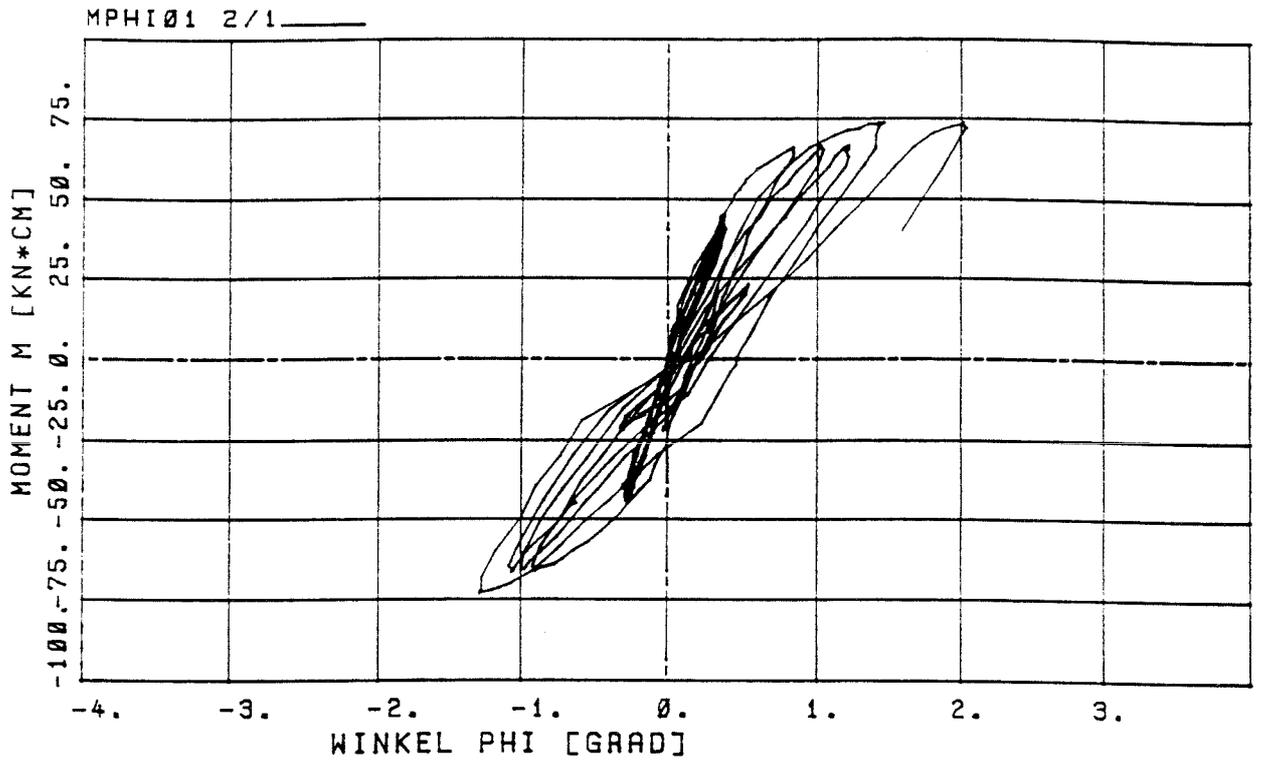


Bild 18. Versuch L 11, $K = 1$, $M = 44$ kNcm

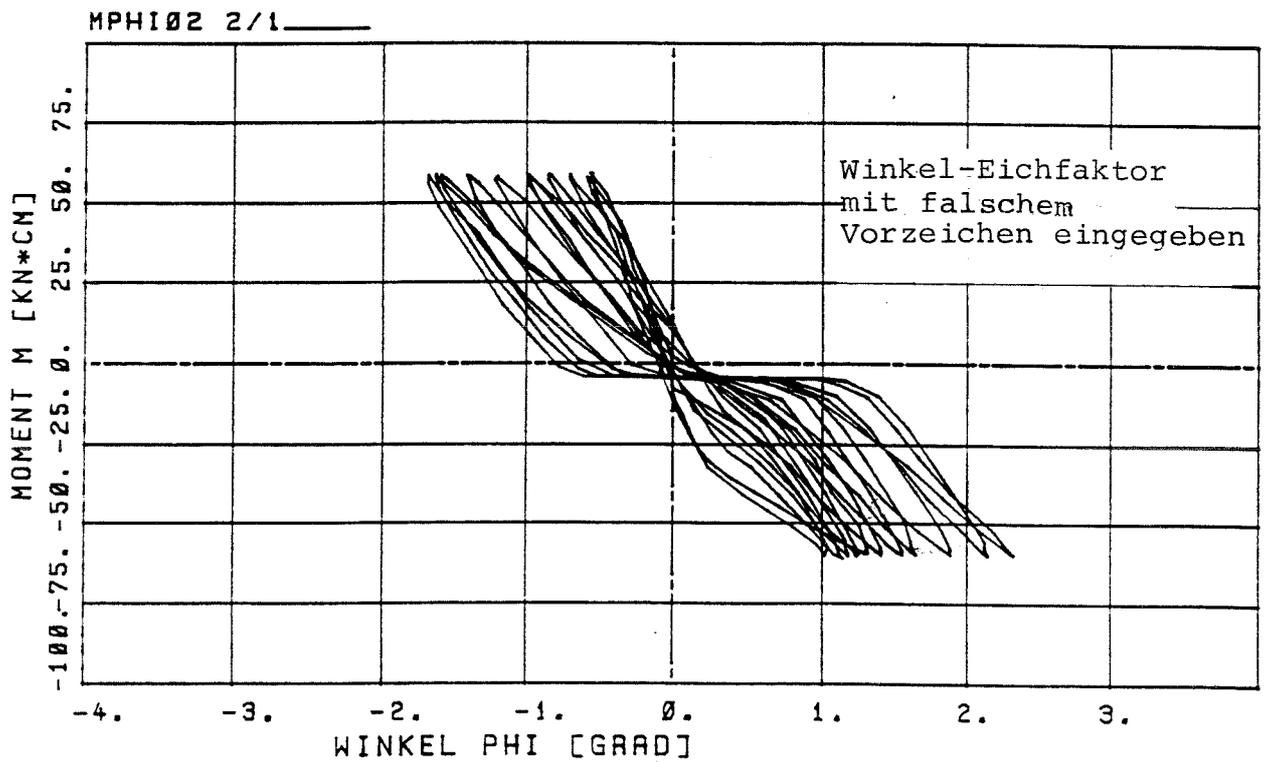


Bild 19. Versuch L 12, $K = 1,33$, $M = 58$ kNcm

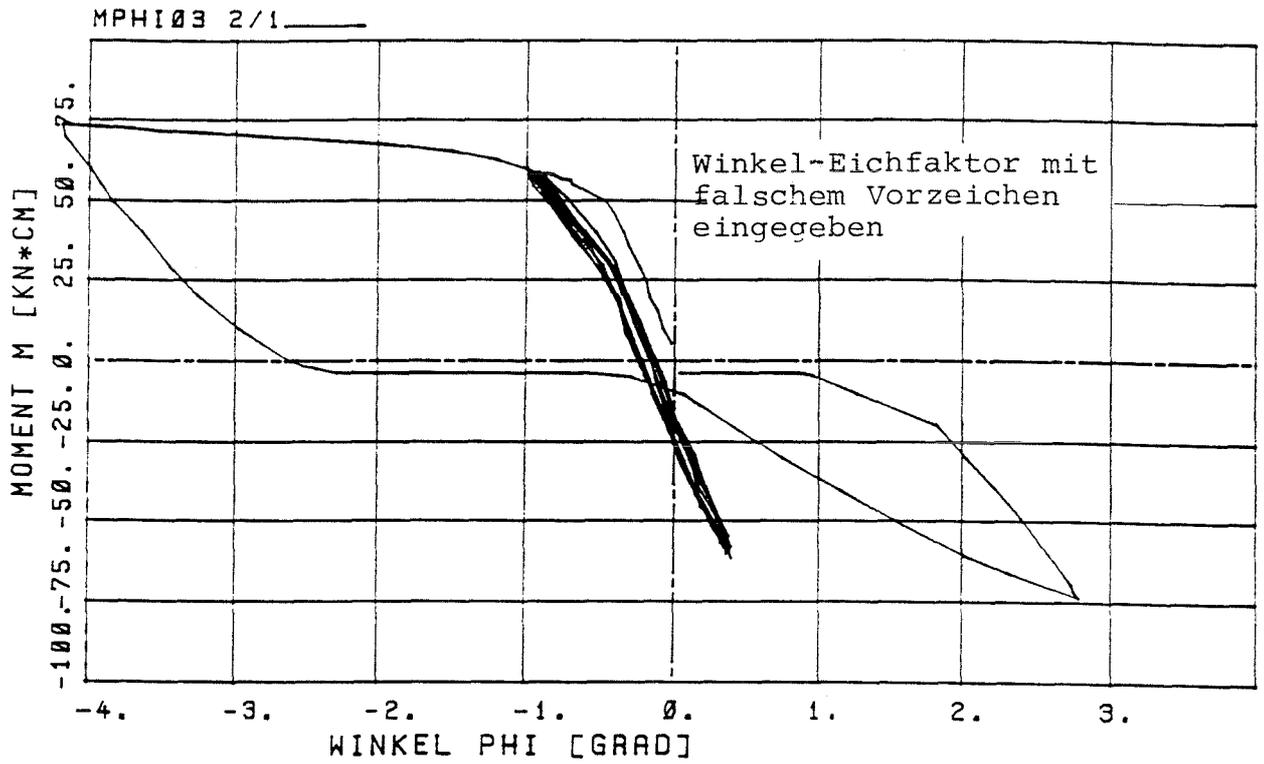


Bild 20. Versuch L 13, $K = 1,33$, $M = 58$ kNcm

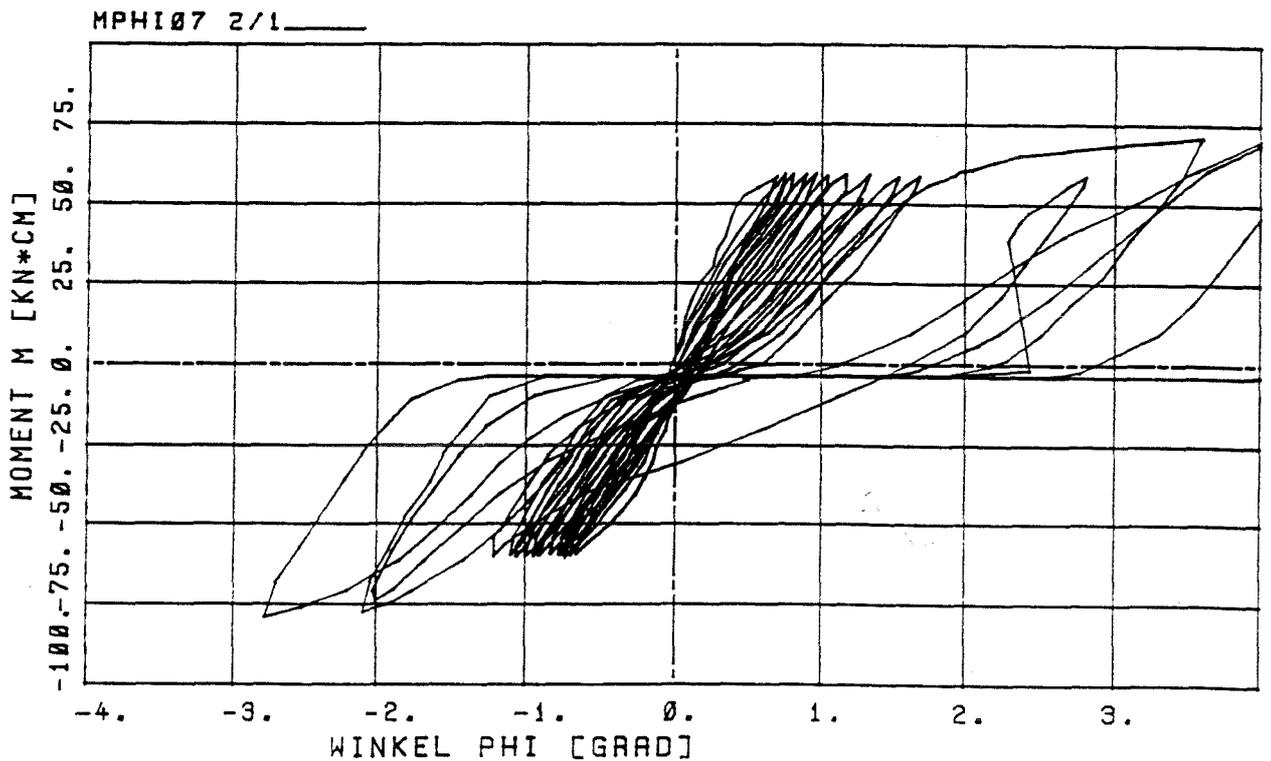


Bild 21. Versuch L 14, $K = 1,33$, $M = 58$ kNcm

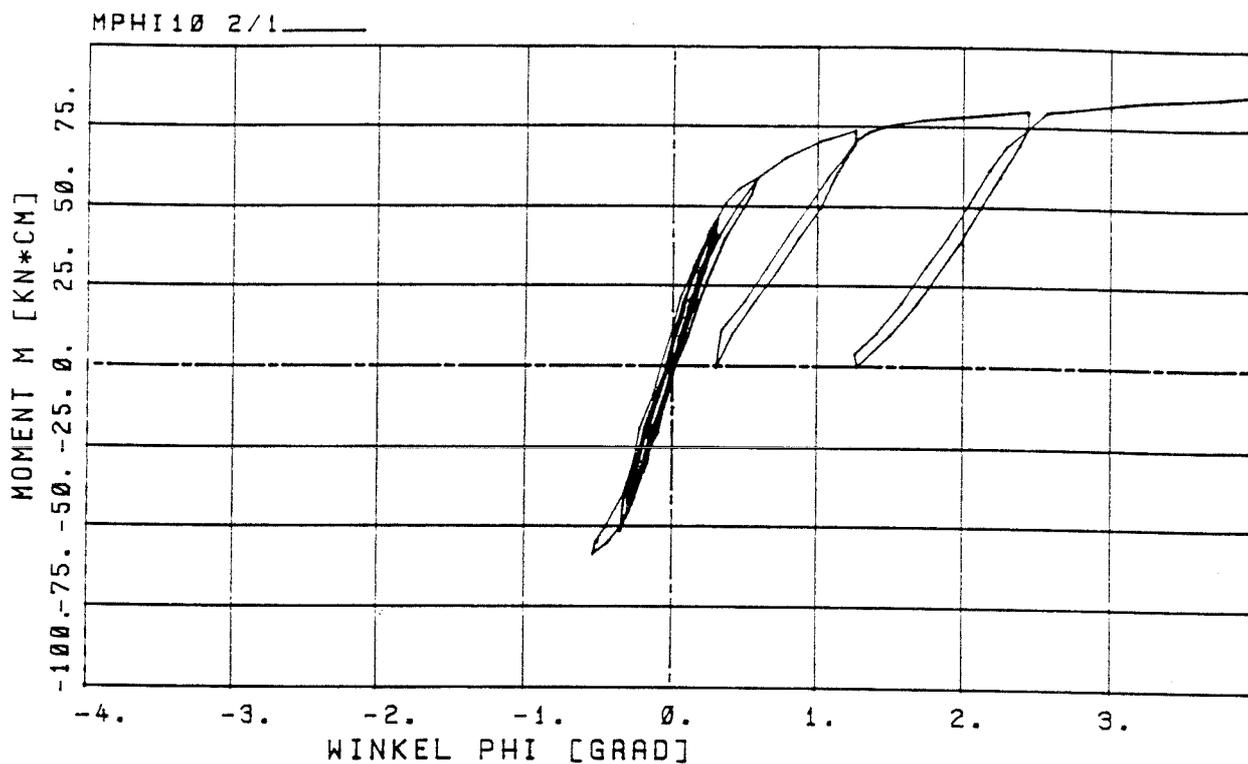


Bild 22. Versuch L 15, K = 1,0, M = 44 kNcm

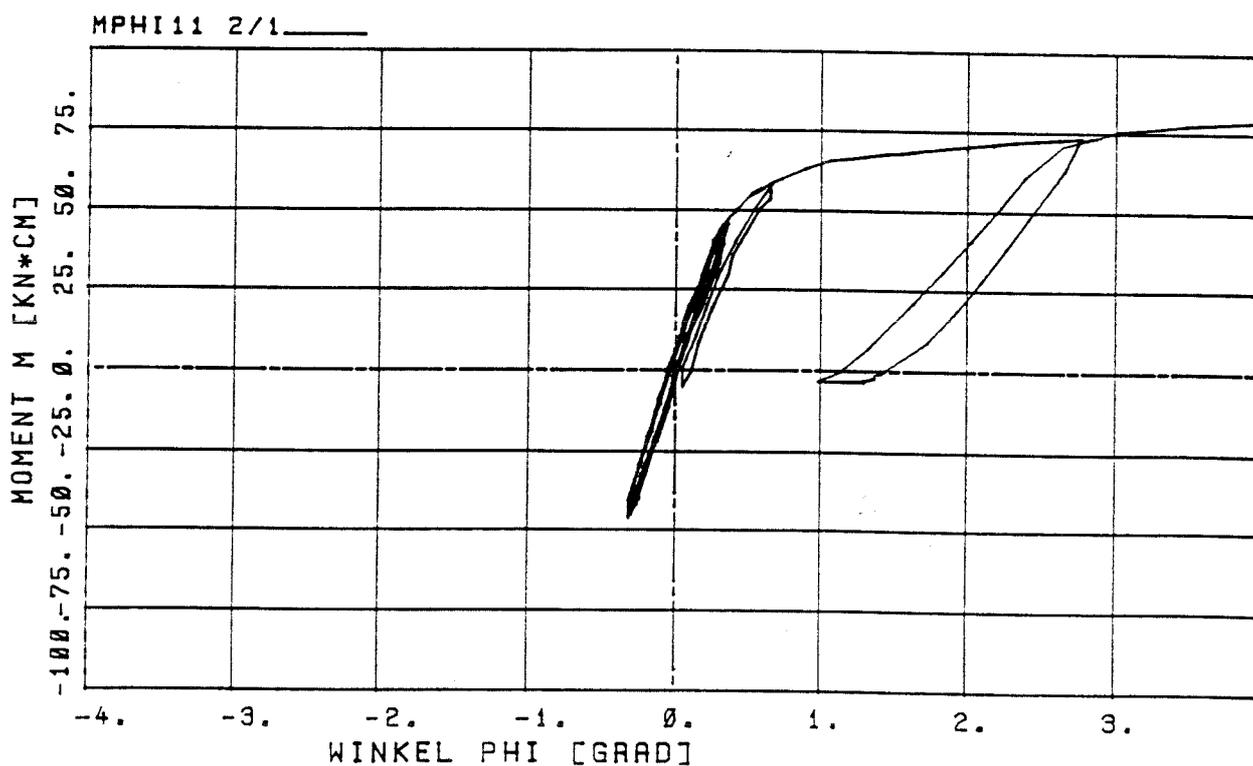


Bild 23. Versuch L 16, K = 1,0, M = 44 kNcm

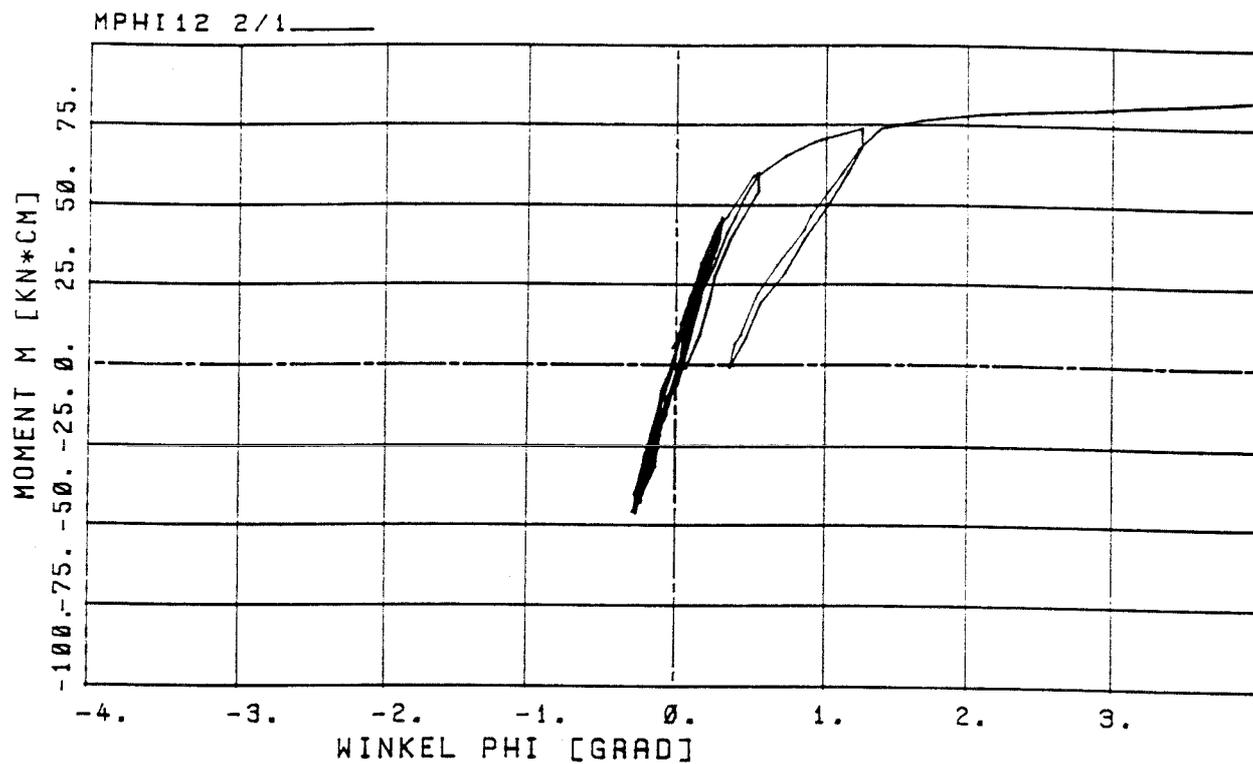


Bild 24. Versuch L 17, K = 1,0, M = 44 kNcm

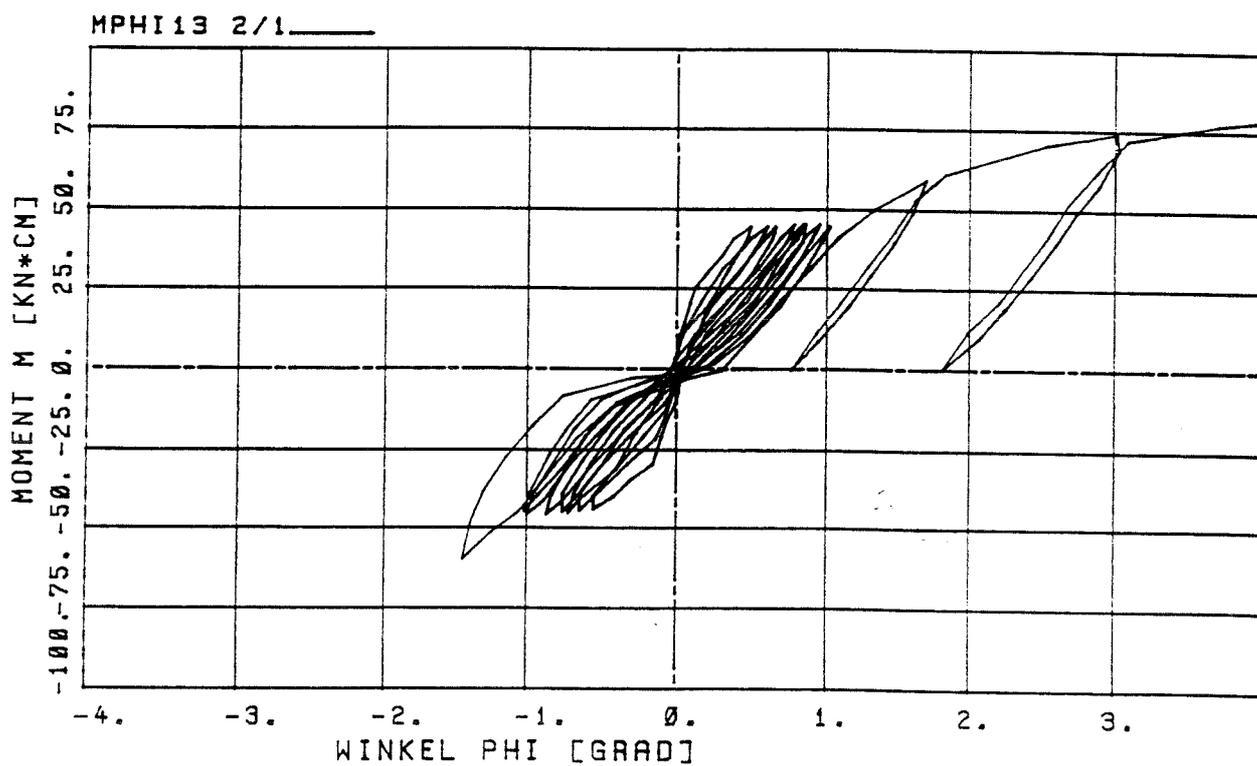


Bild 25. Versuch L 18, K = 1,0, M = 44 kNcm

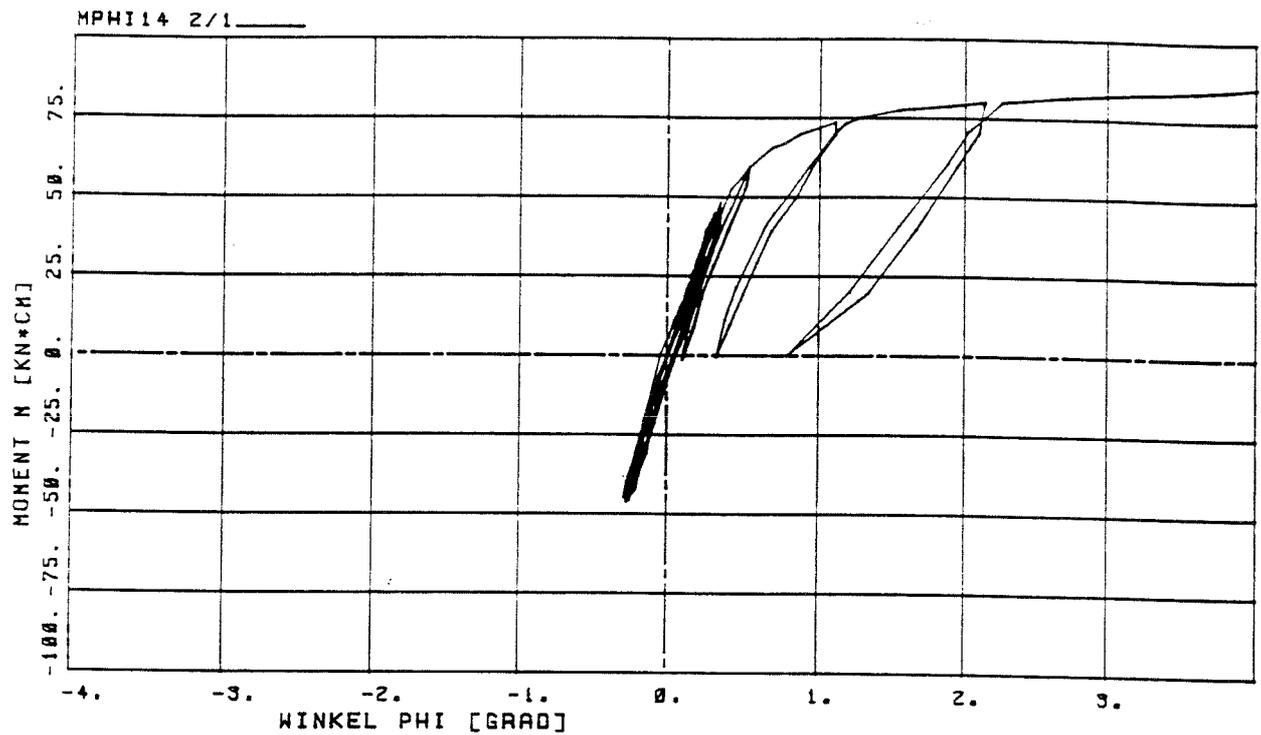


Bild 26. Versuch L 19, $K = 1,0$, $M = 44 \text{ kNcm}$

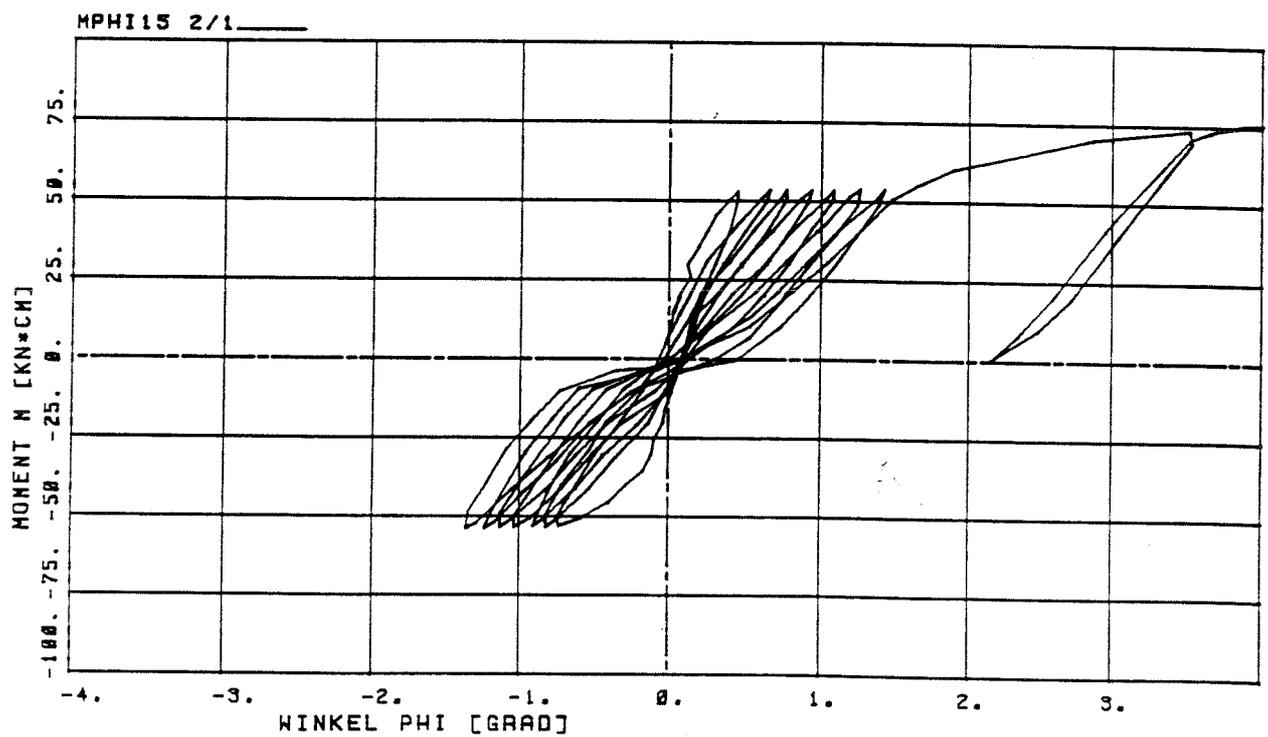


Bild 27. Versuch L 20, $K = 1,2$, $M = 53 \text{ kNcm}$

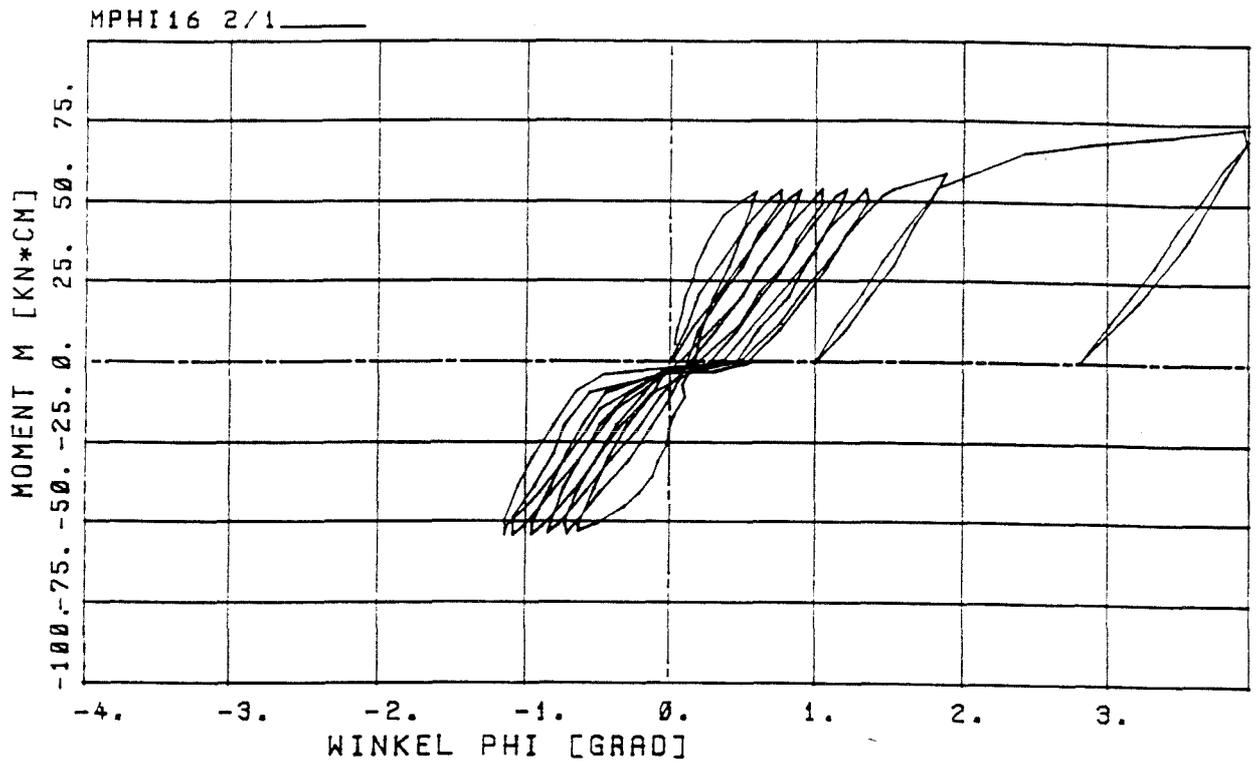


Bild 28. Versuch L 21, $K = 1,2$, $M = 53 \text{ kNcm}$

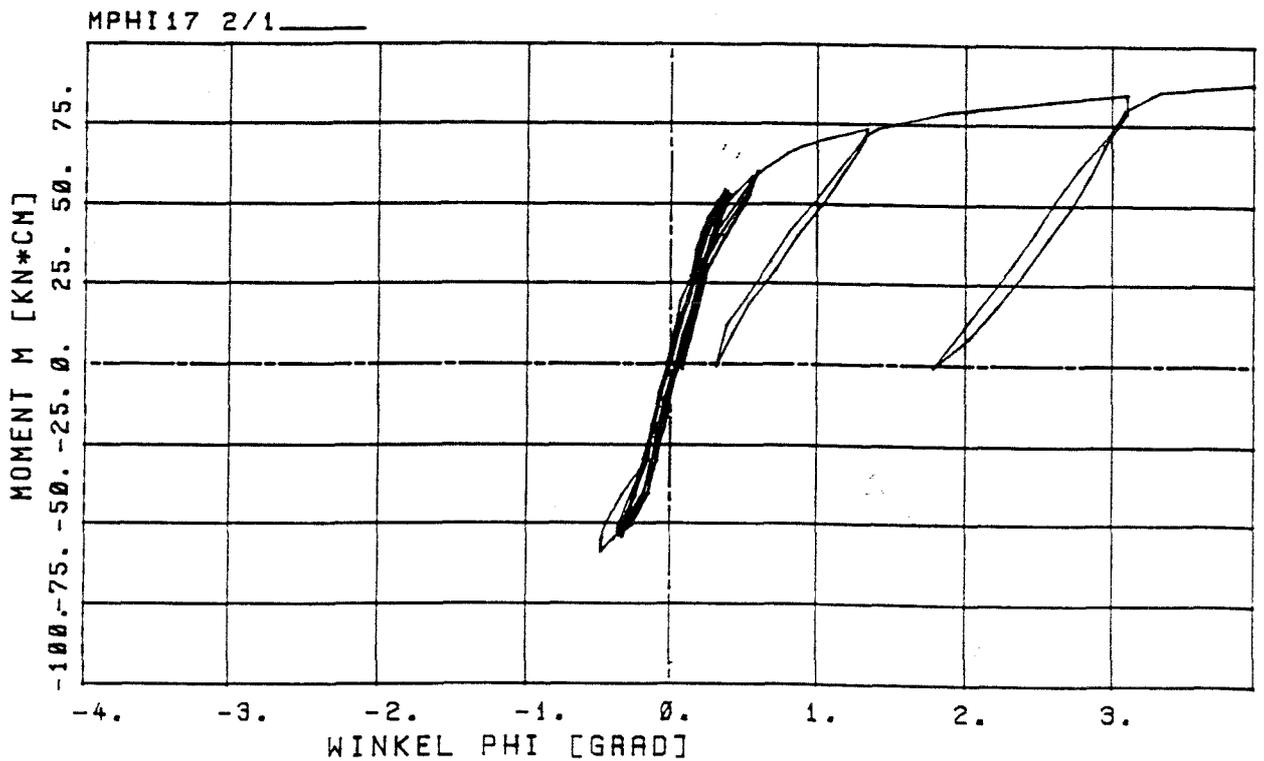


Bild 29. Versuch L 22, $K = 1,2$, $M = 53 \text{ kNcm}$

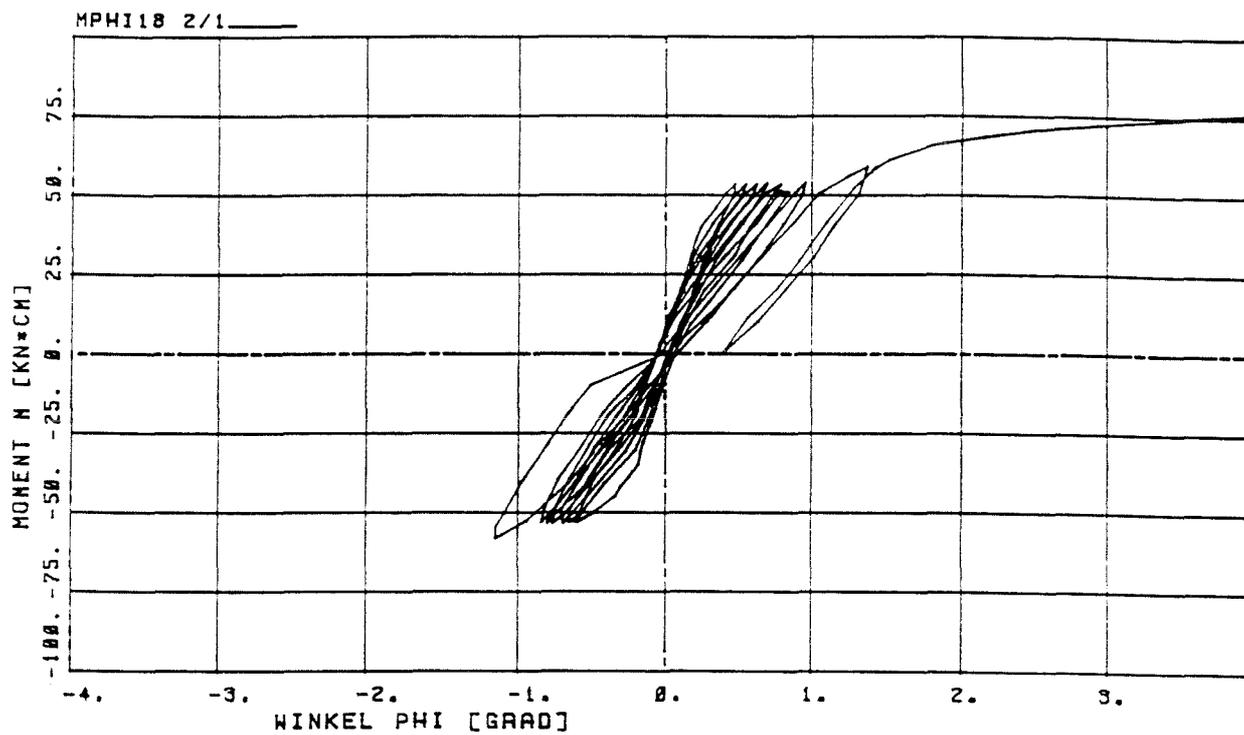


Bild 30. Versuch L 23, K = 1,2, M = 53 kNcm

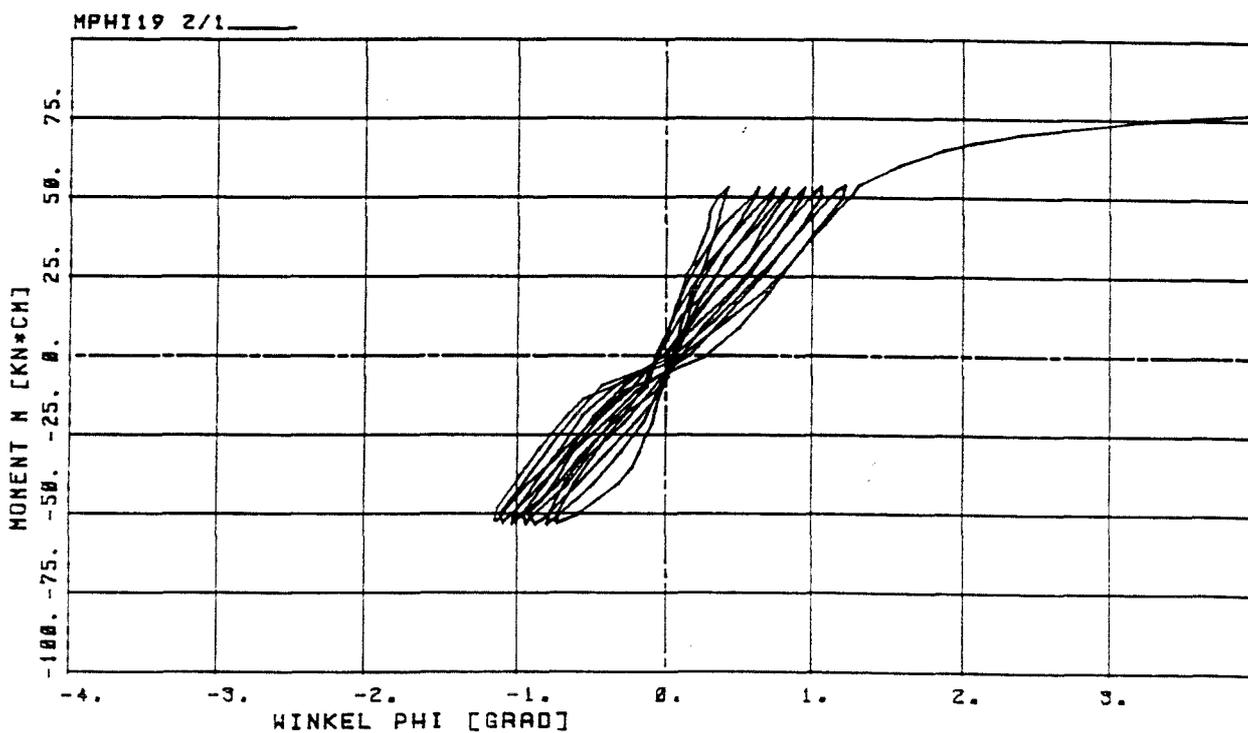


Bild 31. Versuch L 24, K = 1,2, M = 53 kNcm

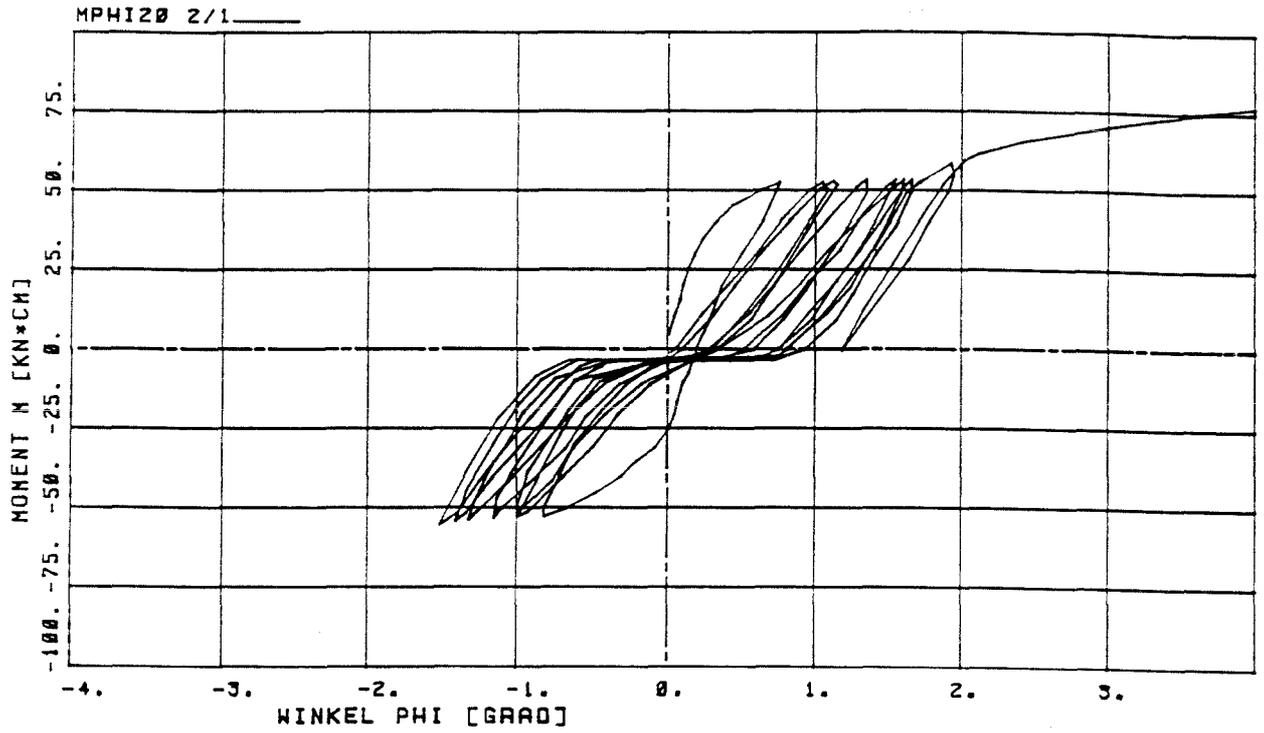


Bild 32. Versuch L 25, $K = 1,2$, $M = 53$ kNcm

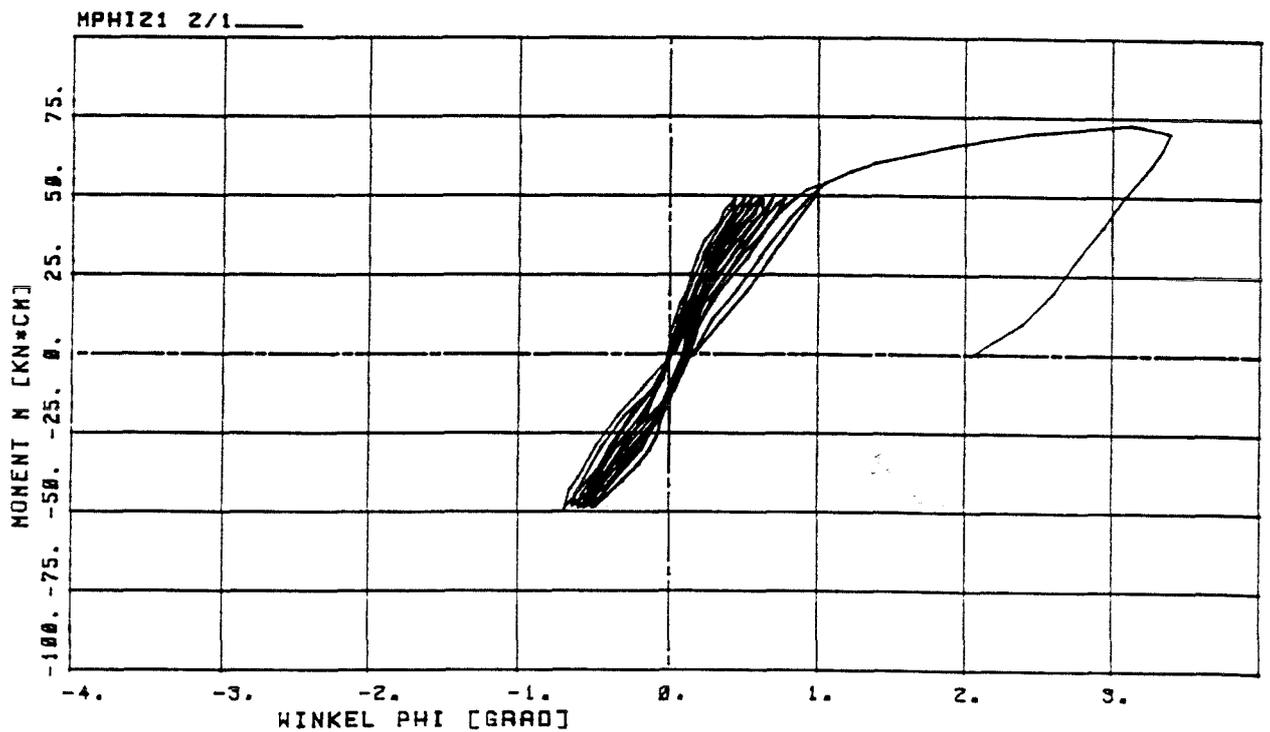


Bild 33. Versuch L 26, $K = 1,1$, $M = 48$ kNcm

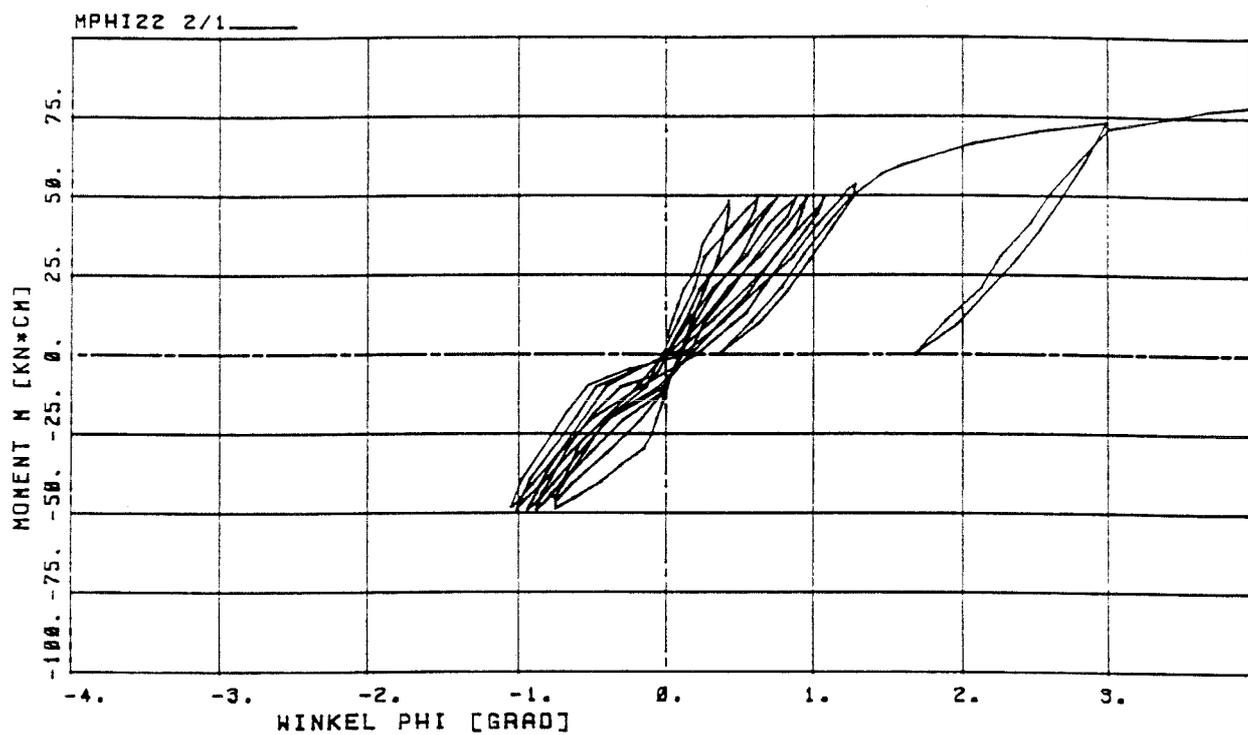


Bild 34. Versuch L 27, $K = 1,1$, $M = 48 \text{ kNcm}$

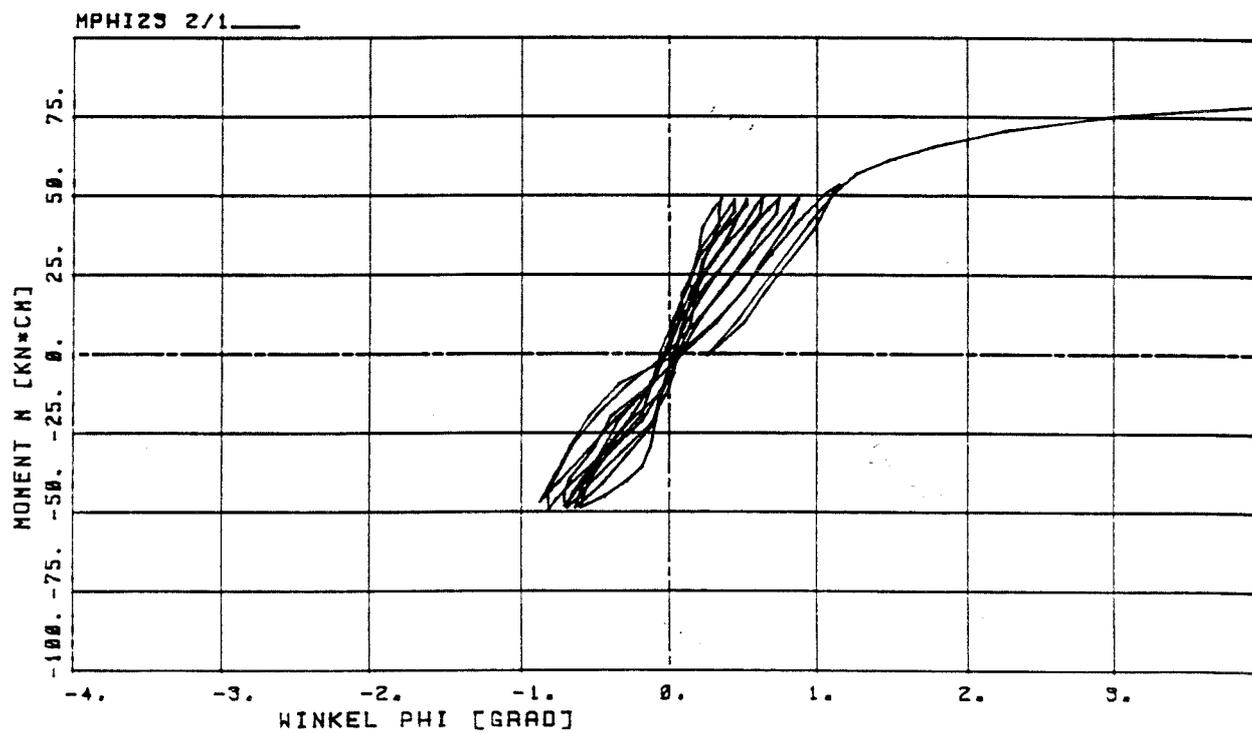


Bild 35. Versuch L 28, $K = 1,1$, $M = 48 \text{ kNcm}$

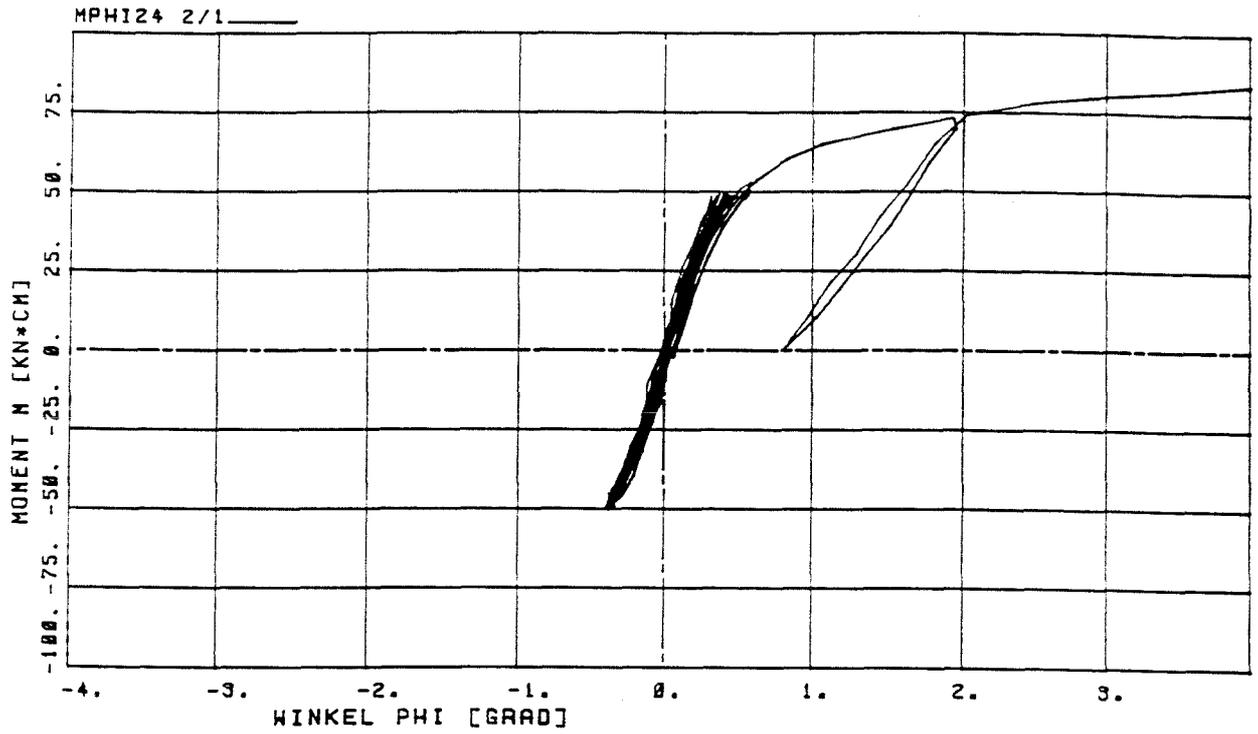


Bild 36. Versuch L 29, K = 1,1, M = 48 kNcm

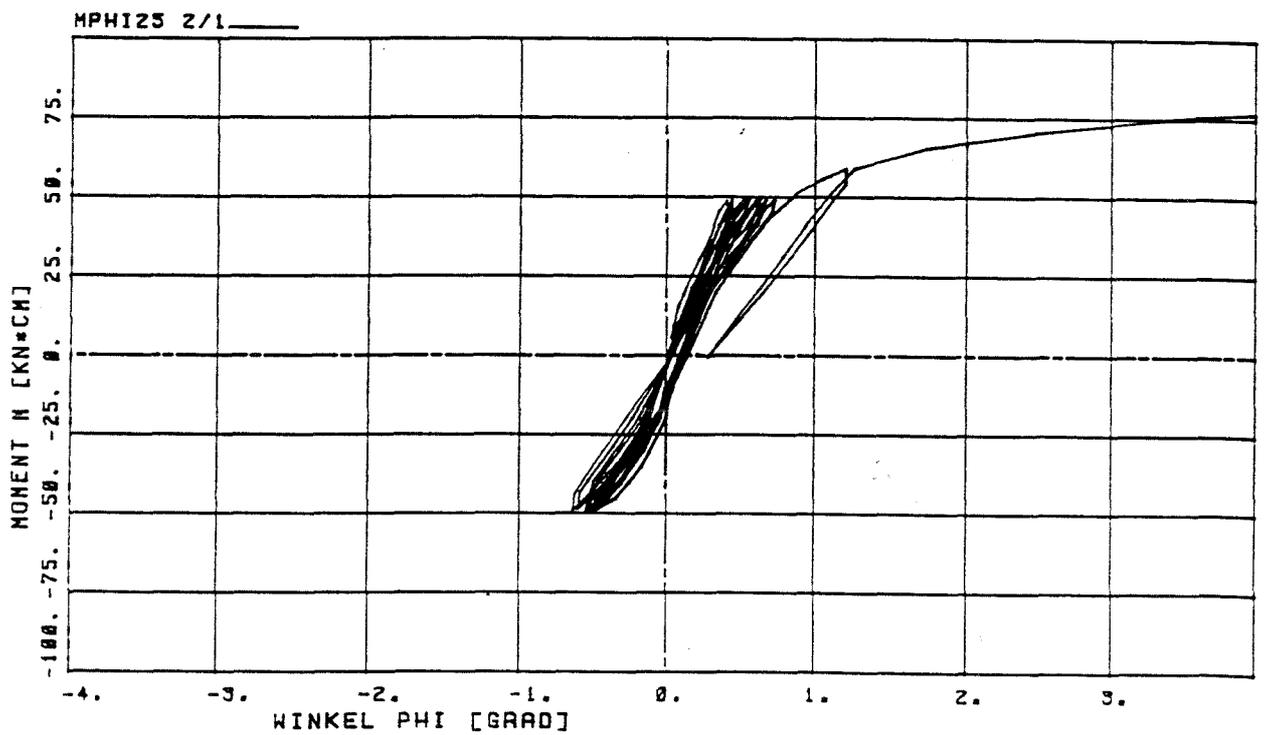


Bild 37. Versuch L 30, K = 1,1, M = 48 kNcm

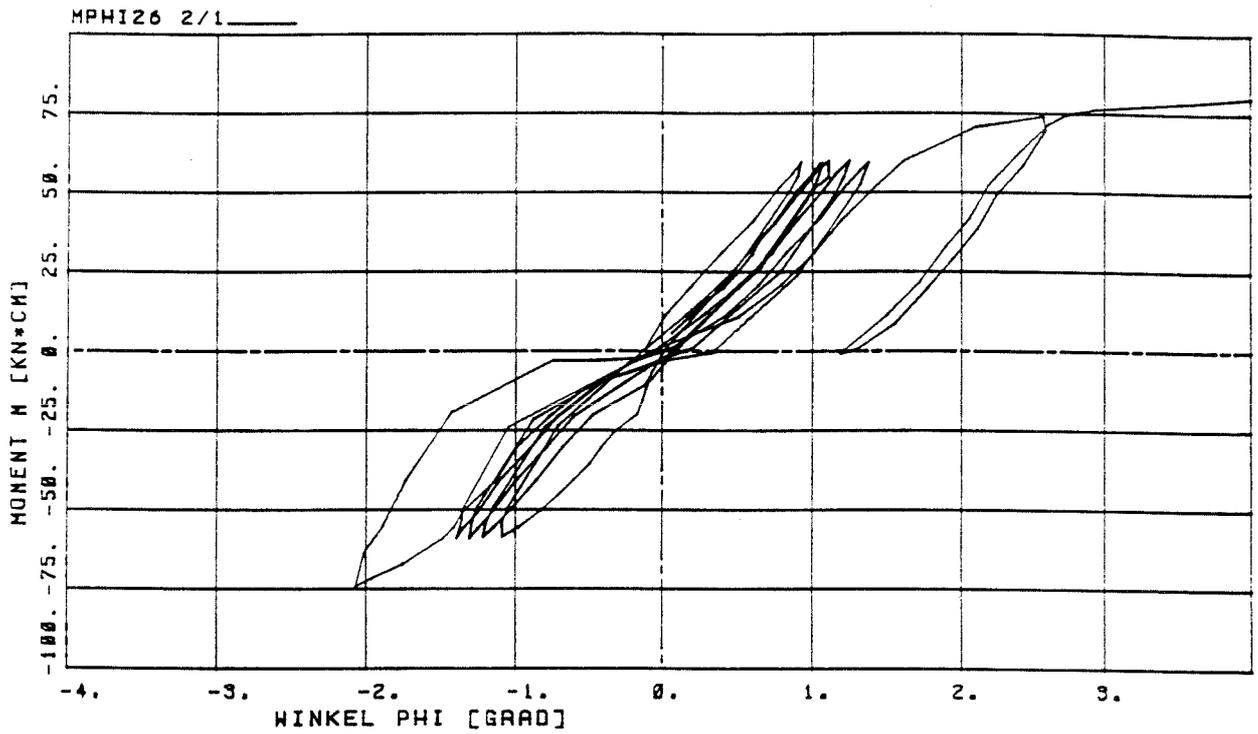


Bild 38. Versuch L 31, $K = 1,33$, $M = 58$ kNcm

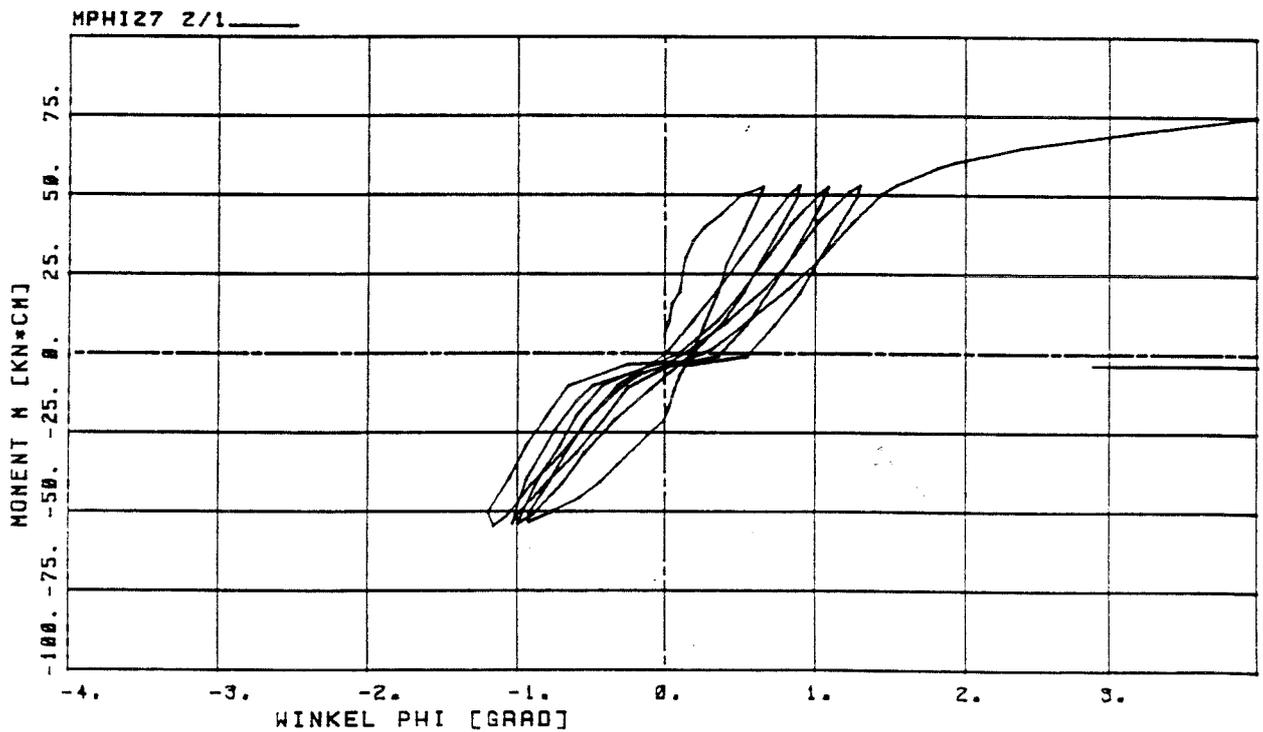


Bild 39. Versuch L 32, $K = 1,2$, $M = 53$ kNcm

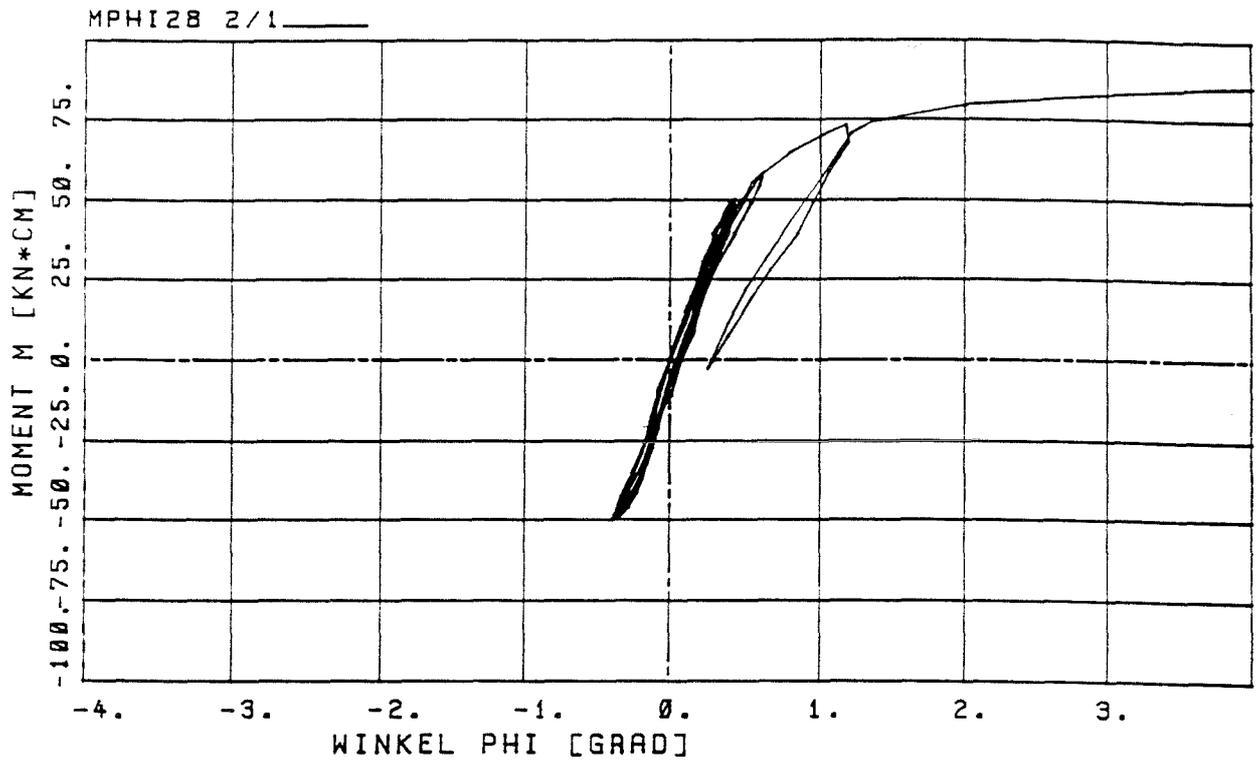


Bild 40. Versuch L 33, K = 1,1, M = 48 kNcm

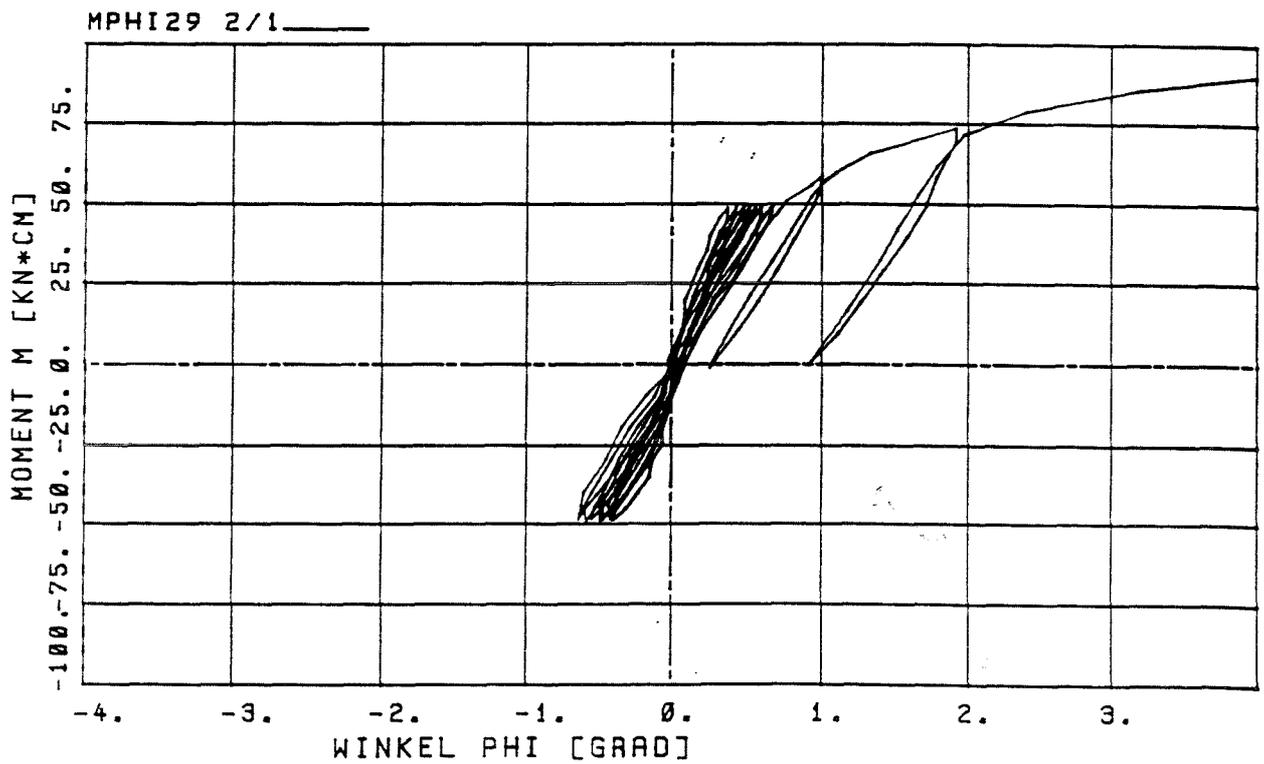


Bild 41. Versuch L 34, K = 1,1, M = 48 kNcm

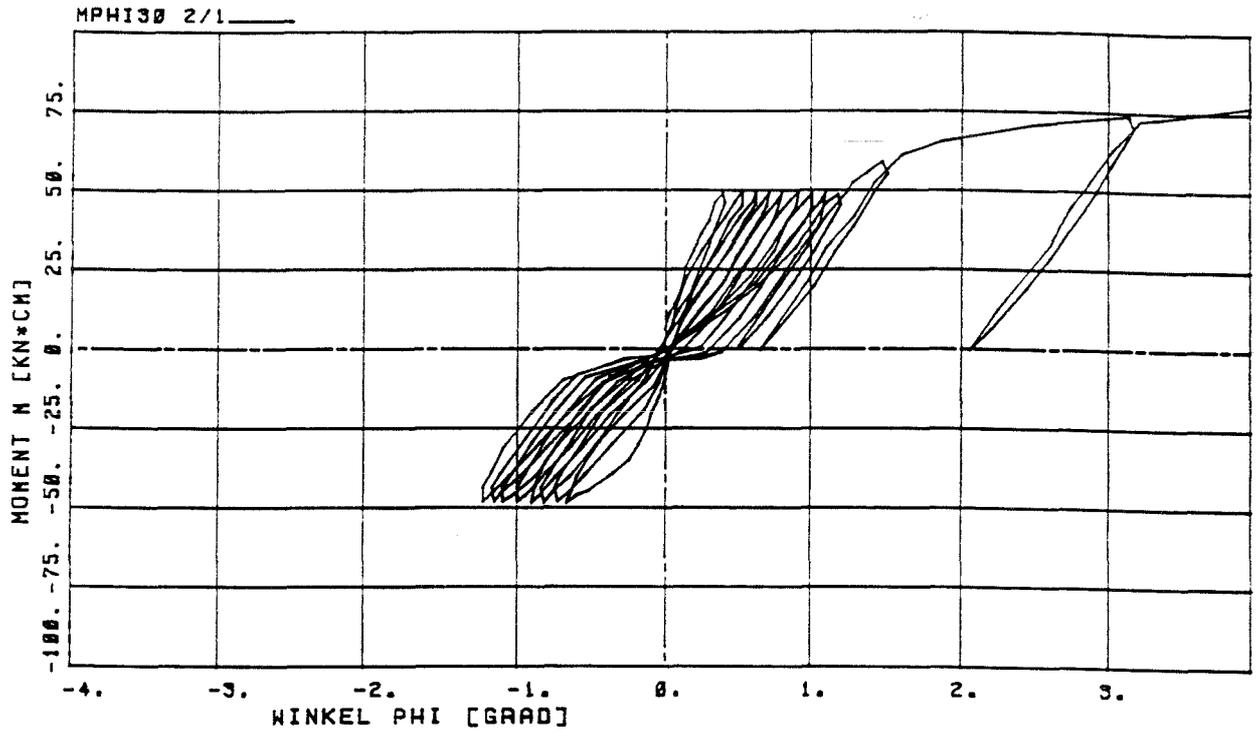


Bild 42. Versuch L 25, $K = 1,1$, $M = 48$ kNcm

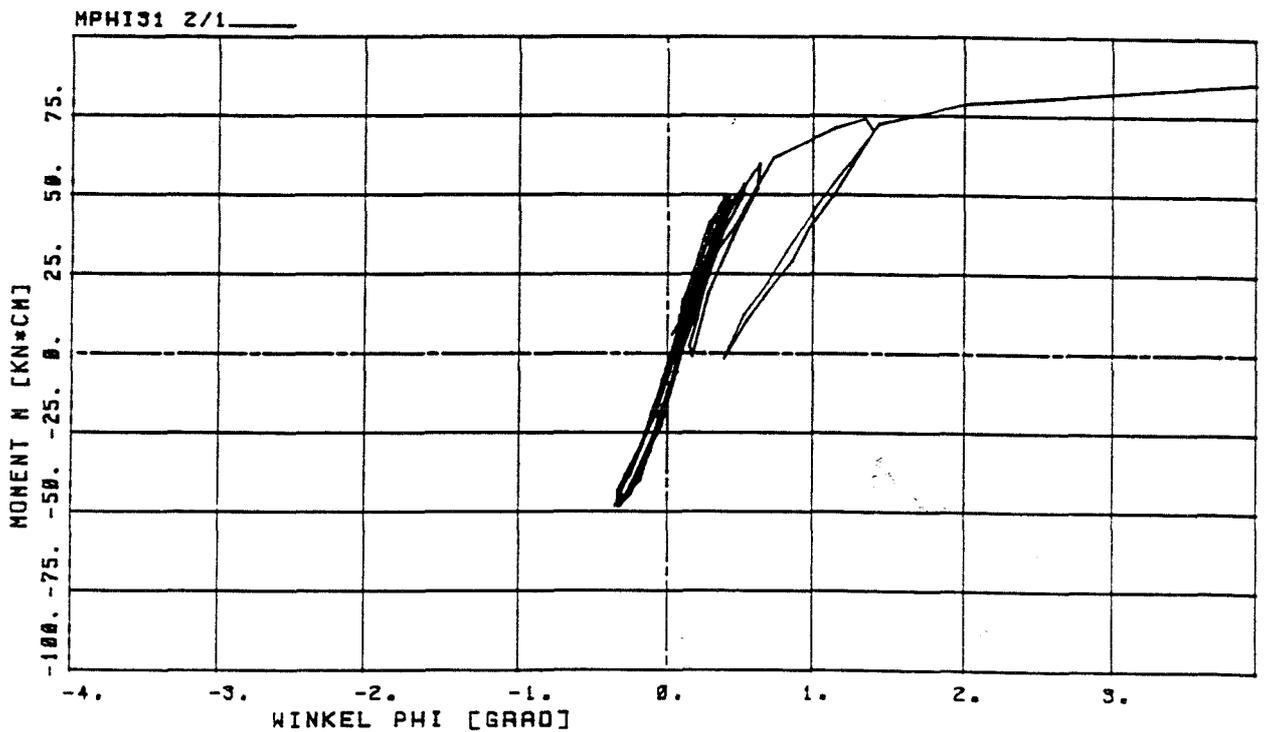


Bild 43. Versuch L 36, $K = 1,1$, $M = 48$ kNcm

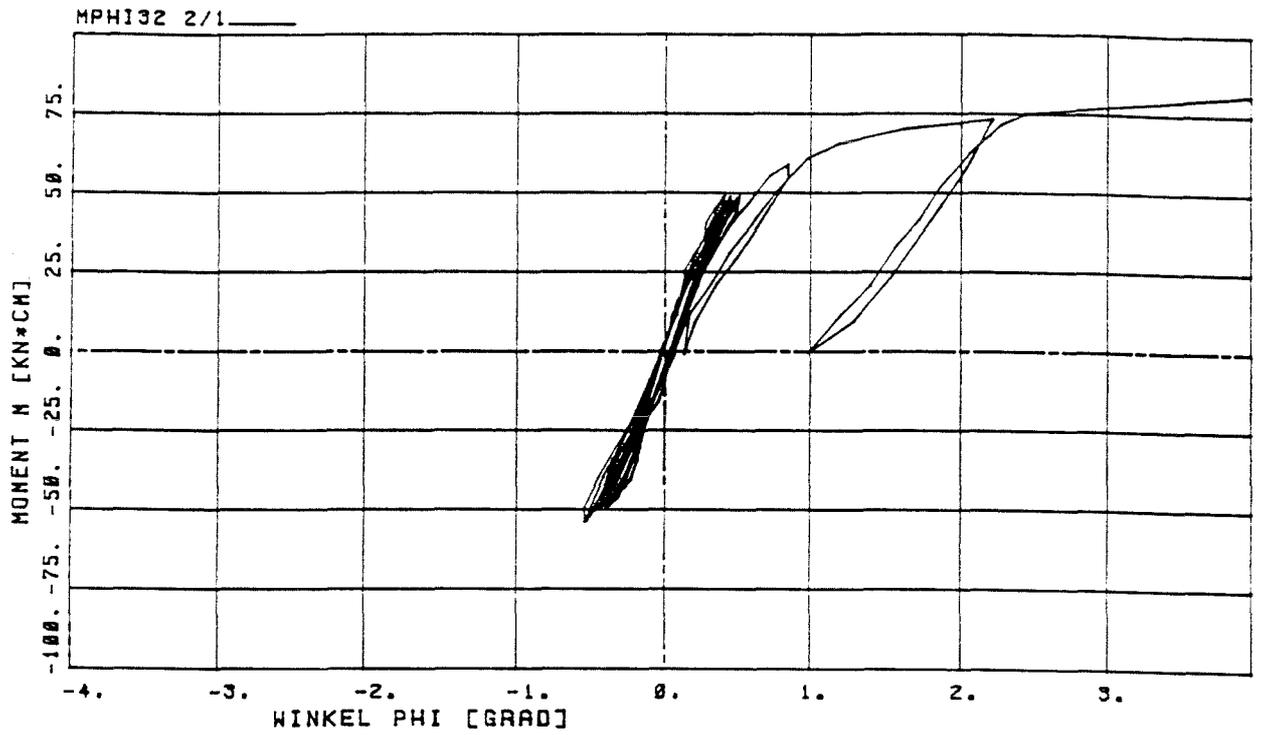


Bild 44. Versuch L 37, $K = 1,1$, $M = 48$ kNcm

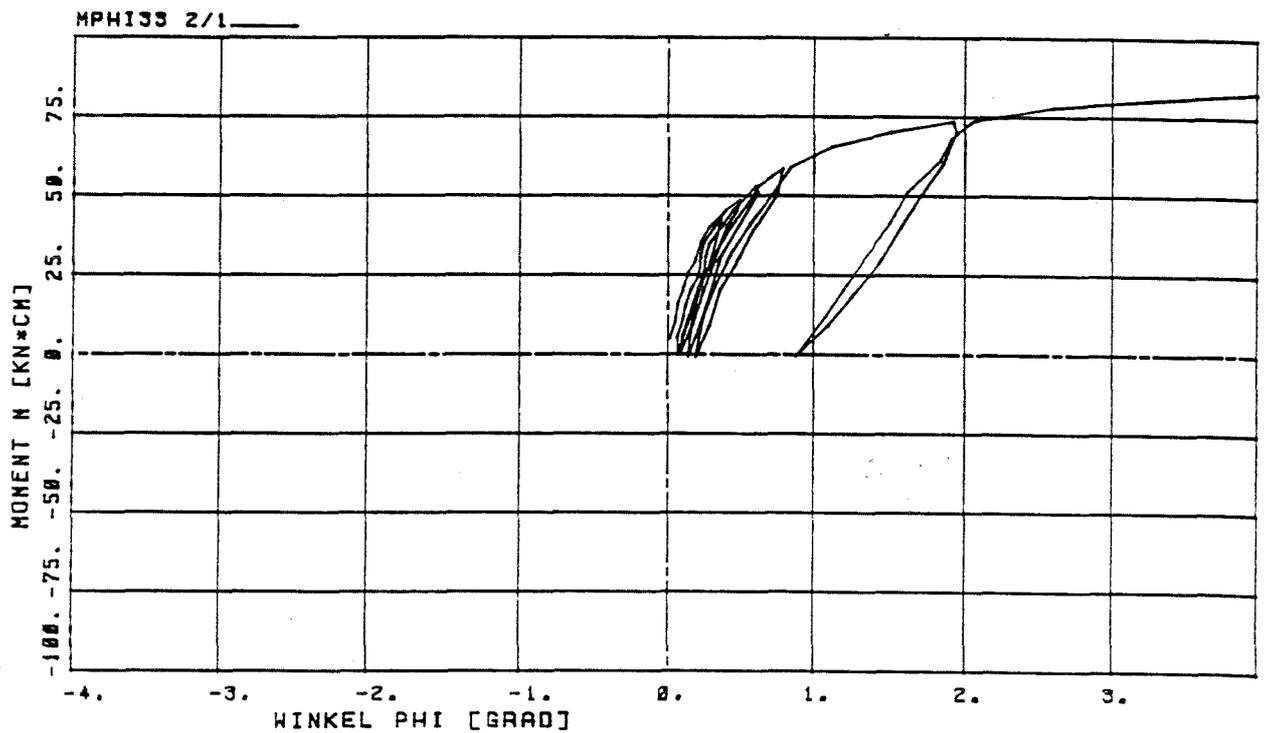


Bild 45. Versuch L 38, $K = 1,1$, $M = 48$ kNcm

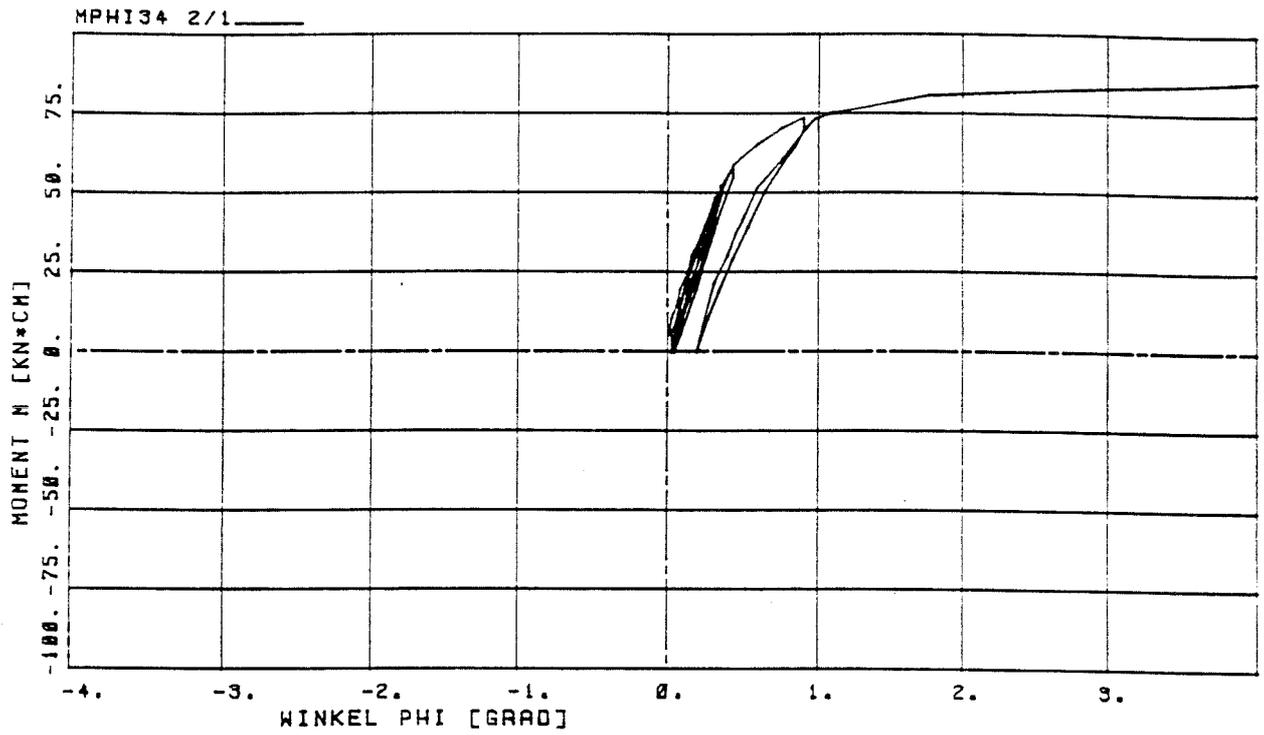


Bild 46. Versuch L 39, $K = 1,1$, $M = 48 \text{ kNm}$

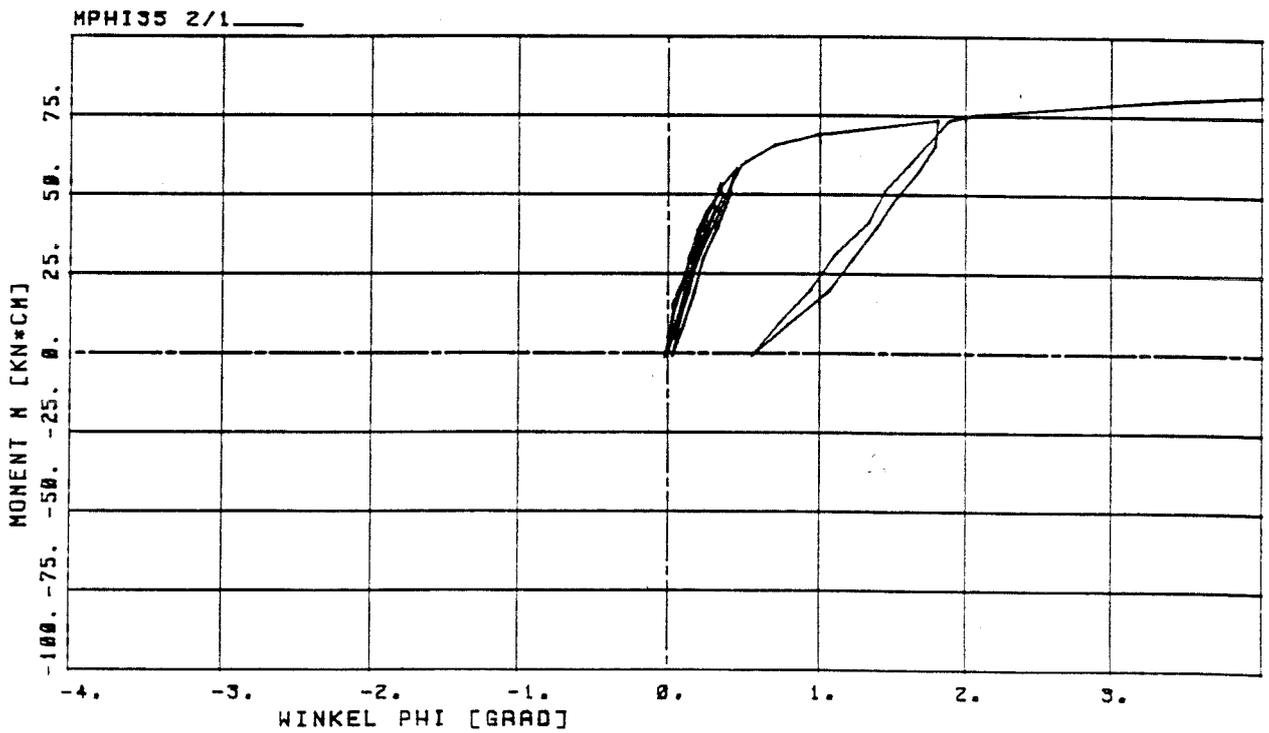


Bild 47. Versuch L 40, $K = 1,1$, $M = 48 \text{ kNm}$

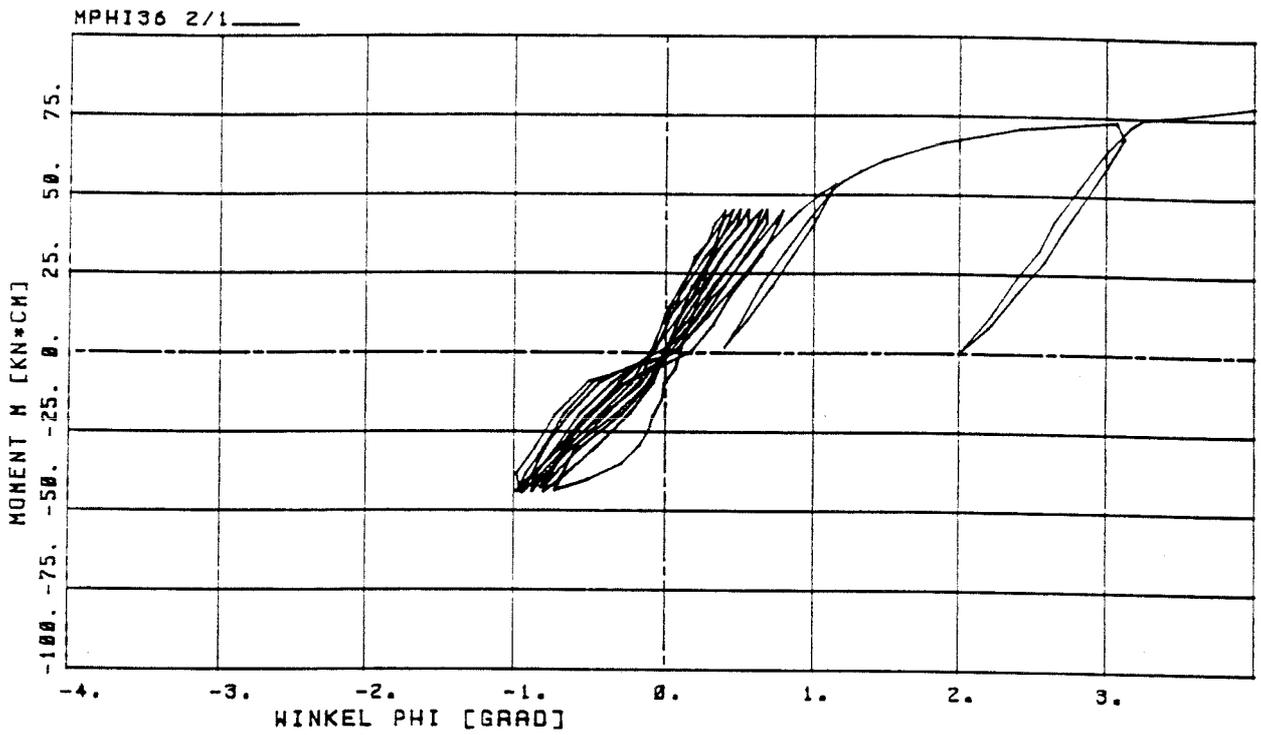


Bild 48. Versuch L 41, $K = 1,0$, $M = 44 \text{ kNcm}$

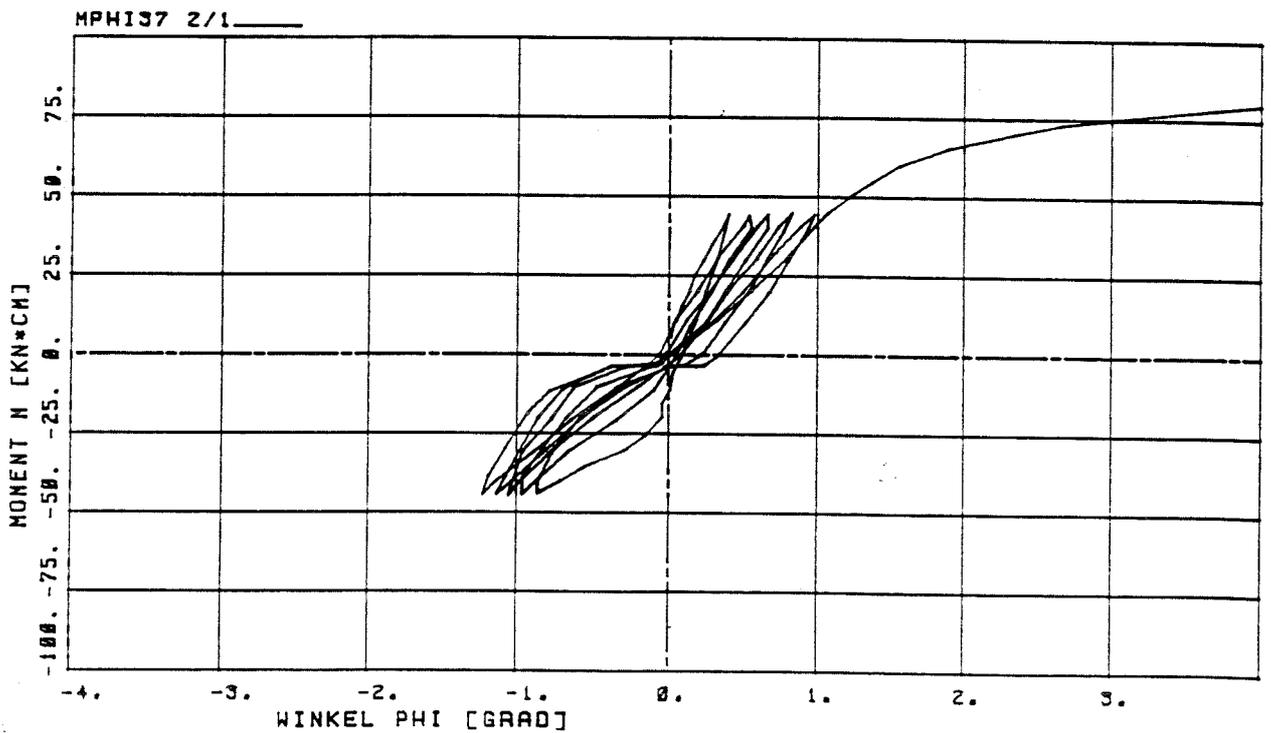


Bild 49. Versuch L 42, $K = 1,0$, $M = 44 \text{ kNcm}$

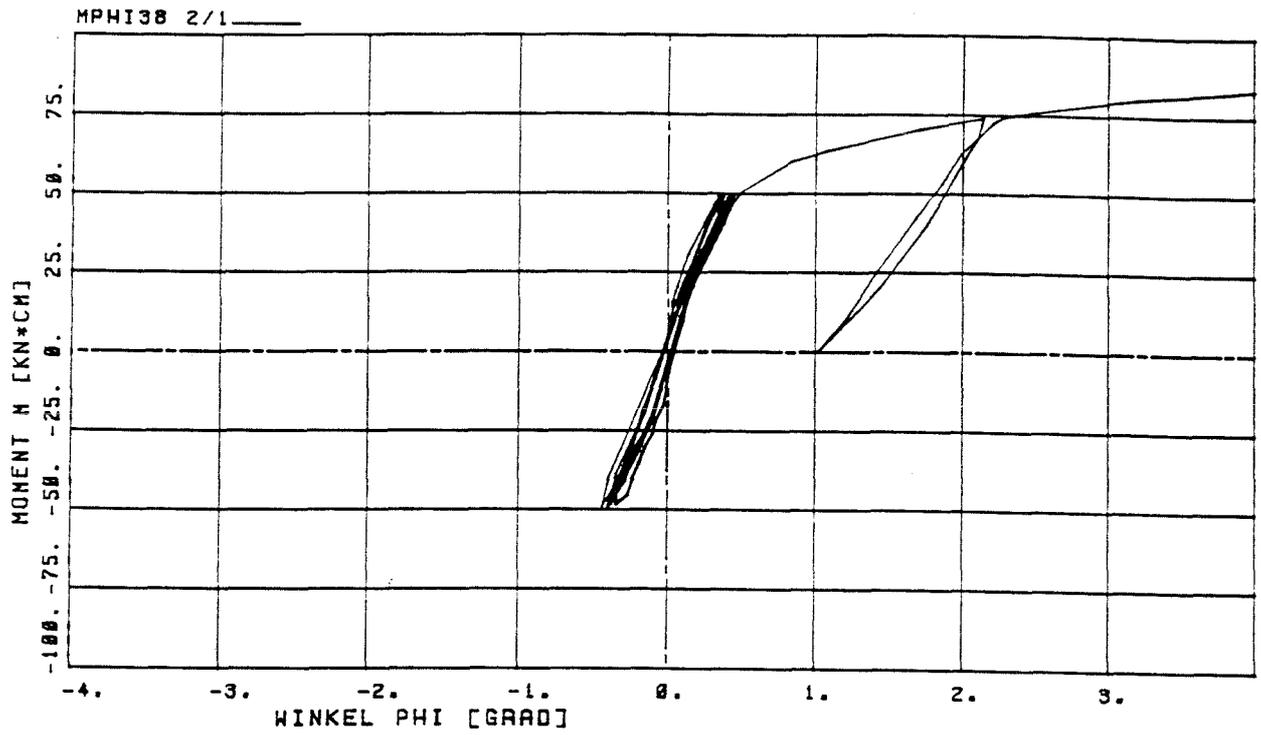


Bild 50. Versuch L 43, $K = 1,1$, $M = 48 \text{ kNcm}$

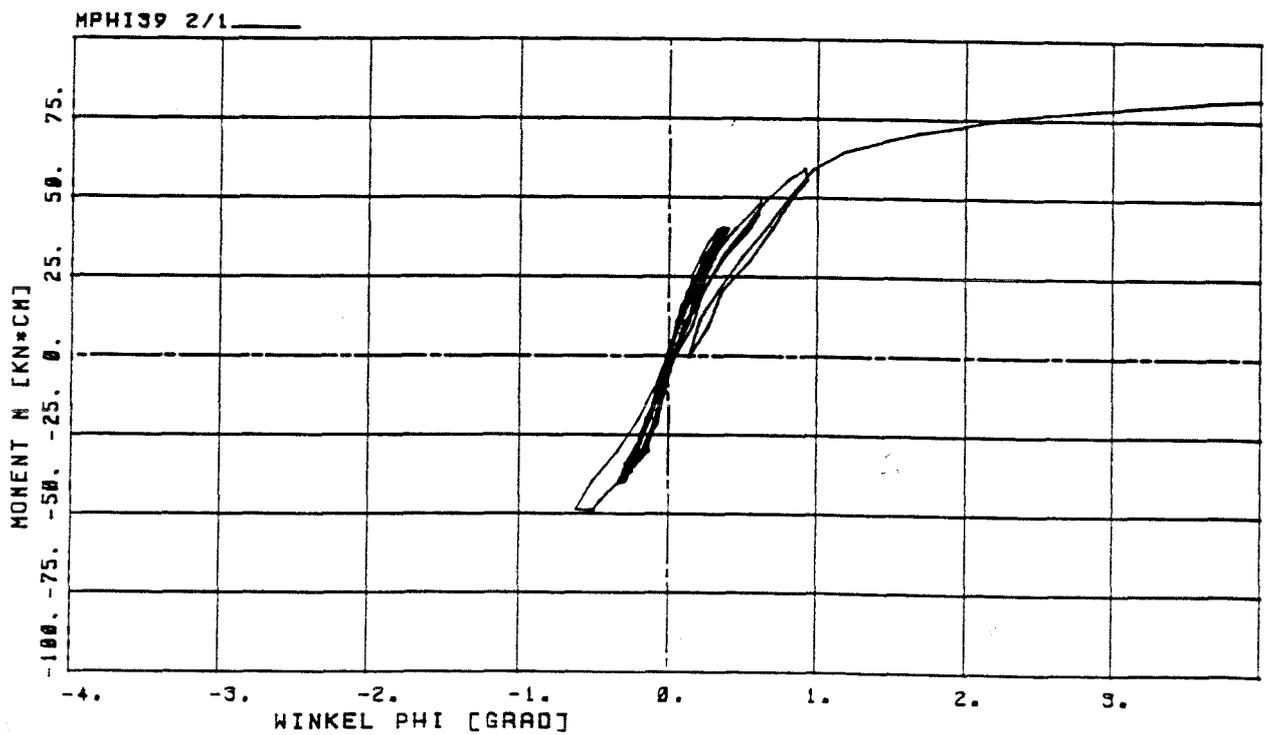


Bild 51. Versuch L 44, $K = 0,9$, $M = 40 \text{ kNcm}$

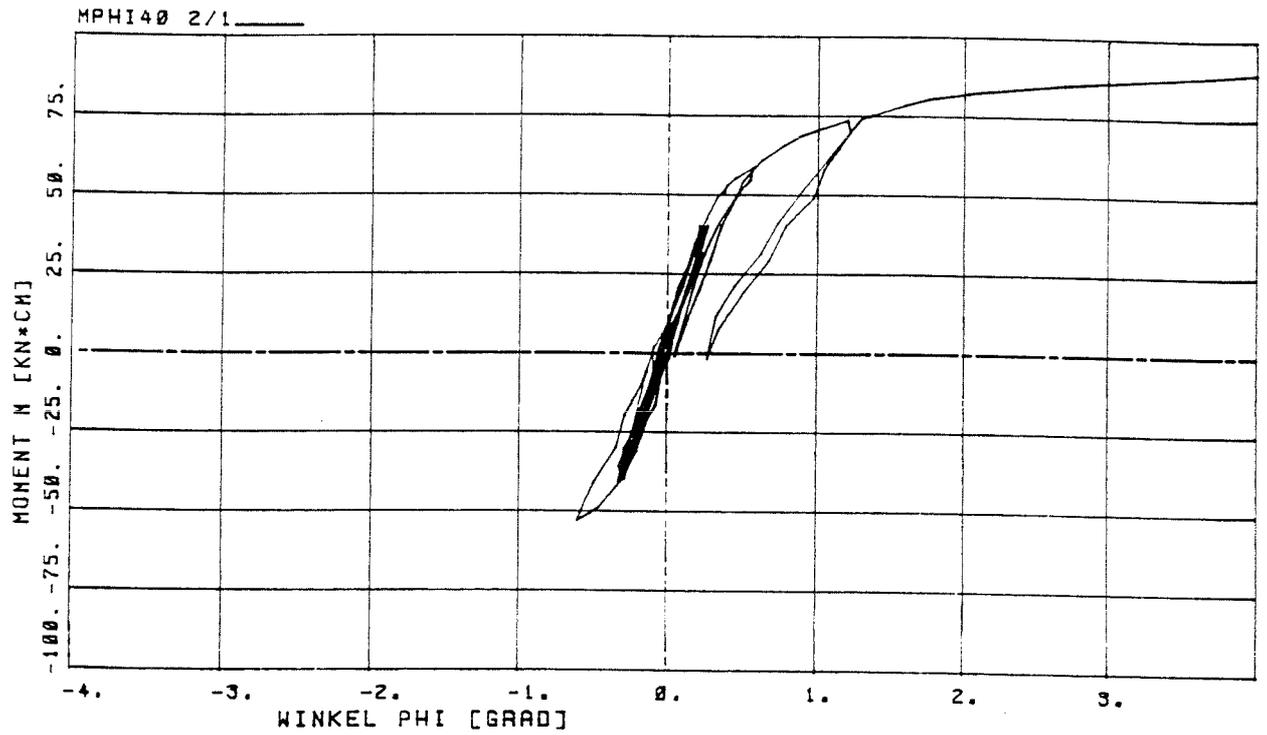


Bild 52. Versuch L 45, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

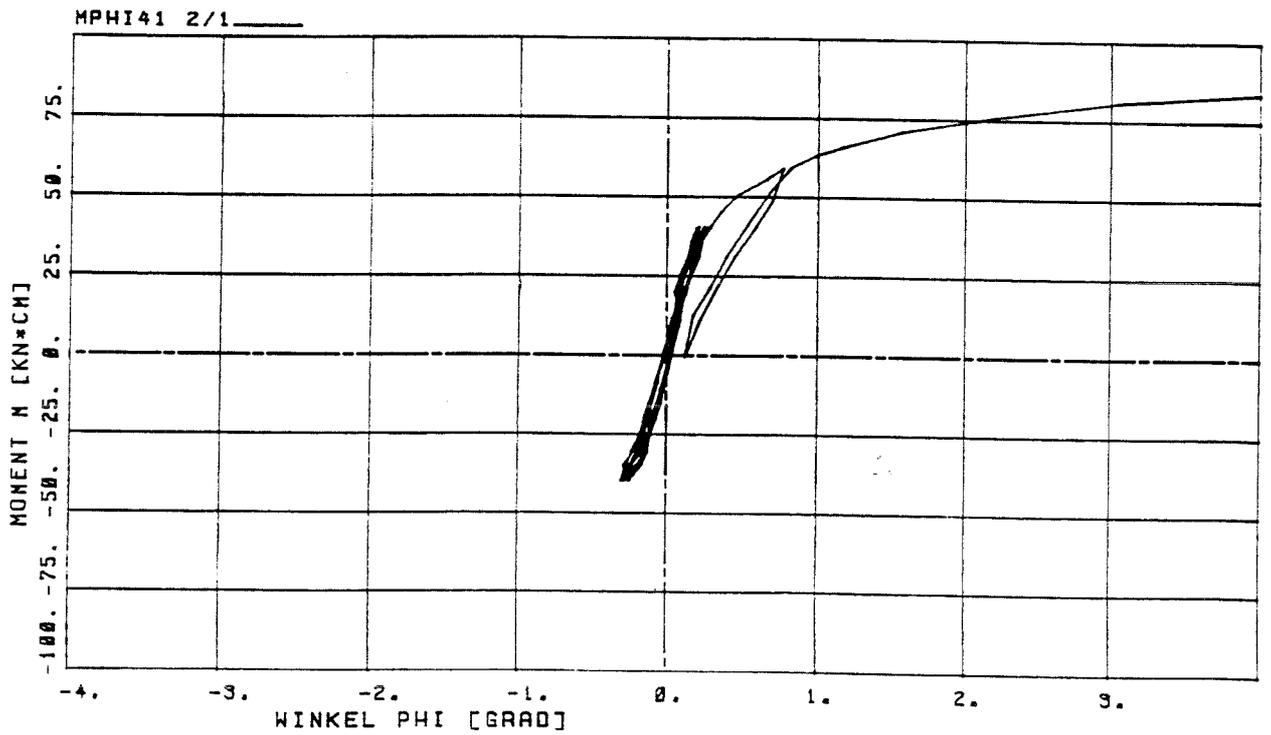


Bild 53. Versuch L 46, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

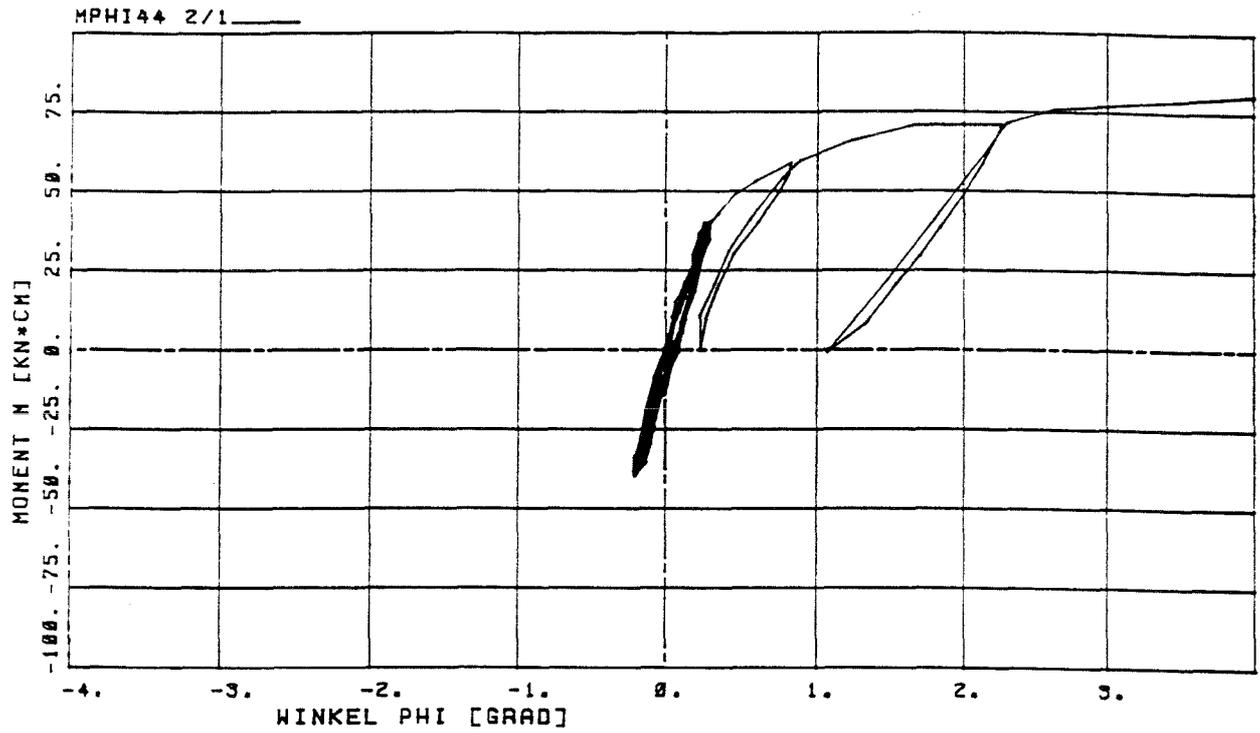


Bild 54. Versuch L 47, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

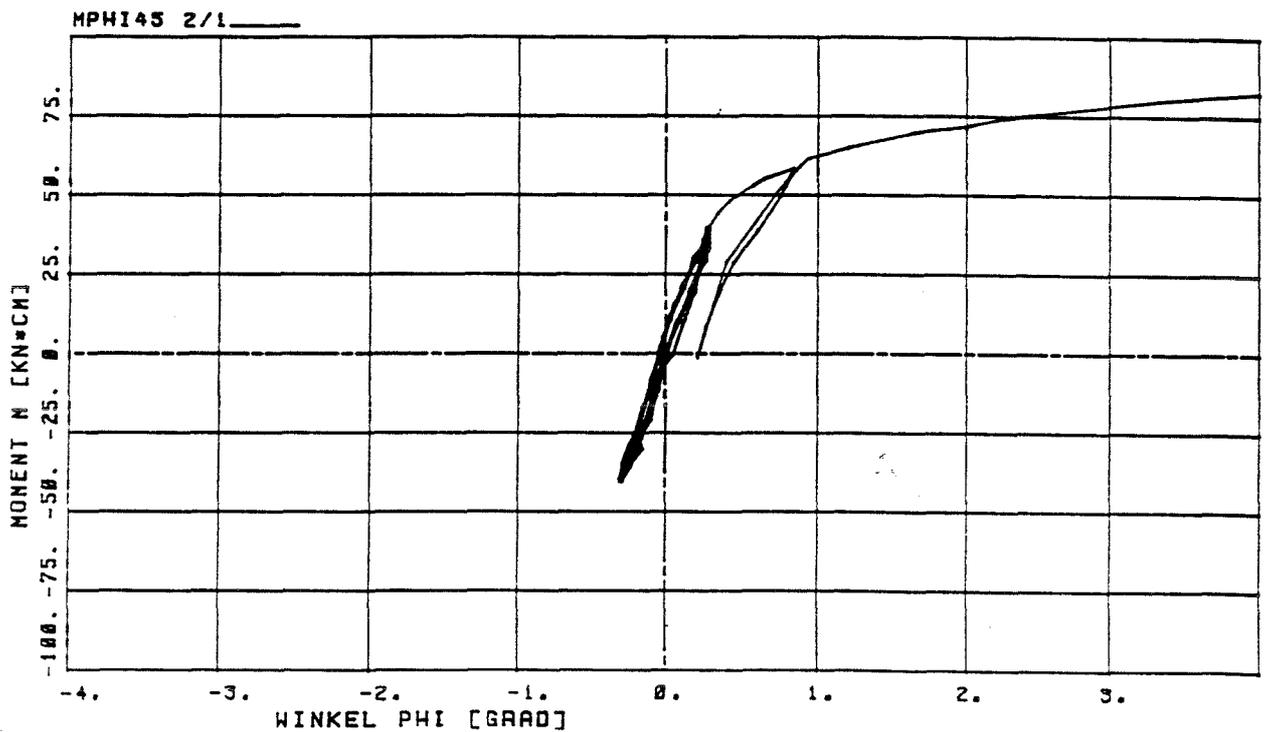


Bild 55. Versuch L 48, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

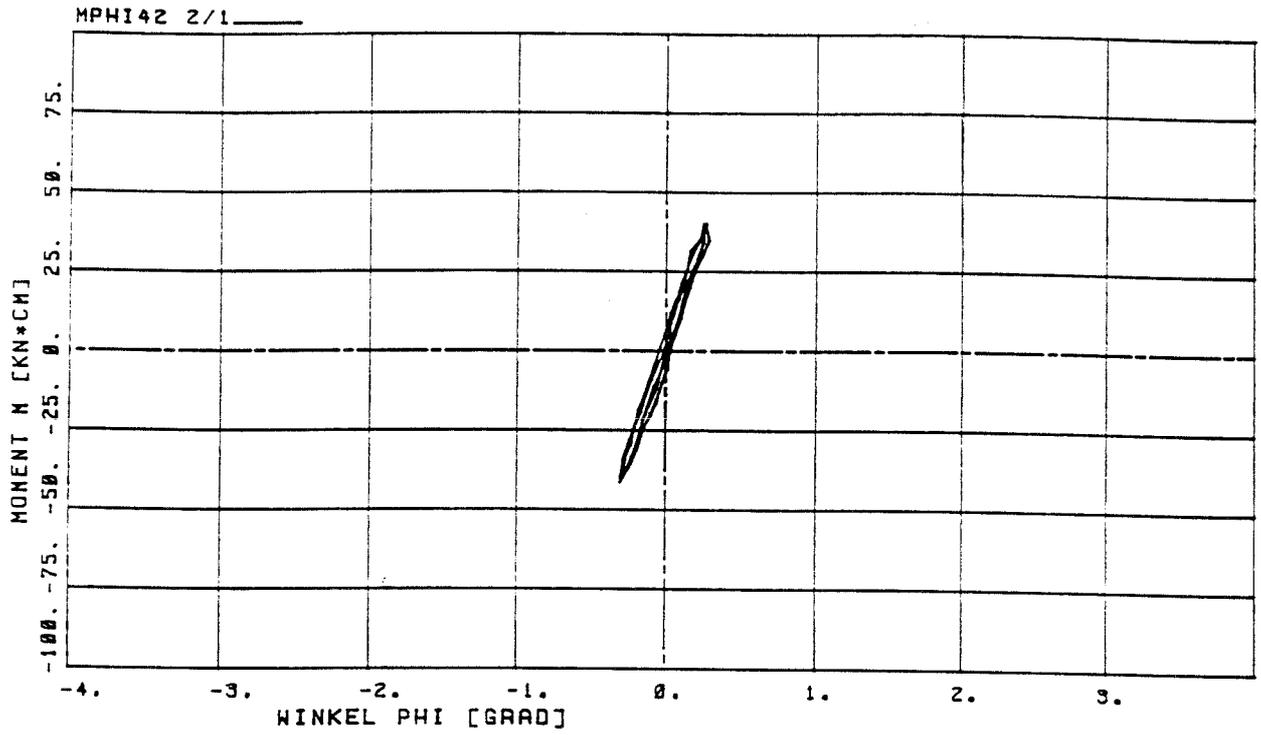


Bild 56. Versuch L 50, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

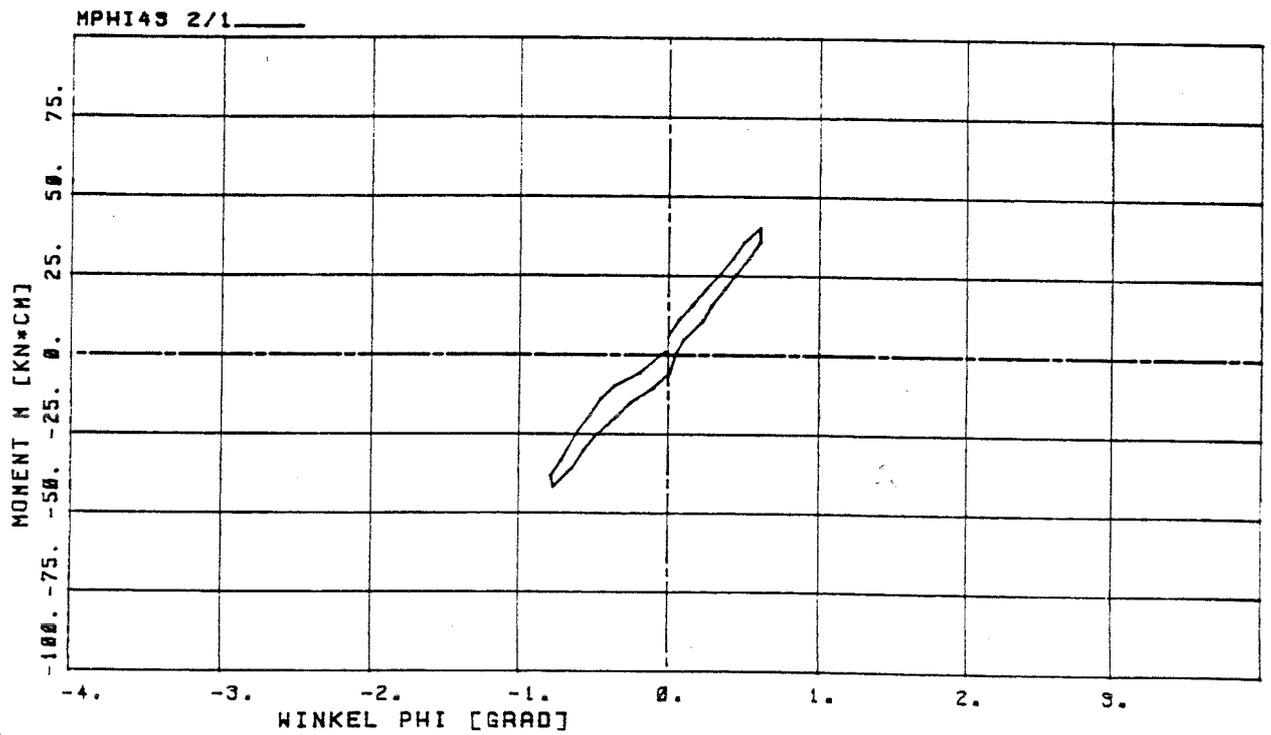


Bild 57. Versuch L 51, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

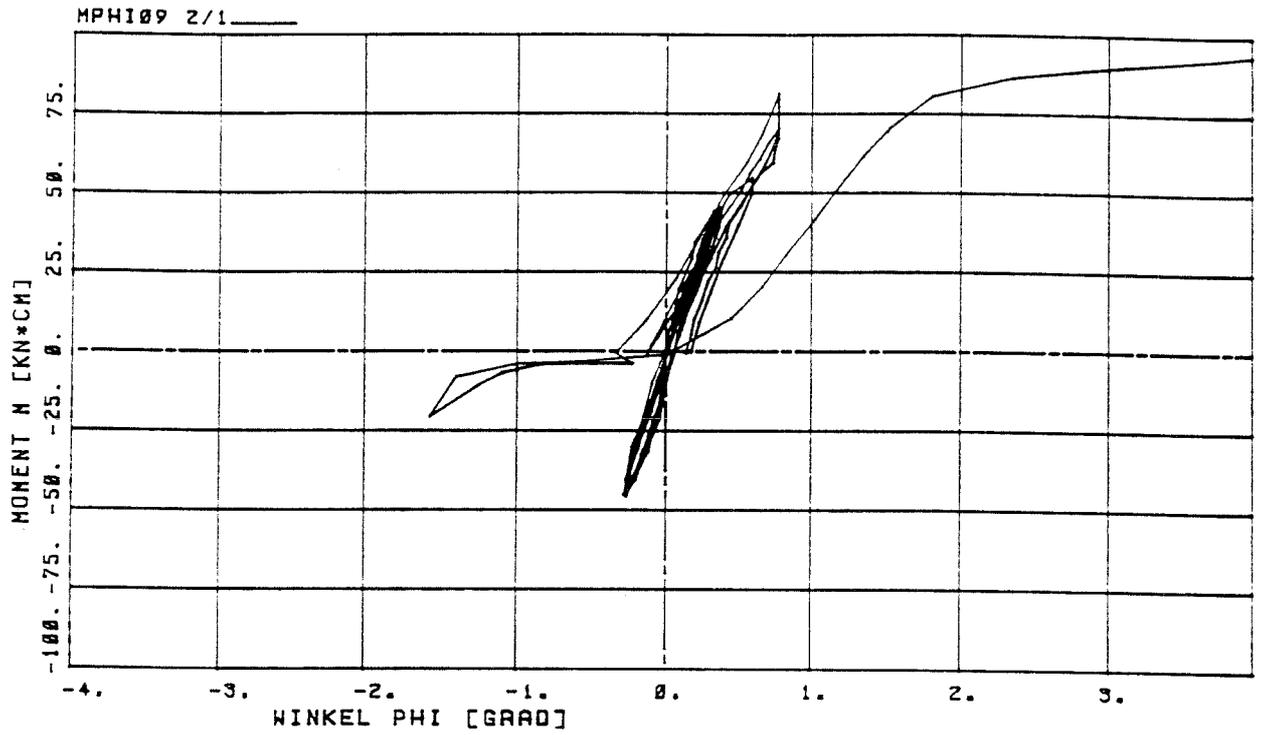


Bild 58. Versuch L 52, $K = 1,0$, $M = 44$ kNcm

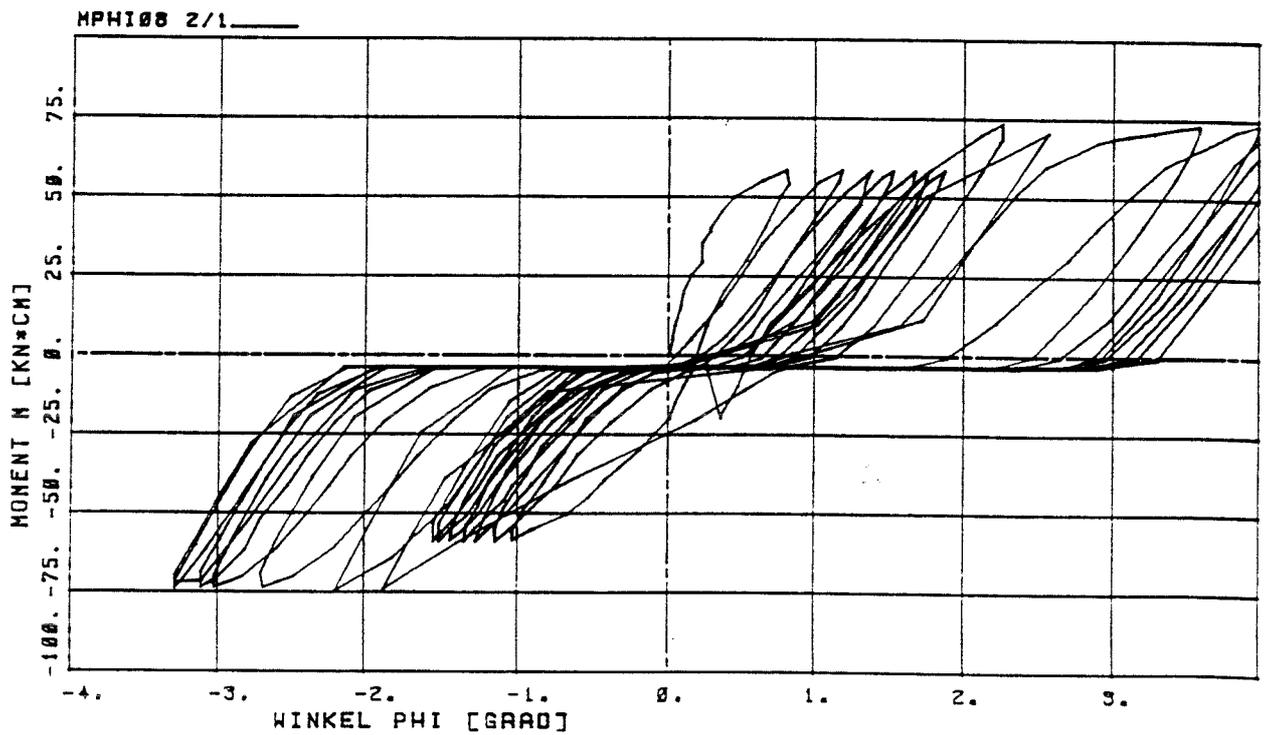


Bild 59. Versuch L 53, $K = 1,3$, $M = 57$ kNcm

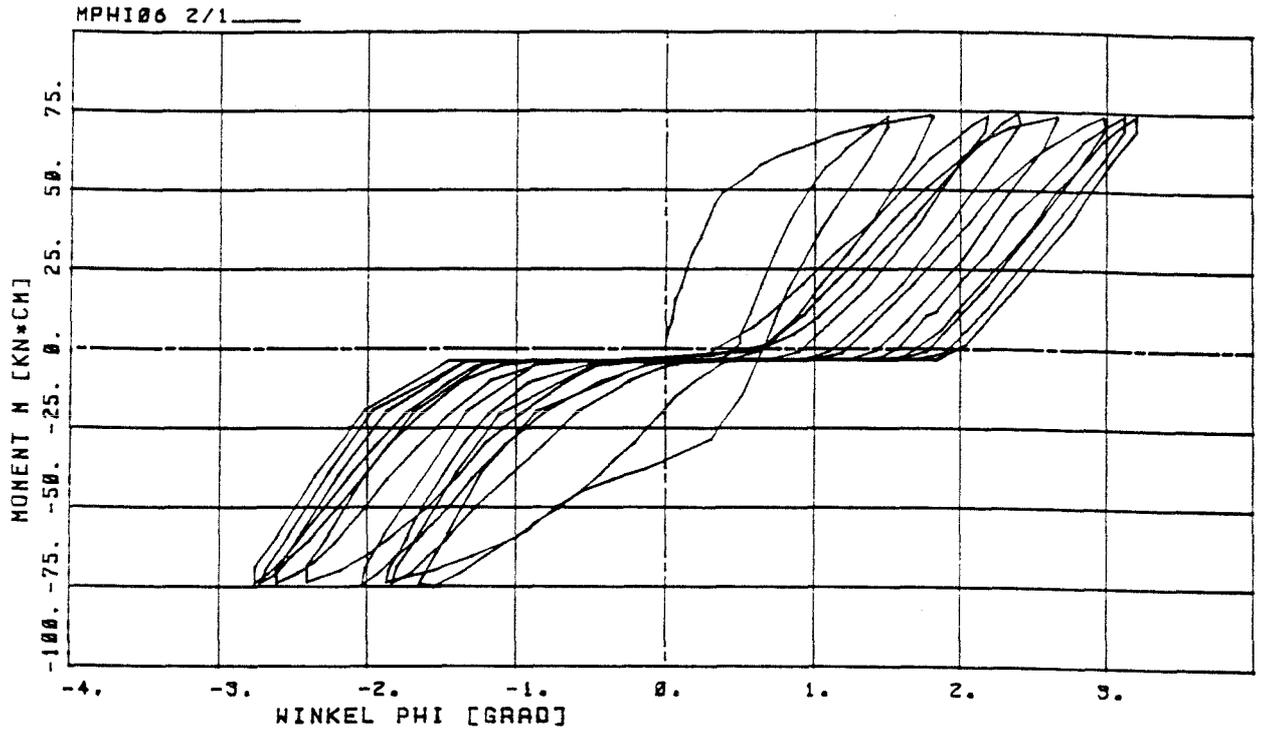


Bild 60. Versuch L 54, $K = 1,7$, $M = 75$ kNcm

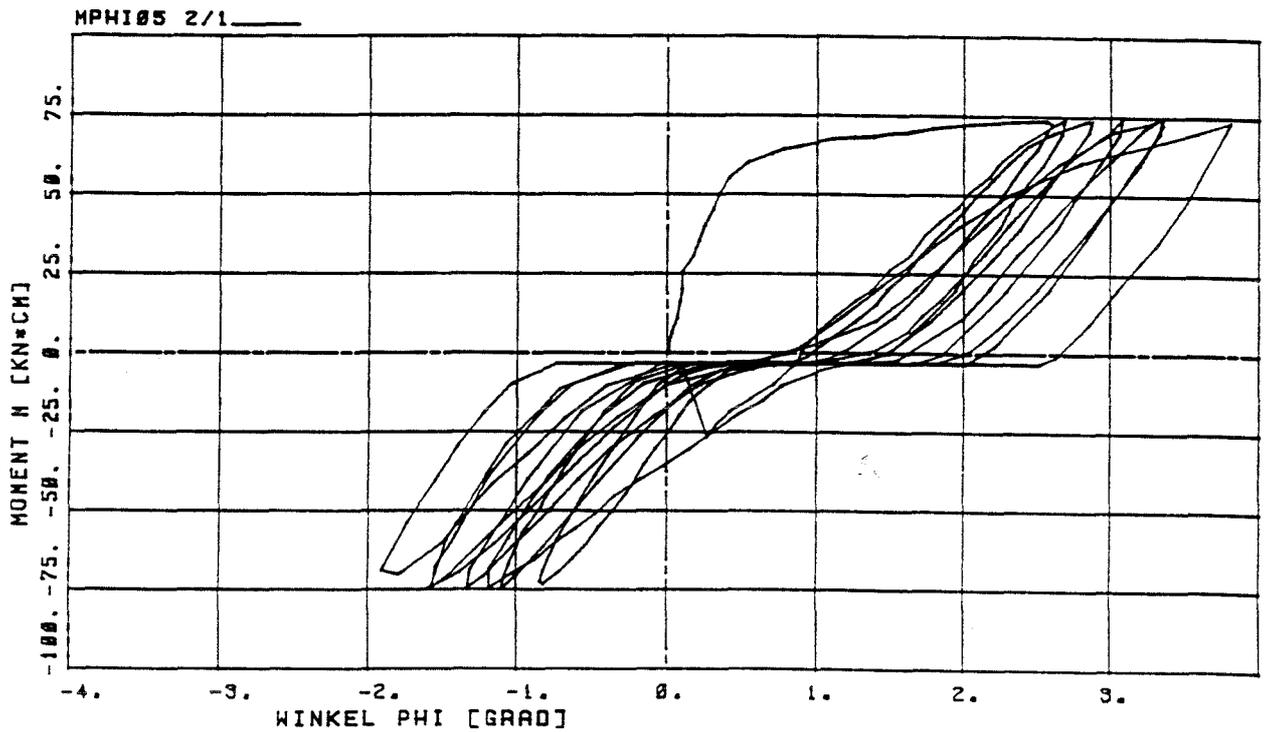


Bild 61. Versuch L 55, $K = 1,7$, $M = 75$ kNcm

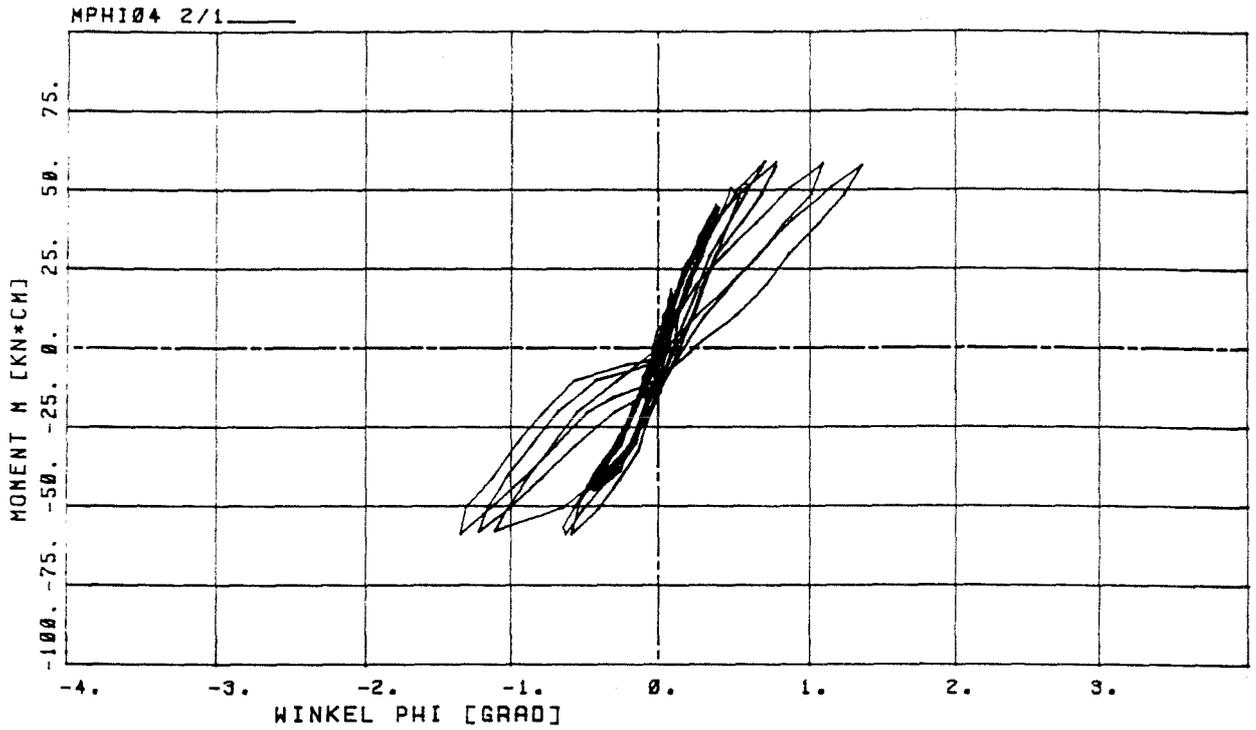


Bild 62. Versuch L 56, $K = 0,3/1,0/1,3$, $M = 13/44/58$ kNcm

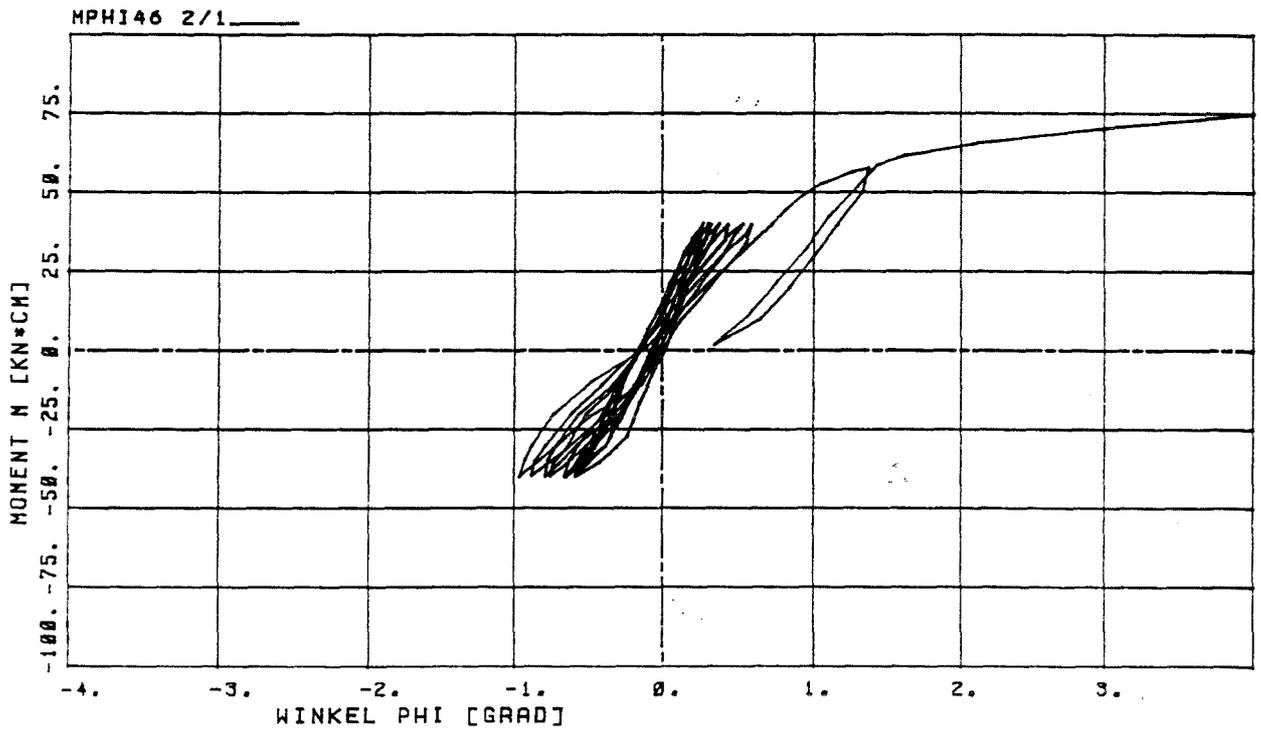


Bild 63. Versuch L 49, $K = 0,9$, $M = 40$ kNcm

Tabelle 3. Zusammenstellungen von bei den Versuchen mit den Knoten R ermittelten Steigungen und Losen

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Knoten	Moment M_i	1) K	Anfangs- steifigkeit bei		Lose	aktuelle Steifigkeit bei		Bemerkungen
			+M	-M ²⁾		+M	-M	
Nr.	kNcm		kNcm/rad		rad	kNcm/rad		
R 23	±18,4	0,4	980	720	0,027	3 310	1 130	
R 24	±18,4	0,4	430	370	0,077	2 467	1 660	
R 21	±23,0	0,5	940	870	~0	940	870	
R 20	±23,0	0,5	1 900	1 200	0,005	2 000	1 470	
R 22	±23,0	0,5	2 230	1 990	~0	2 229	1 991	
R 14	±23,0	0,5	1 480	830	~0	1 480	830	
R 19	±27,6	0,6	1 450	920	0,016	2 390	1 240	
R 15	±27,6	0,6	1 540	900	0,013	2 300	1 170	
R 16	±32,2	0,7	890	570	0,037	1 800	840	
R 17	±36,8	0,8	1 120	660	~0	1 120	660	
R 12	±41,4	0,9	1 010	420	0,055	2 590	620	
R 11	±41,4	0,9	540	390	0,095	1 390	710	
R 13	±41,4	0,9	550	580	0,130	2 180	2 306	
R 18	±46,0	1,0	850	630	0,082	3 000	1 510	

1) $K = \frac{M_i}{\text{zul } M}$ mit $\text{zul } M = 46 \text{ kNcm}$

2)



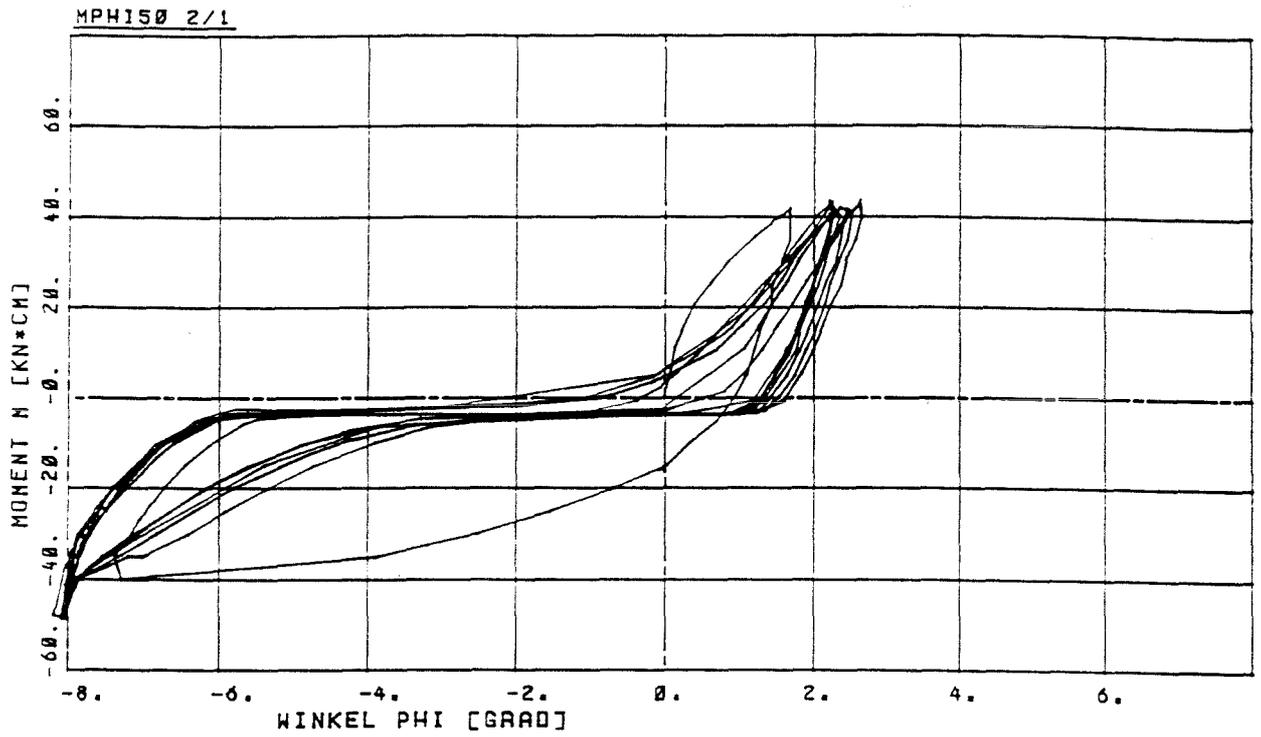


Bild 64. Versuch R 11, M = 41 kNcm

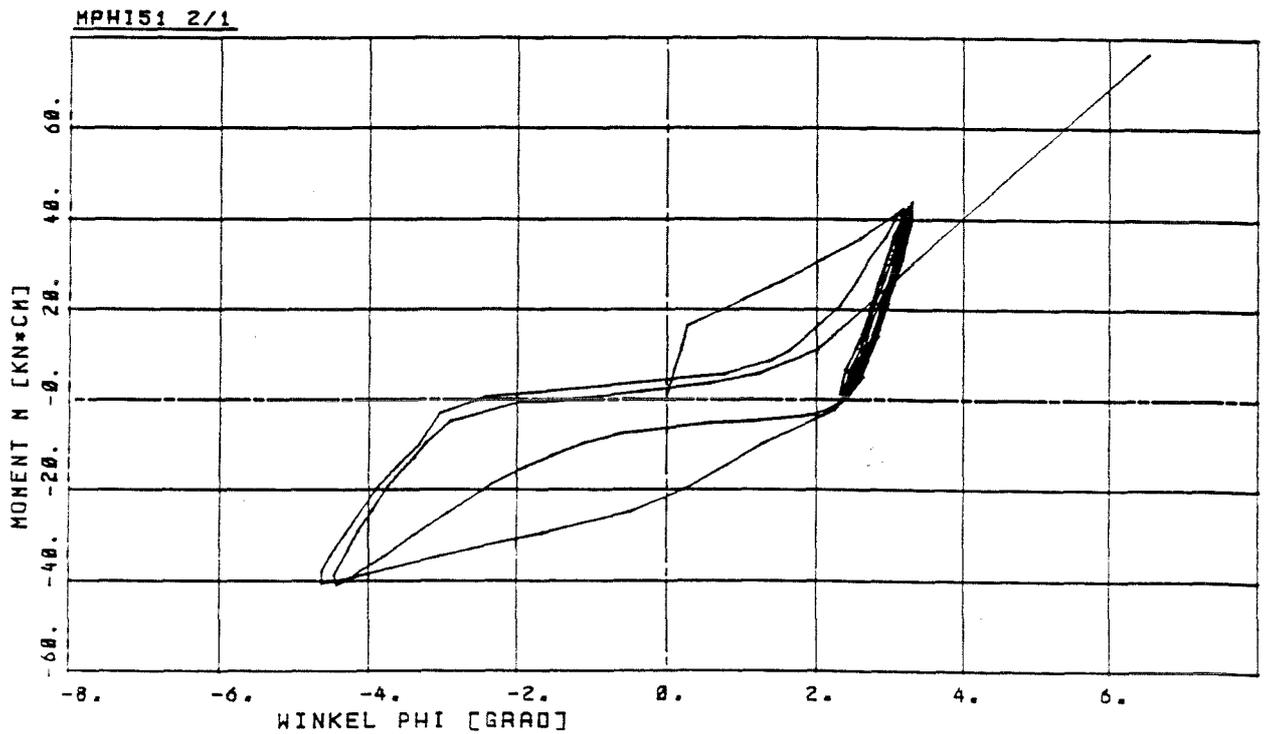


Bild 65. Versuch R 12, M 41 kNcm

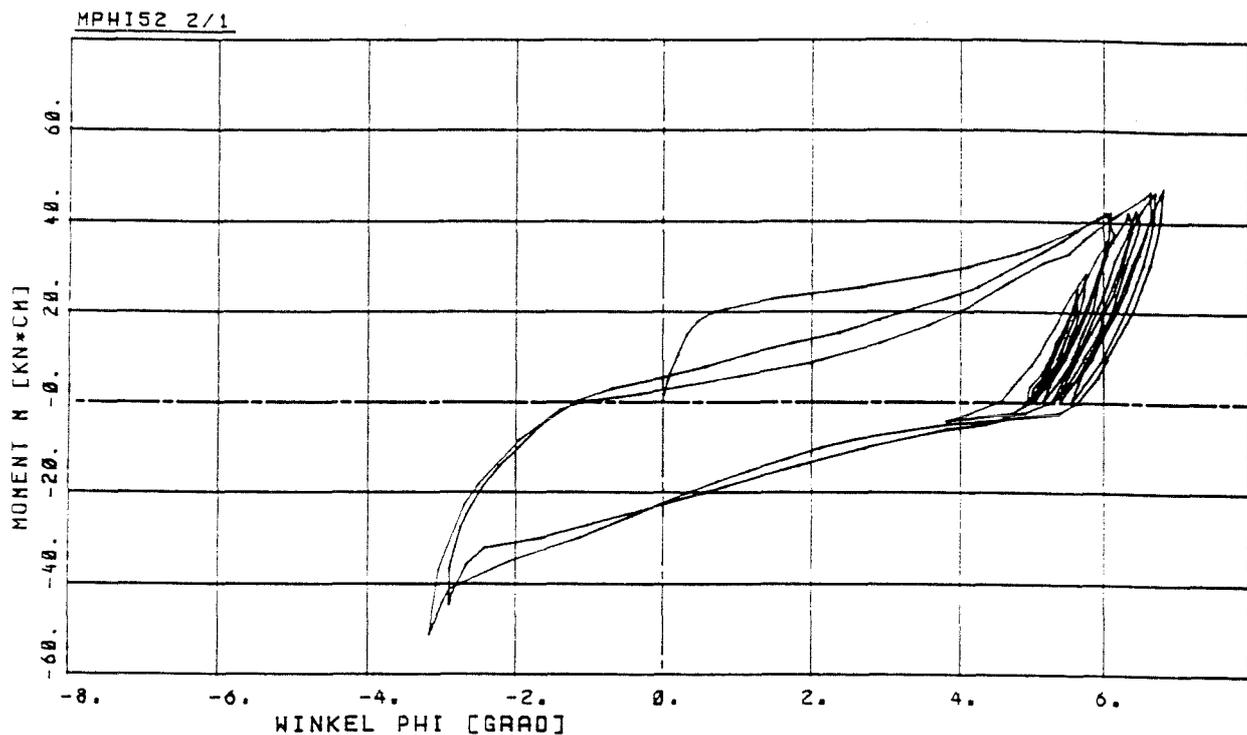


Bild 66. Versuch R 13, M = 41, kNcm

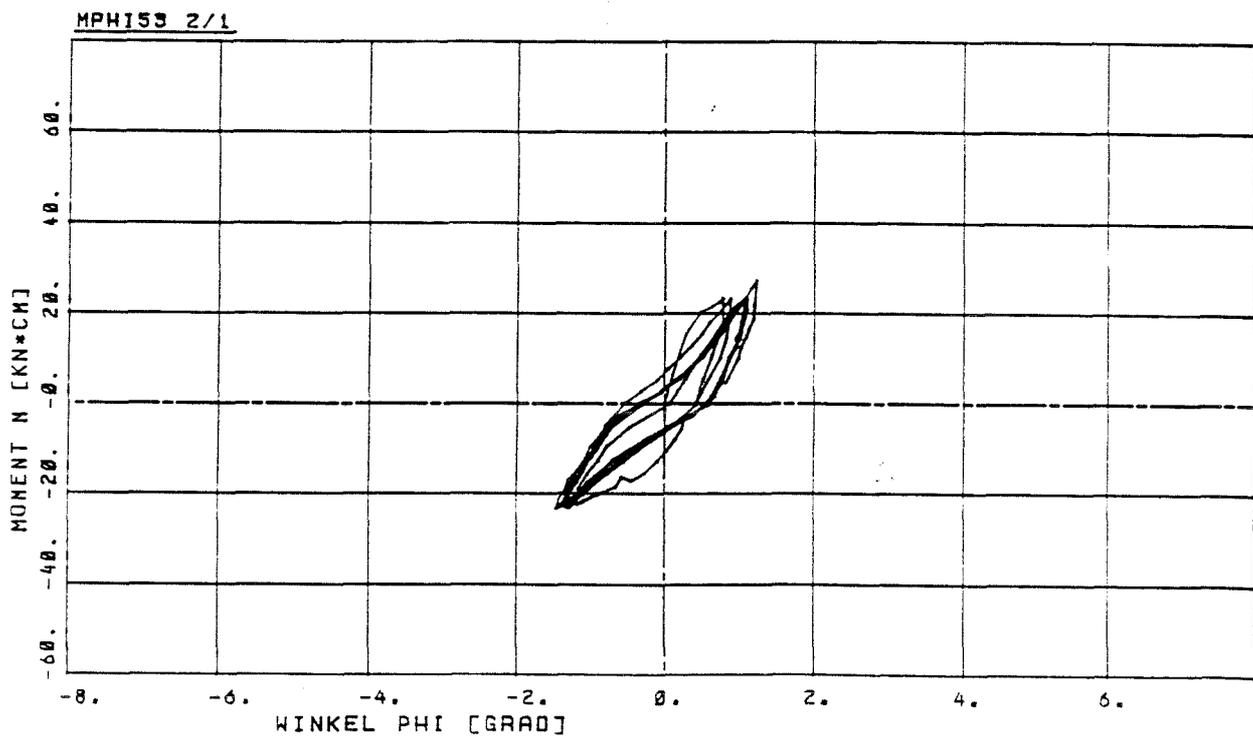


Bild 67. Versuch R 14, M = 23 kNcm

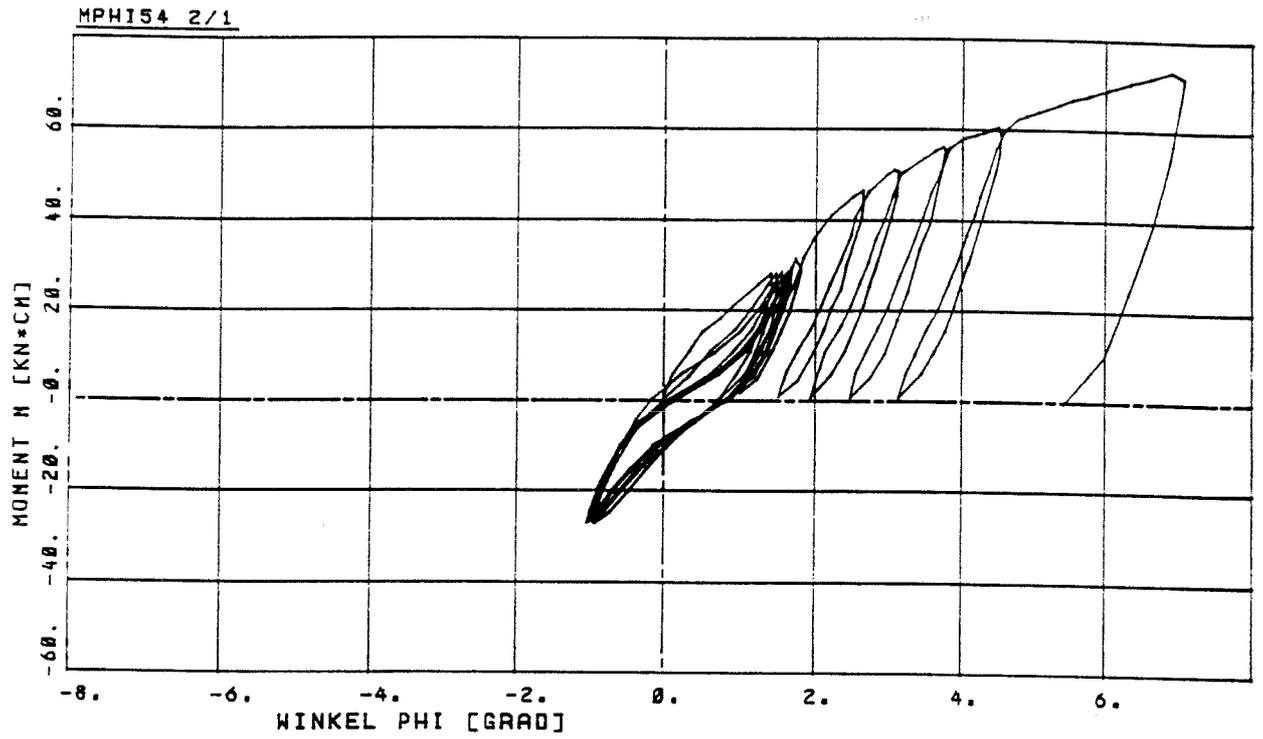


Bild 68. Versuch R 15, M = 27 kNcm

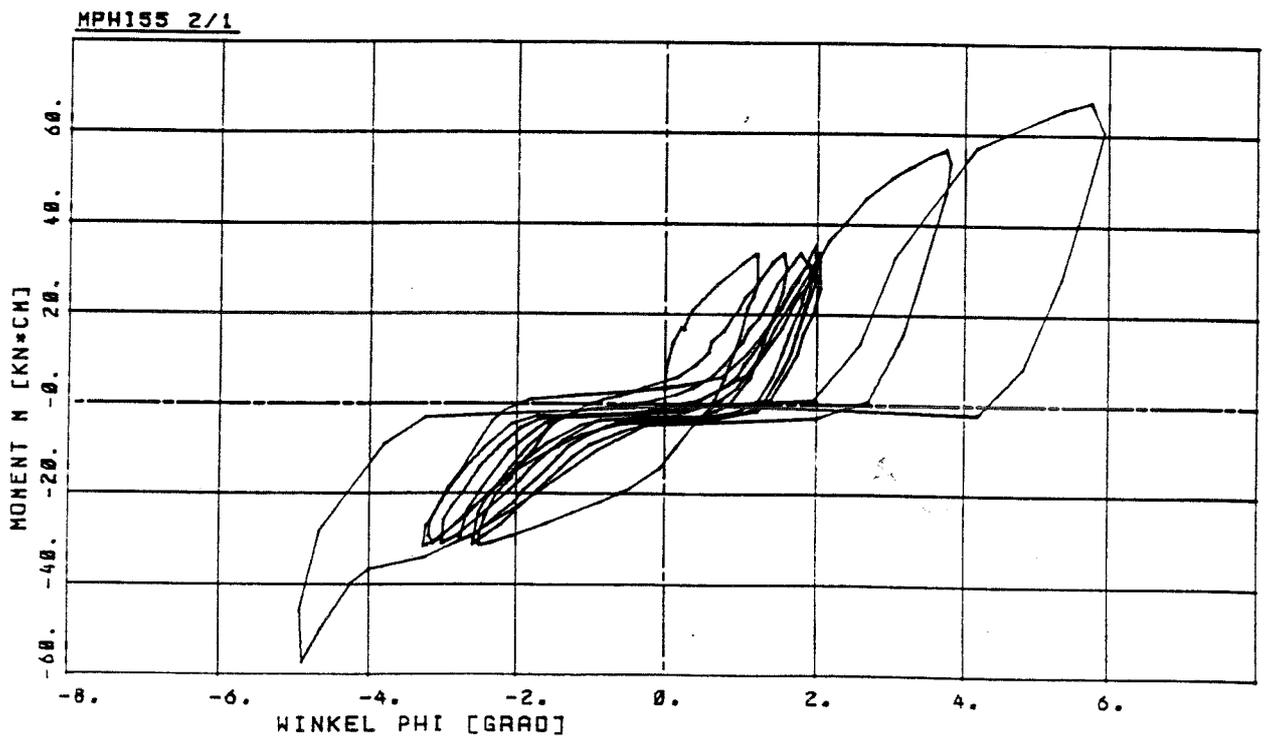


Bild 69. Versuch R 16, M = 32 kNcm

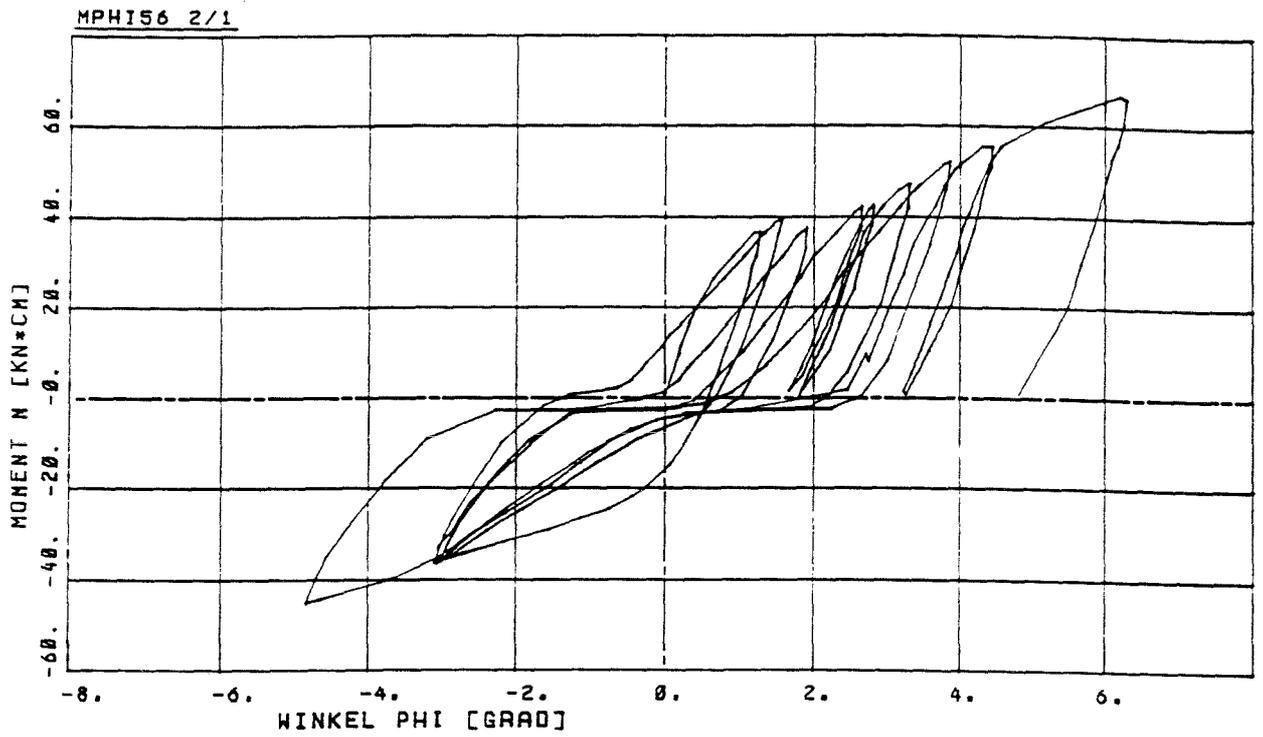


Bild 70. Versuch R 17, M = 37 kNcm

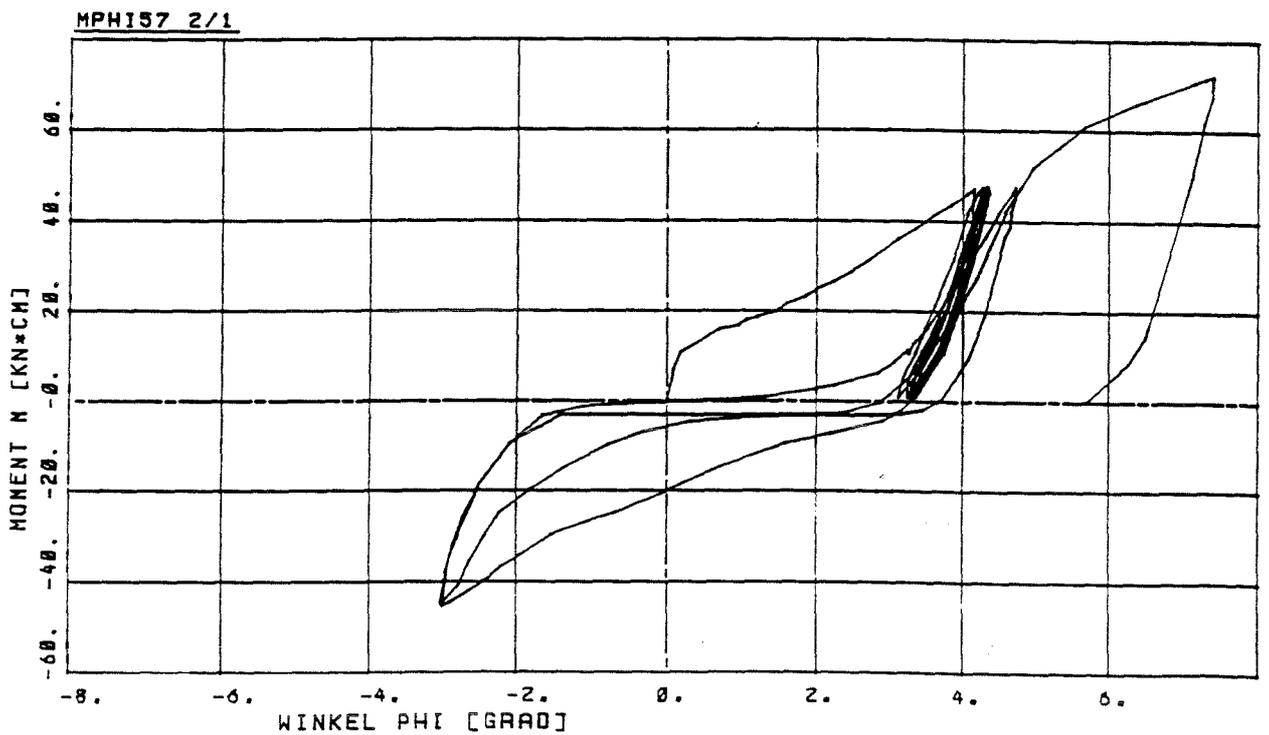


Bild 71. Versuch R 18, M = 46 kNcm

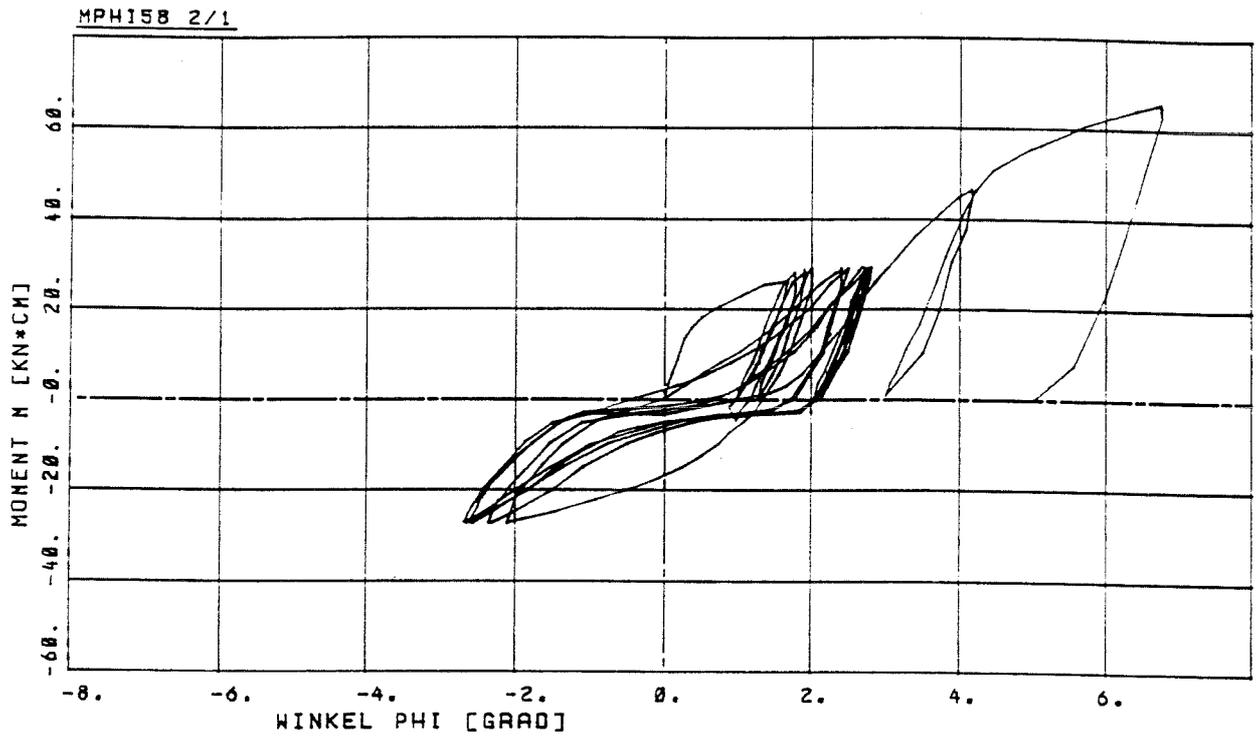


Bild 72. Versuch R 19, M = 28 kNcm

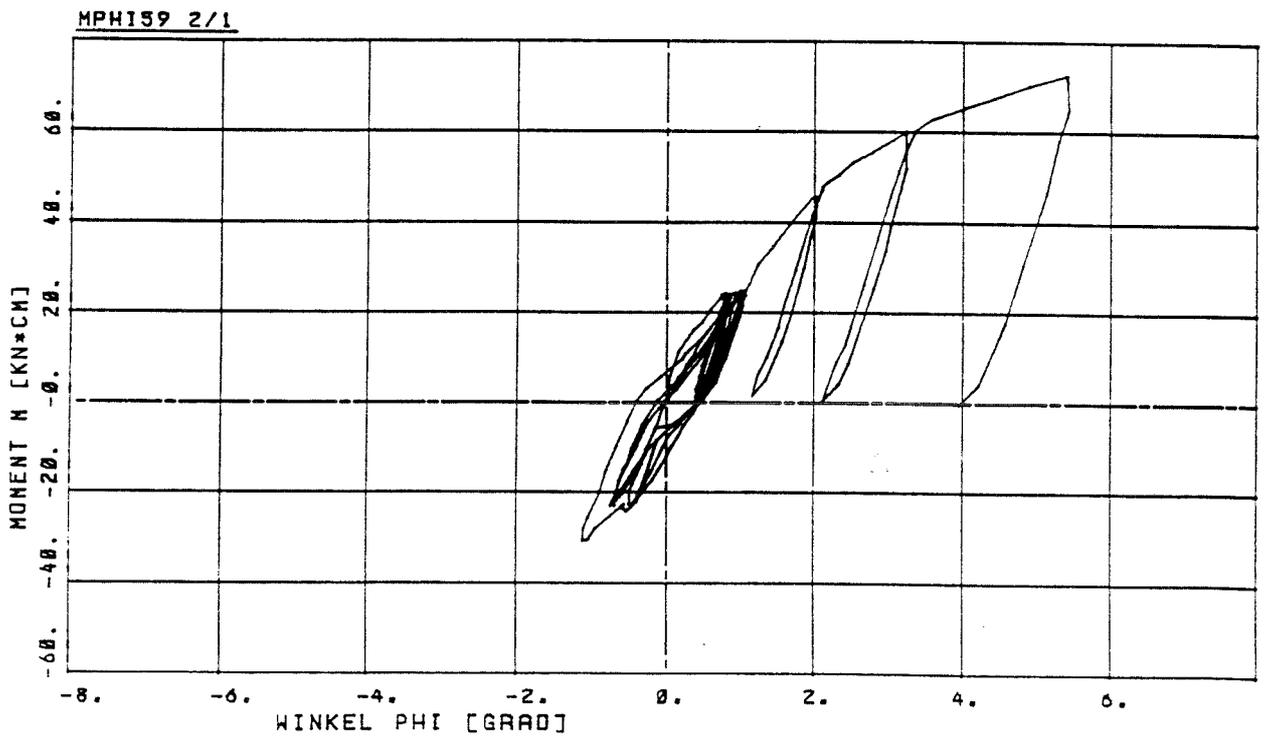


Bild 73. Versuch R 20, M = 23 kNcm

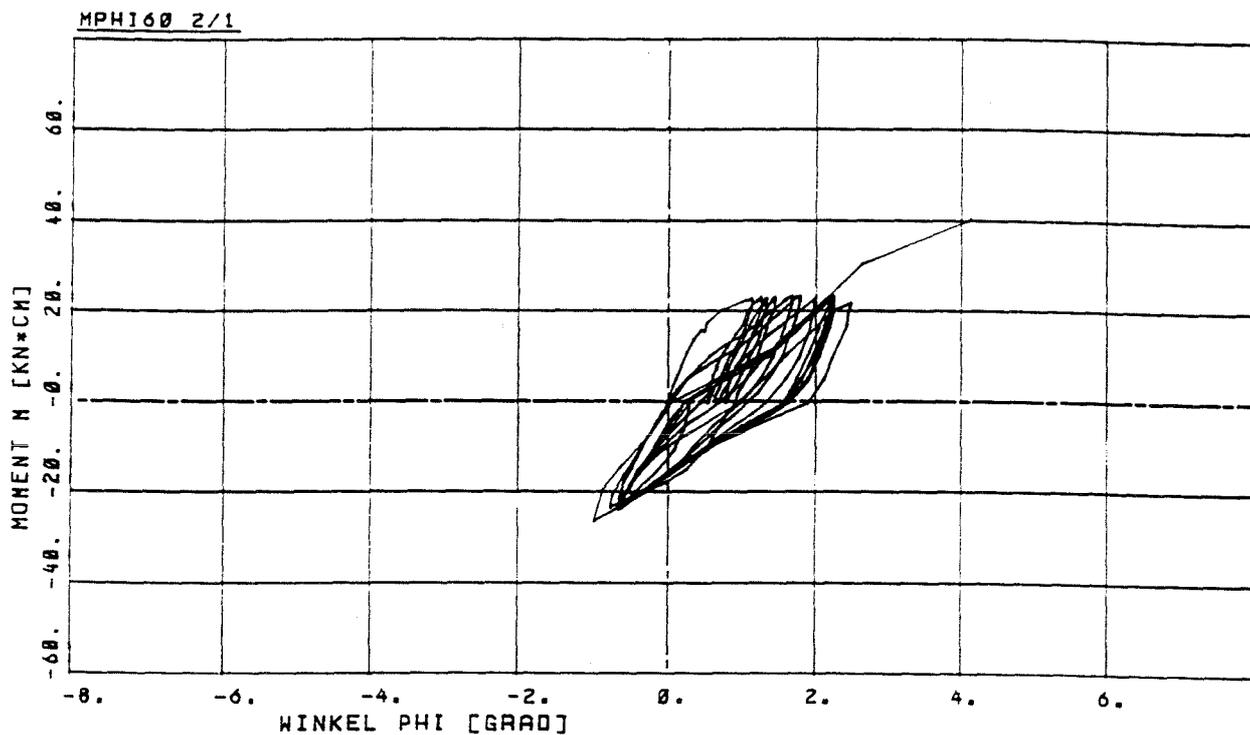


Bild 74. Versuch R 21, M = 23 kNcm

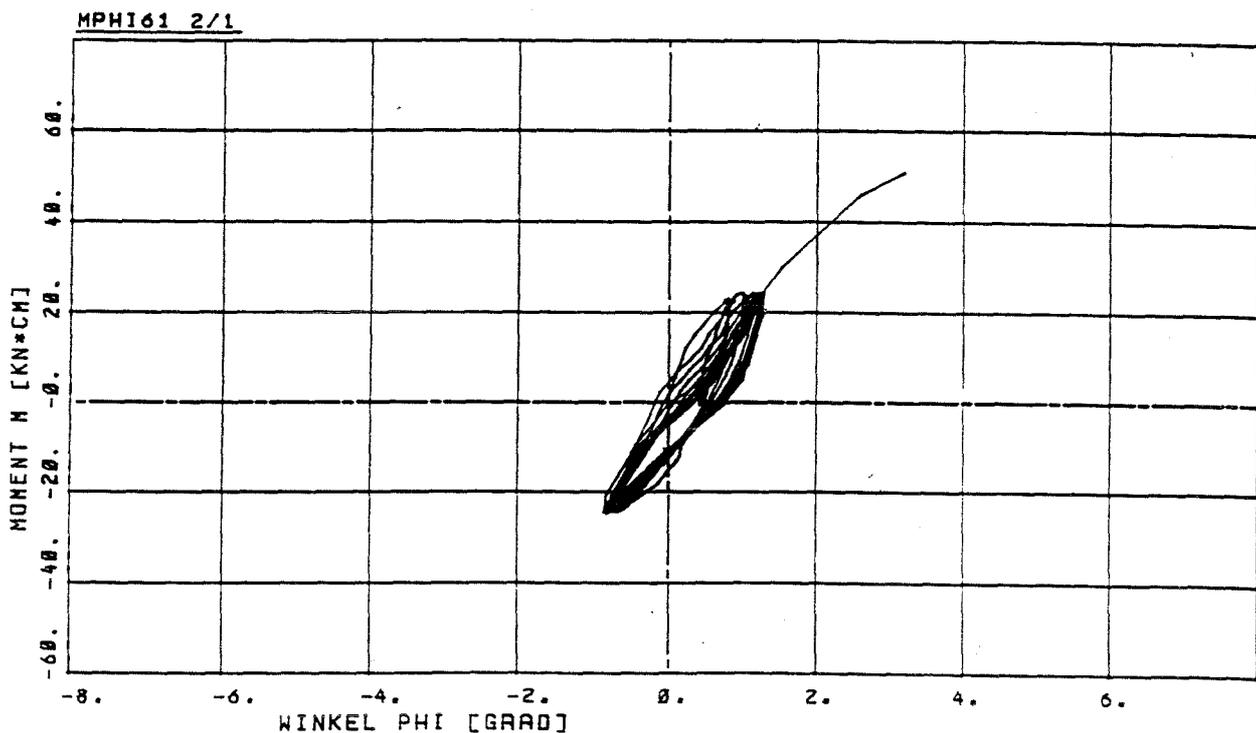


Bild 75. Versuch R 22, M = 23 kNcm

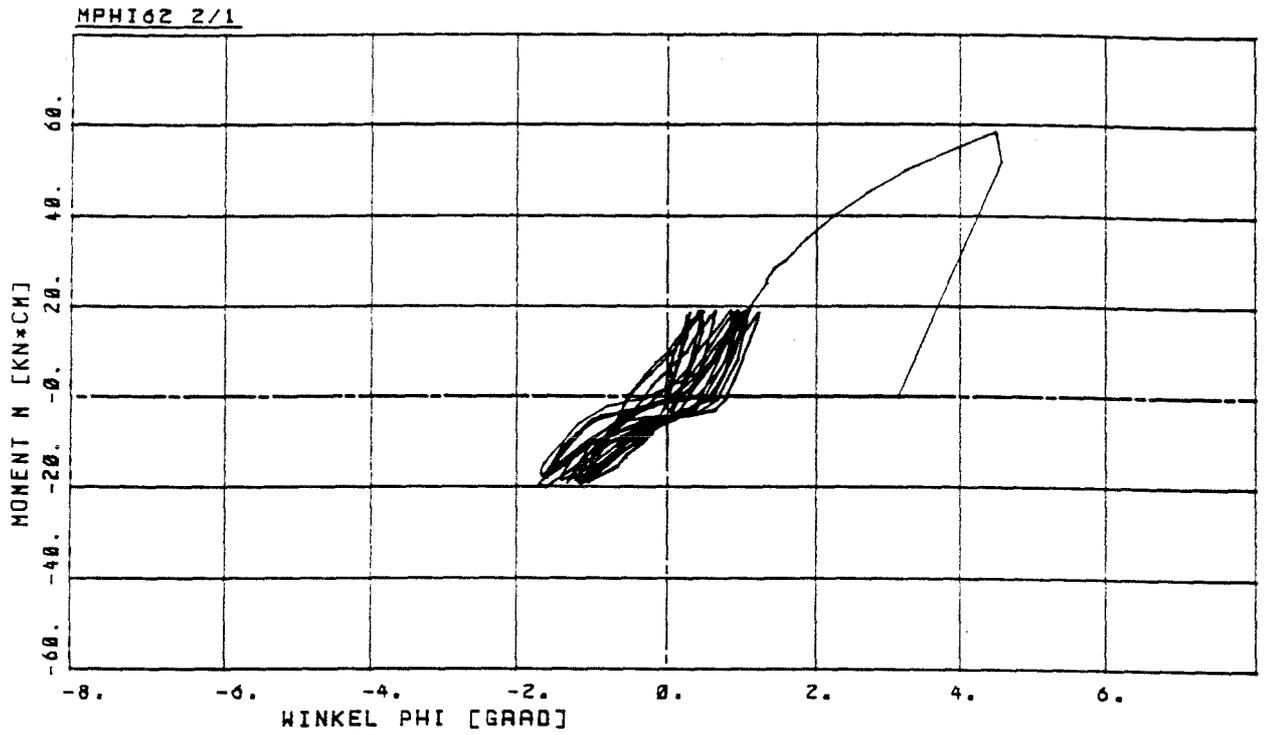


Bild 76. Versuch R 23, M = 18 kNcm

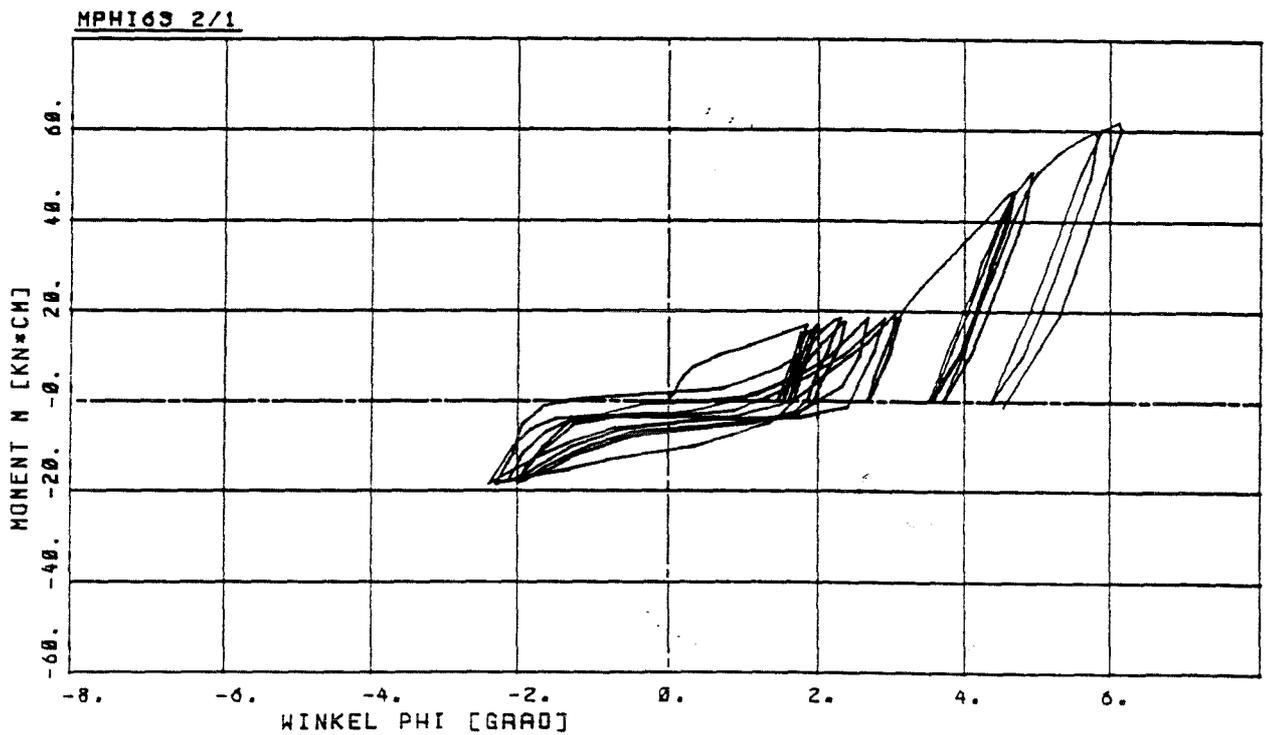


Bild 77. Versuch R 24, M = 18 kNcm

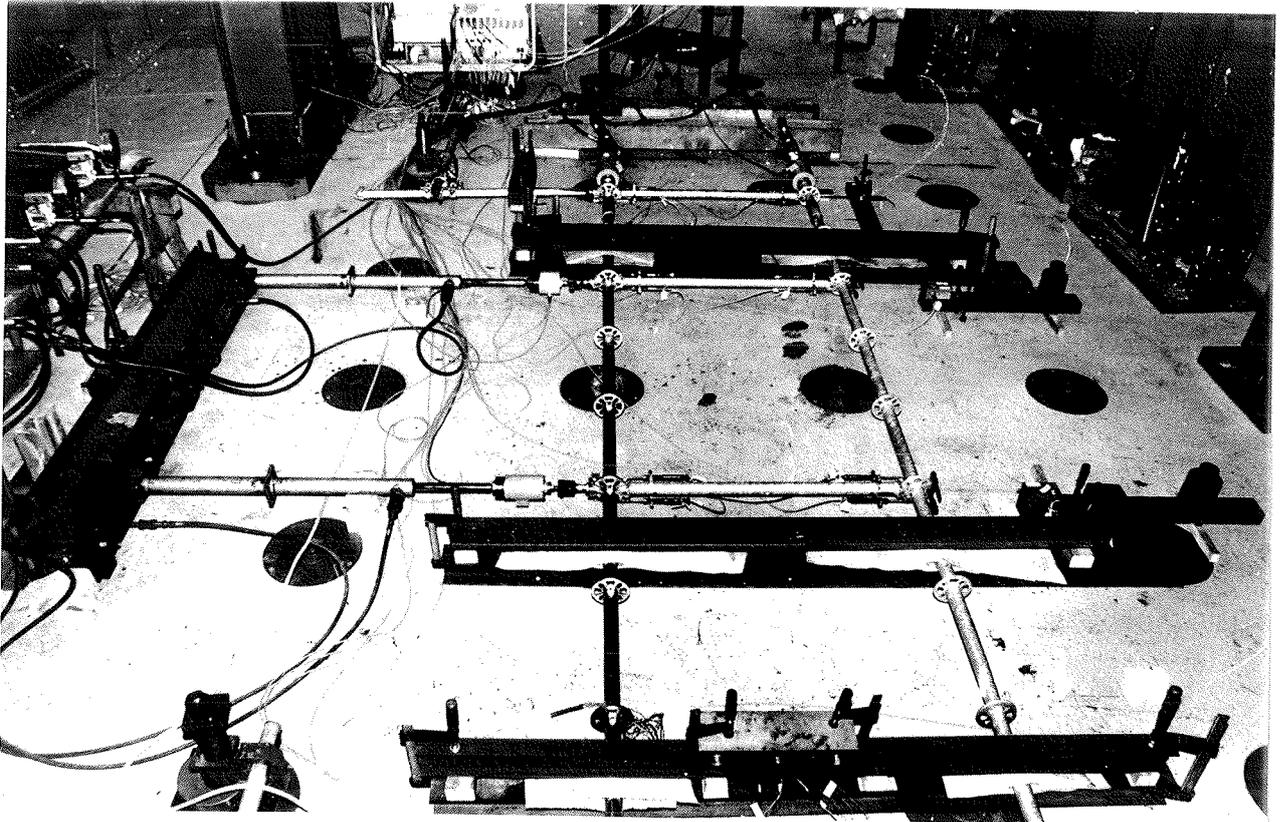
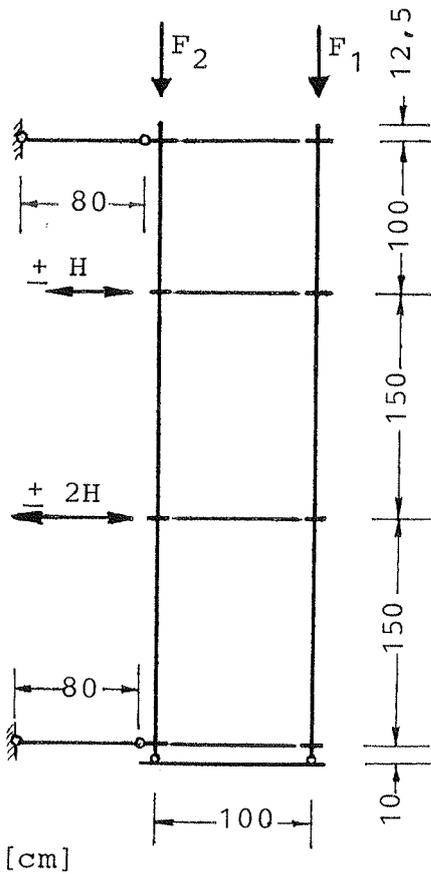


Bild 78. Versuchsaufbau



[cm]

Bild 79.

Abmessungen und
statisches System

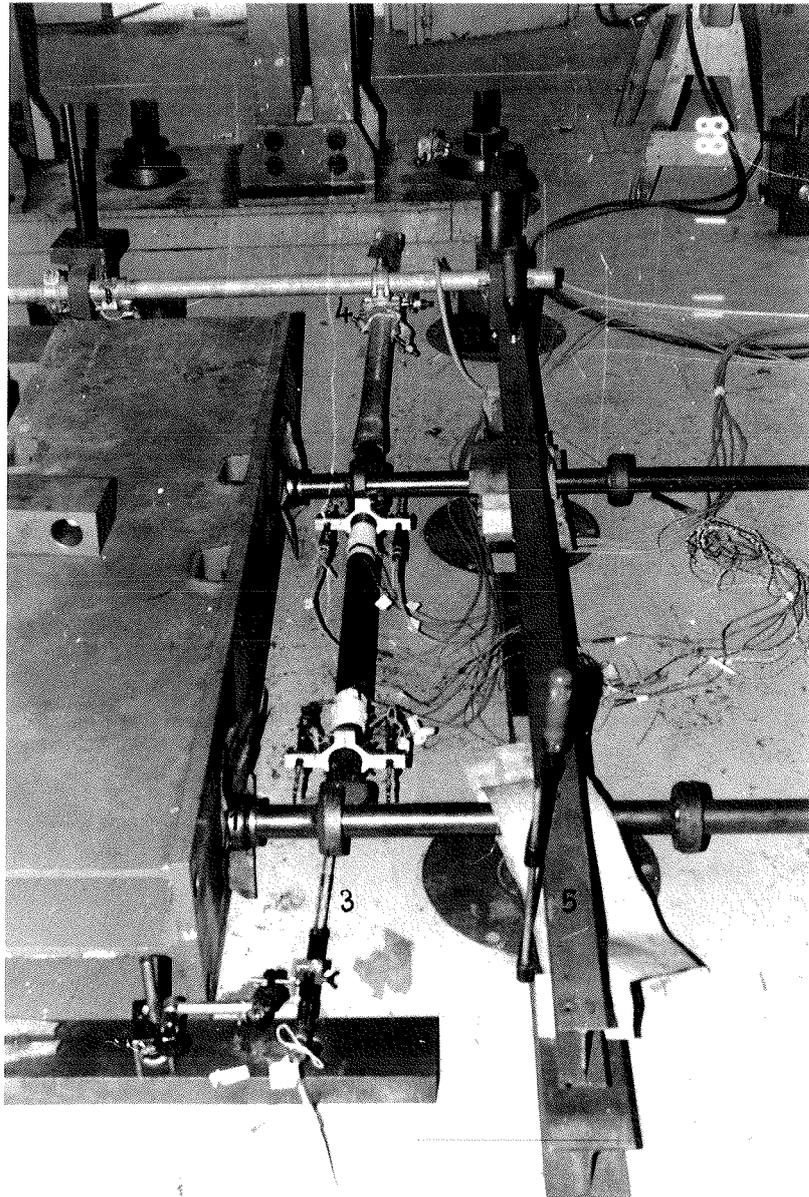


Bild 80. Fußpunkt des Vierendeelträgers beim Versuch

- 1 - Kugelkalotten auf Teflonscheiben
- 2 - Riegel mit DMS und Wegaufnehmern zur Winkelmessung
- 3 - Wegaufnehmer zur Verschiebungsmessung
- 4 - horizontales Widerlager
- 5 - Gleitschienen mit Teflonzwischenlage zur Horizontalführung der Ständerrohre

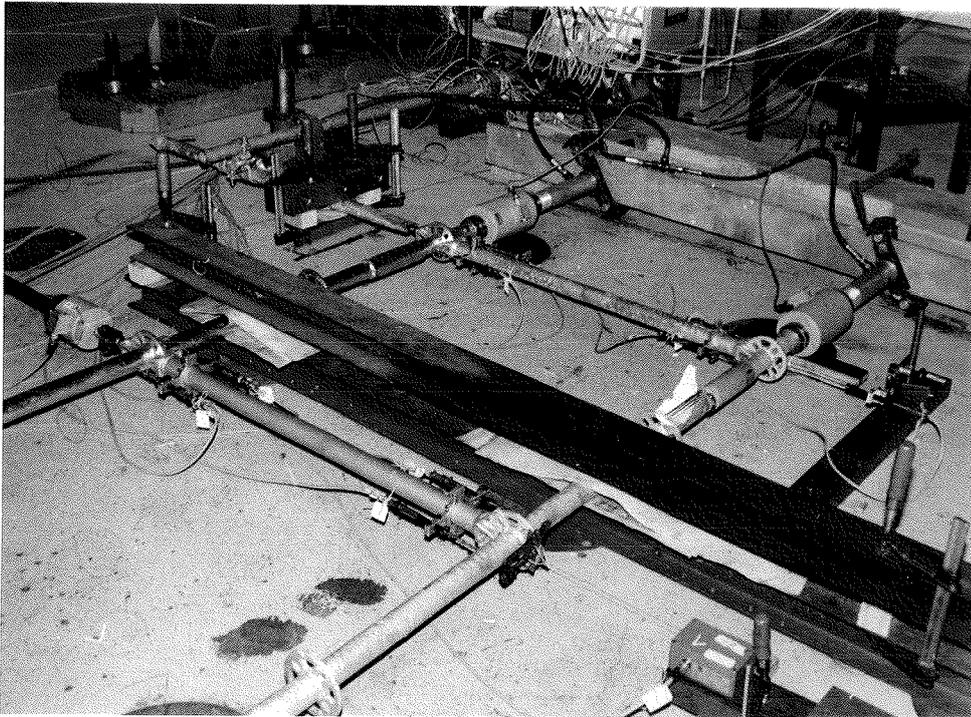


Bild 81.

Krafteinleitung
im oberen Gerüst-
teil:
 F_1 , F_2 und H_1

Gerüstführung
zwischen
Teflonscheiben
und I-Trägern

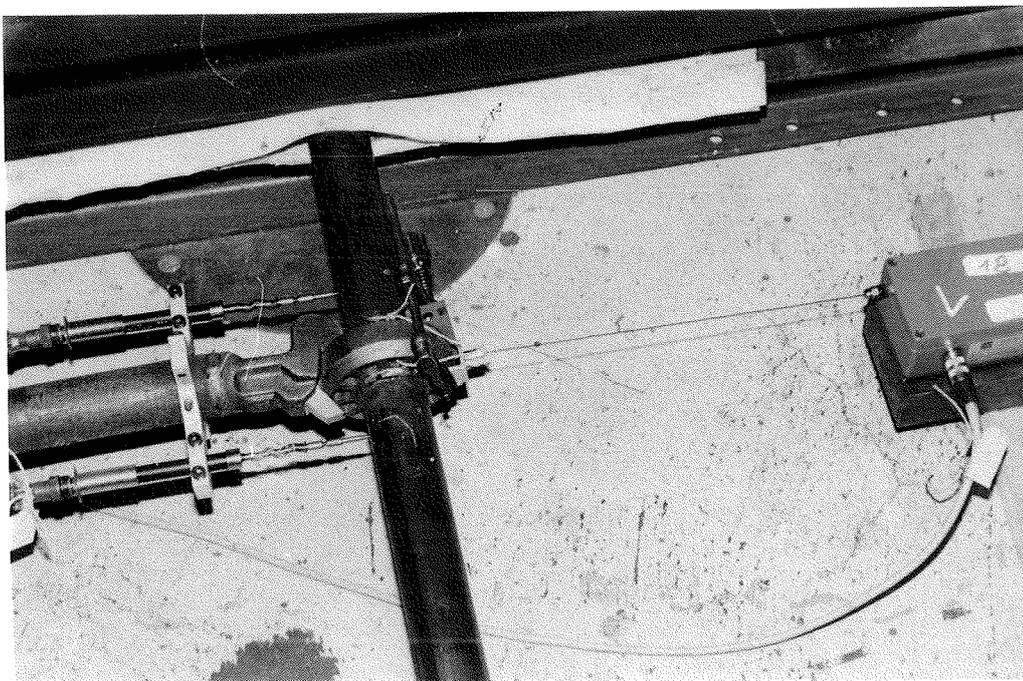
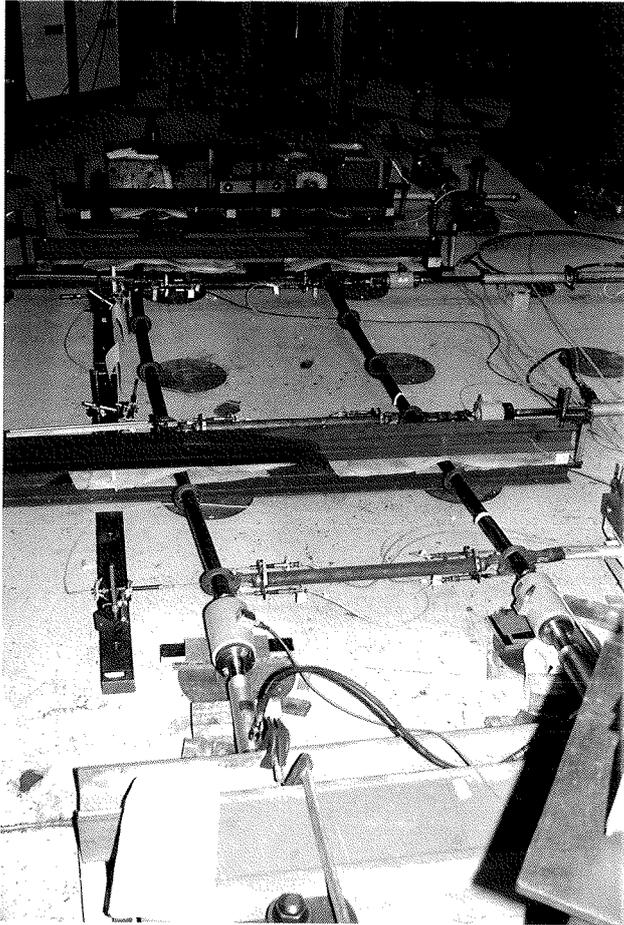


Bild 82.

Drehwinkelmessung
mit 2 ohmschen
Wegaufnehmern mit
130 mm Abstand
und Verschiebungs-
messung mit Band-WA



H₂

Bild 83.

Vierendeelträger mit
Knoten R bei Höchstlast H₂

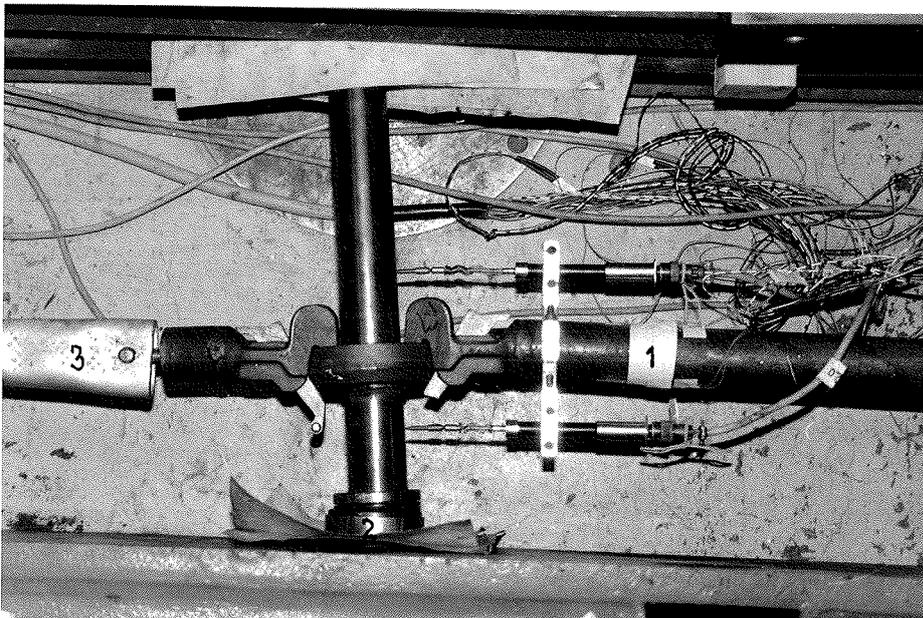


Bild 84.

Fußpunkt bei
Höchstlast

- 1 - Querriegel mit
DMS und WA
- 2 - Kugelkalotte
- 3 - Gerüsthalter

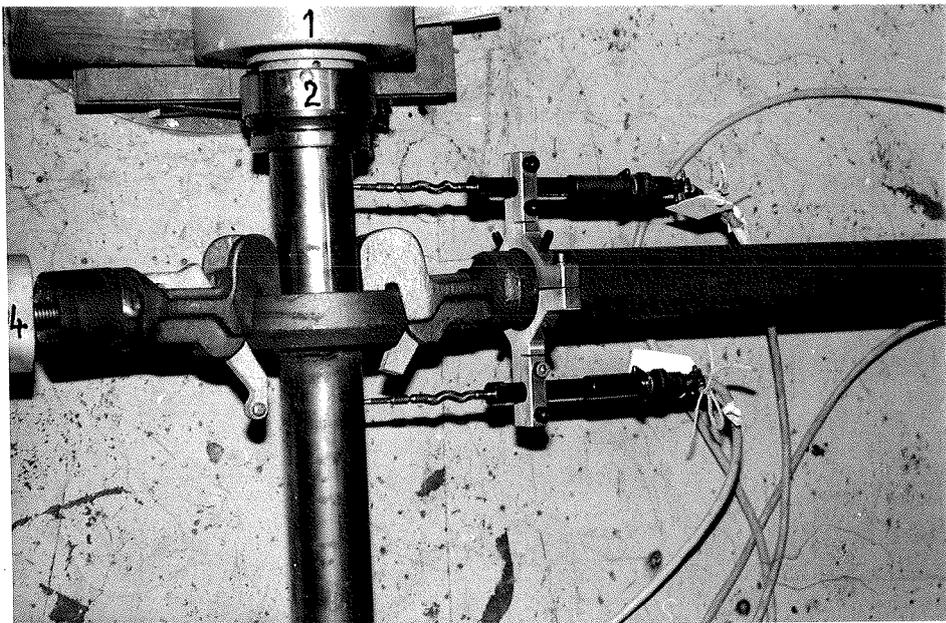


Bild 85.

Krafteinleitung F_2

- 1 - Druckmeßdose
- 2 - Kugelkalotte
- 3 - Querriegel mit WA
- 4 - Gerüsthalter



Bild 86.

Vielstellen-
Meßanlage

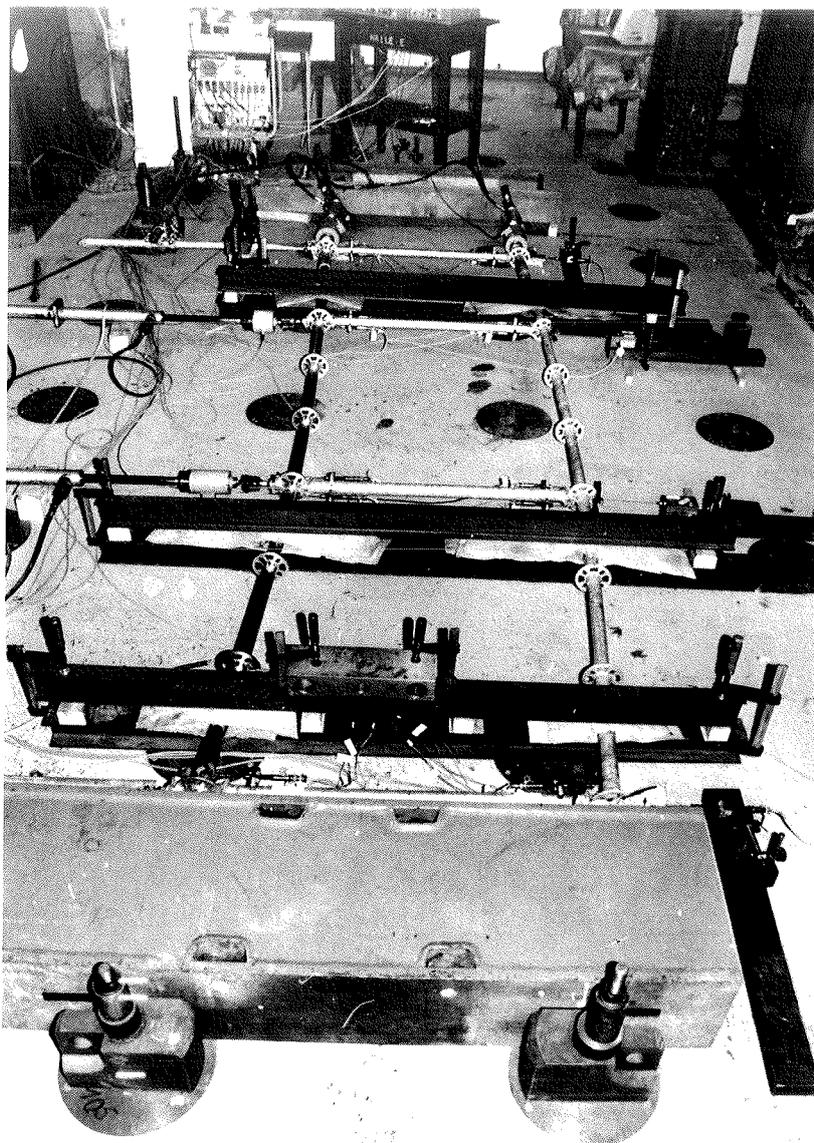
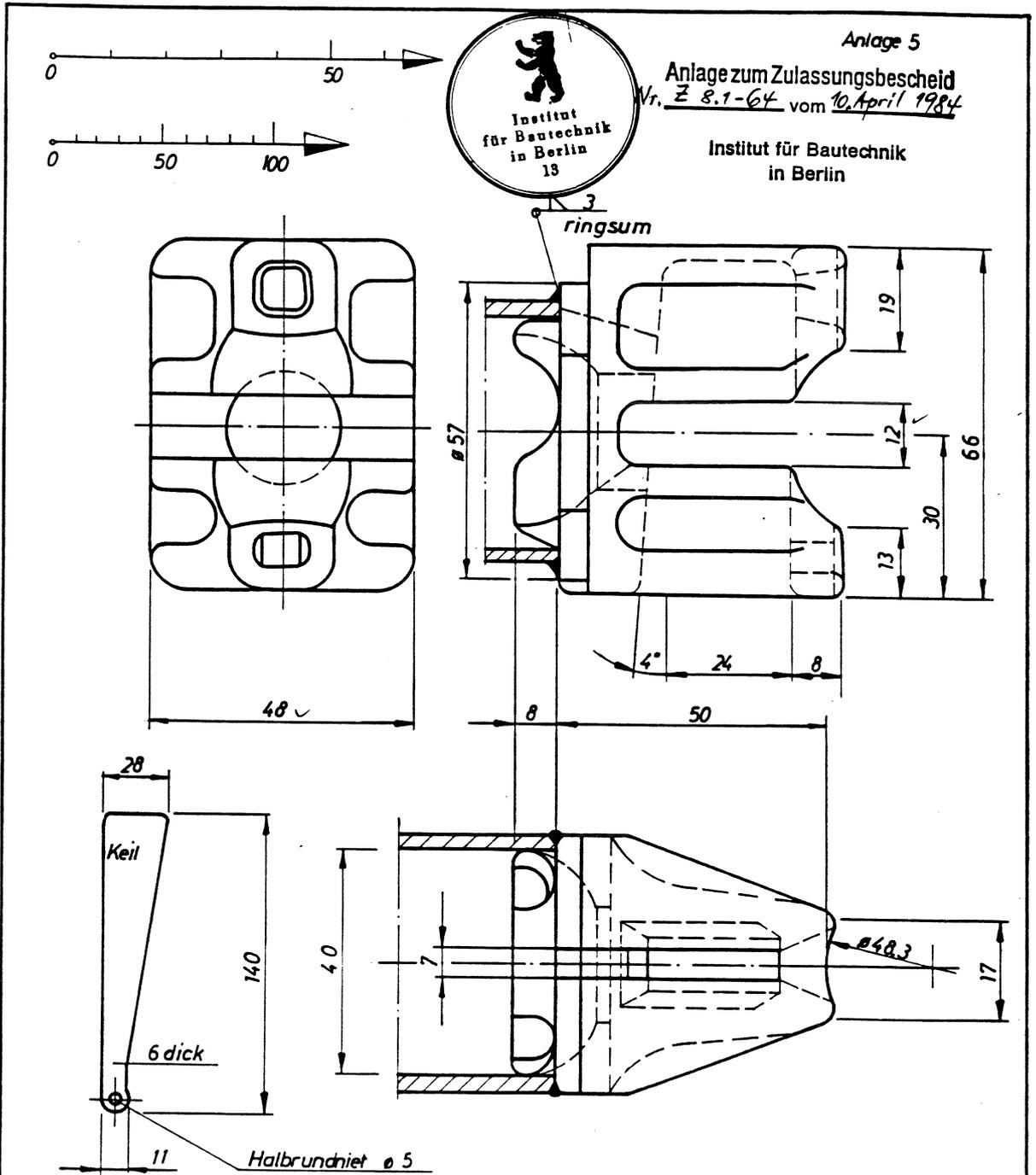


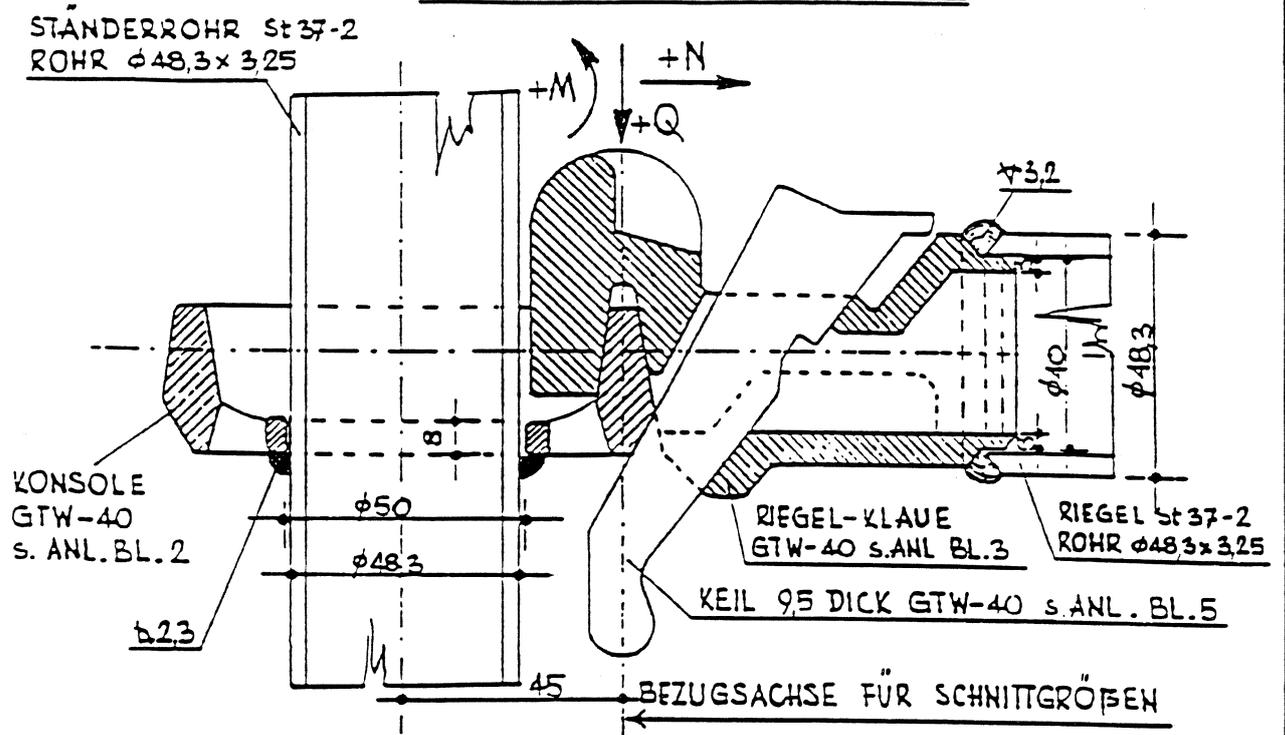
Bild 87. Vierendeelträger mit Knoten L bei Höchstlast H_u



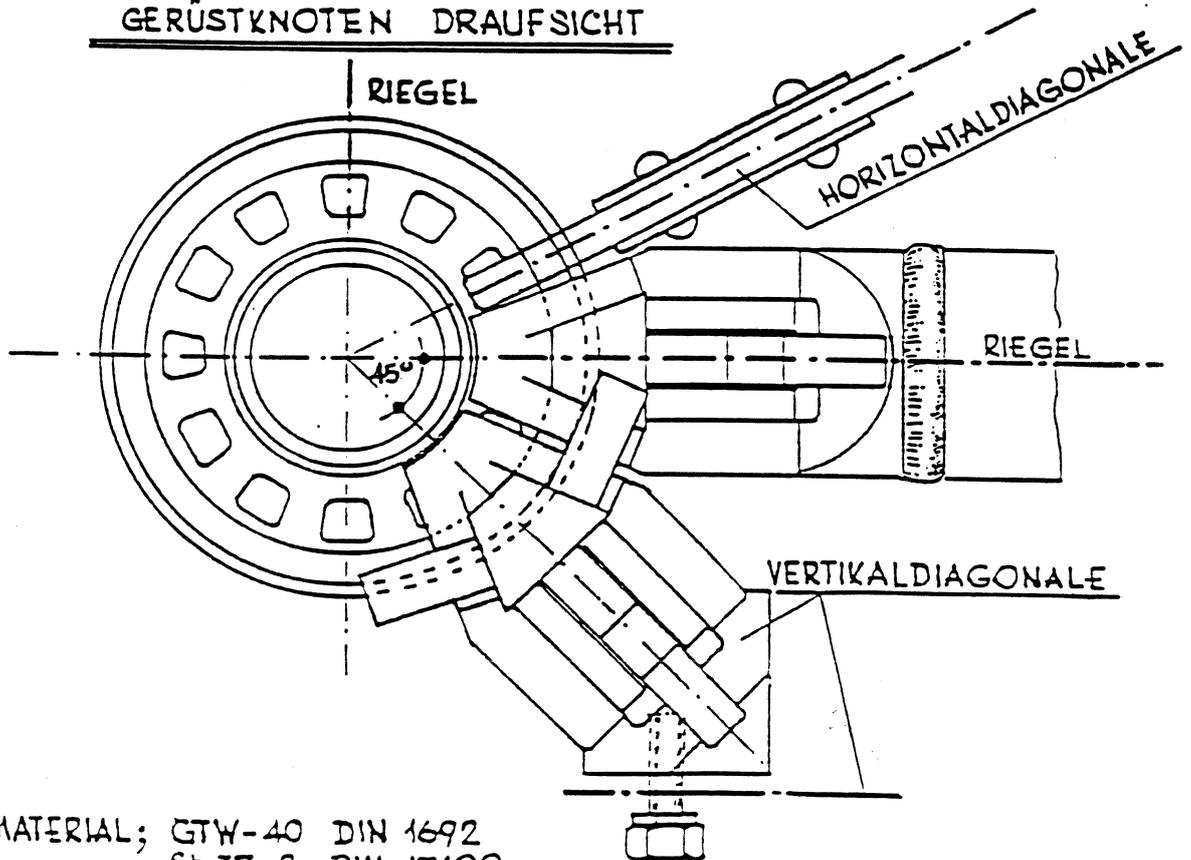
Allround-Anschlußkopf für Rohrriegel

Anschlußkopf GTW-S 38 DIN 1692
 Keil St 60 DIN 17100

GERÜSTKNOTEN SCHNITT



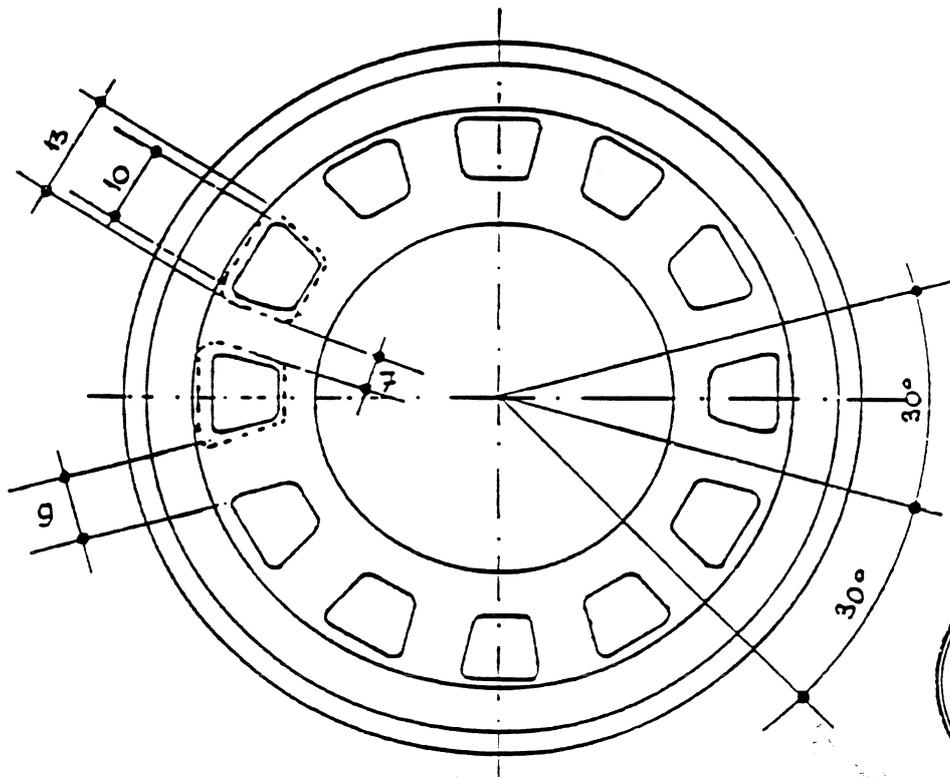
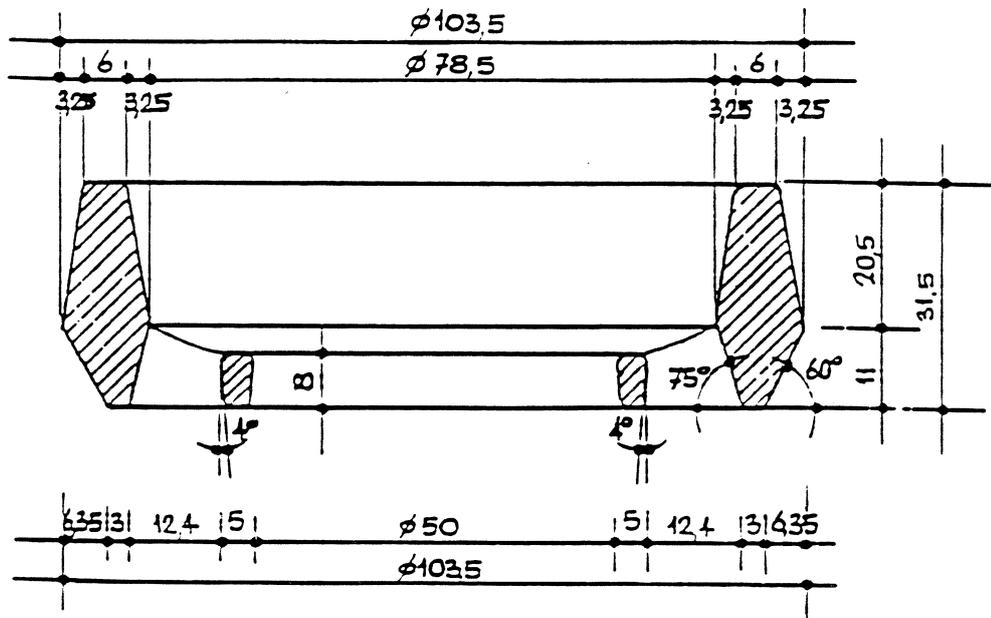
GERÜSTKNOTEN DRAUFSICHT



MATERIAL; GTW-40 DIN 1692
St 37-2 DIN 17100

KORROSIONSCHUTZ ; FEUERVERZINKT

	VARIANT GERÜSTKNOTEN	DATUM	NAME	NR.	ÄNDERUNG	DATUM	NAME	
		Gezeichnet	3. 6. 82					
		Geprüft						
		MARSTAB				ZEICHNUNG NR	1	



Anlage zum Zulassungsbescheid
 Nr. Z-81-19 vom 31. Januar 1983

MATERIAL; GTW-40 DIN 1692

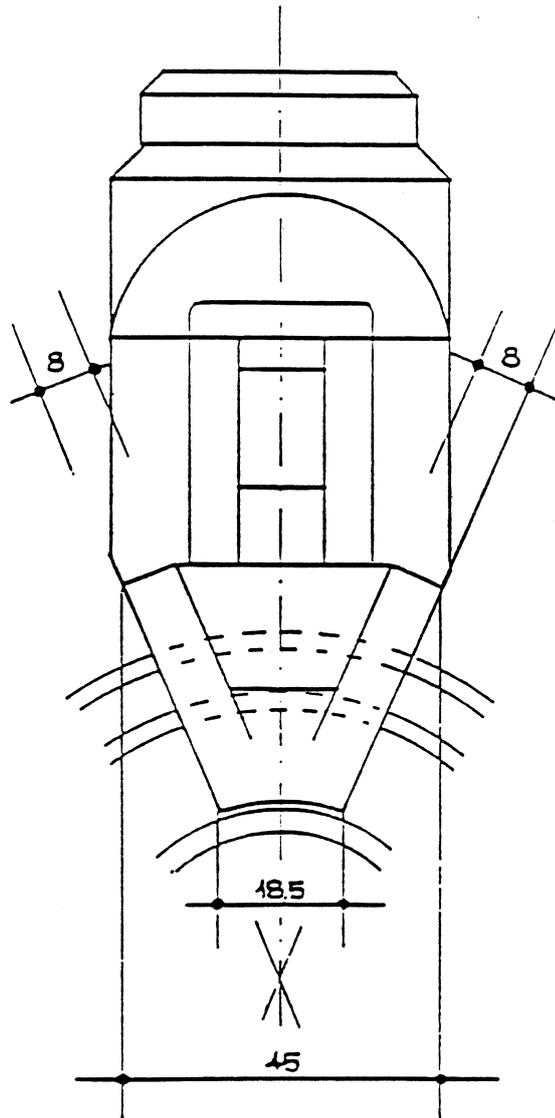
Institut für Bautechnik
 in Berlin



VARIANT KONSOLE

	DATUM	NAME	NR.	ÄNDERUNG	IDATUM	NAME
Gezeichnet	3. 6. 82	F. GW				
Geprüft						
MAßSTAB	1:1		ZEICHNUNG NR. 2			

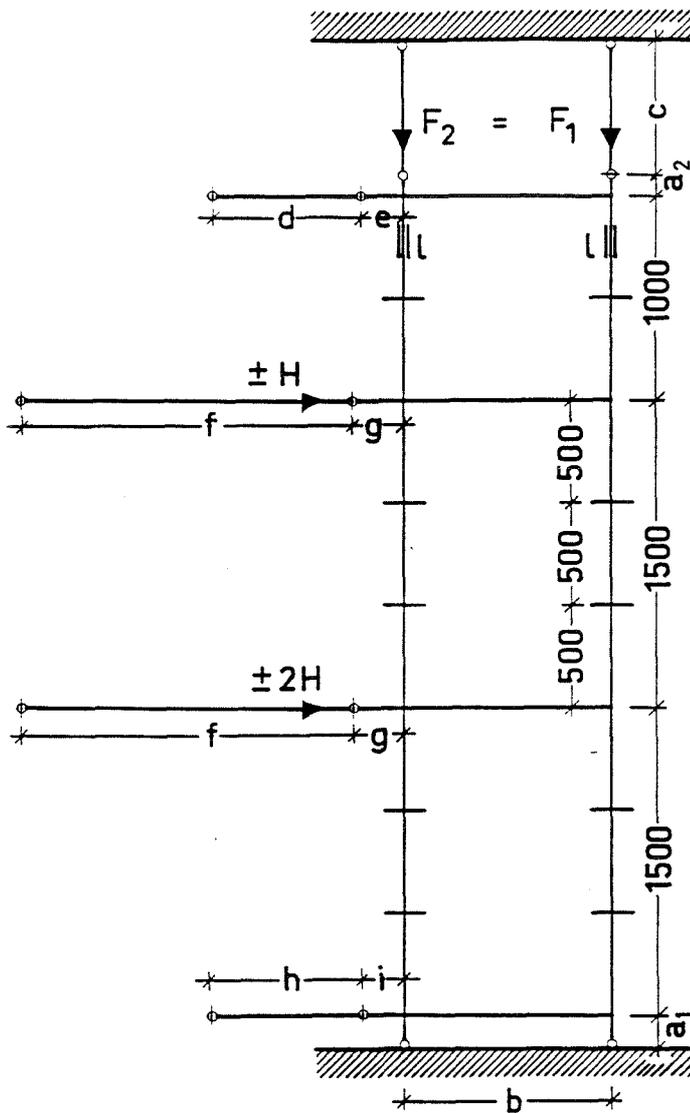
DRAUFSICHT



Anlage zum Zulassungsbescheid
 Nr. Z-81-19 vom 31. Januar 1983

Institut für Bautechnik
 in Berlin

 DOBERSCH	VARIANT RIEGEL- KLAUE	Gezeichnet	3. 6. 82						
		Geprüft							
		MAßSTAB							
		ZEICHNUNG NR.			4				



Systemmaße (mm)

	L	R
a1	105	140
a2	125	100
b	1088	1050
c	650	650
d	810	720
e	110	200
f	1690	1600
g	160	250
h	810	720
i	110	200
l	205	ungestoßen

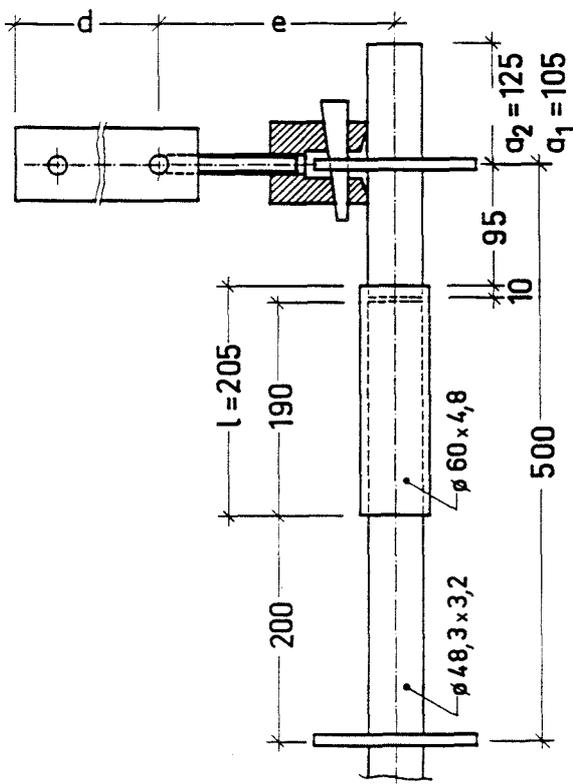


Bild 88.

System-Abmessungen der Modulgerüste L und R bei den Versuchen

Tabelle 4. Materialkennwerte

1	2	3	4	5	6	7
Probe	Breite	Dicke	Dehn- grenze	Zug- festig- keit	Bruchdehnung	
aus	b	s	$R_{p0,2}$	R_m	A_5	A_{10}
	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%
L-Ständerrohr	15,93 15,95	3,04 3,03	434 428	458 449	31 34	22 25
L-Riegelrohr	15,92 15,96	3,05 3,02	422 413	445 440	35 36	25 26
R-Ständerrohr	15,94 15,97	2,90 2,90	346 341	398 393	37 37	26 26
L-Riegelrohr	15,96 15,97	3,21 3,14	342 345	392 393	33 34	21 24
Mittlerer E-Modul $\bar{E} = 218\ 000\ \text{N/mm}^2$						
<u>Mittelwerte aus Brinell-Härtemessungen</u>						
L-Lochscheiben	: 134 HB 2,5/187,5 (453 N/mm ²) ¹⁾					
L-Riegel-Anschlußkopf:	: 131 HB 2,5/187,5 (444 N/mm ²)					
L-Keil	: 172 HB 2,5/187,5 (579 N/mm ²)					
R-Konsole	: 141 HB 2,5/187,5 (474 N/mm ²)					
R-Riegelklaue	: 150 HB 2,5/187,5 (504 N/mm ²)					
R-Keil	: 179 HB 2,5/187,5 (604 N/mm ²)					

1) umgewertet nach DIN 50 150

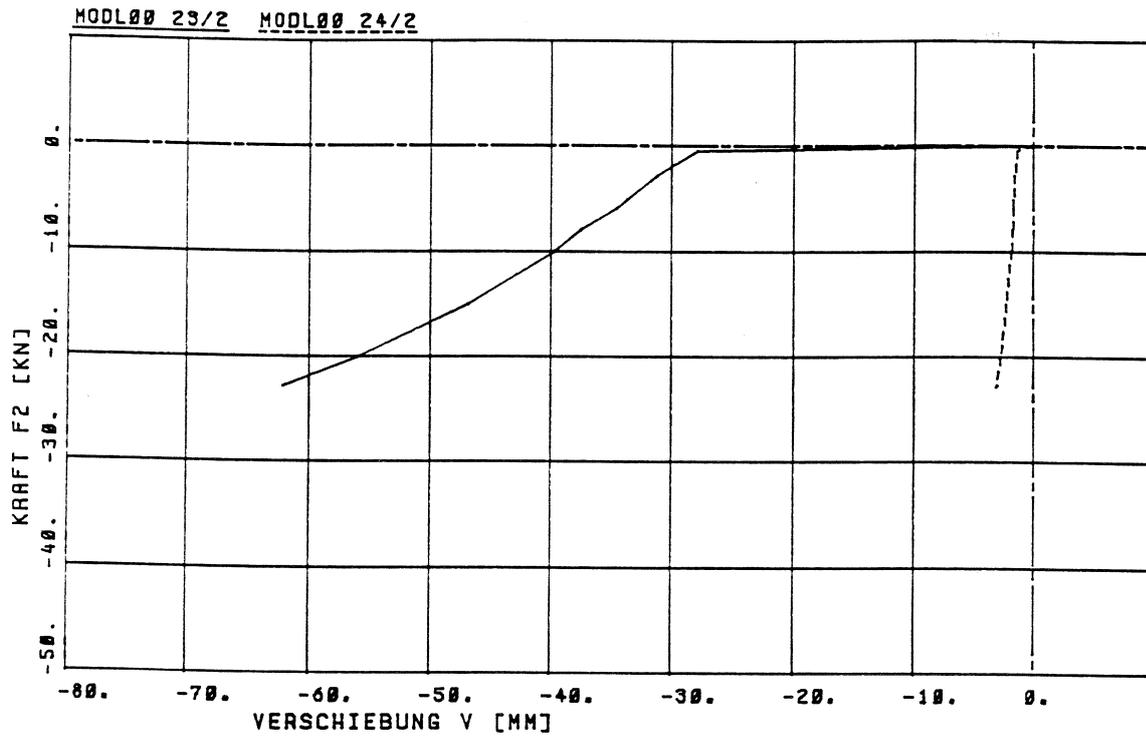


Bild 89. Versuch VL 00: v_{23} , v_{24}

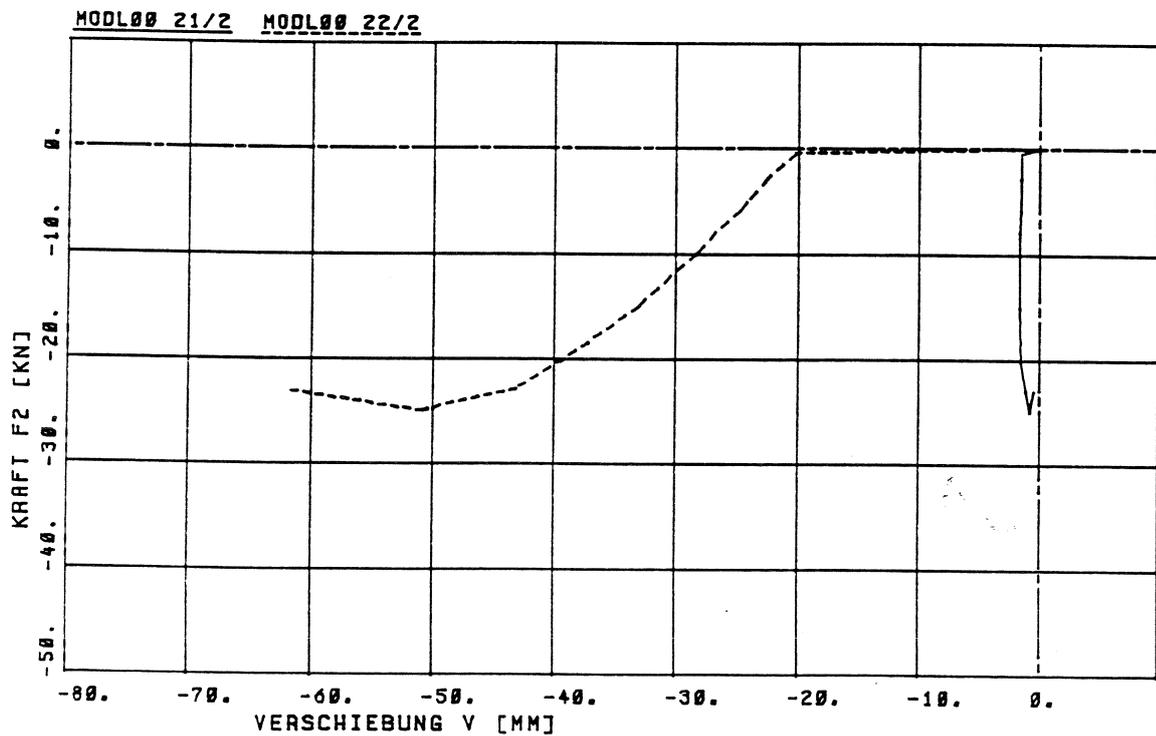
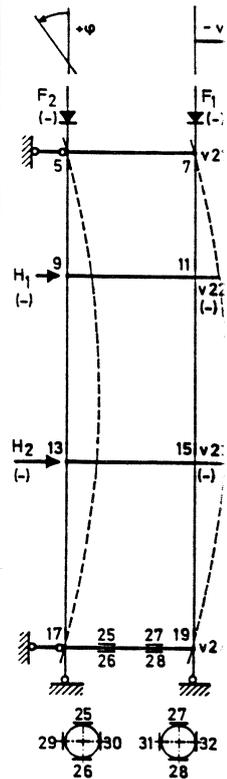


Bild 90. Versuch VL 00: v_{21} , v_{22}



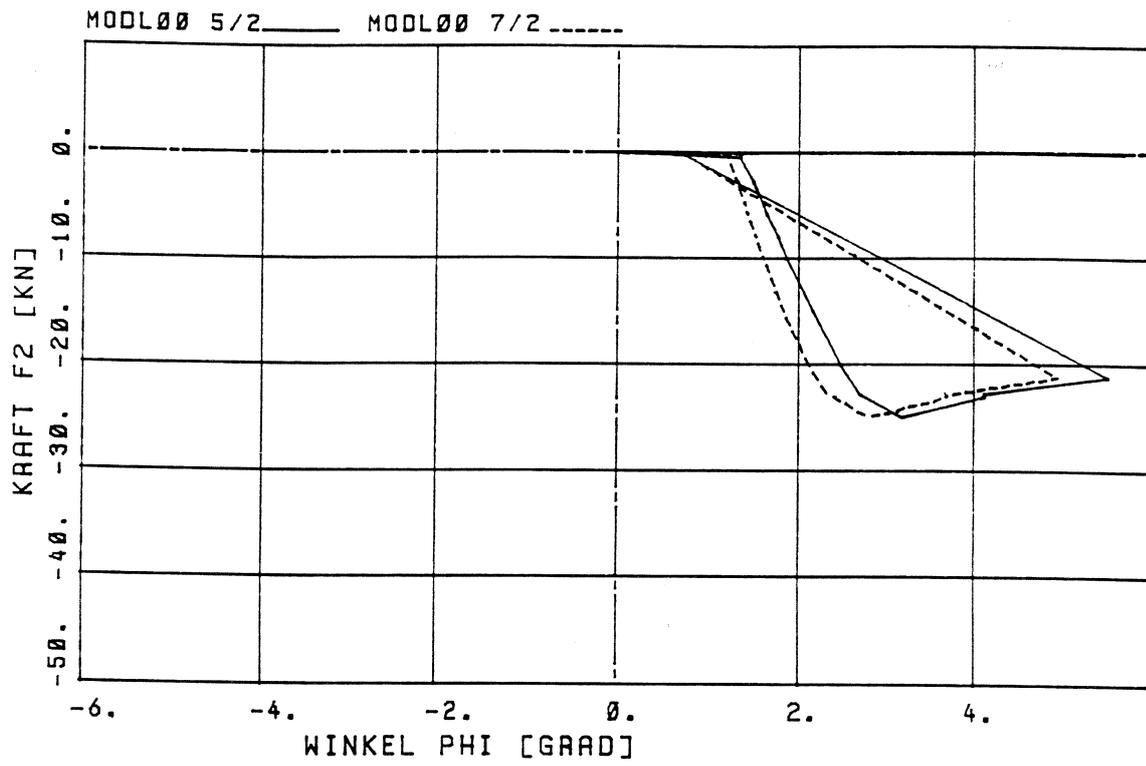


Bild 91. Versuch VL 00: φ_5, φ_7

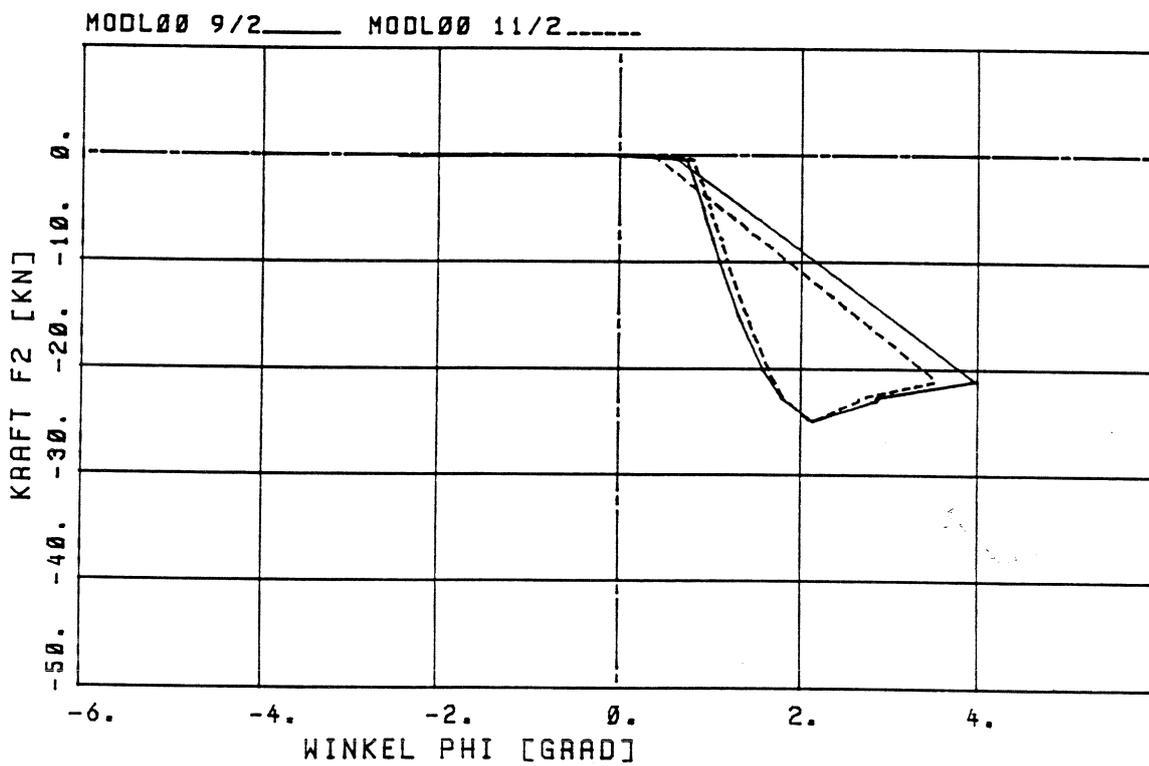
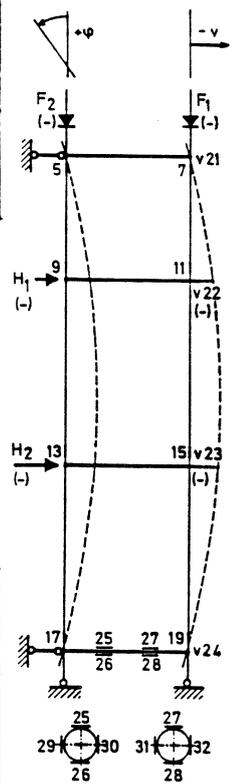


Bild 92. Versuch VL 00: φ_9, φ_{11}



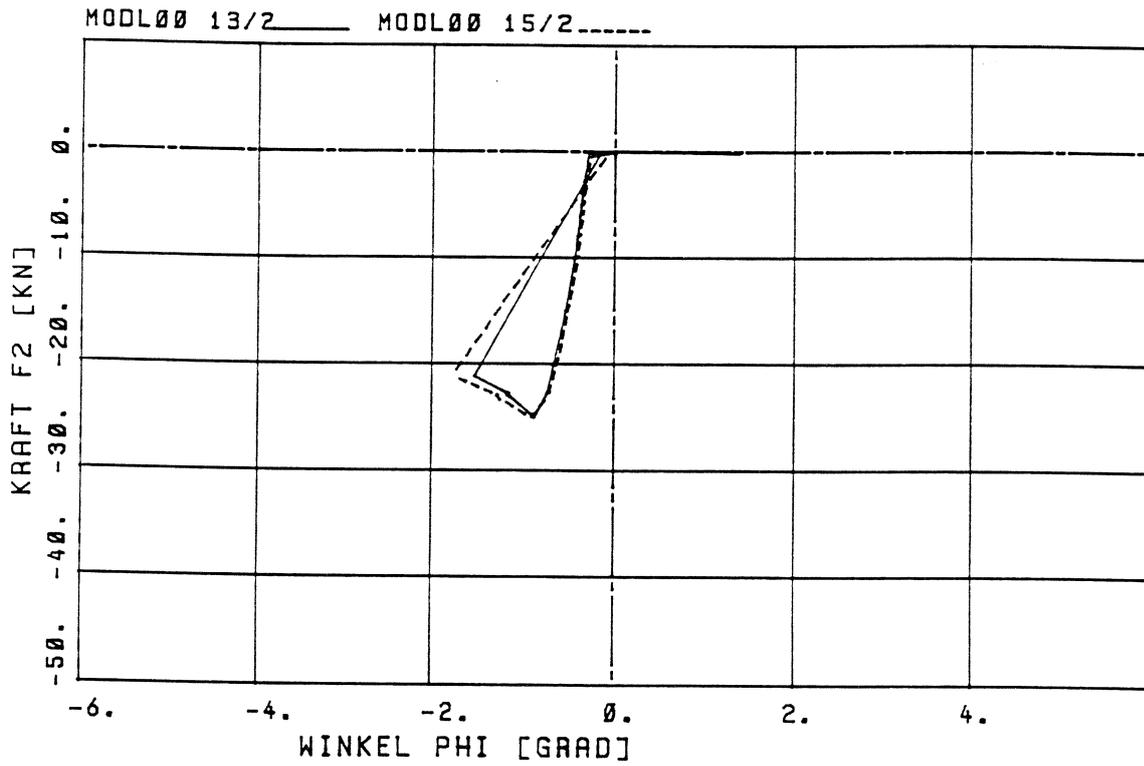


Bild 93. Versuch VL 00: φ_{13} , φ_{15}

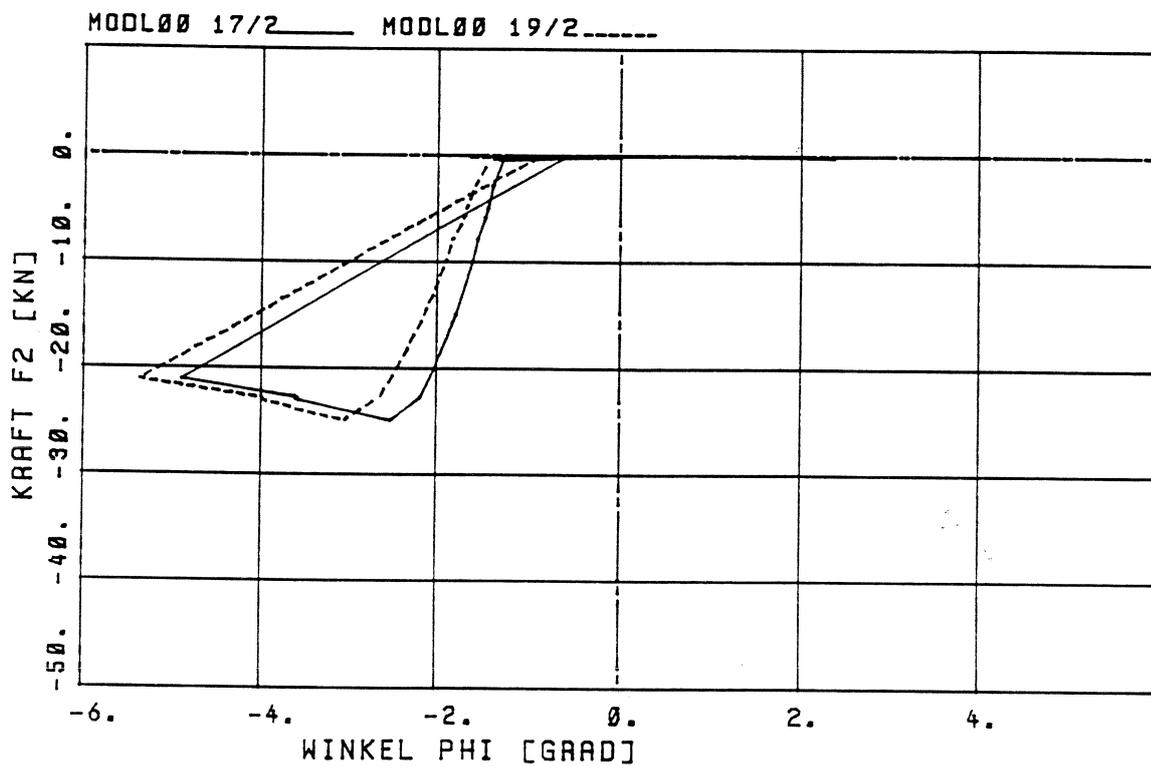
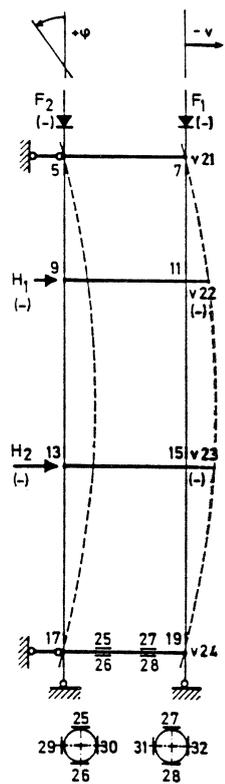


Bild 94. Versuch VL 00: φ_{17} , φ_{19}



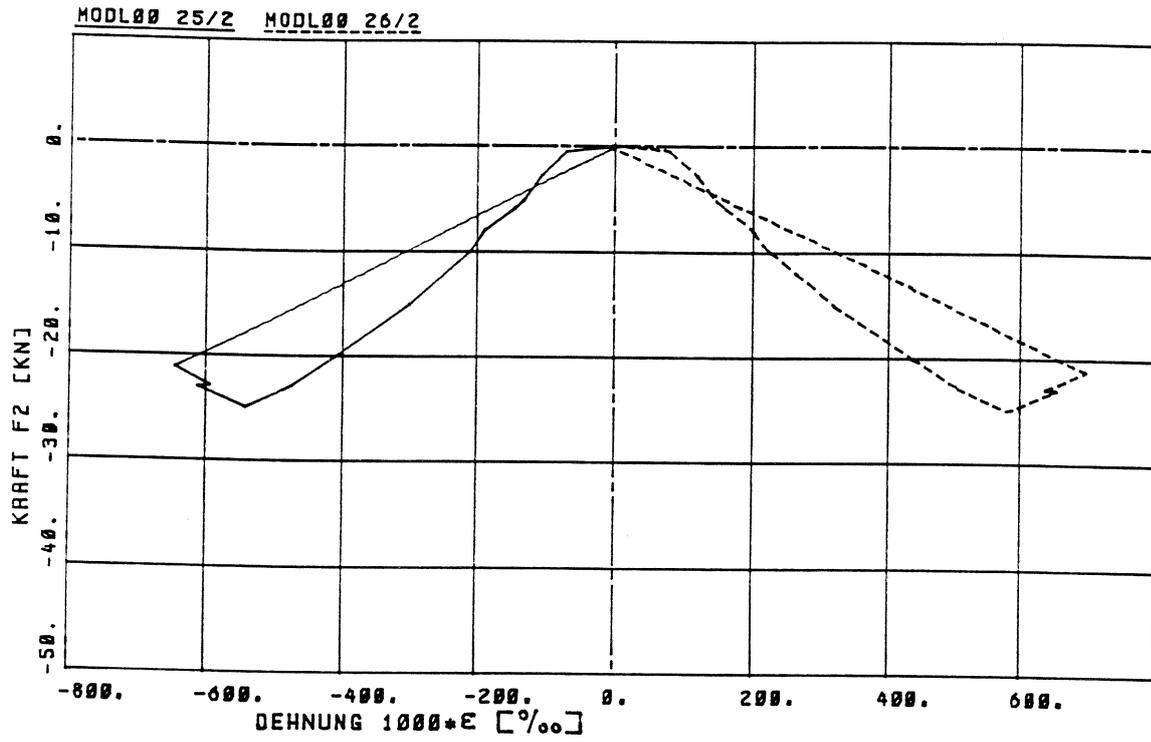


Bild 95. Versuch VL 00: ϵ_{25} , ϵ_{26}

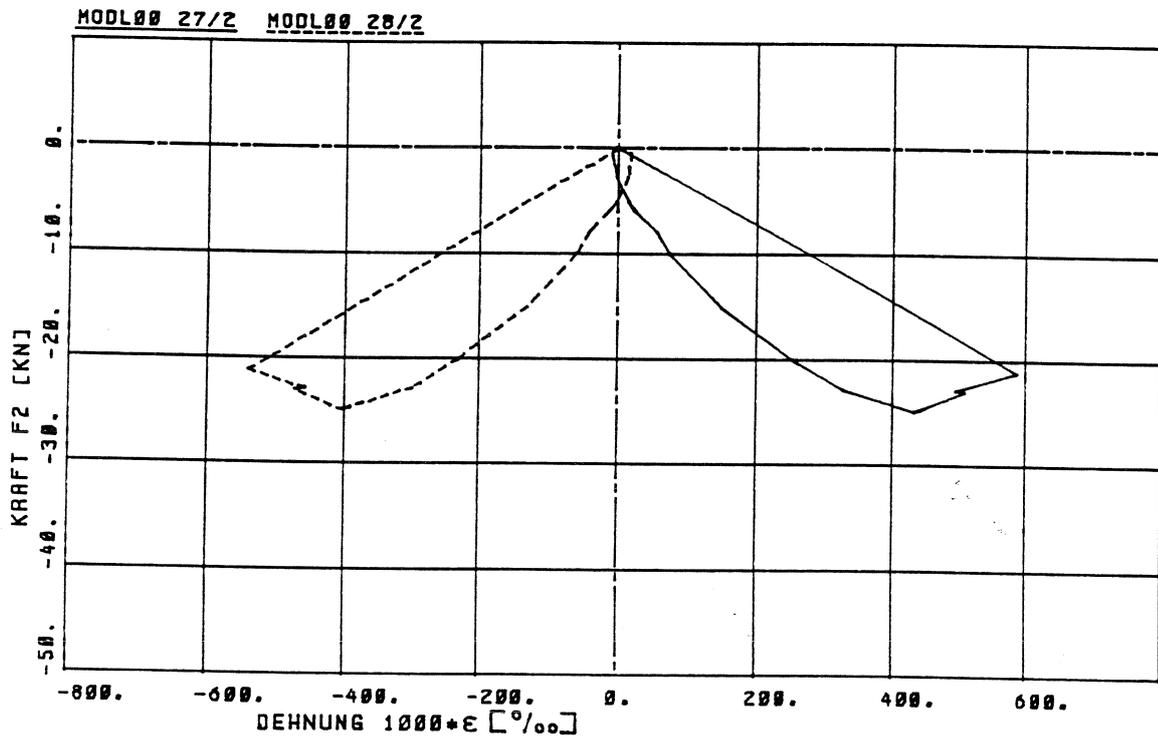
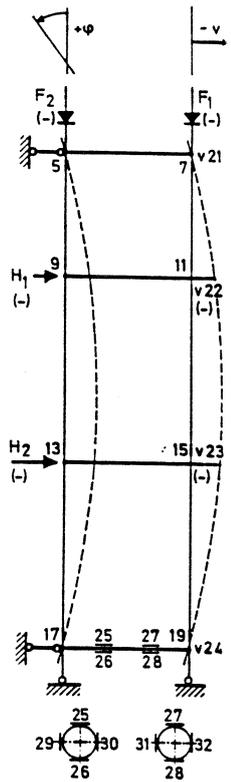


Bild 96. Versuch VL 00: ϵ_{27} , ϵ_{28}



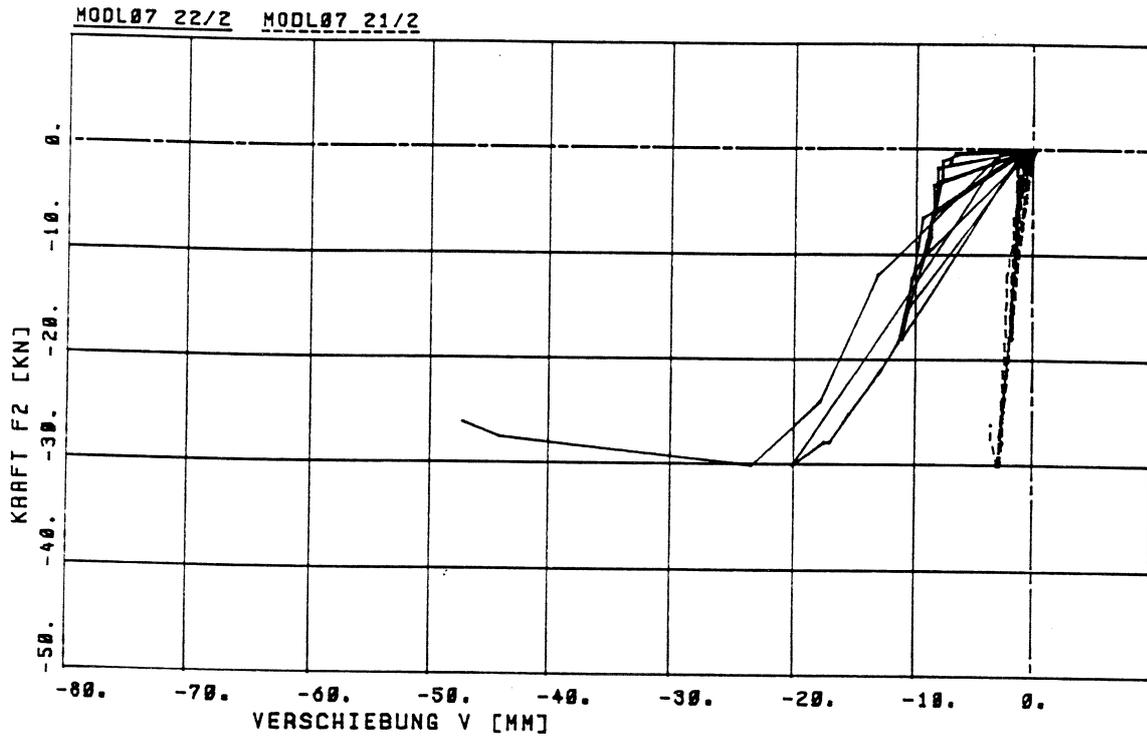


Bild 97. Versuch VL 07: v_{21} , v_{22}

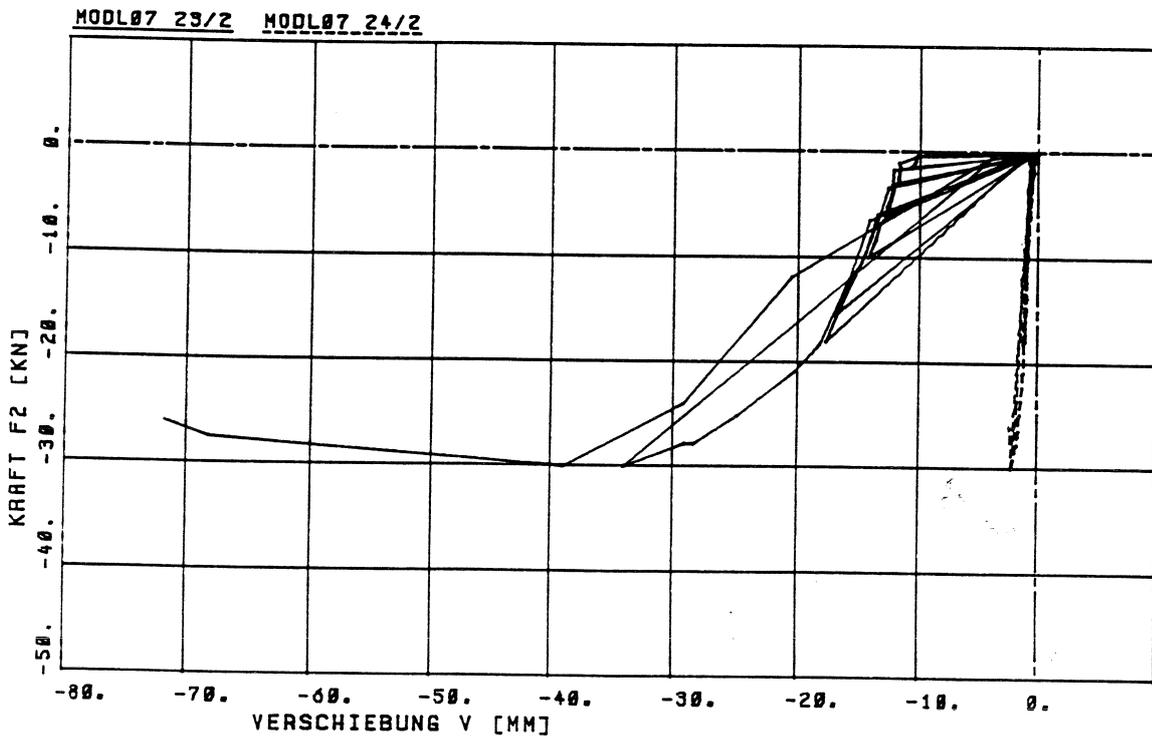
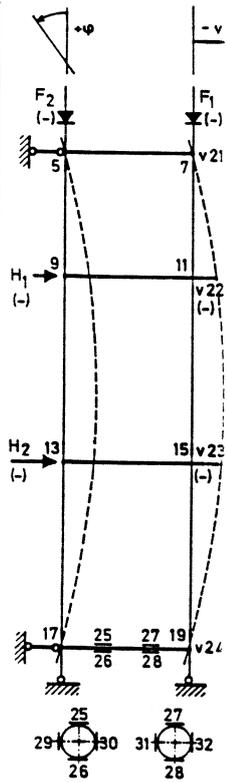


Bild 98. Versuch VL 07: v_{23} , v_{24}

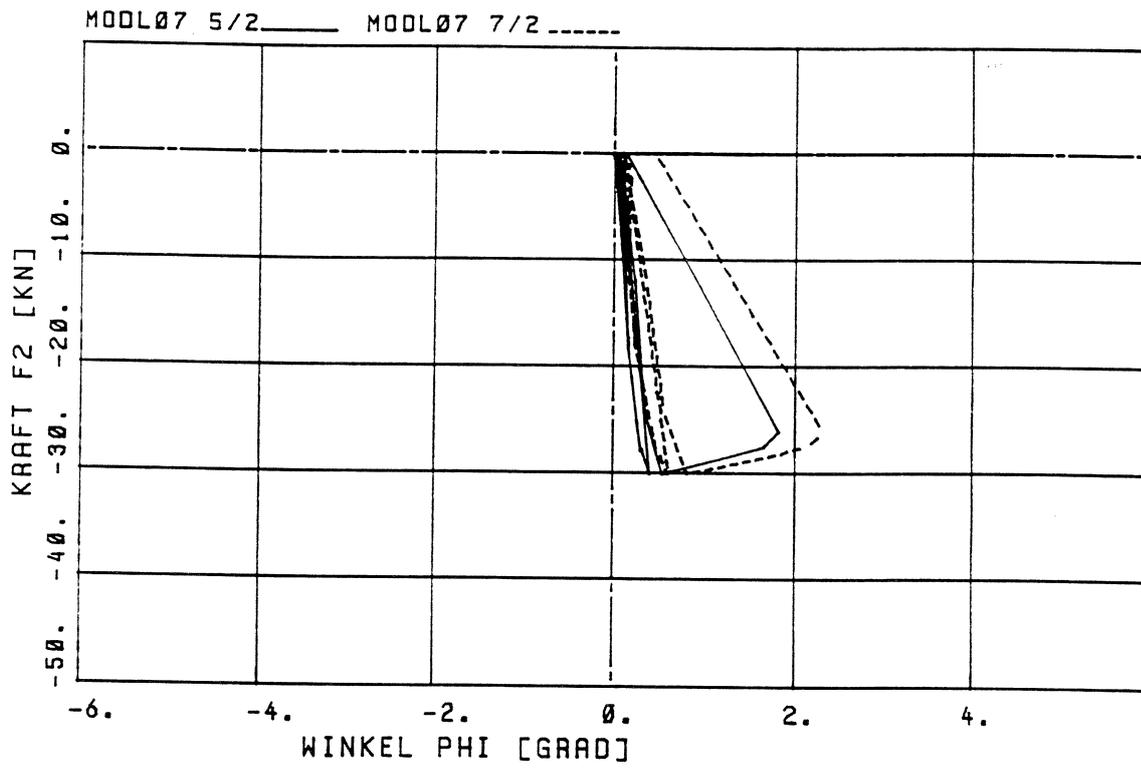


Bild 99. Versuch VL 07: φ_5, φ_7

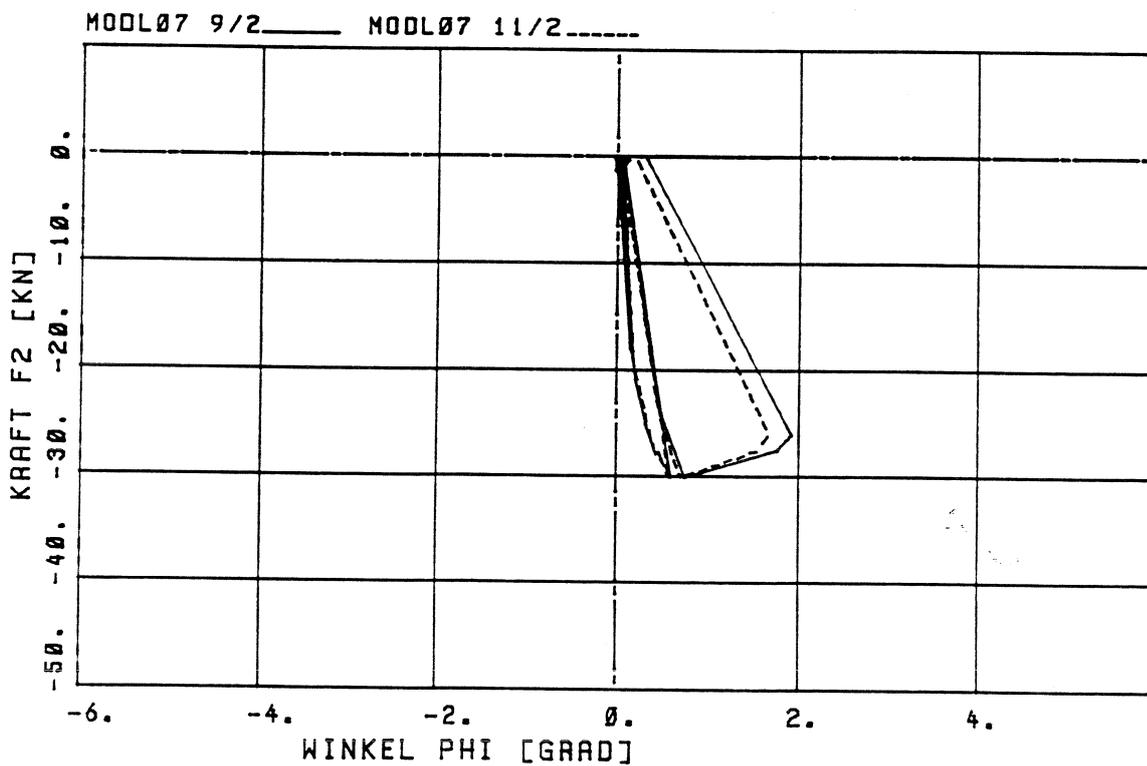
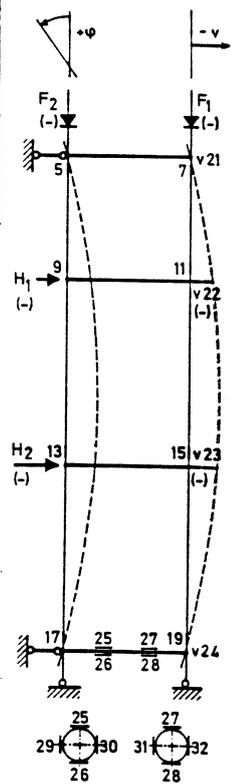


Bild 100. Versuch VL 07: φ_9, φ_{11}



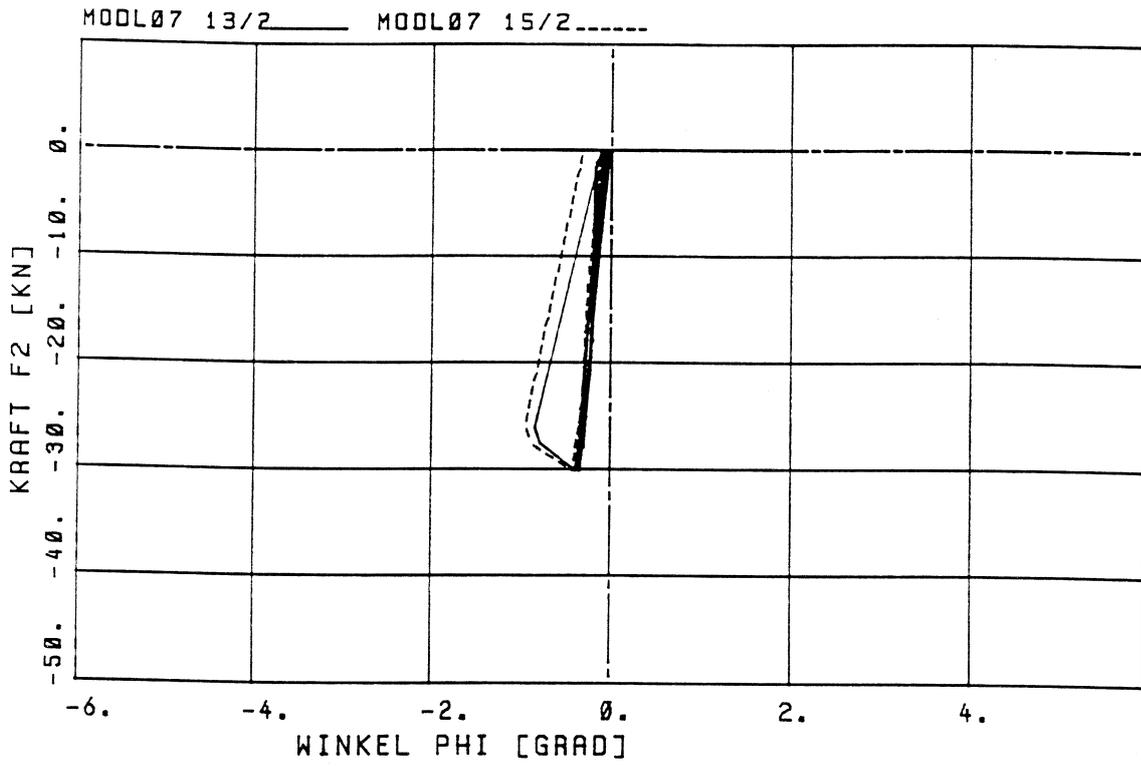


Bild 101. Versuch VL 07: $\varphi_{13}, \varphi_{15}$

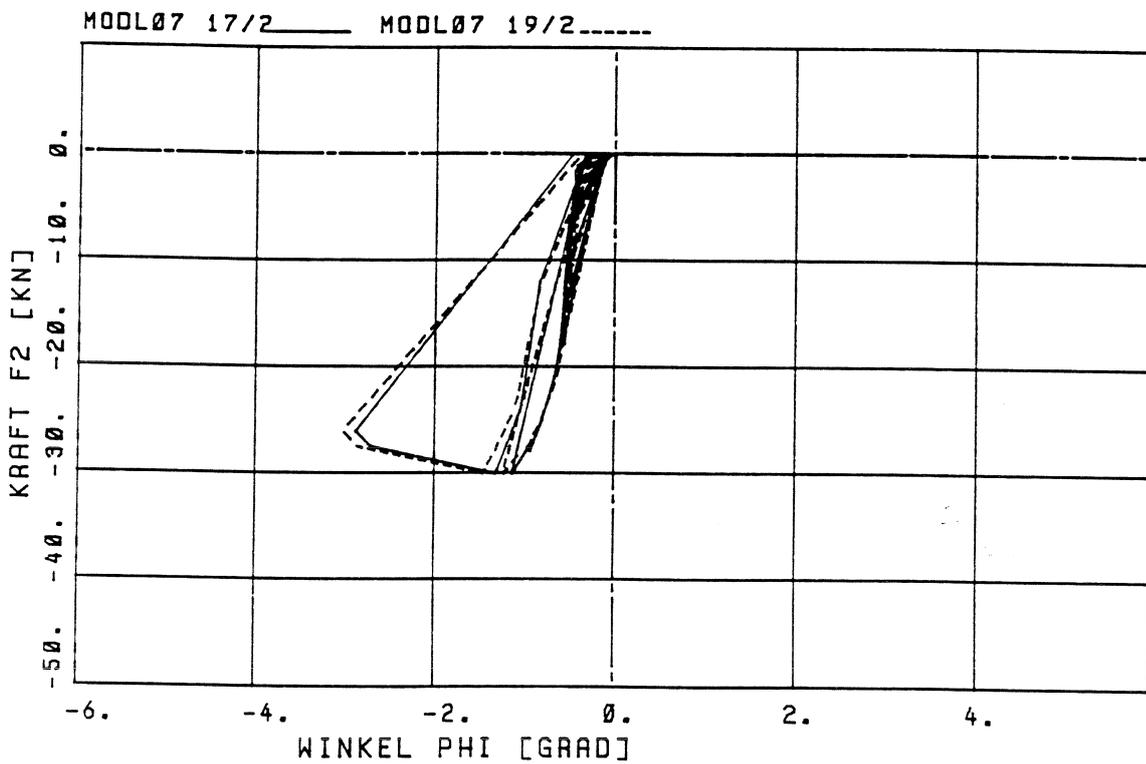
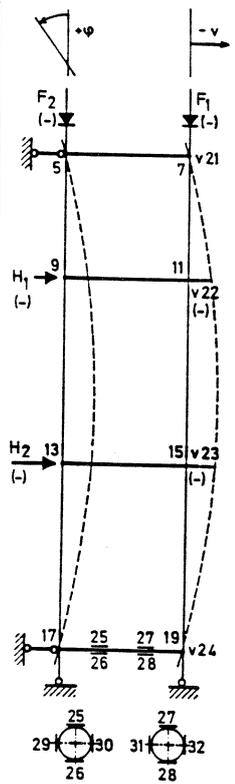


Bild 102: Versuch VL 07: $\varphi_{17}, \varphi_{19}$



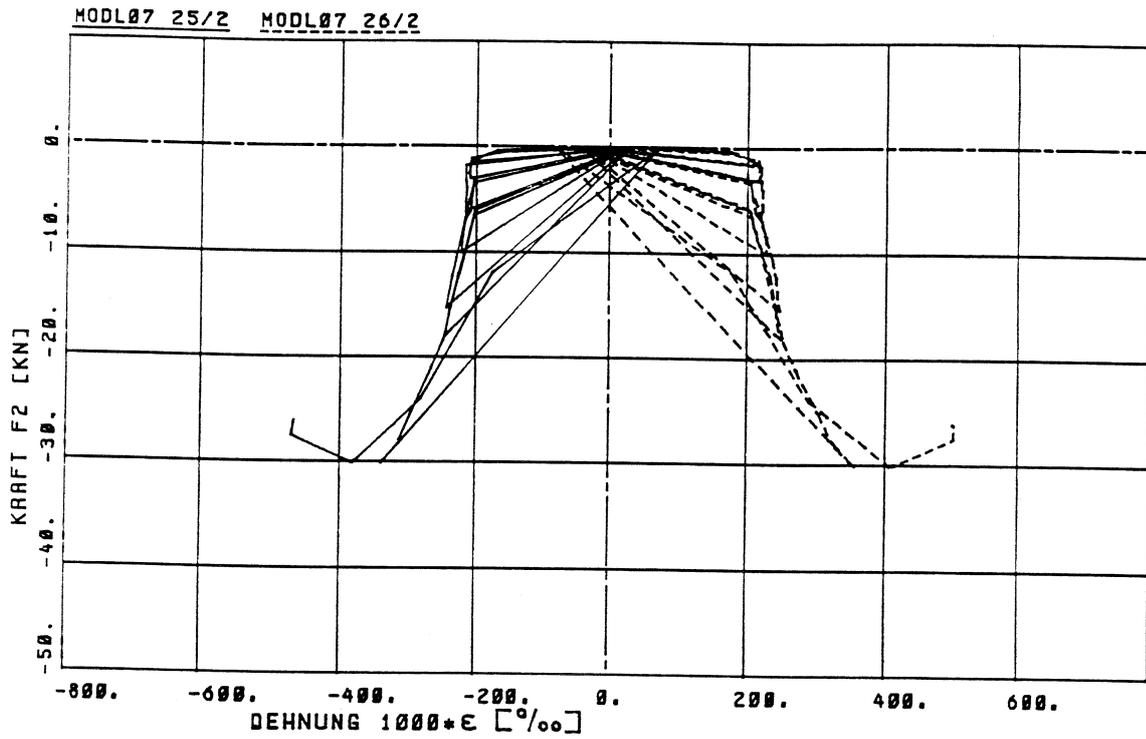


Bild 103. Versuch VL 07: ϵ_{25} , ϵ_{26}

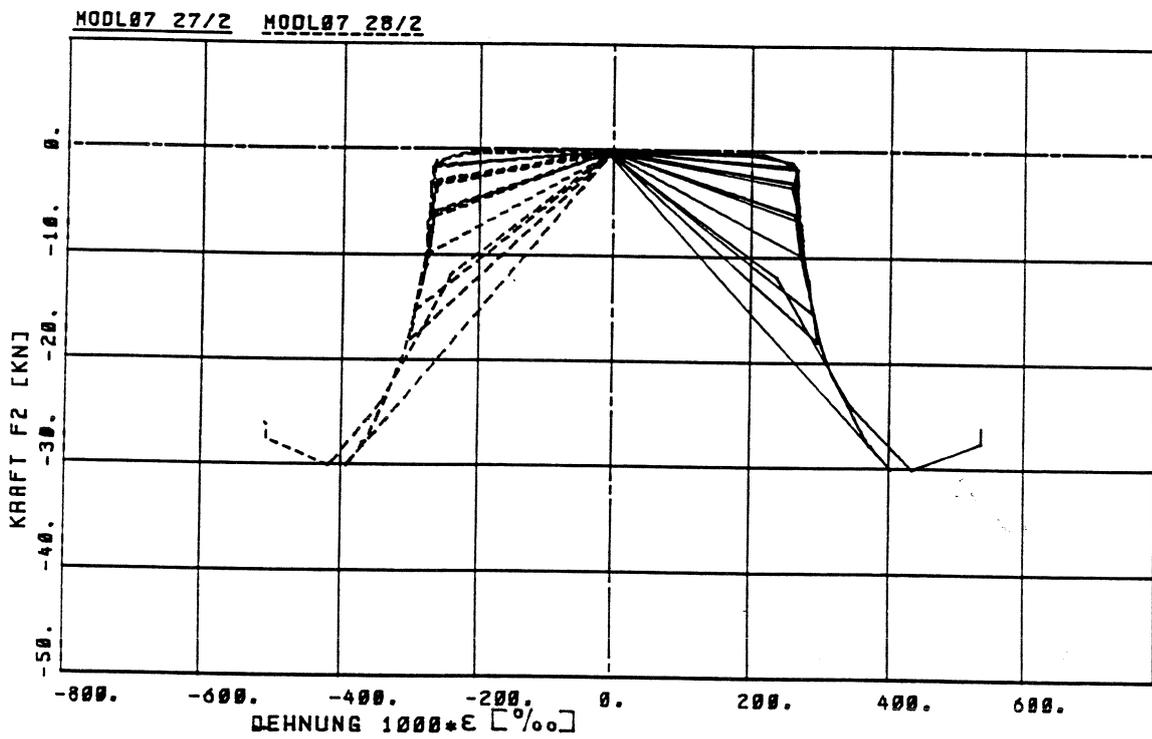
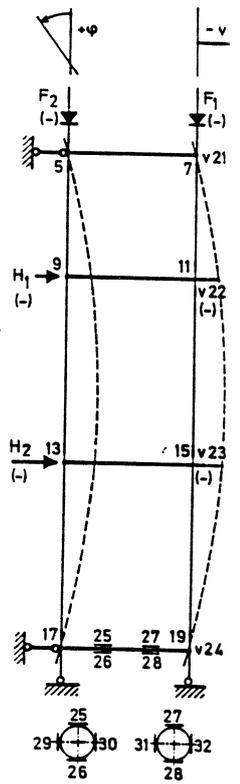


Bild 104. Versuch VL 07: ϵ_{27} , ϵ_{28}

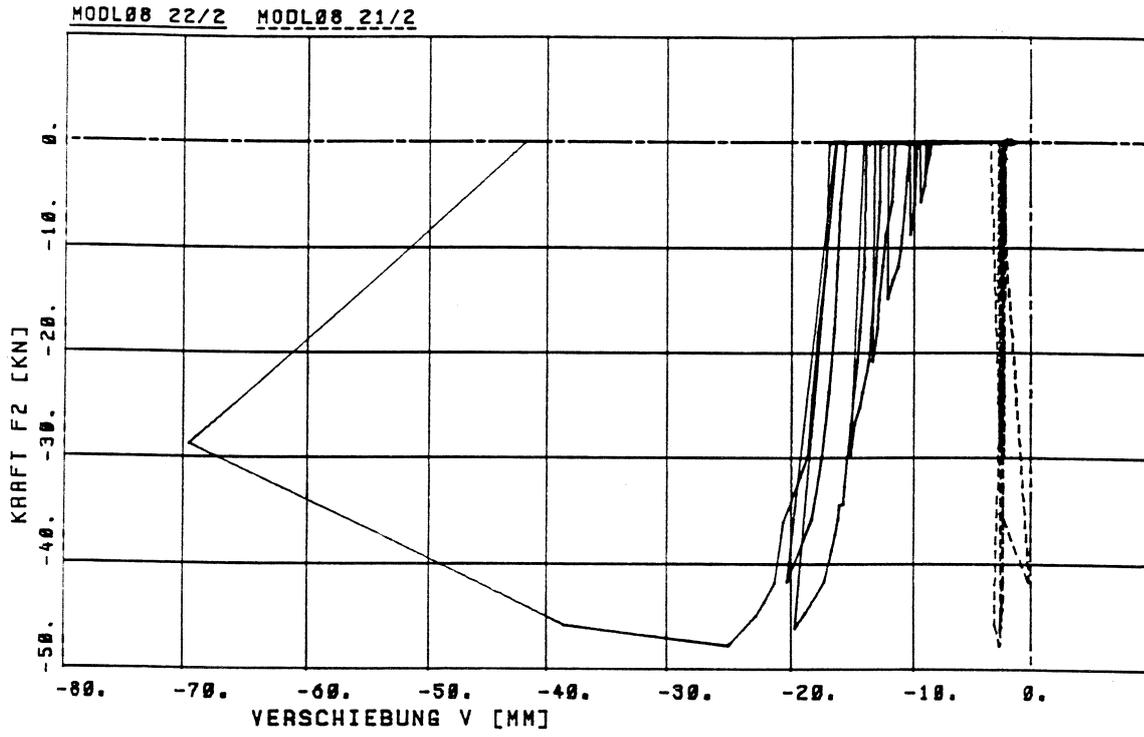


Bild 105. Versuch VL 08: v_{21} , v_{22}

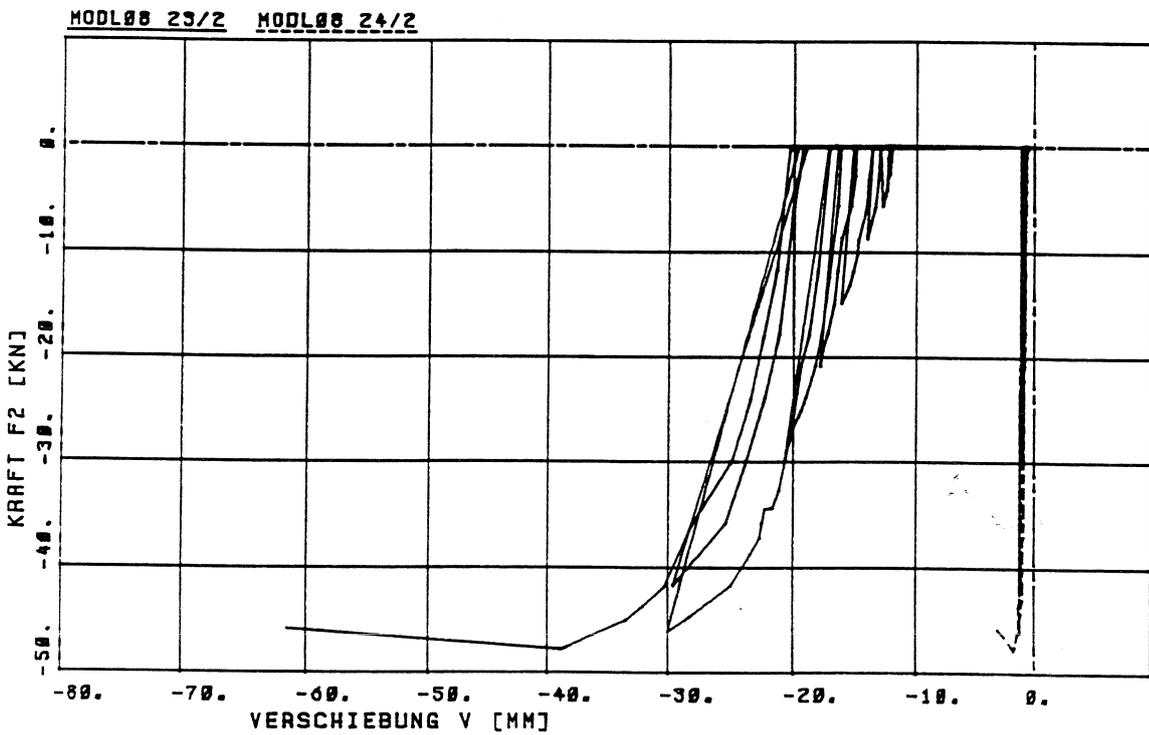
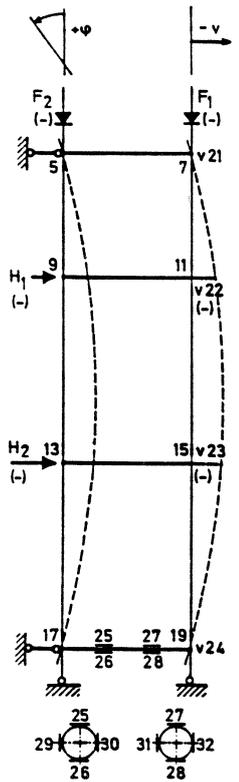


Bild 106. Versuch VL 08: v_{23} , v_{24}

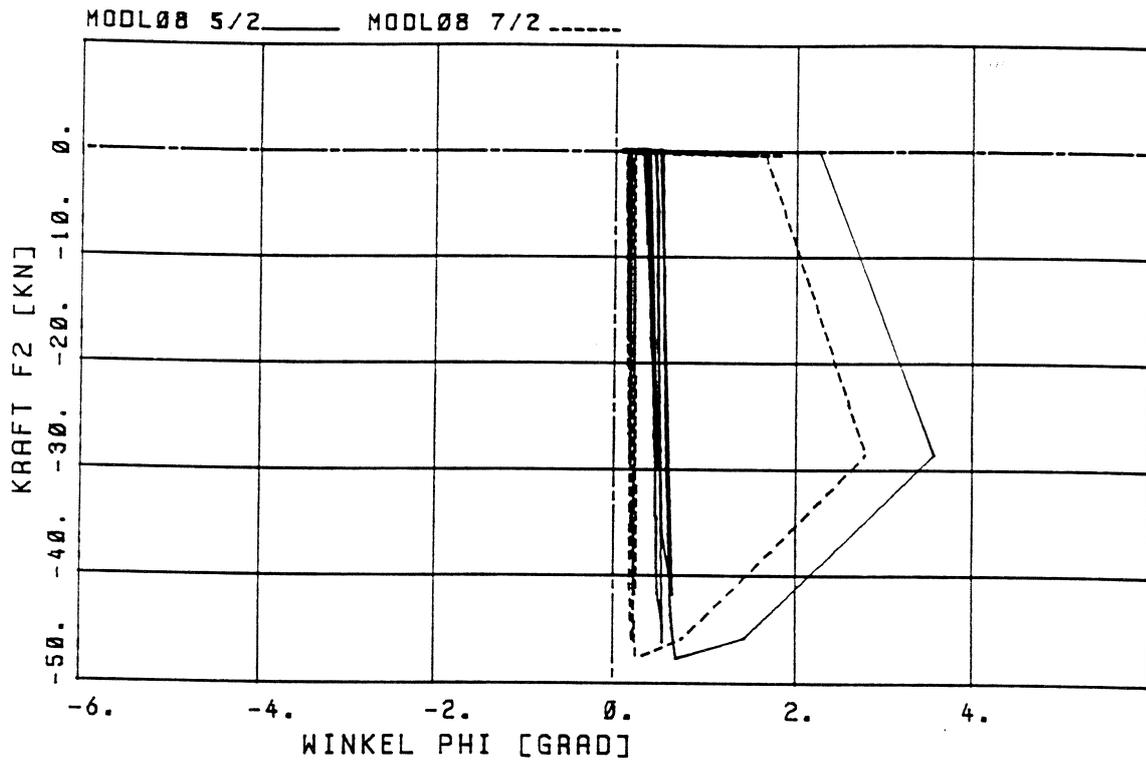


Bild 107. Versuch VL 08: φ_5, φ_7

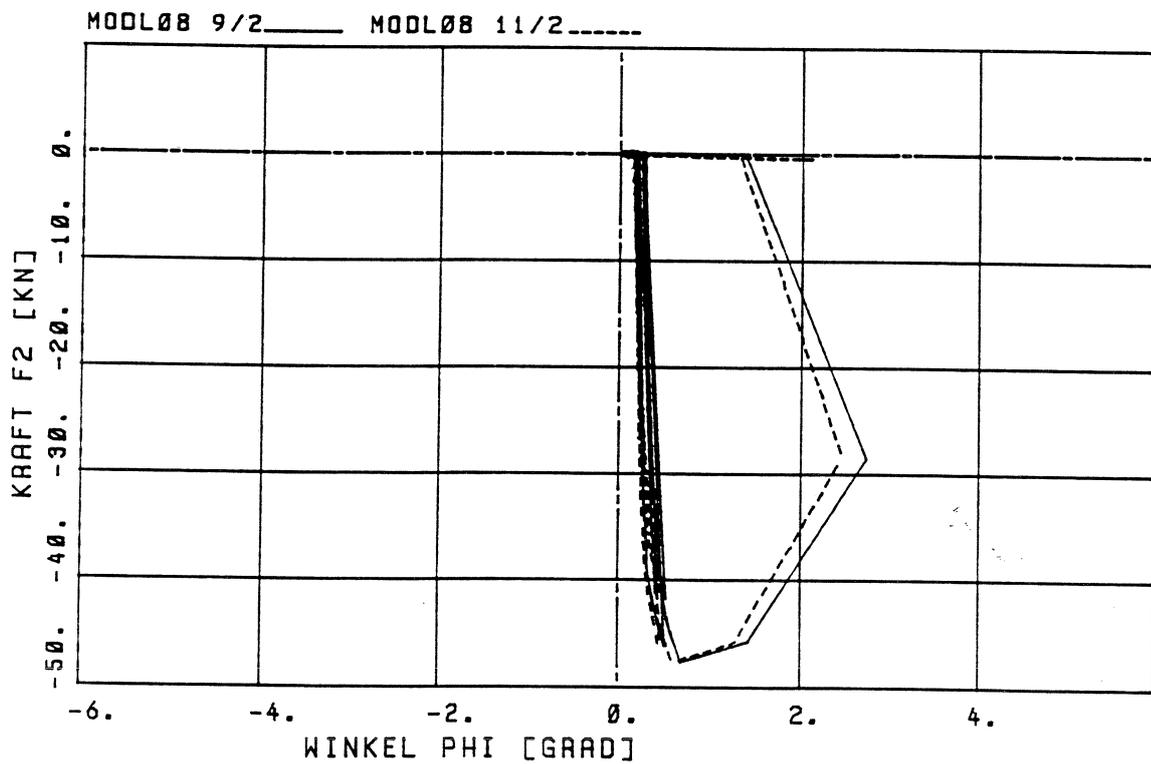
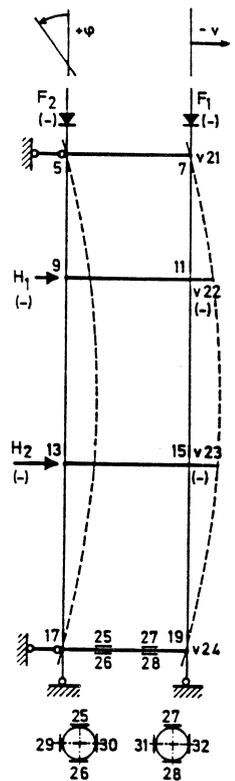


Bild 108. Versuch VL 08: φ_9, φ_{11}

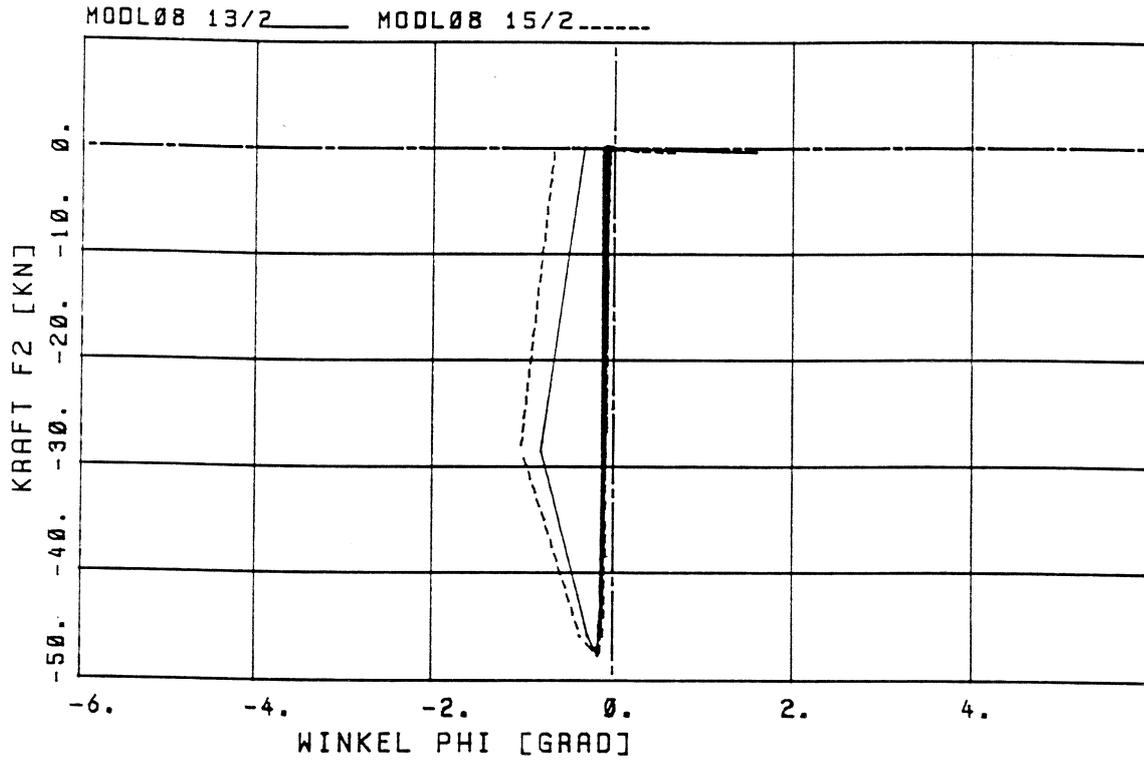


Bild 109: Versuch VL 08: $\varphi_{13}, \varphi_{15}$

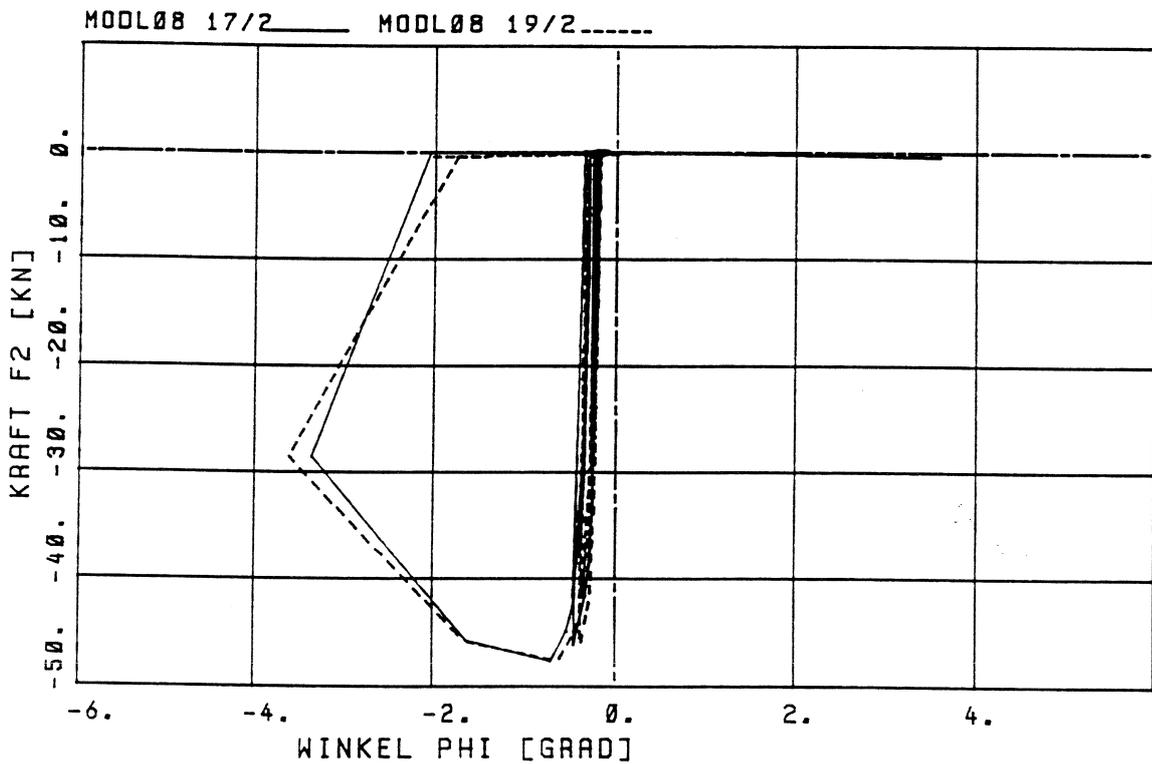
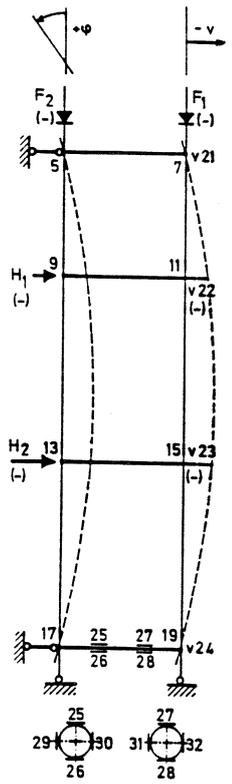


Bild 110. Versuch VL 08: $\varphi_{17}, \varphi_{19}$

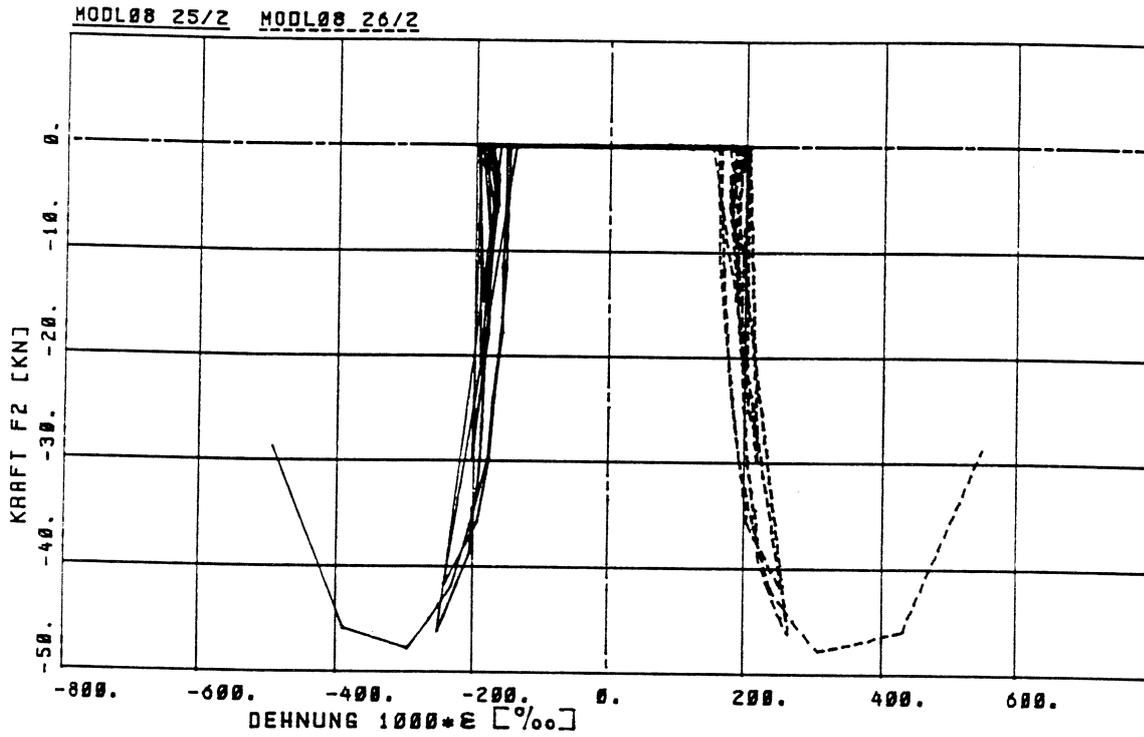


Bild 111. Versuch VL 08, ϵ_{25} , ϵ_{26}

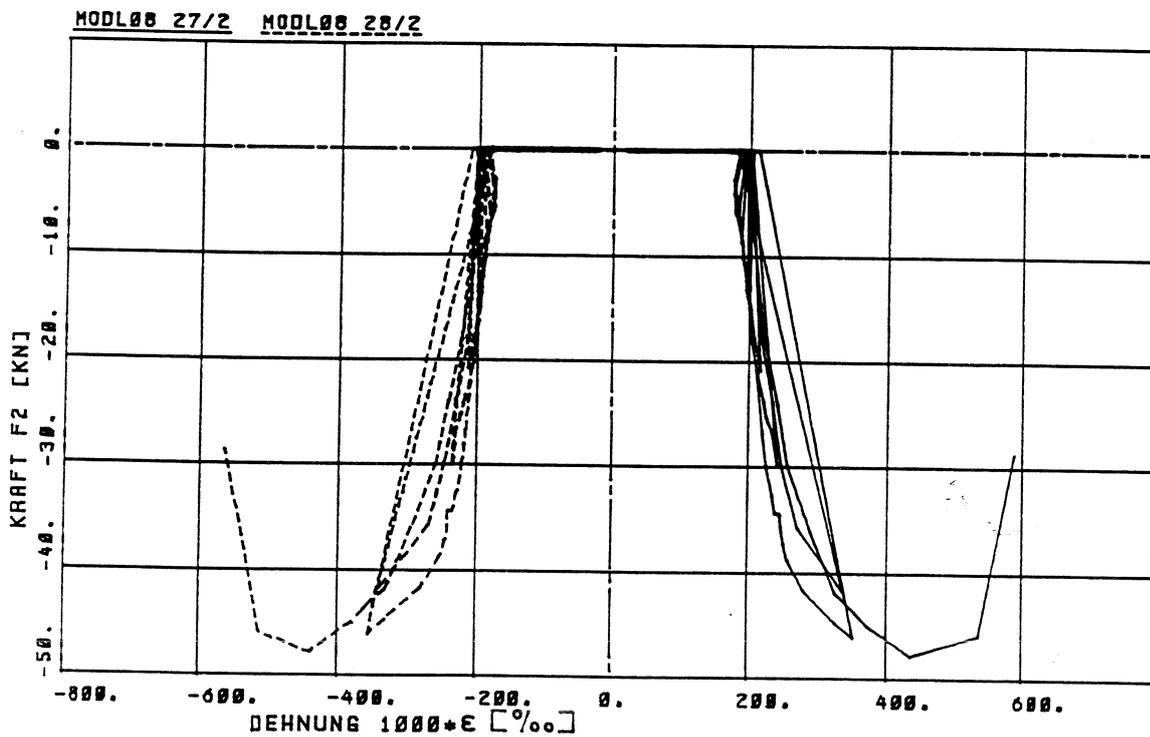
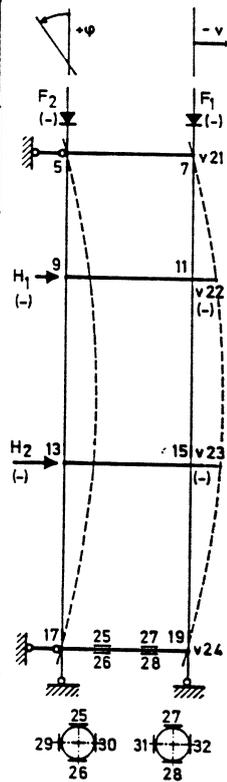


Bild 112. Versuch VL 08: ϵ_{27} , ϵ_{28}

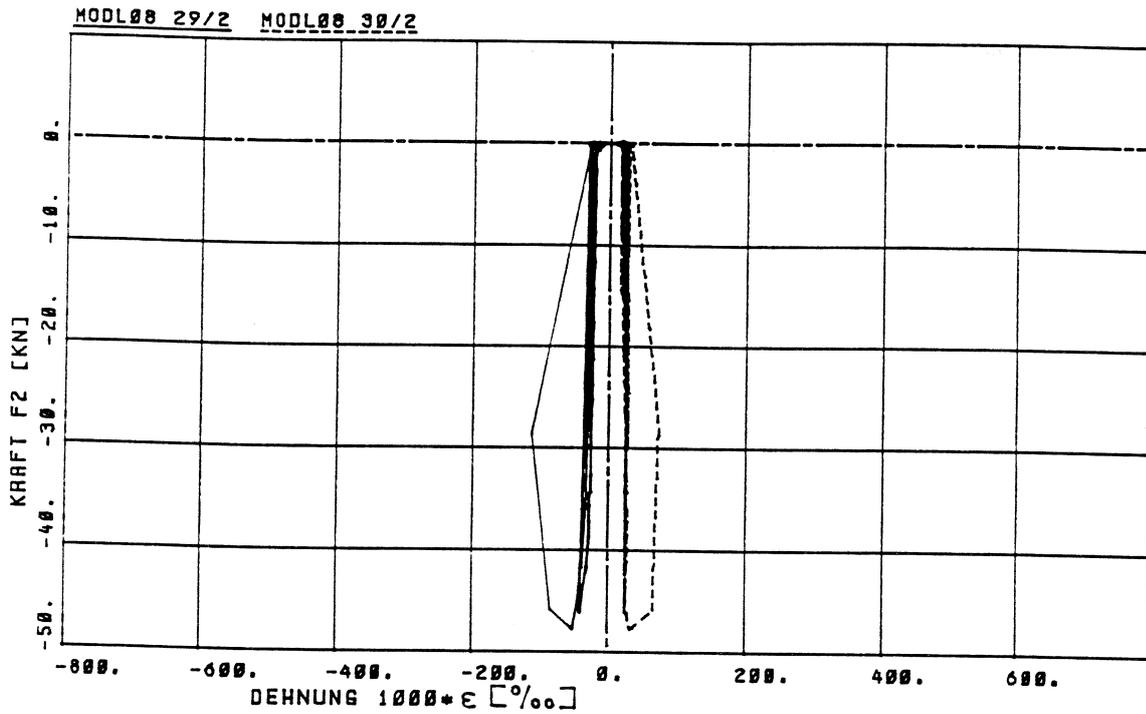


Bild 113. Versuch VL 08: ϵ_{29} , ϵ_{30}

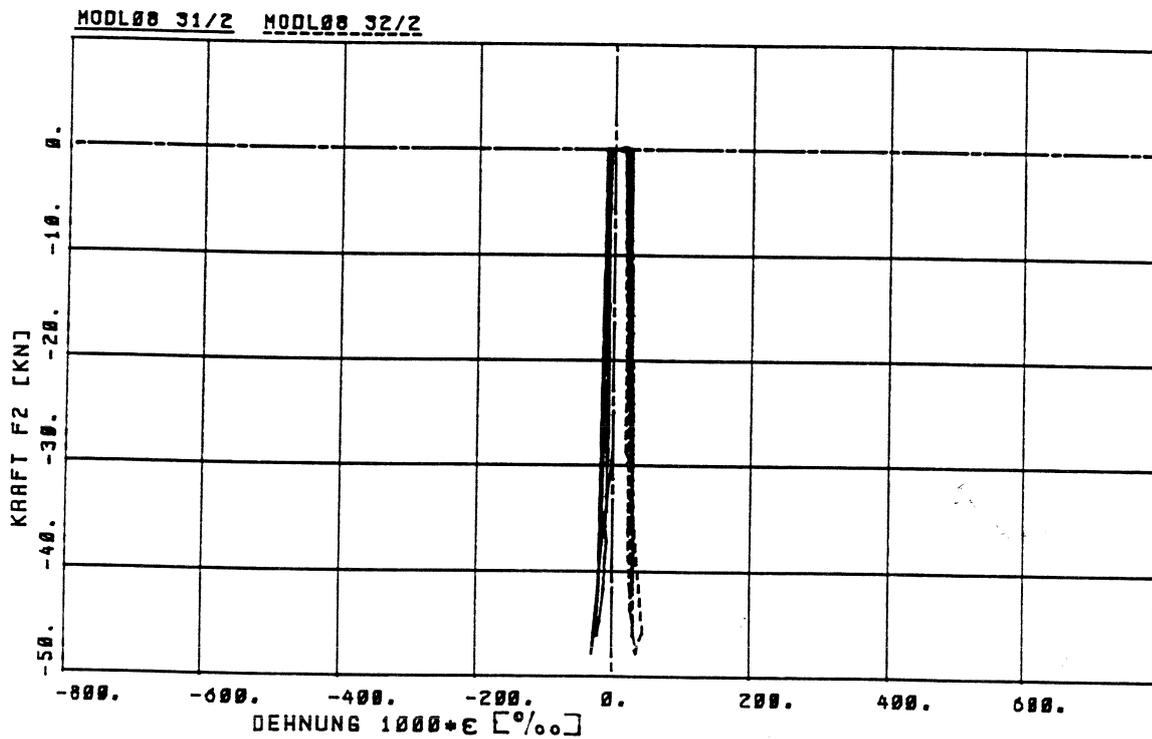
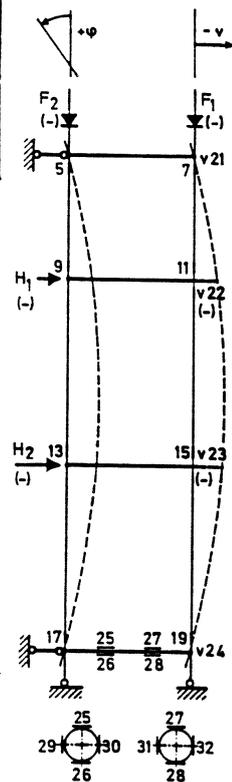


Bild 114. Versuch VL 08: ϵ_{31} , ϵ_{32}

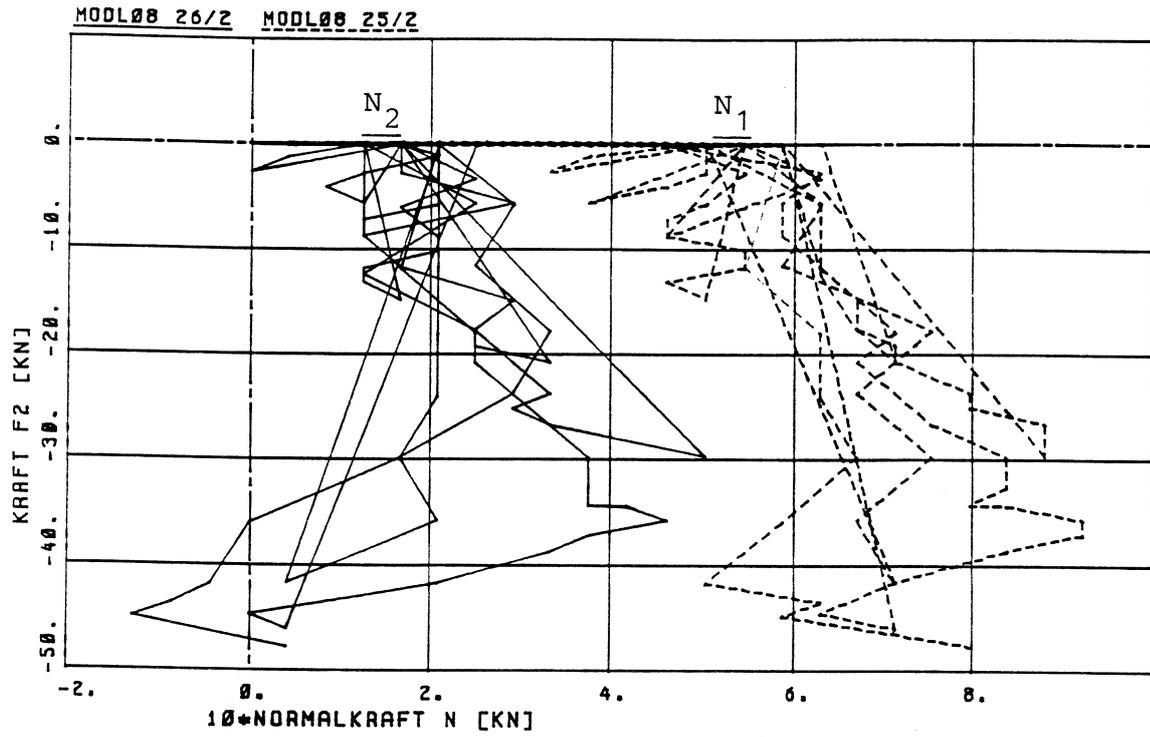


Bild 115. Versuch VL 08: N_1 (25/2) aus ϵ_{25} , ϵ_{26}
 N_2 (26/2) aus ϵ_{27} , ϵ_{28}

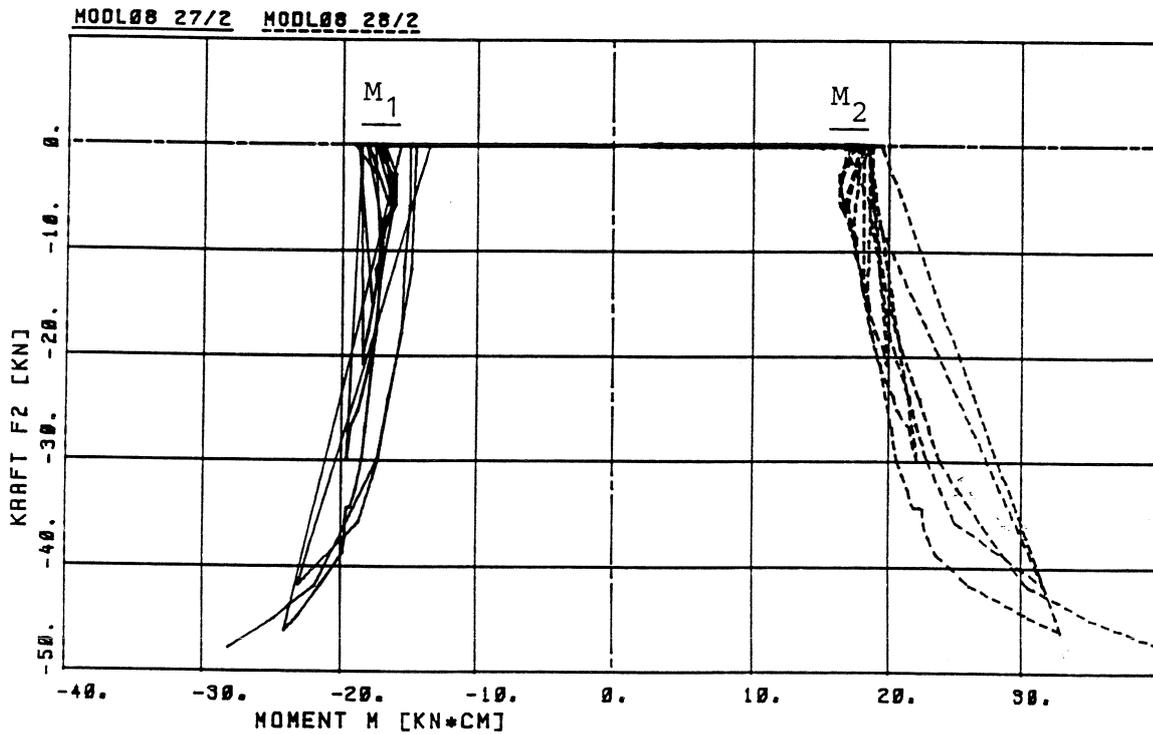
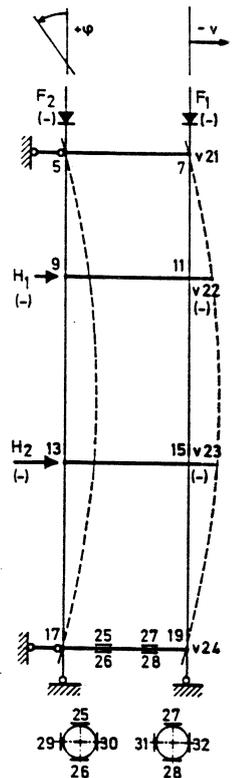


Bild 116. Versuch VL 08: M_1 (27/2) aus ϵ_{25} , ϵ_{26}
 M_2 (28/2) aus ϵ_{27} , ϵ_{28}

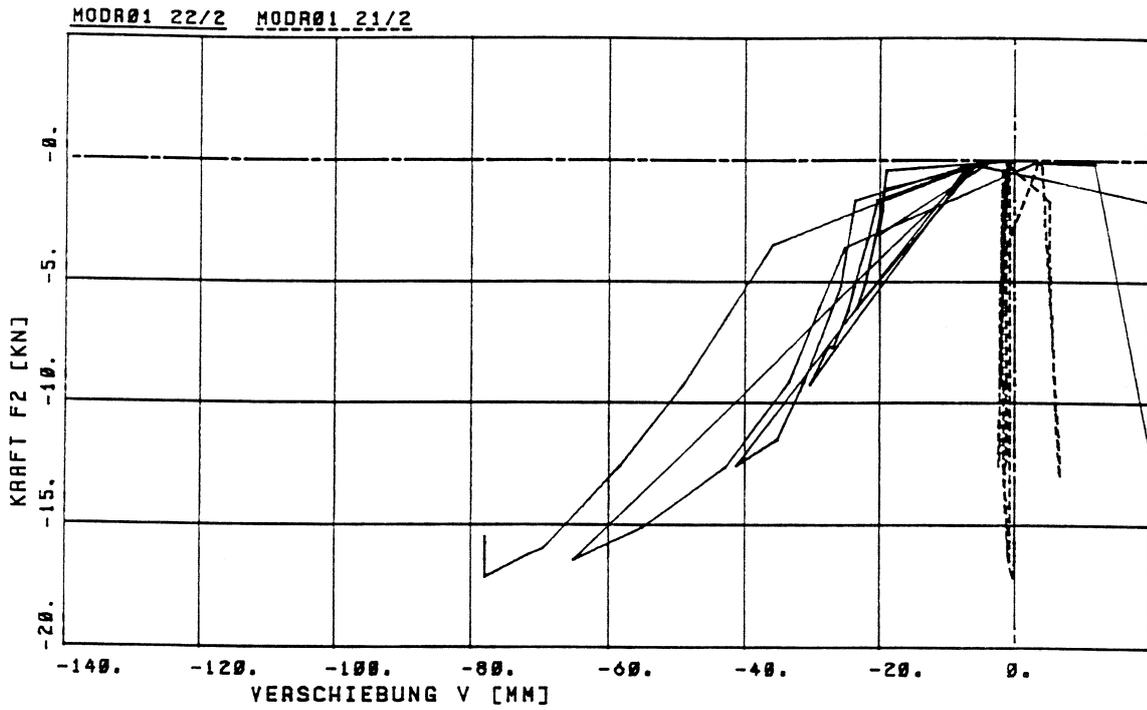


Bild 117. Versuch VR 01: v_{21} , v_{22}

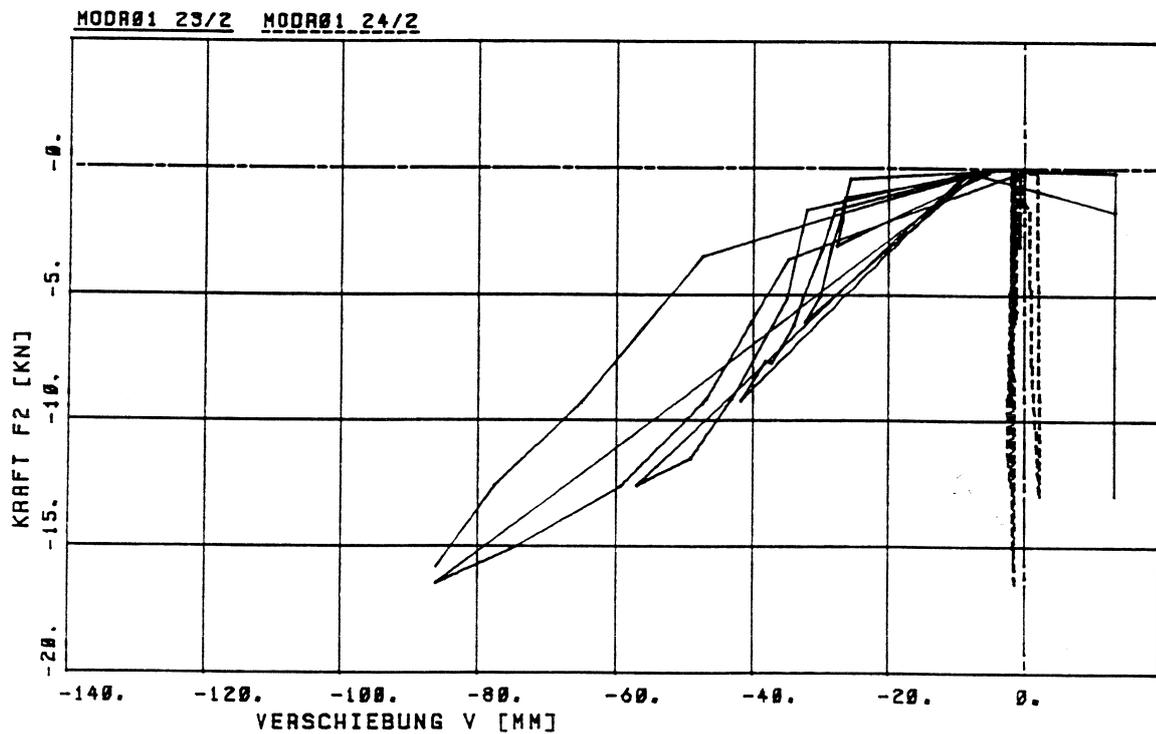
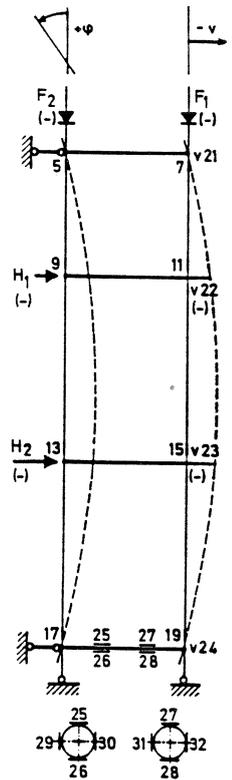


Bild 118. Versuch VR 01: v_{23} , v_{24}

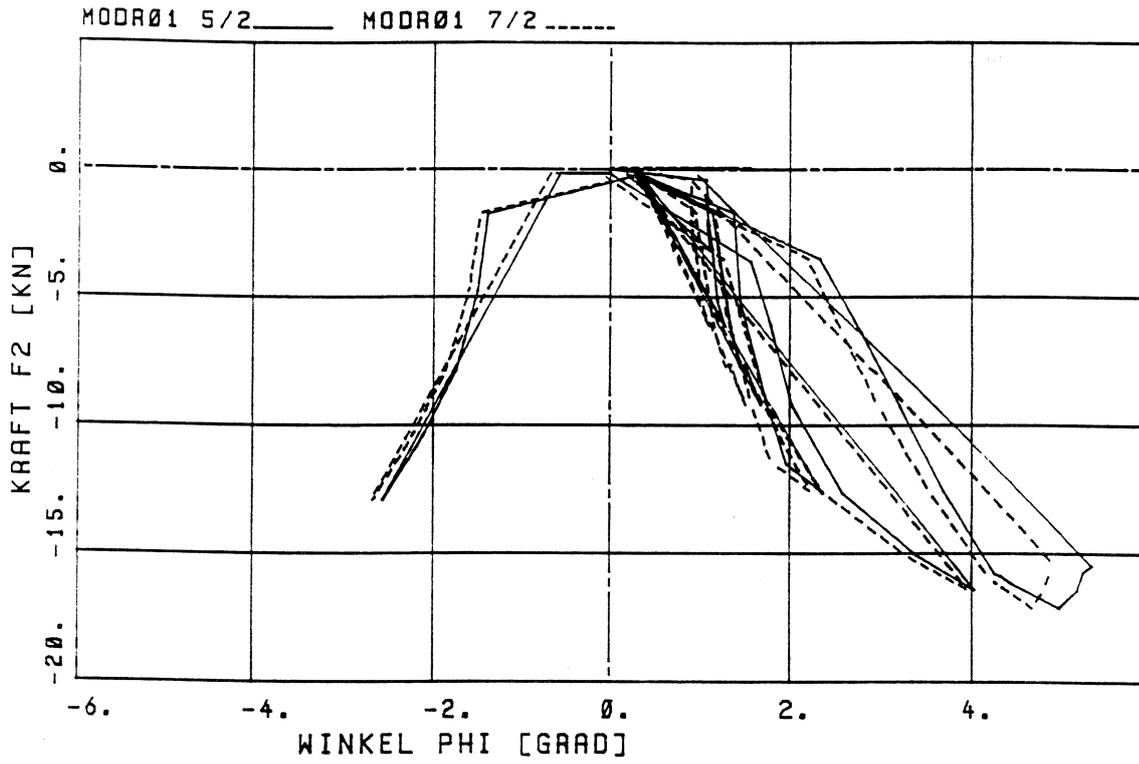


Bild 119. Versuch VR 01: φ_5, φ_7

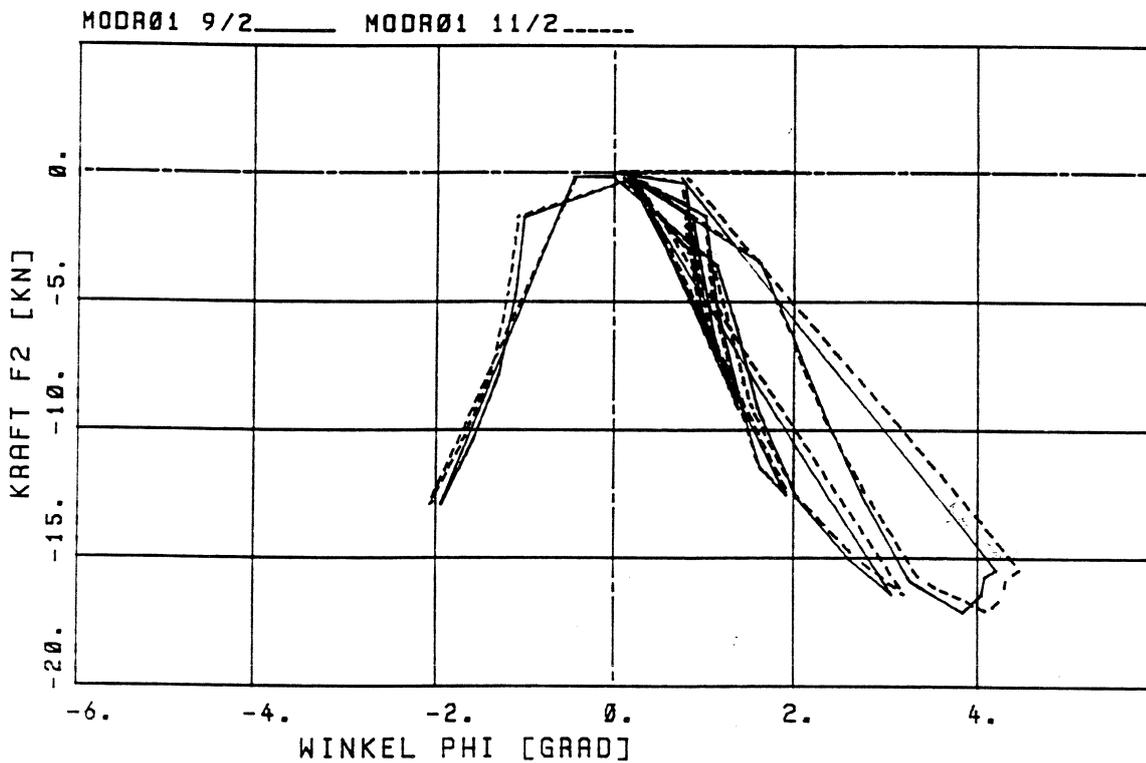
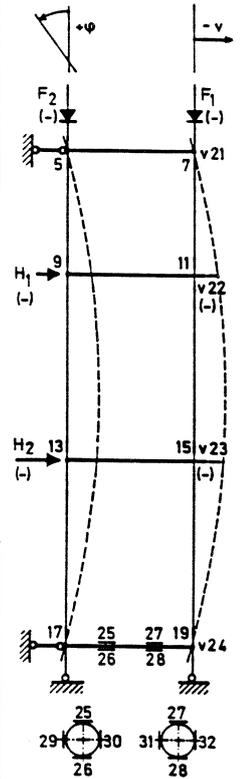


Bild 120. Versuch VR 01: φ_9, φ_{11}

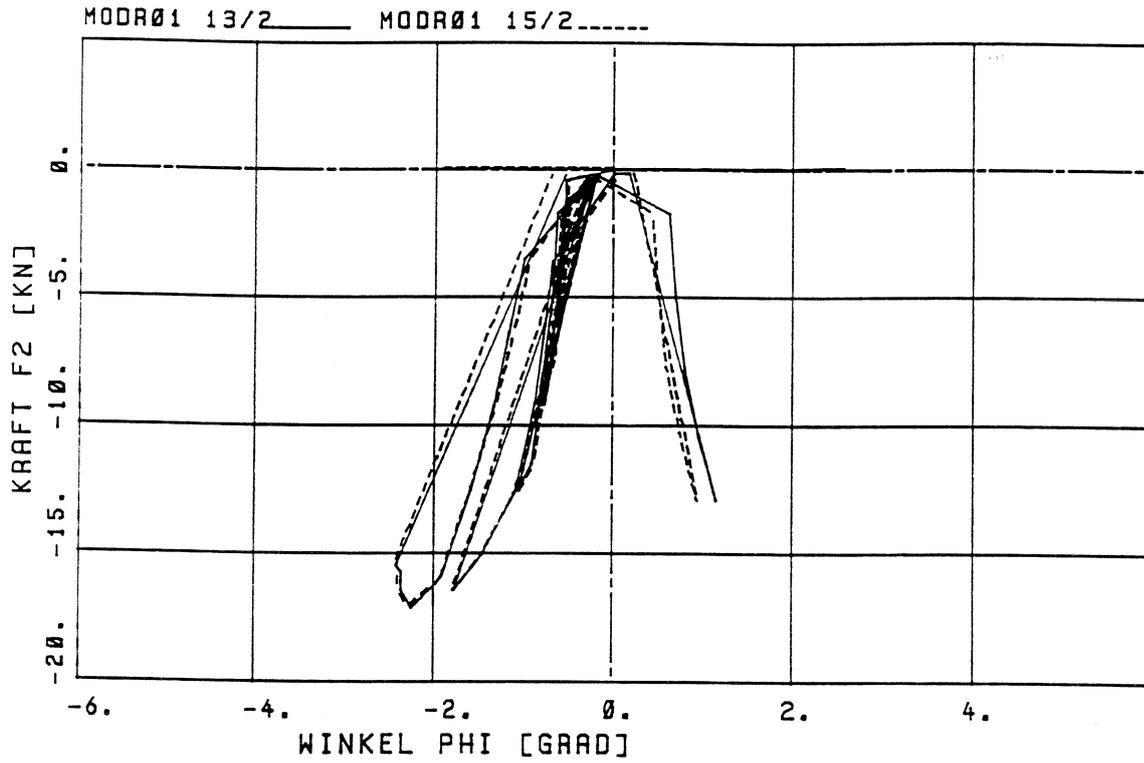


Bild 121. Versuch VR 01: φ_{13} , φ_{15}

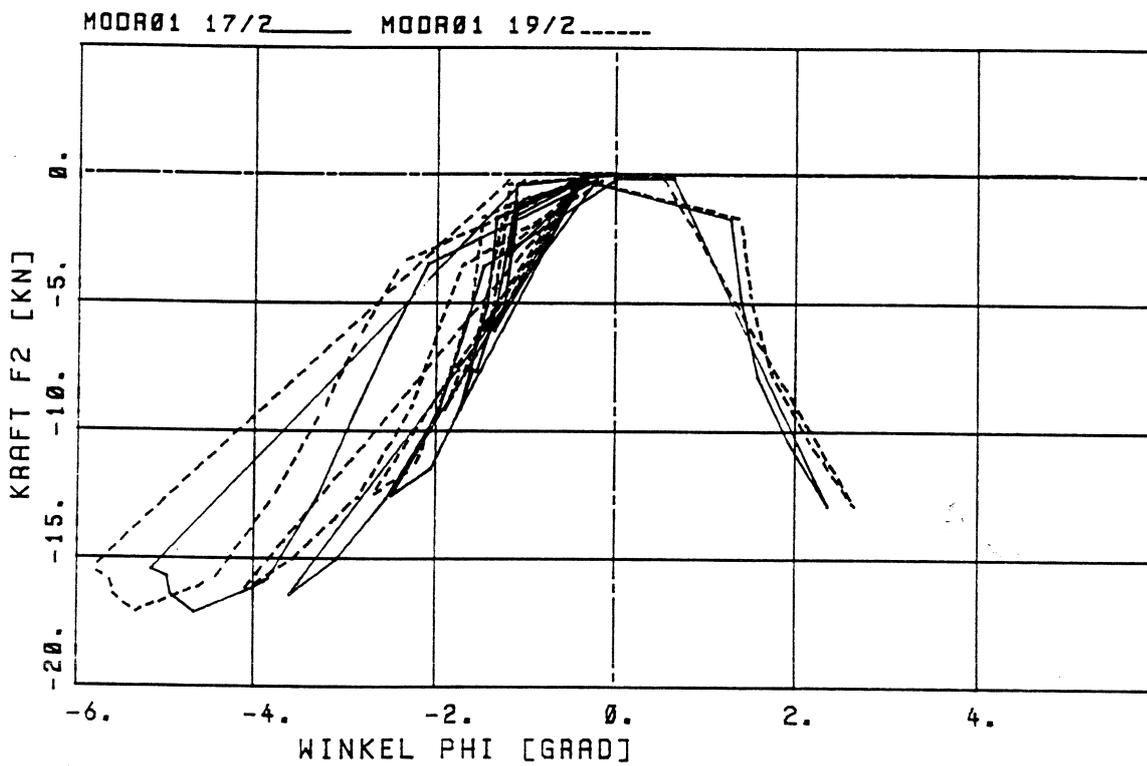
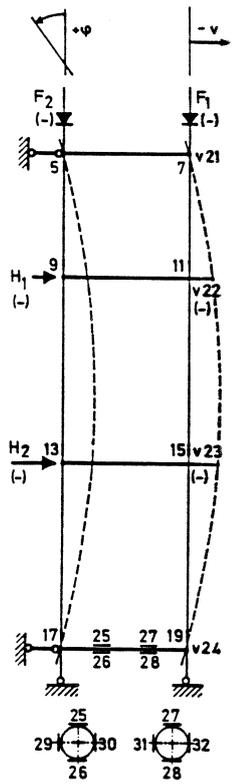


Bild 122. Versuch VR 01: φ_{17} , φ_{19}

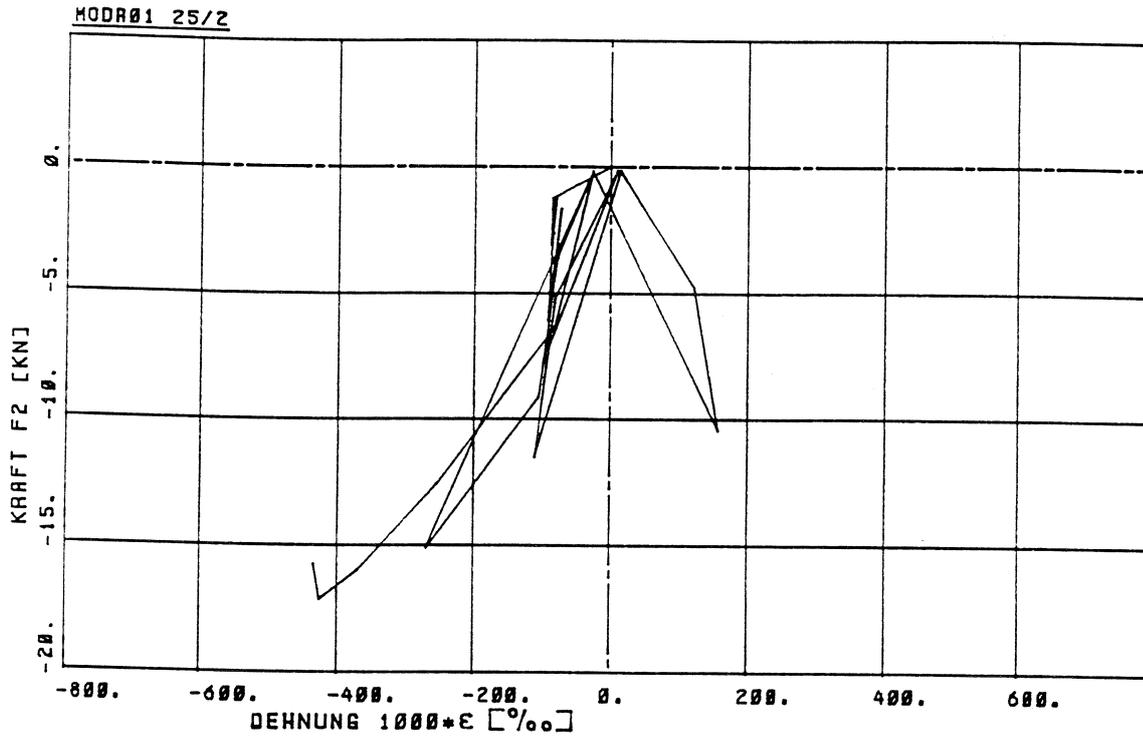


Bild 123. Versuch VR 01: ϵ_{25}

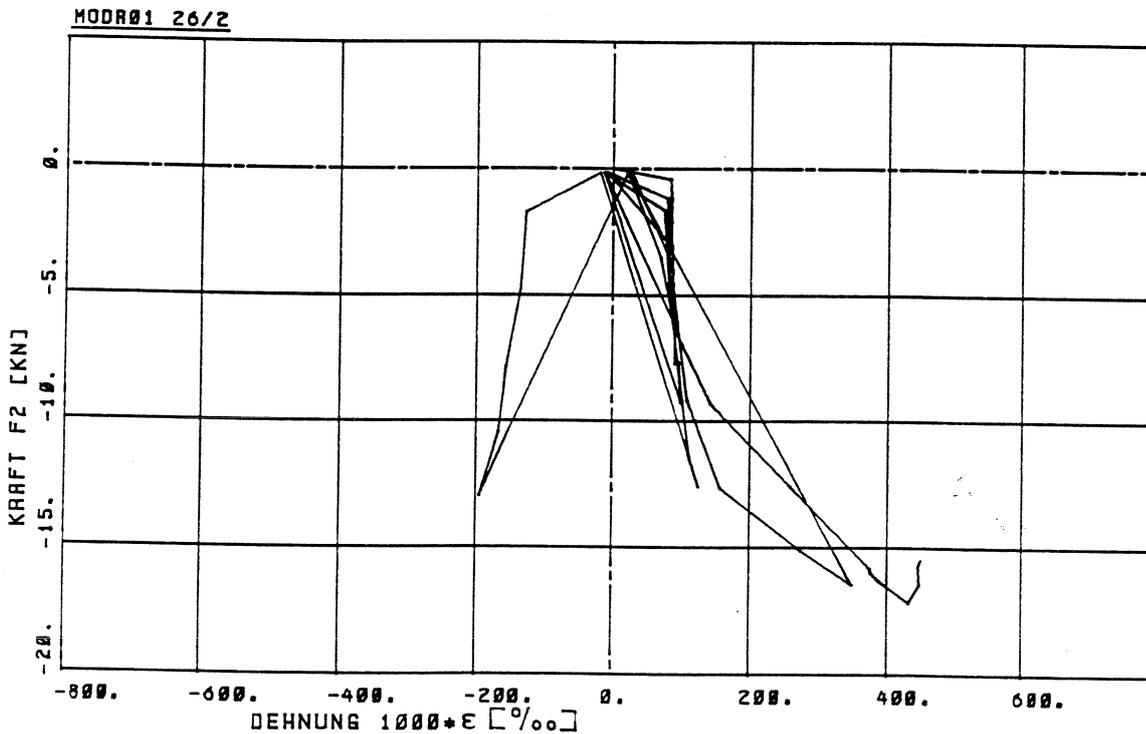
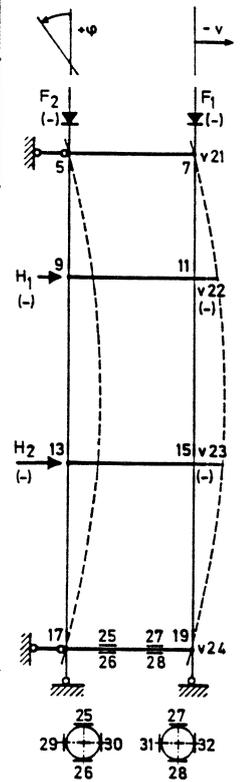


Bild 124. Versuch VR 01: ϵ_{26}

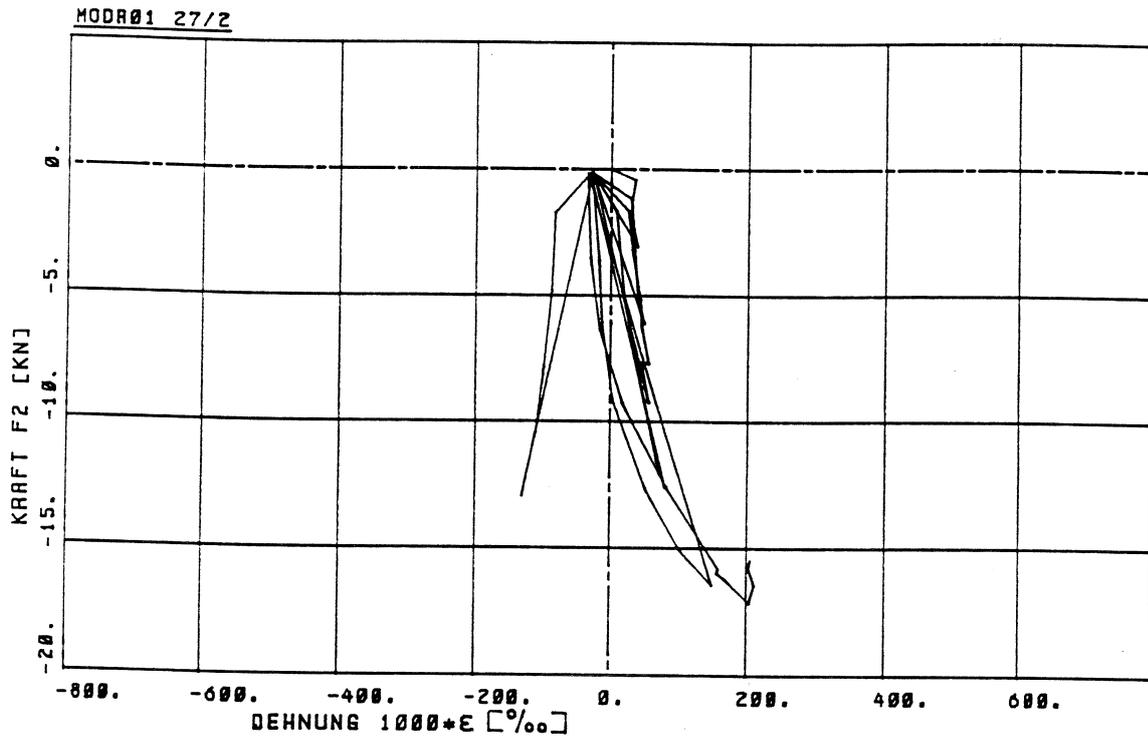


Bild 125. Versuch VR 01: ϵ_{27}

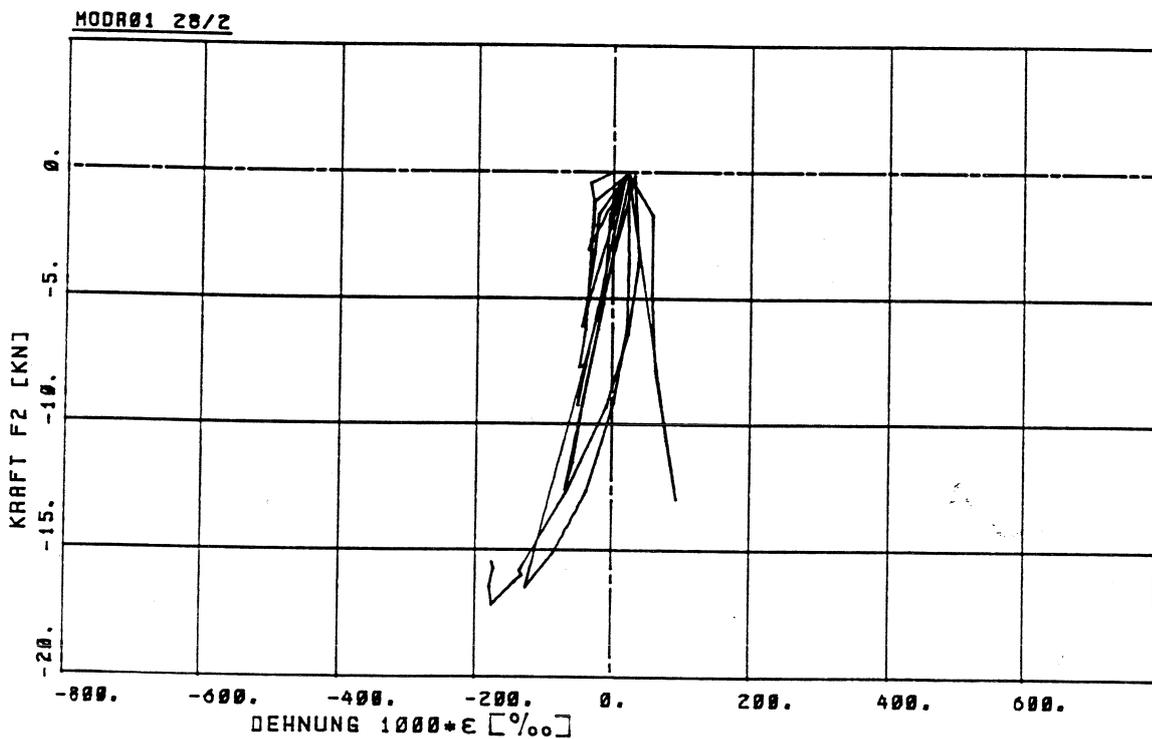
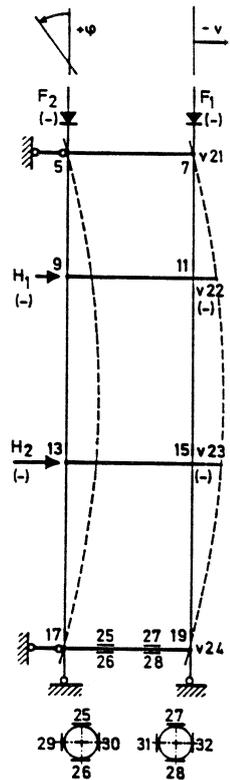


Bild 126. Versuch VR 01: ϵ_{28}



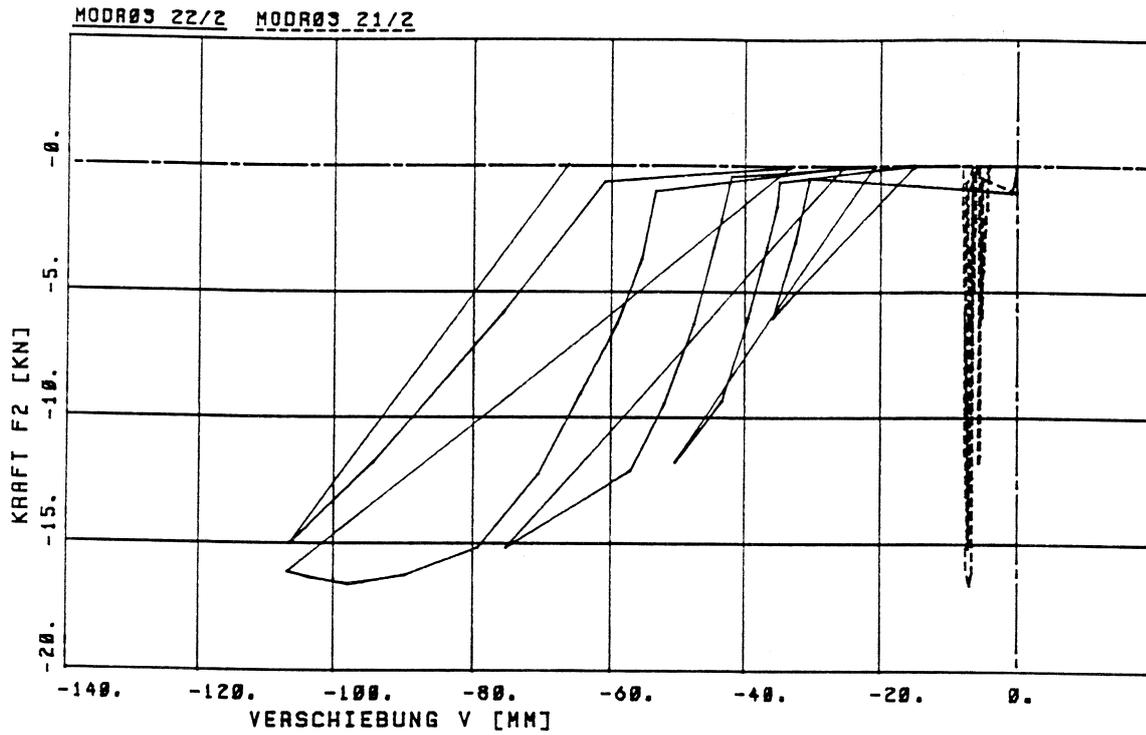


Bild 127. Versuch VR 03: v_{21} , v_{22}

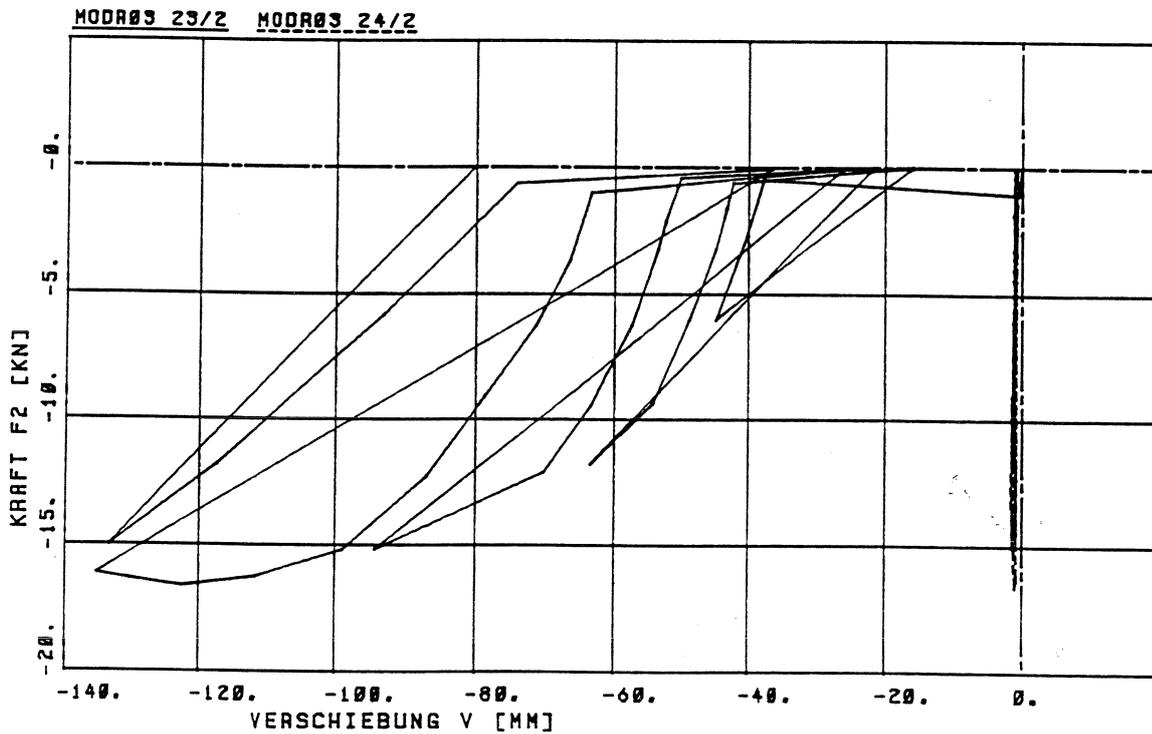
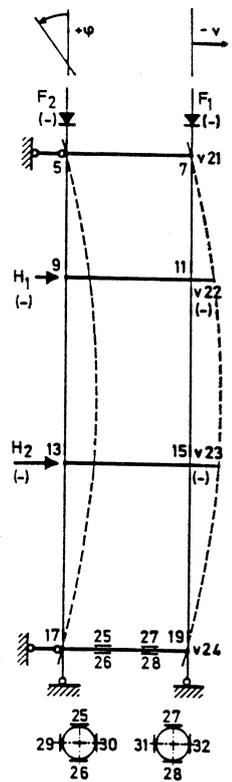


Bild 128. Versuch VR 03: v_{23} , v_{24}



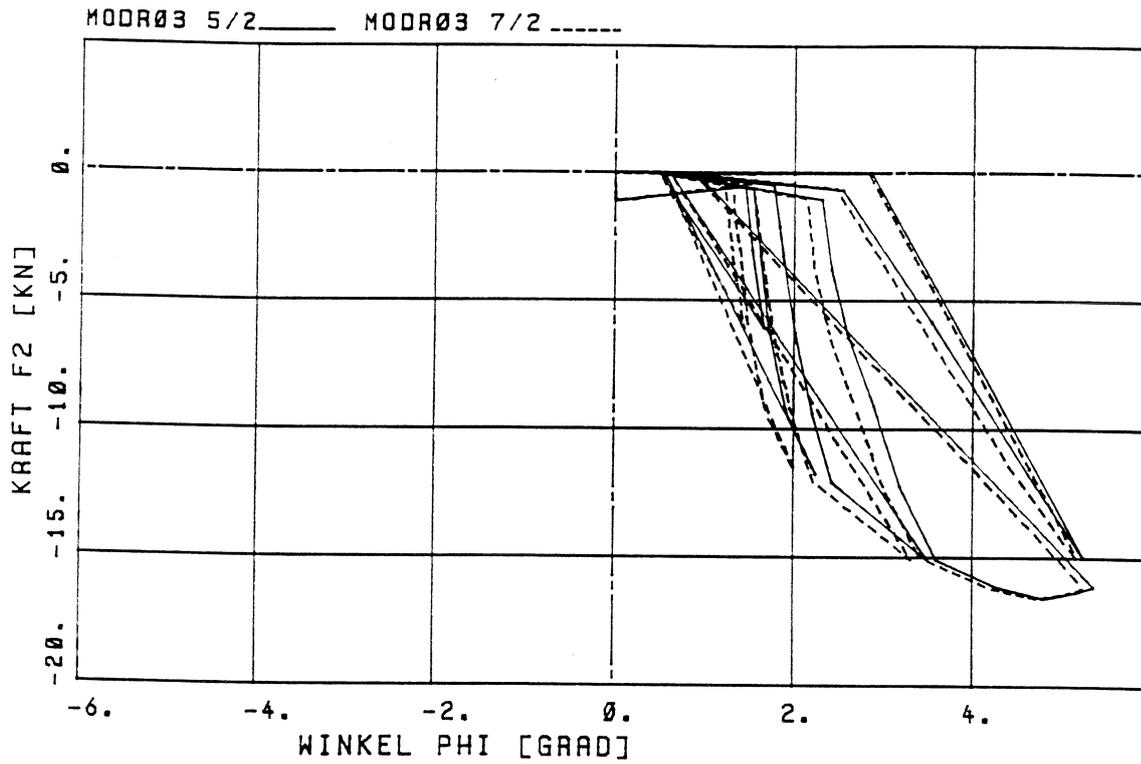


Bild 129. Versuch VR 03: φ_5, φ_7

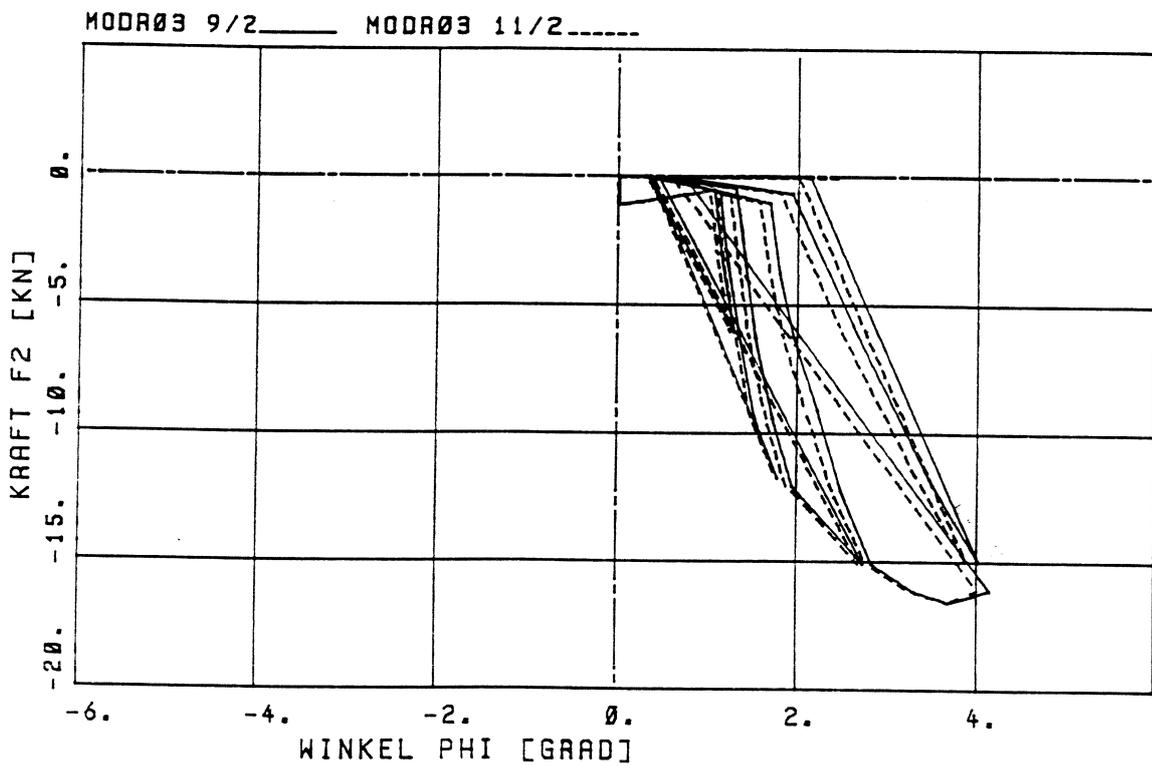
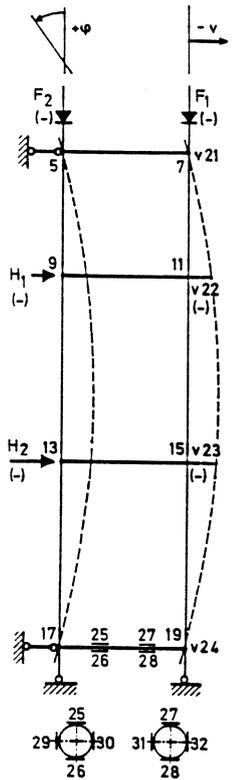


Bild 130. Versuch VR 03: φ_9, φ_{11}

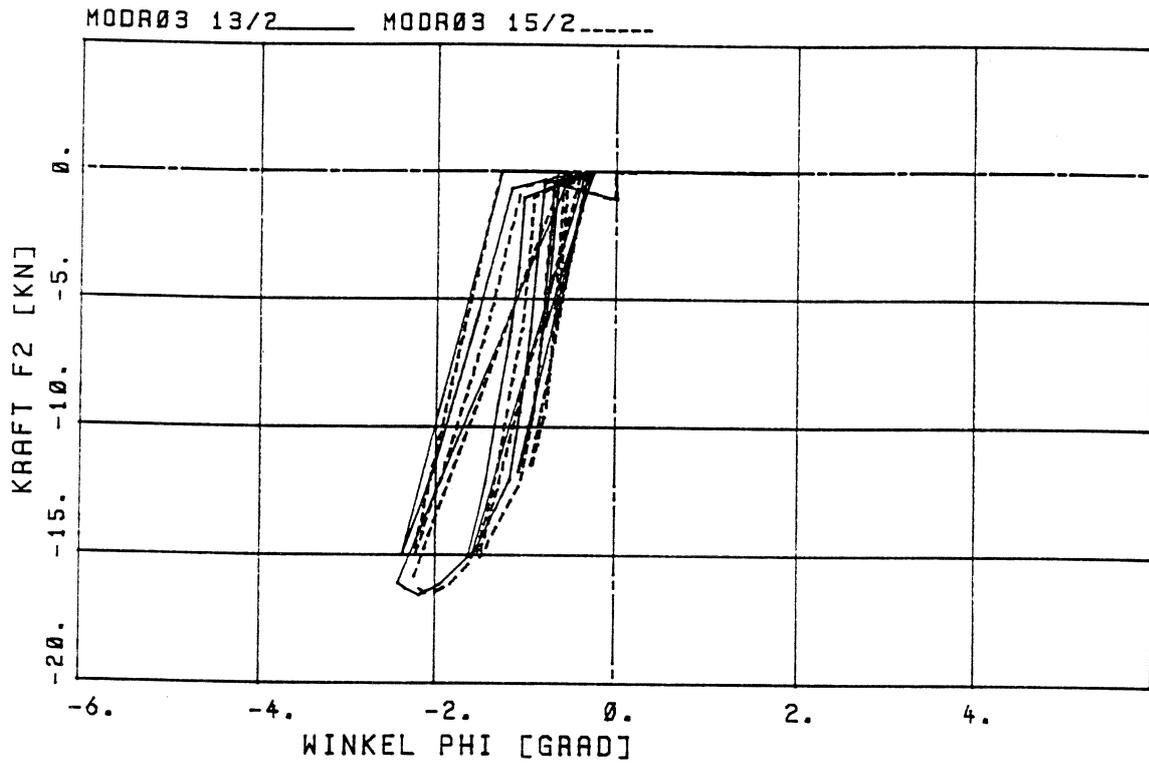


Bild 131. Versuch VR 03: φ_{13} , φ_{15}

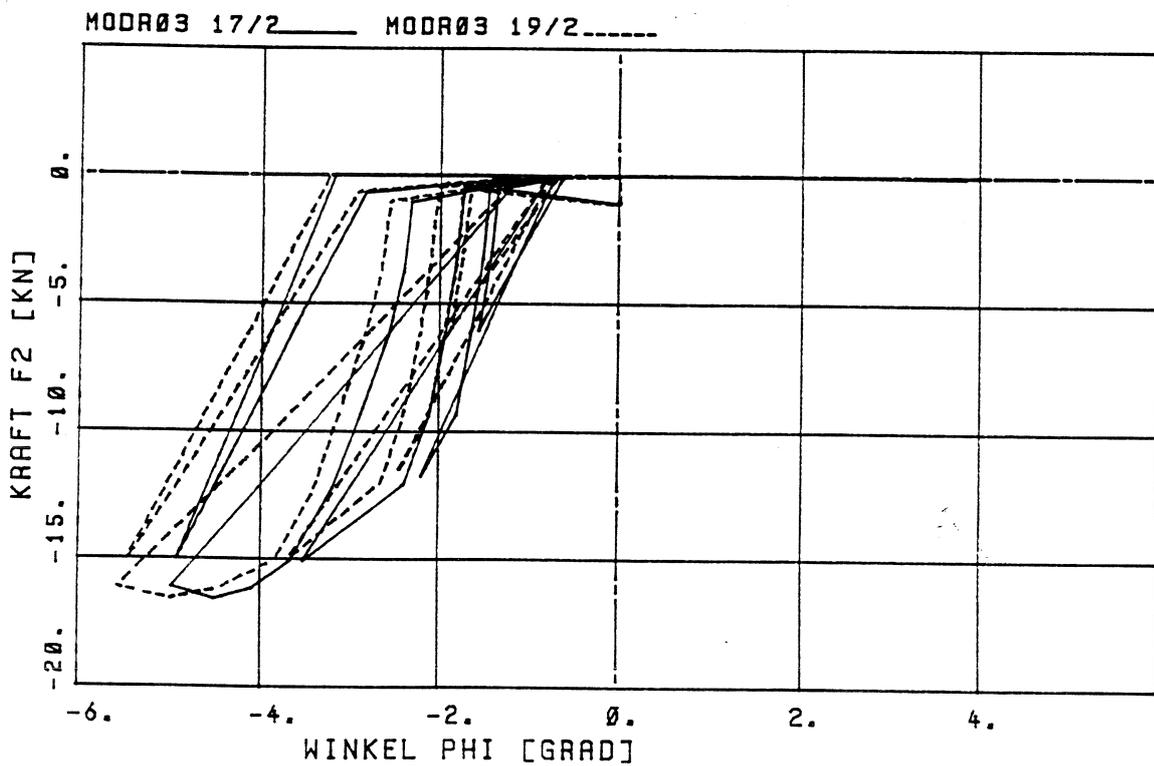
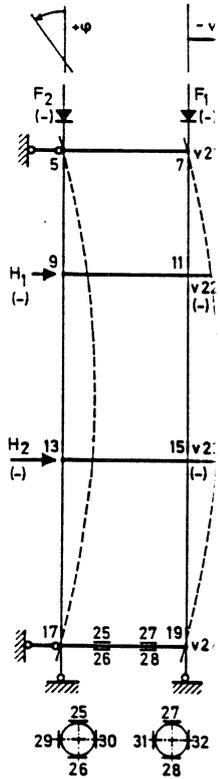


Bild 132. Versuch VR 03: φ_{17} , φ_{19}



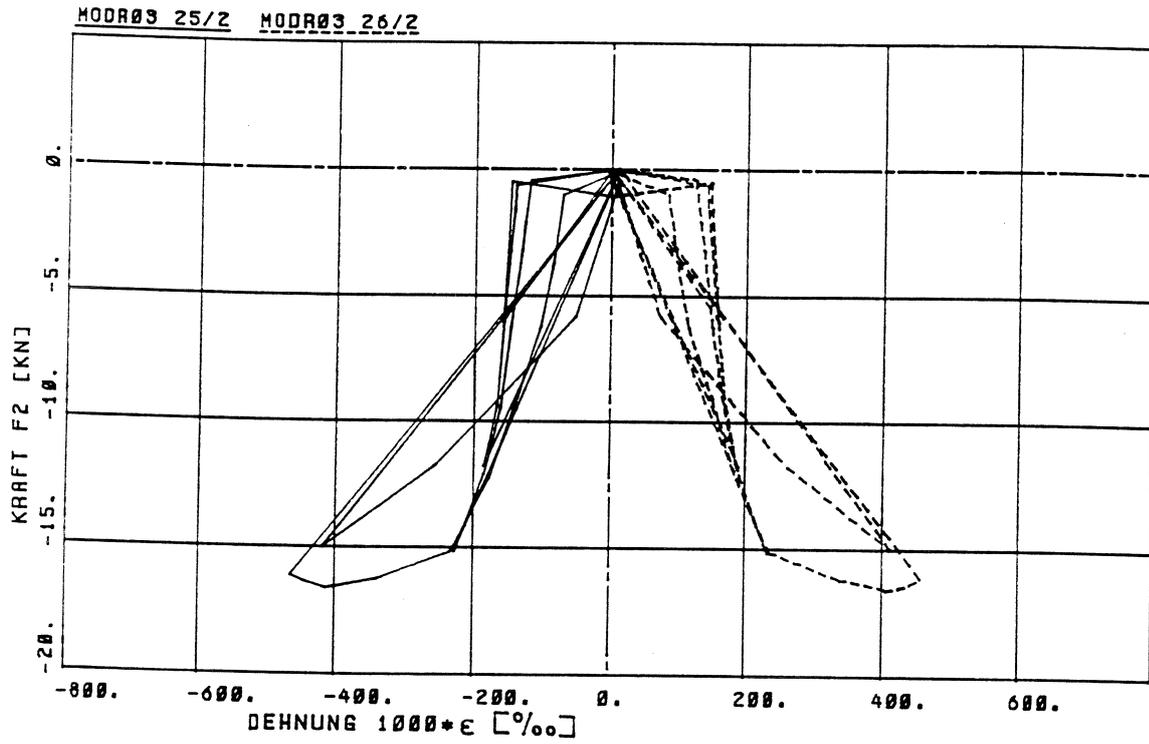


Bild 133. Versuch VR 03: ϵ_{25} , ϵ_{26}

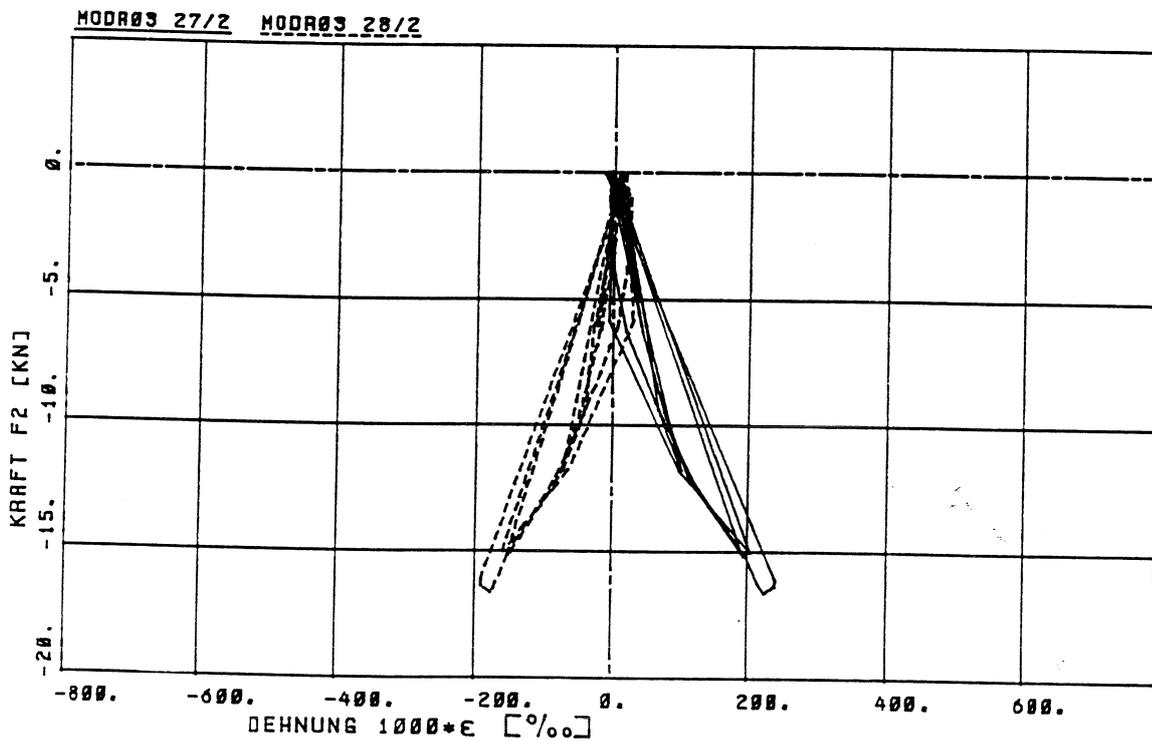
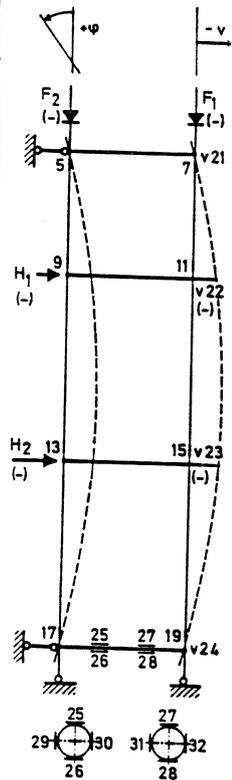


Bild 134. Versuch VR 03: ϵ_{27} , ϵ_{28}



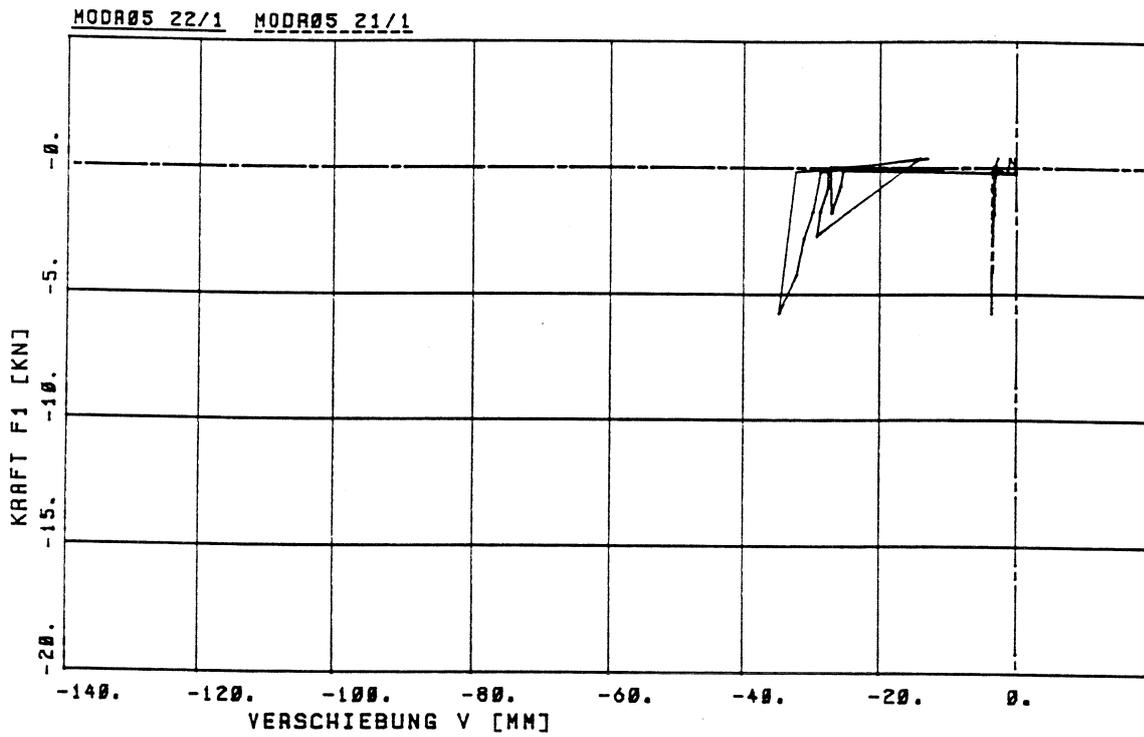


Bild 135. Versuch VR 05: v_{21} , v_{22}

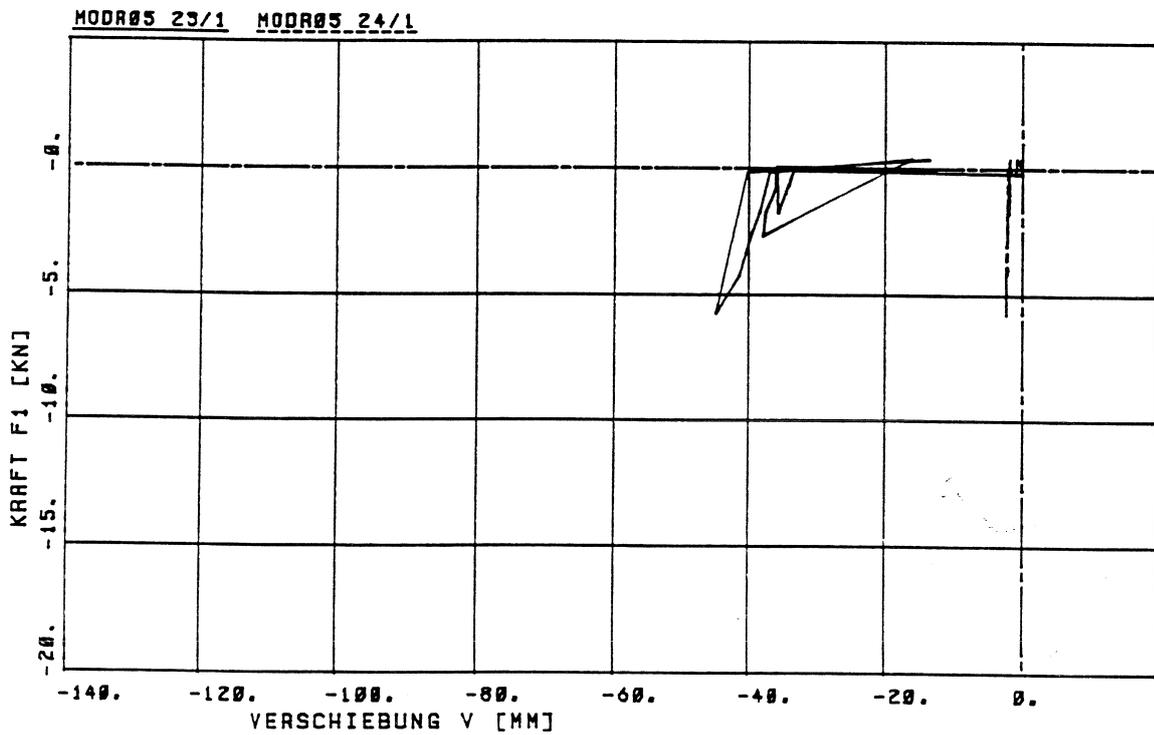
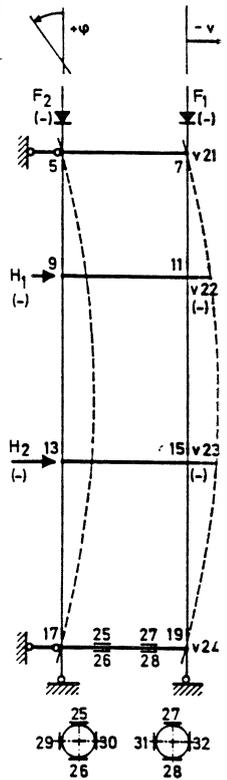


Bild 136. Versuch VR 05: v_{23} , v_{24}

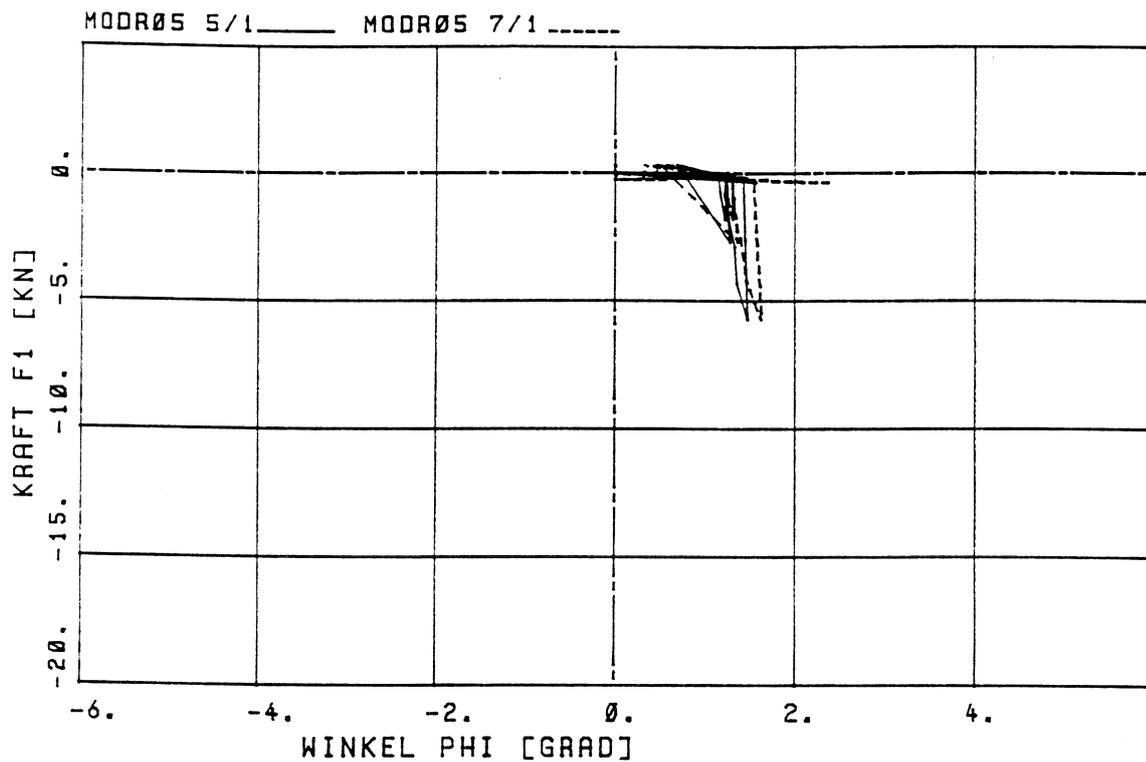


Bild 137. Versuch VR 05: φ_5, φ_7

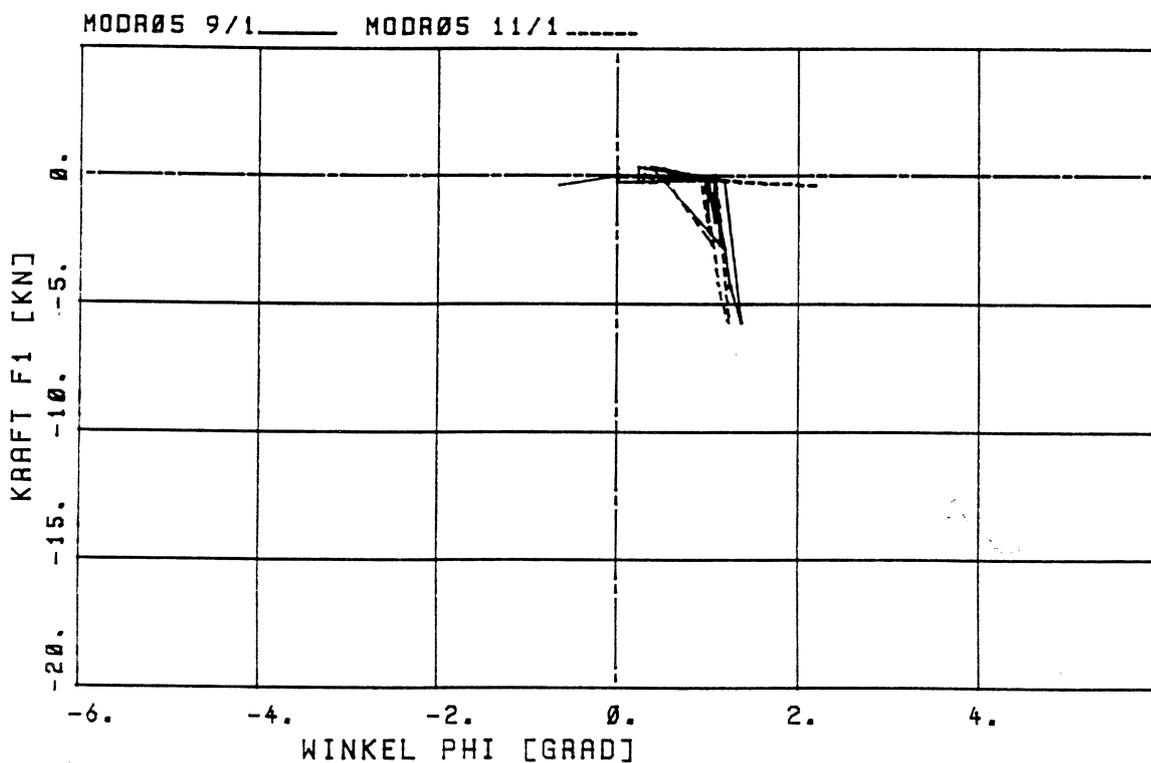
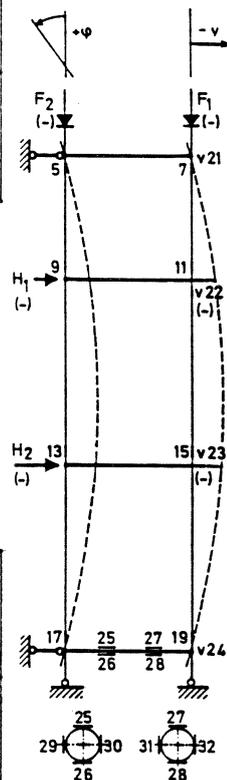


Bild 138. Versuch VR 05: φ_9, φ_{11}

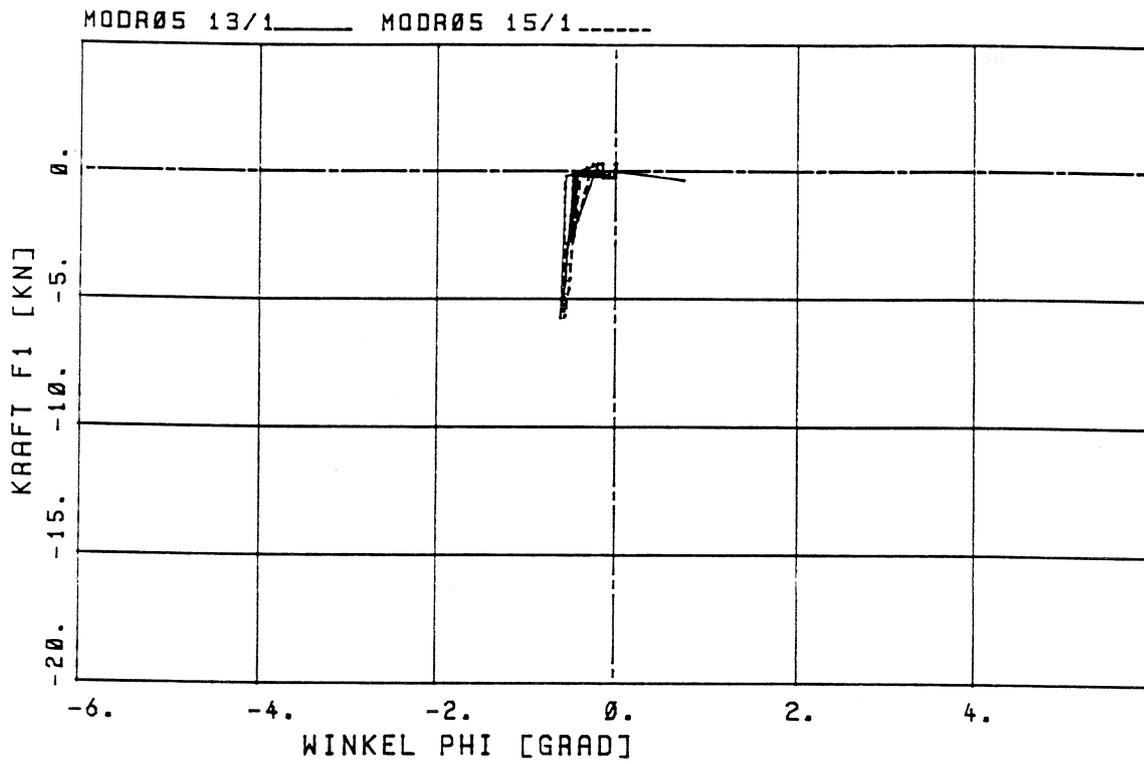


Bild 139. Versuch VR 05: φ_{13} , φ_{15}

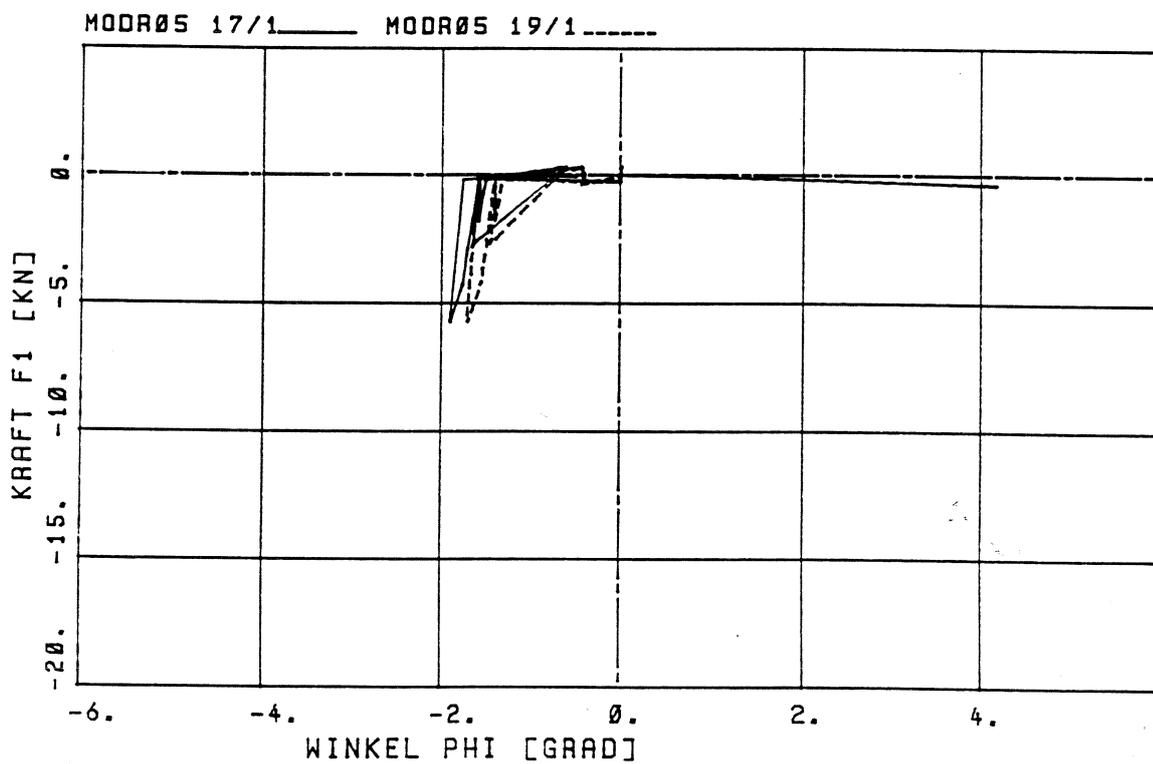
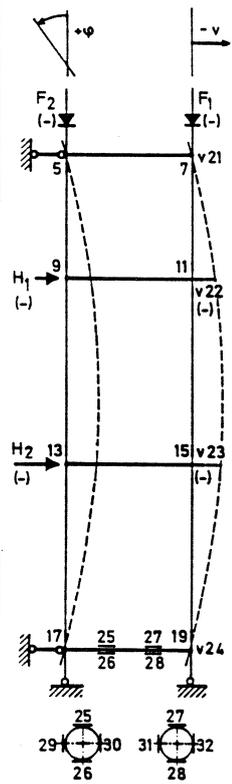


Bild 140. Versuch VR 05: φ_{17} , φ_{19}



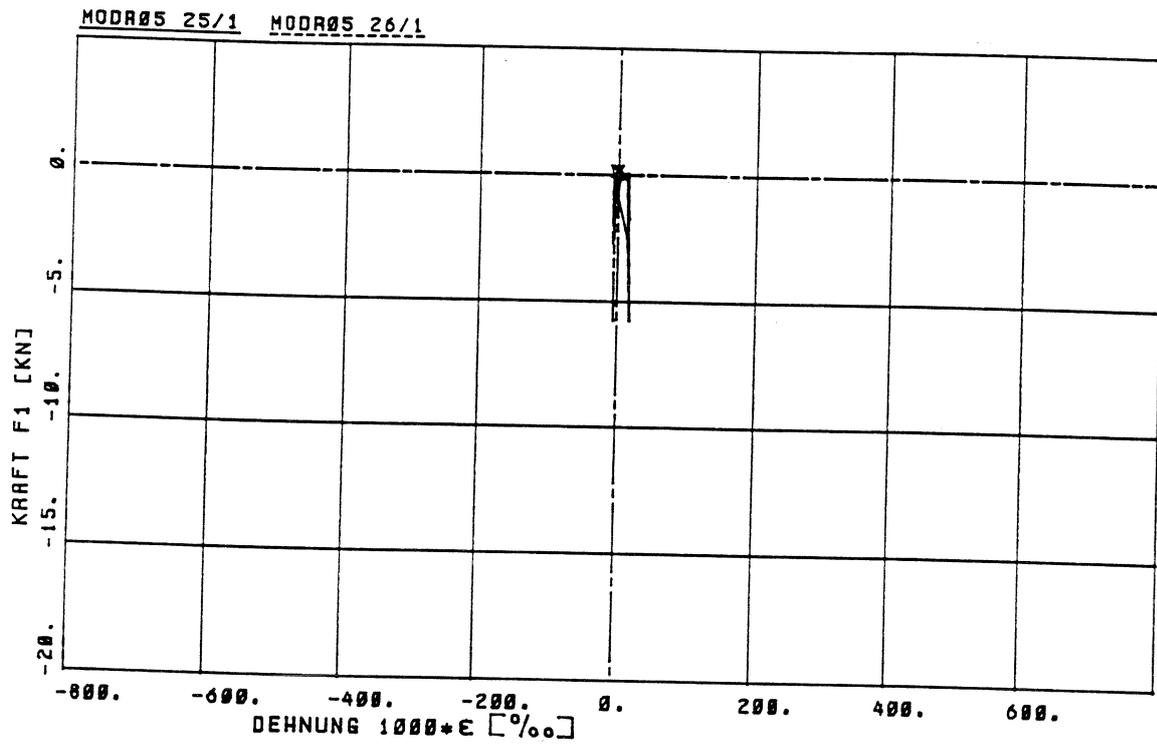


Bild 141. Versuch VR 05: ϵ_{25} , ϵ_{26}

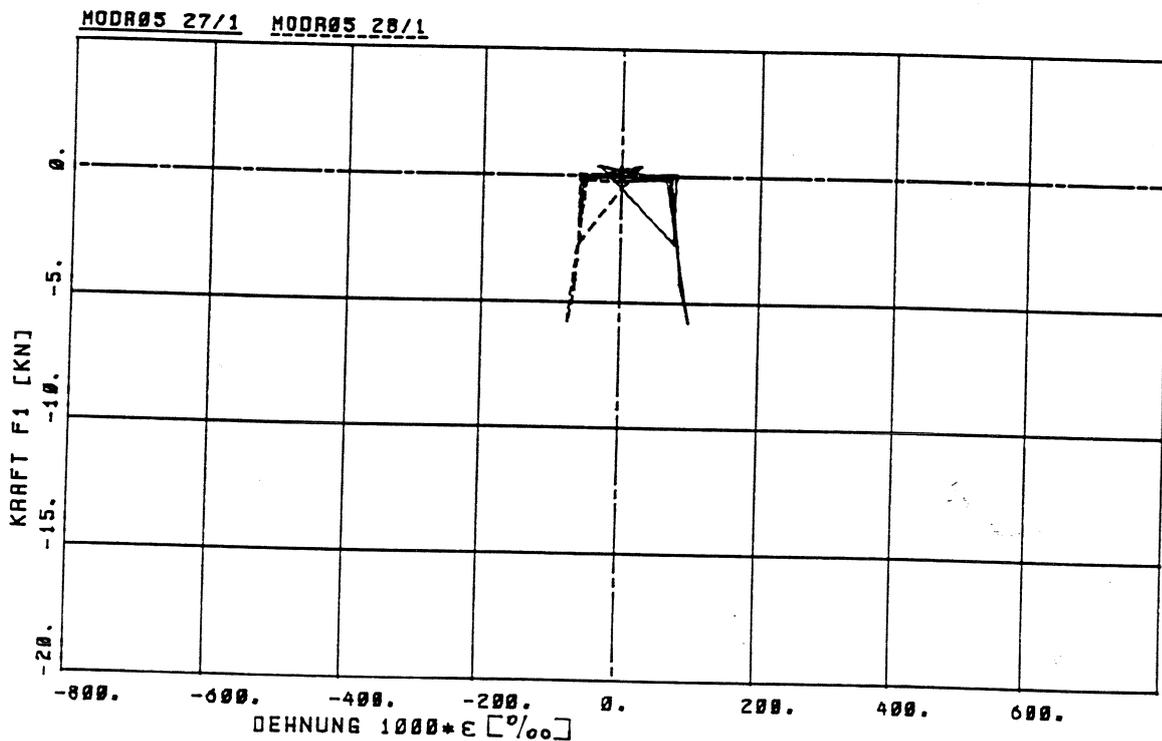
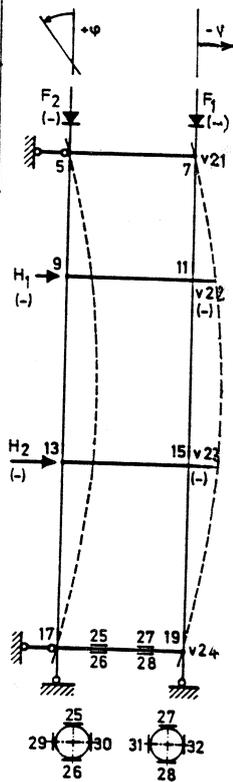


Bild 142. Versuch VR 05: ϵ_{27} , ϵ_{28}



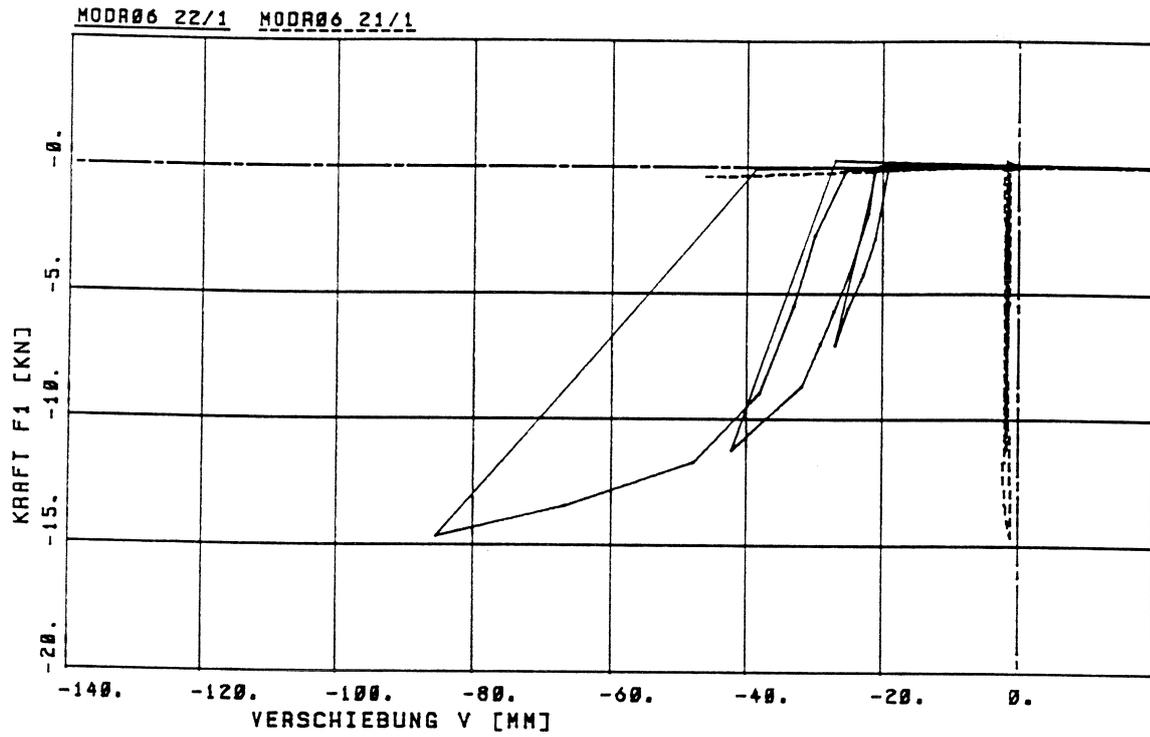


Bild 143. Versuch VR 05: v_{21} , v_{22}

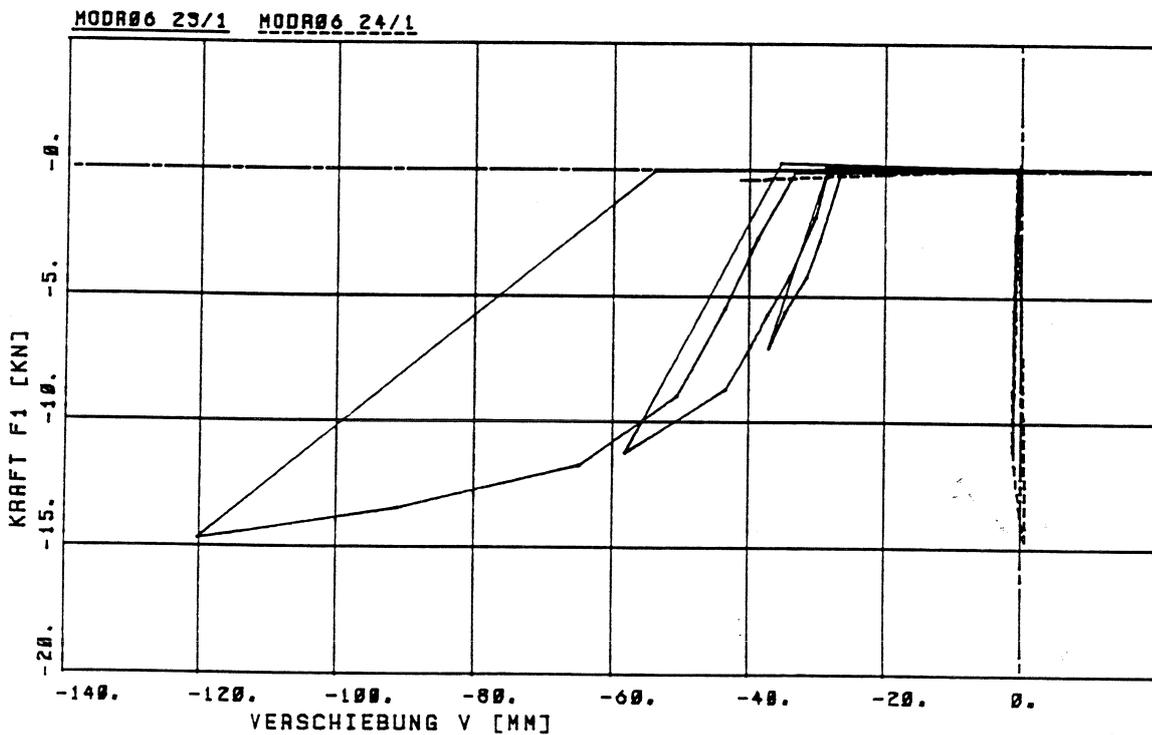
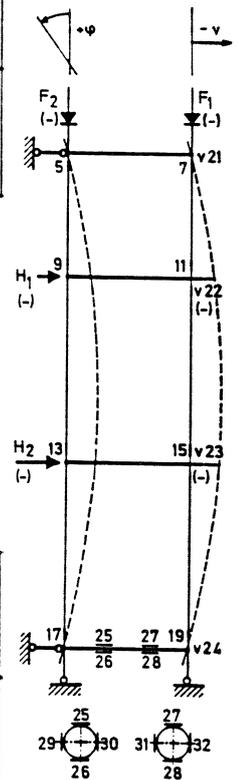


Bild 144. Versuch VR 05: v_{23} , v_{24}

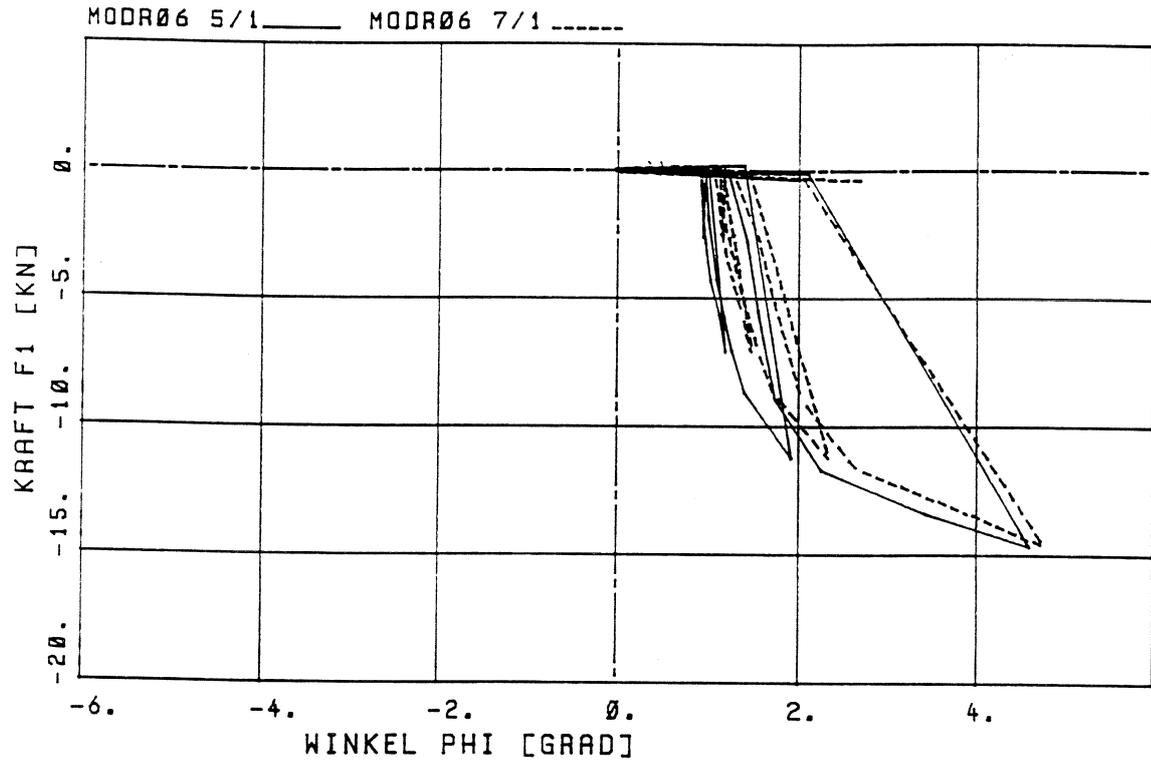


Bild 145. Versuch VR 06: φ_5, φ_7

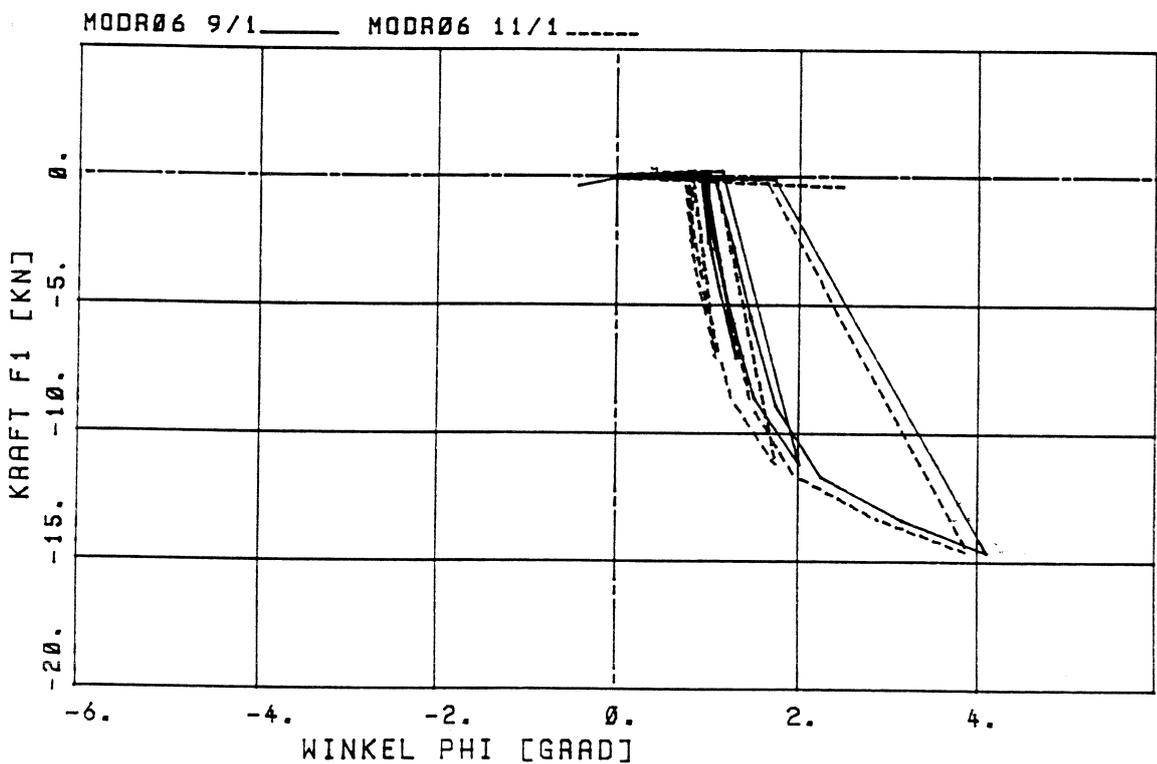
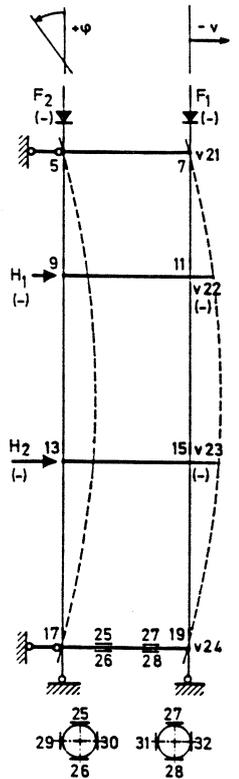


Bild 146. Versuch VR 06: φ_9, φ_{11}

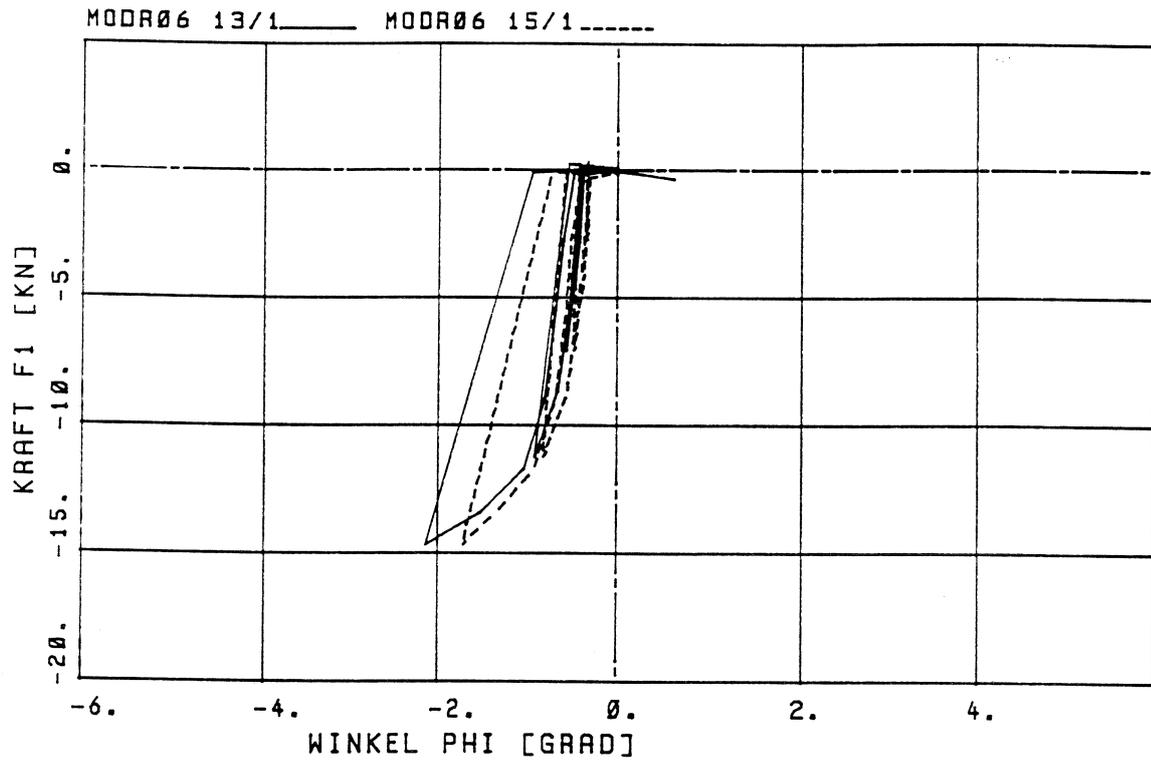


Bild 147. Versuch VR 06: φ_{13} , φ_{15}

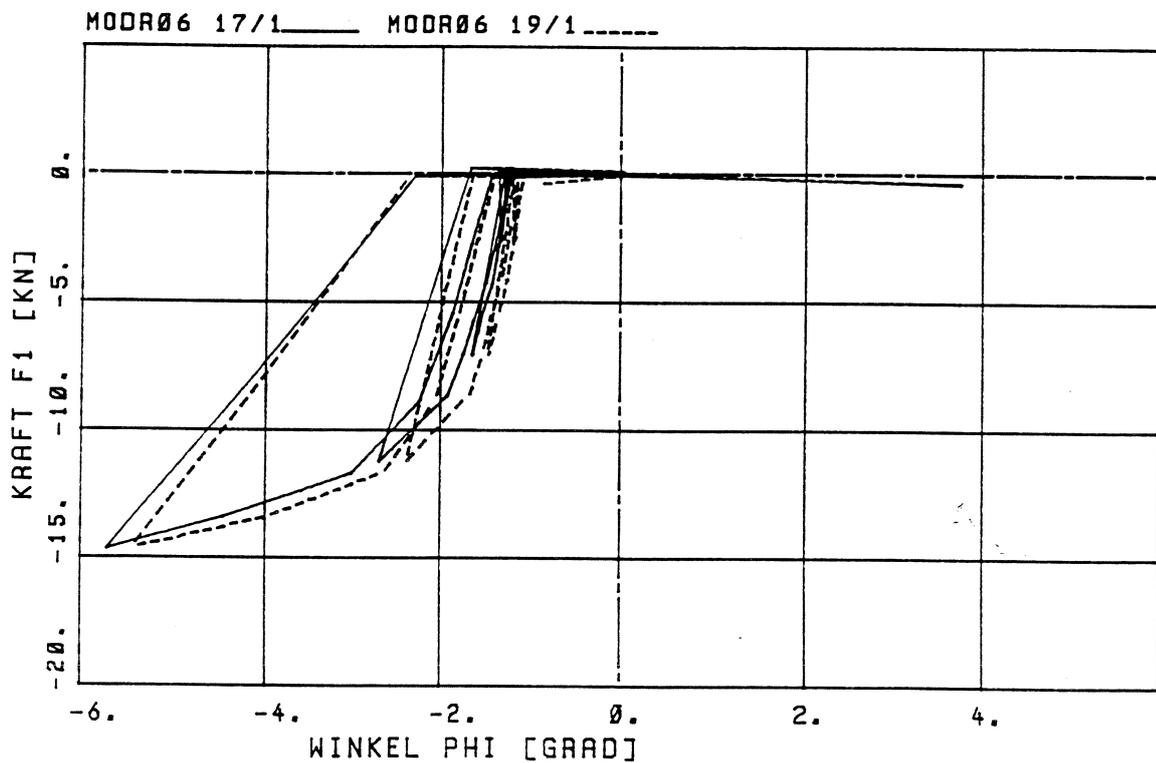
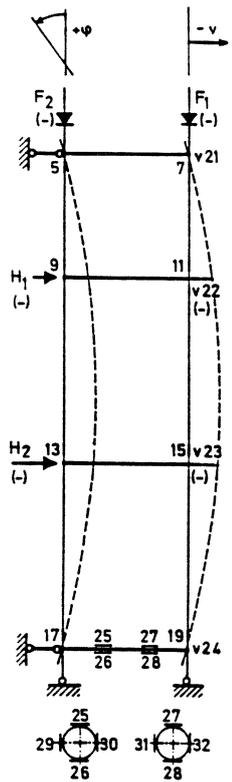


Bild 148. Versuch VR 06: φ_{17} , φ_{19}

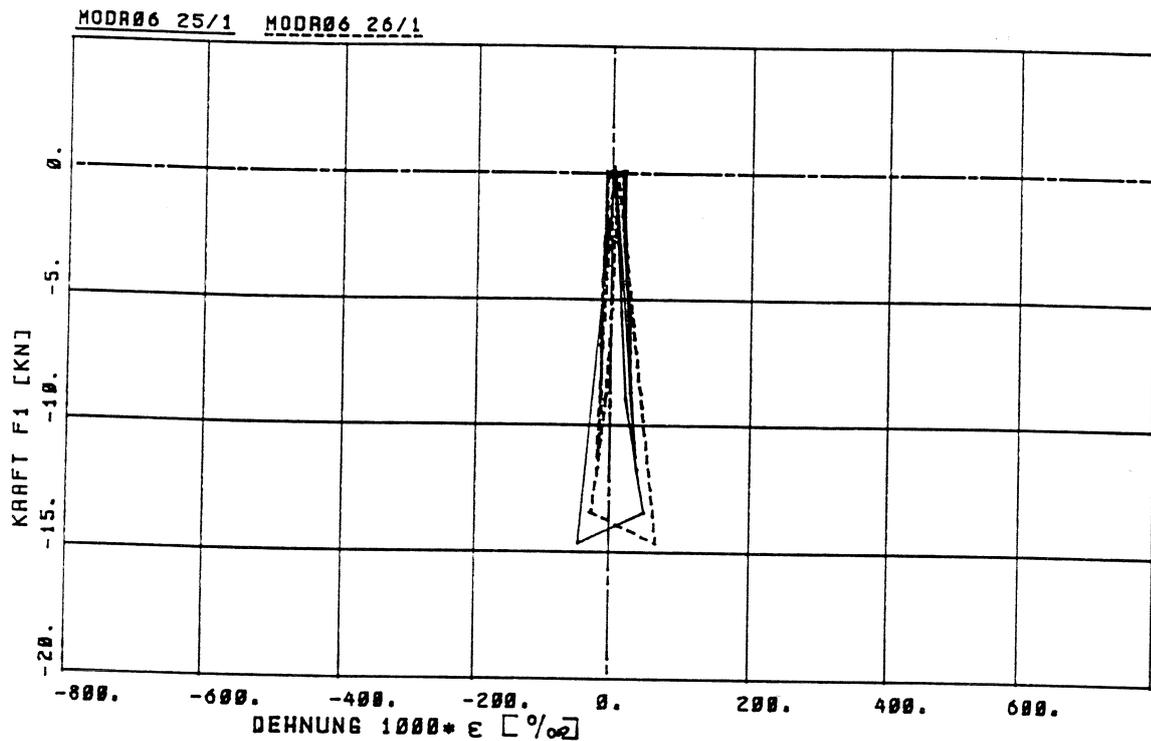


Bild 149. Versuch VR 06: ϵ_{25} , ϵ_{26}

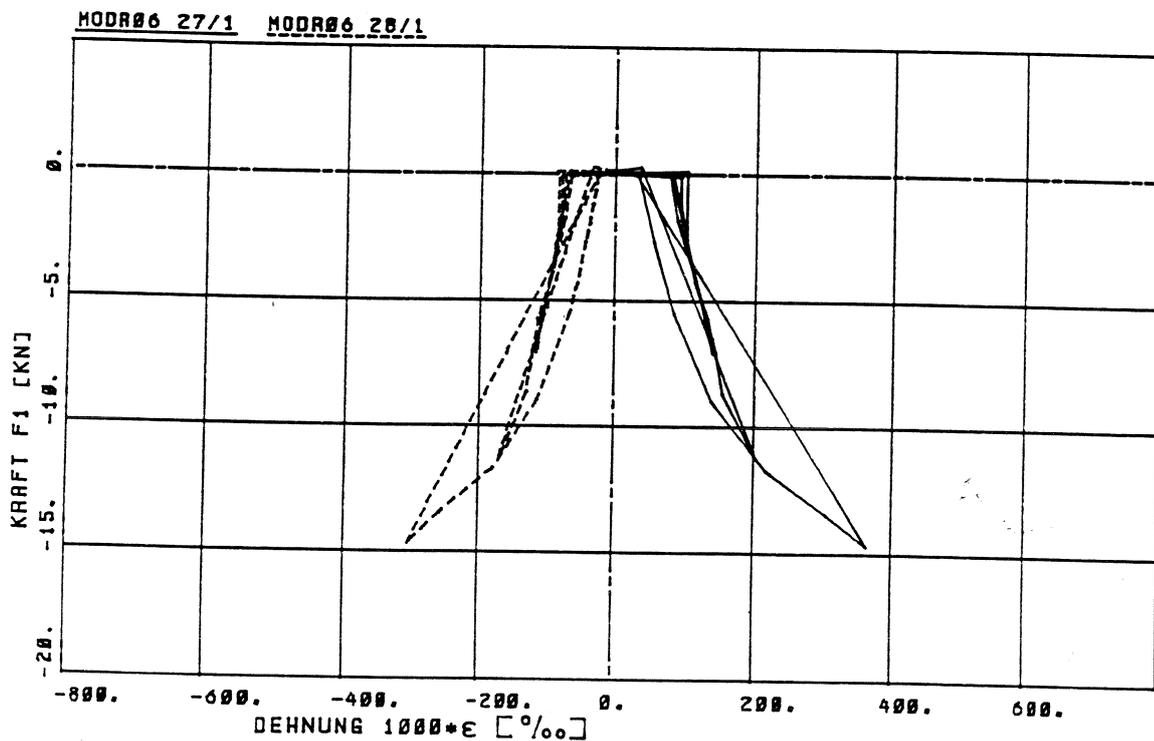
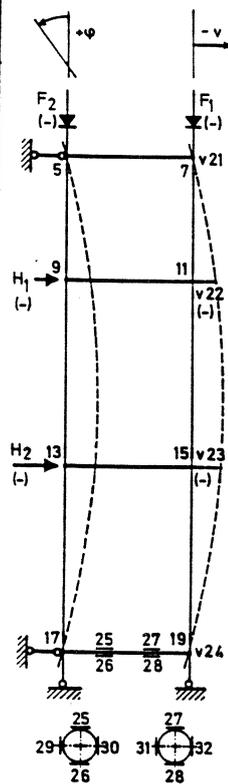


Bild 150. Versuch VR 06: ϵ_{27} , ϵ_{28}

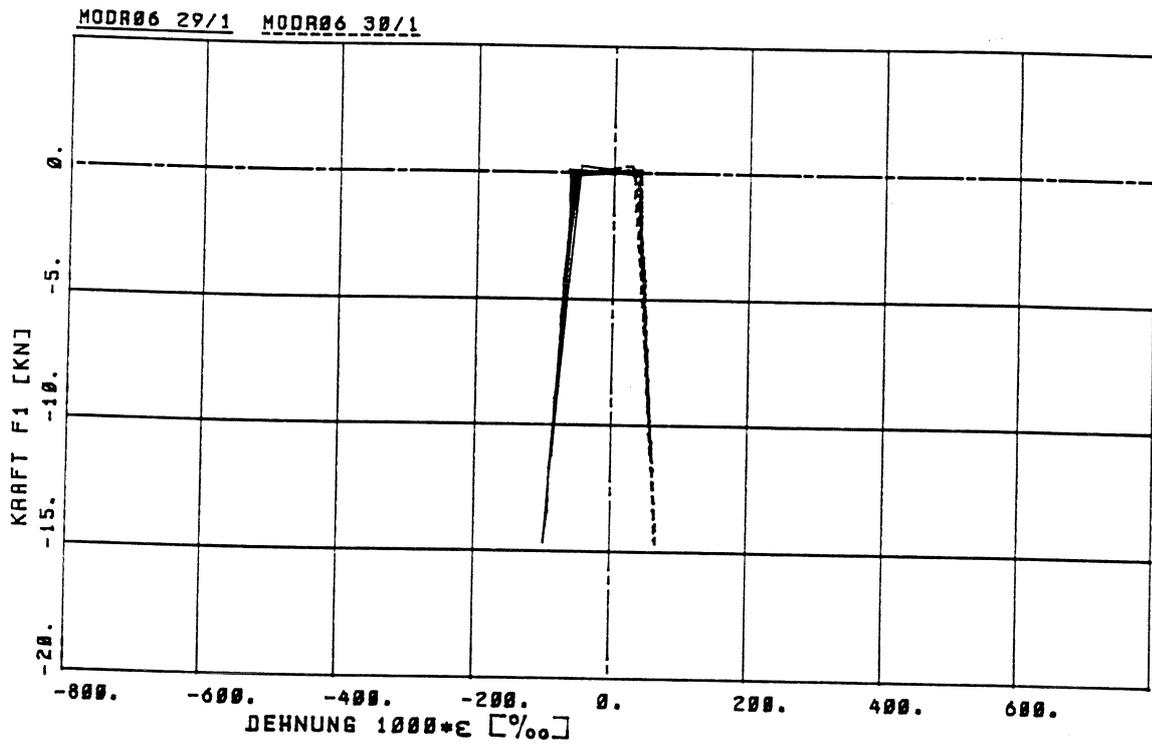


Bild 151. Versuch VR 06: ϵ_{29} , ϵ_{30}

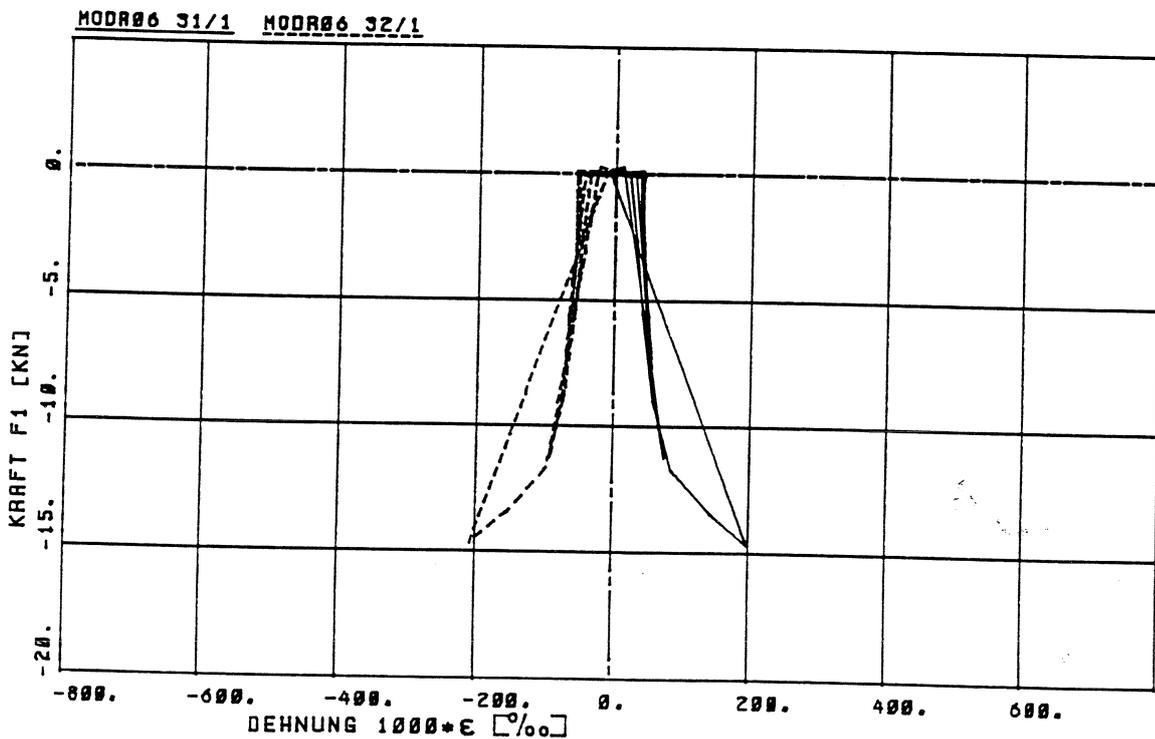
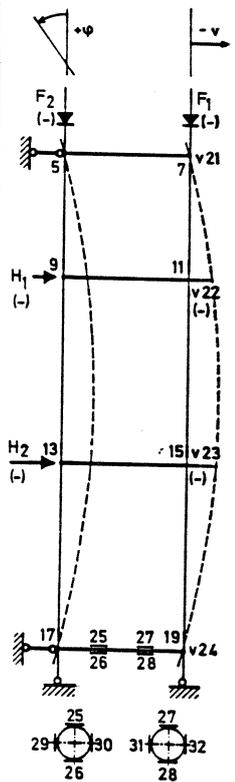


Bild 152. Versuch VR 06: ϵ_{31} , ϵ_{32}

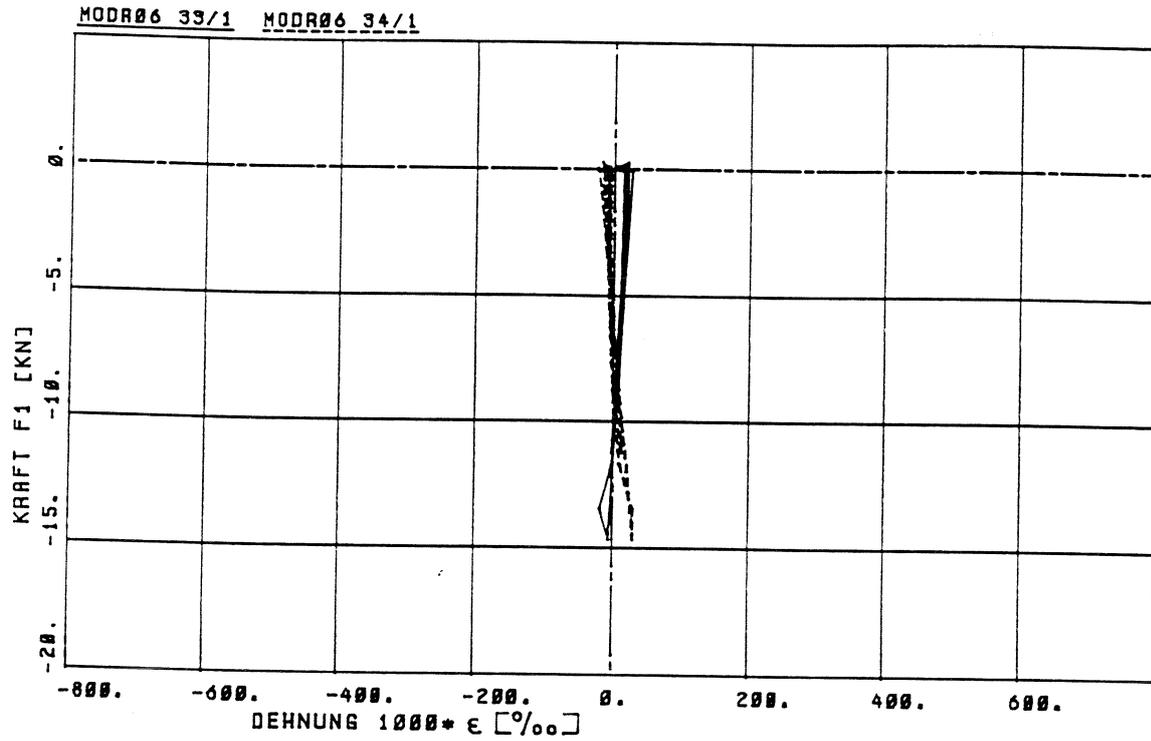


Bild 153. Versuch VR 06: ϵ_{33} , ϵ_{34}

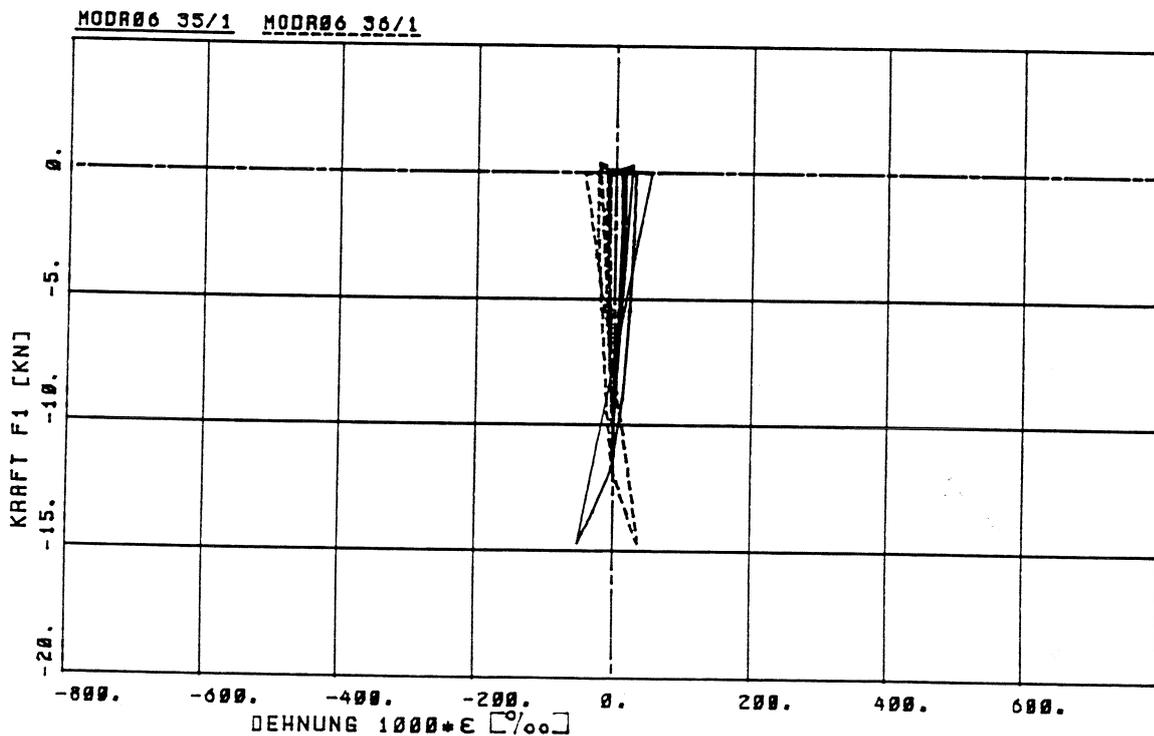
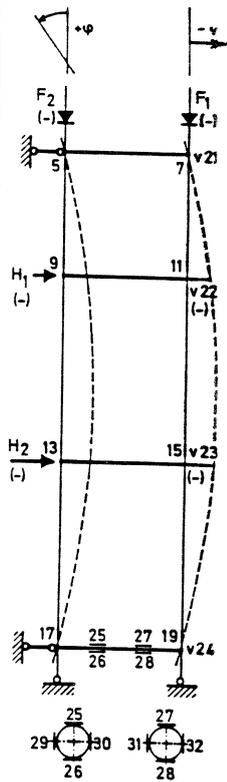


Bild 154. Versuch VR 06: ϵ_{35} , ϵ_{36}



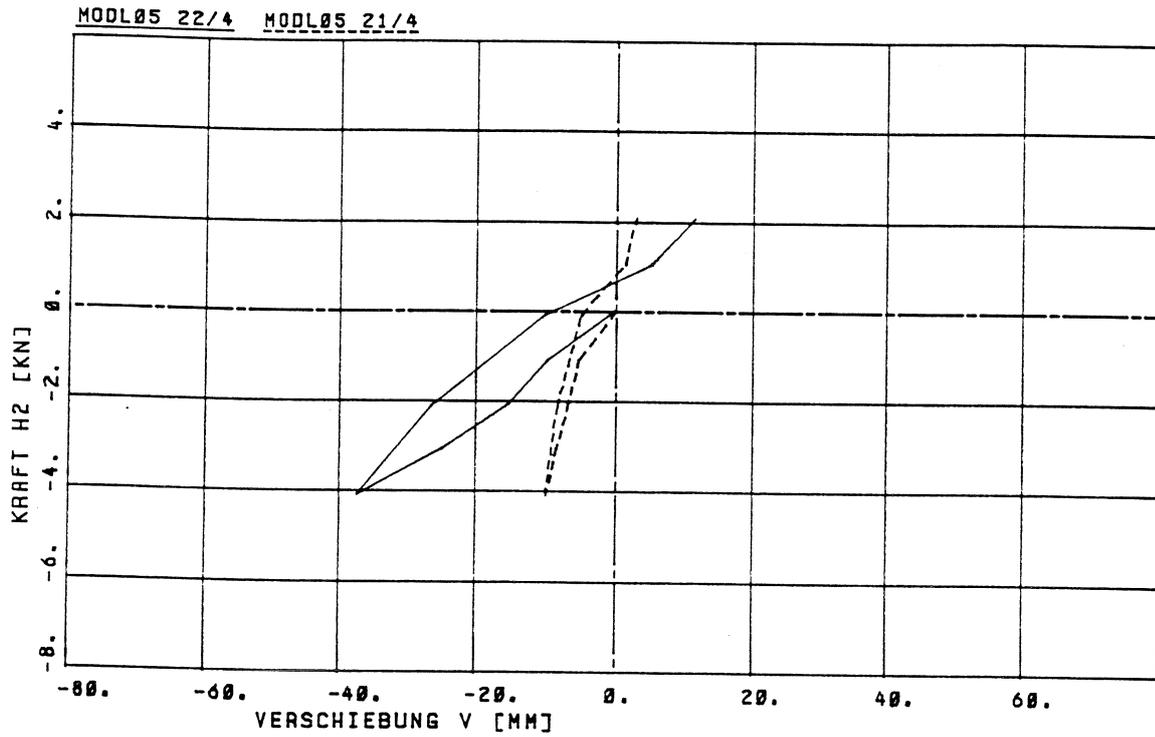


Bild 155. Versuch VR 05: v_{21} , v_{22}

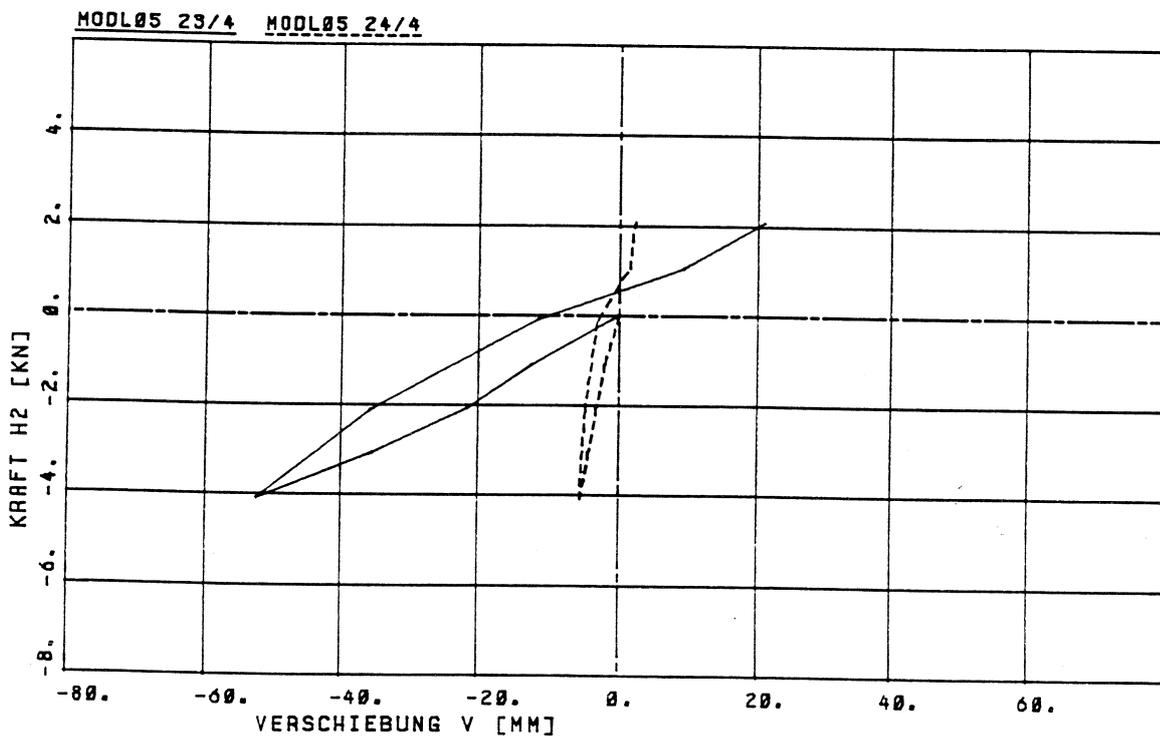
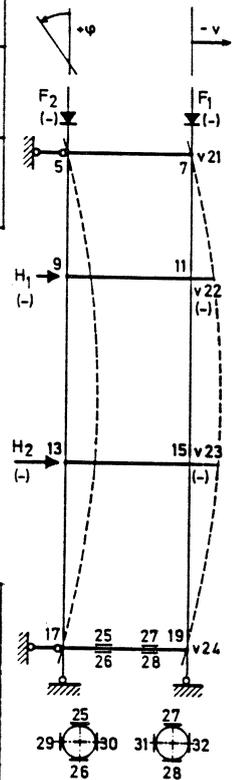


Bild 156. Versuch VL 05: v_{23} , v_{24}

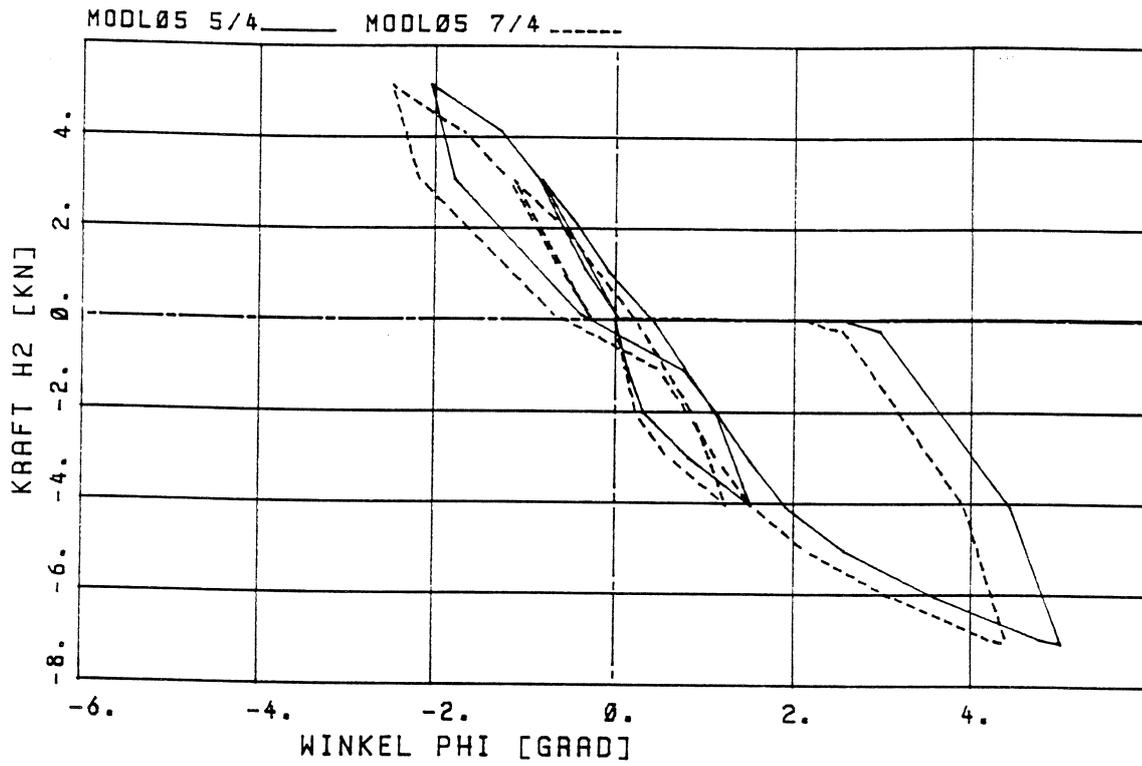


Bild 157. Versuch VL 05: φ_5, φ_7

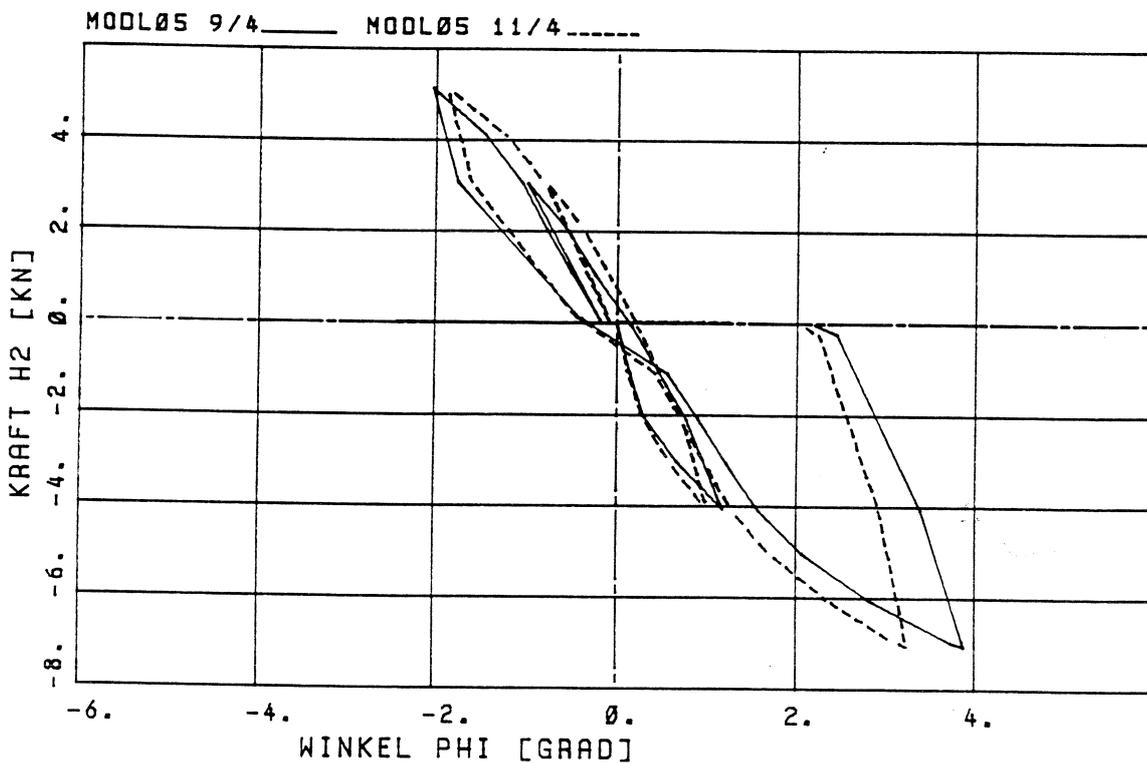
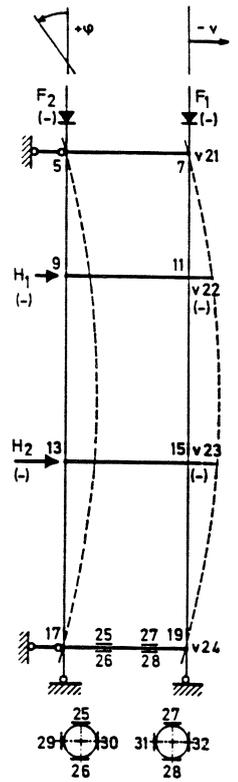


Bild 158. Versuch VL 05: φ_9, φ_{11}

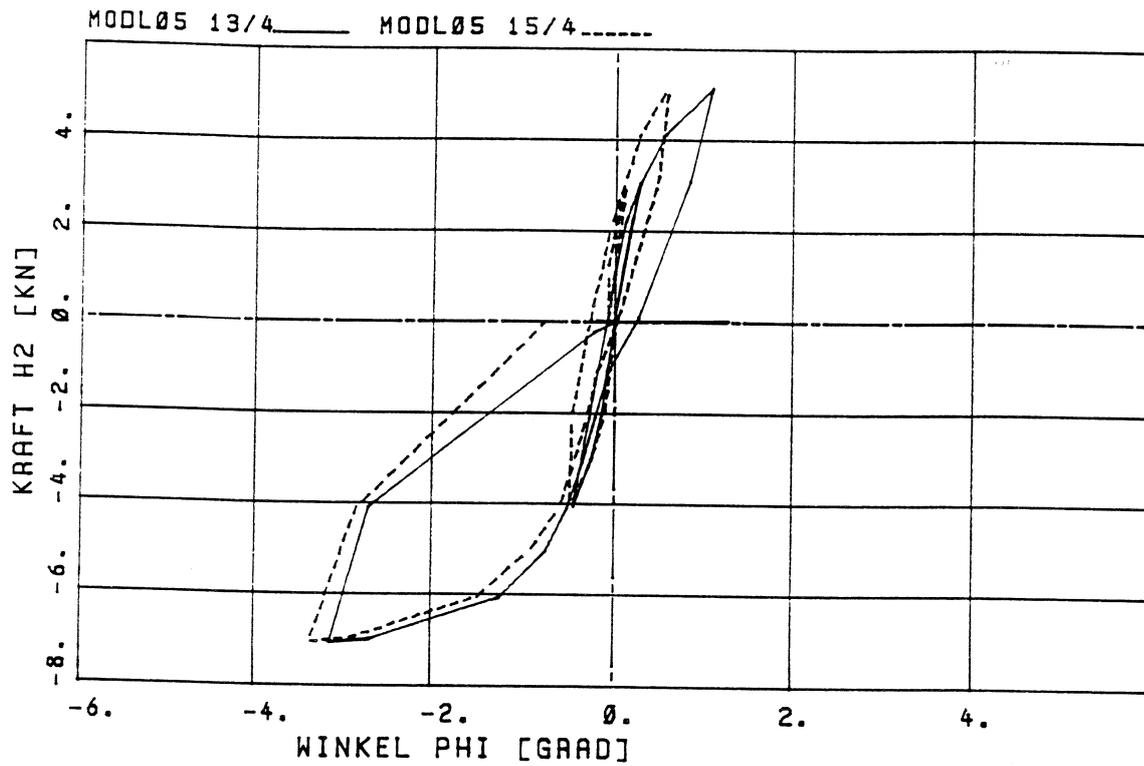


Bild 159. Versuch VL 05: φ_{13} , φ_{15}

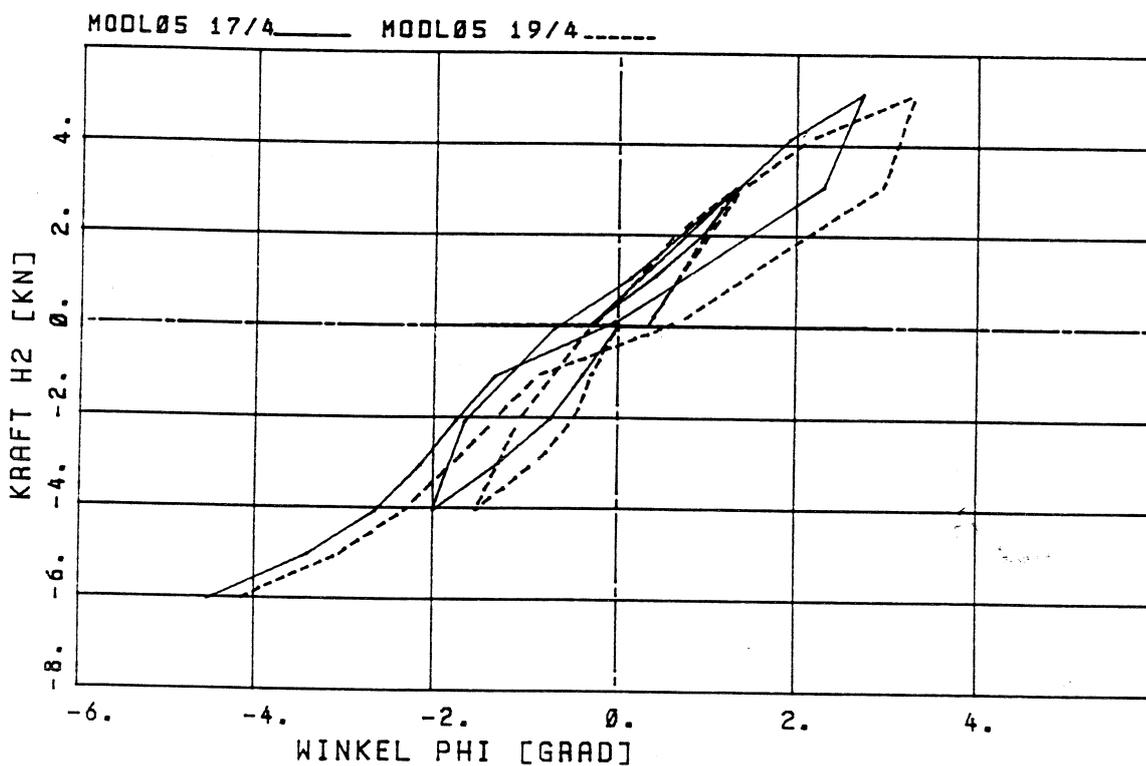
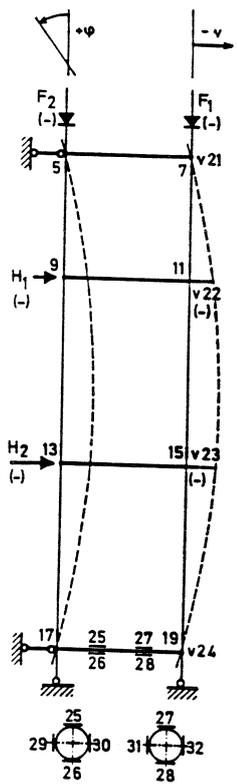


Bild 160. Versuch VL 05: φ_{17} , φ_{19}

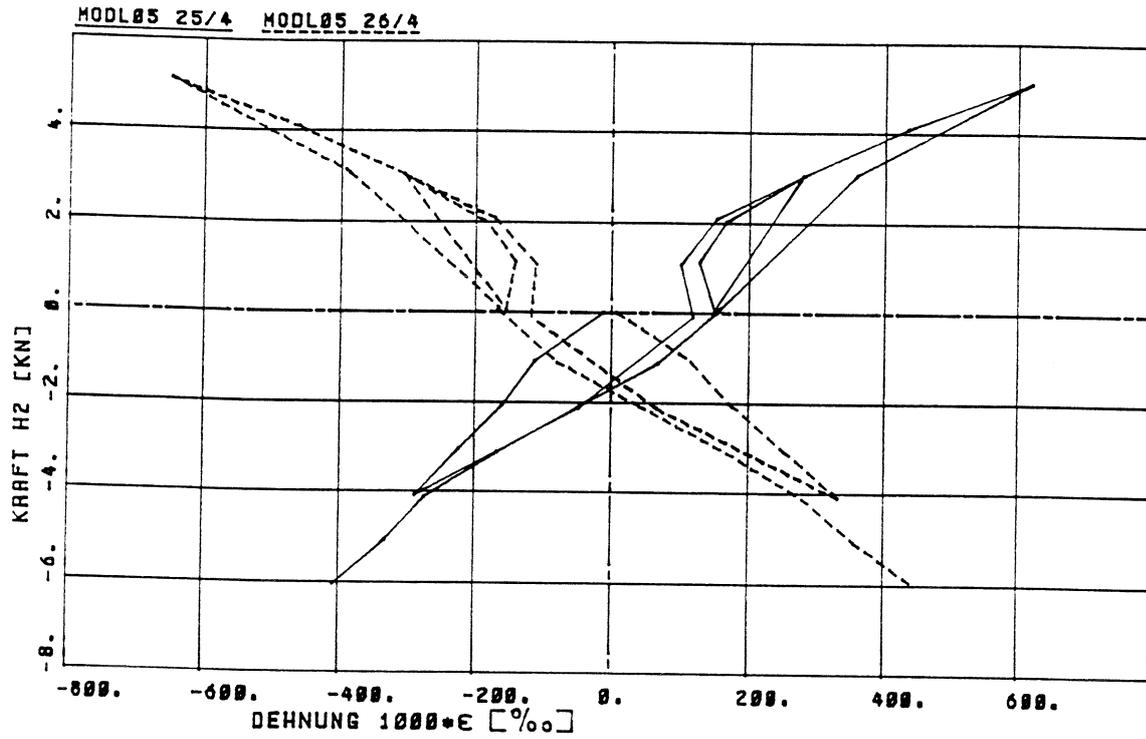


Bild 161. Versuch VL 05: ϵ_{25} , ϵ_{26}

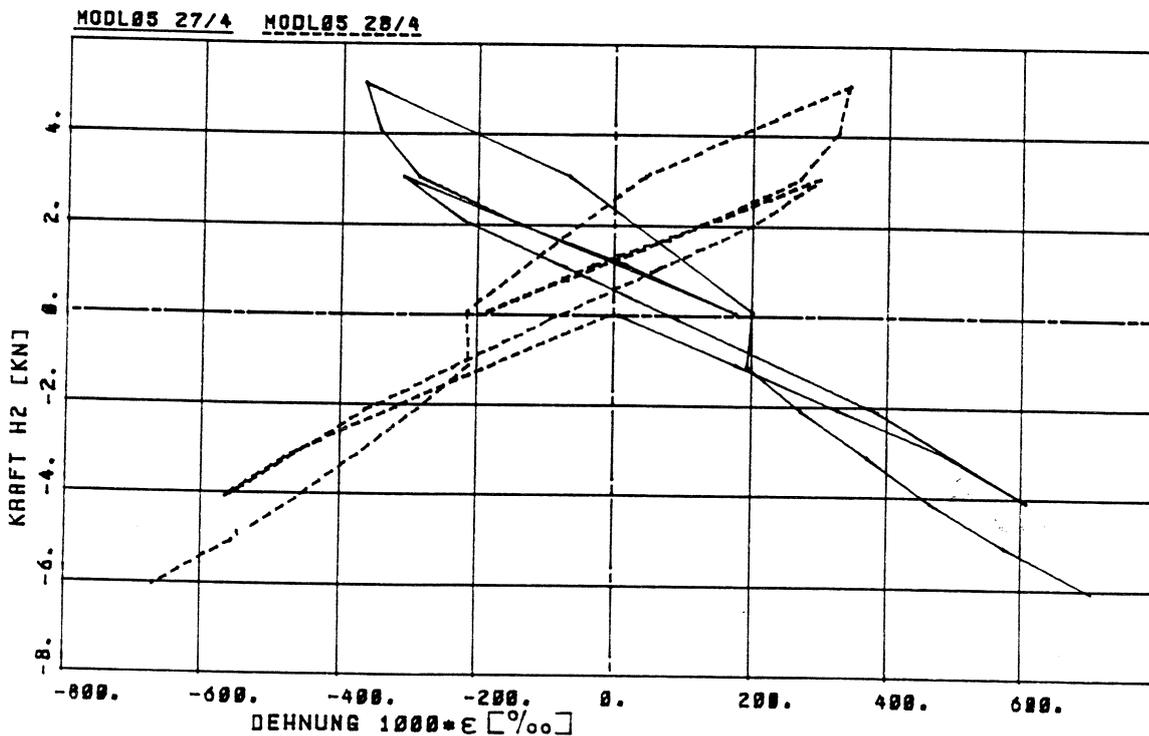
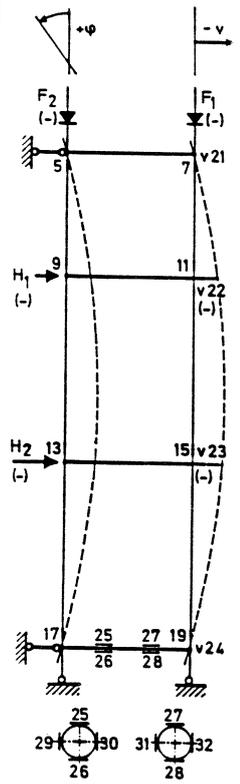


Bild 162: Versuch VL 05: ϵ_{27} , ϵ_{28}



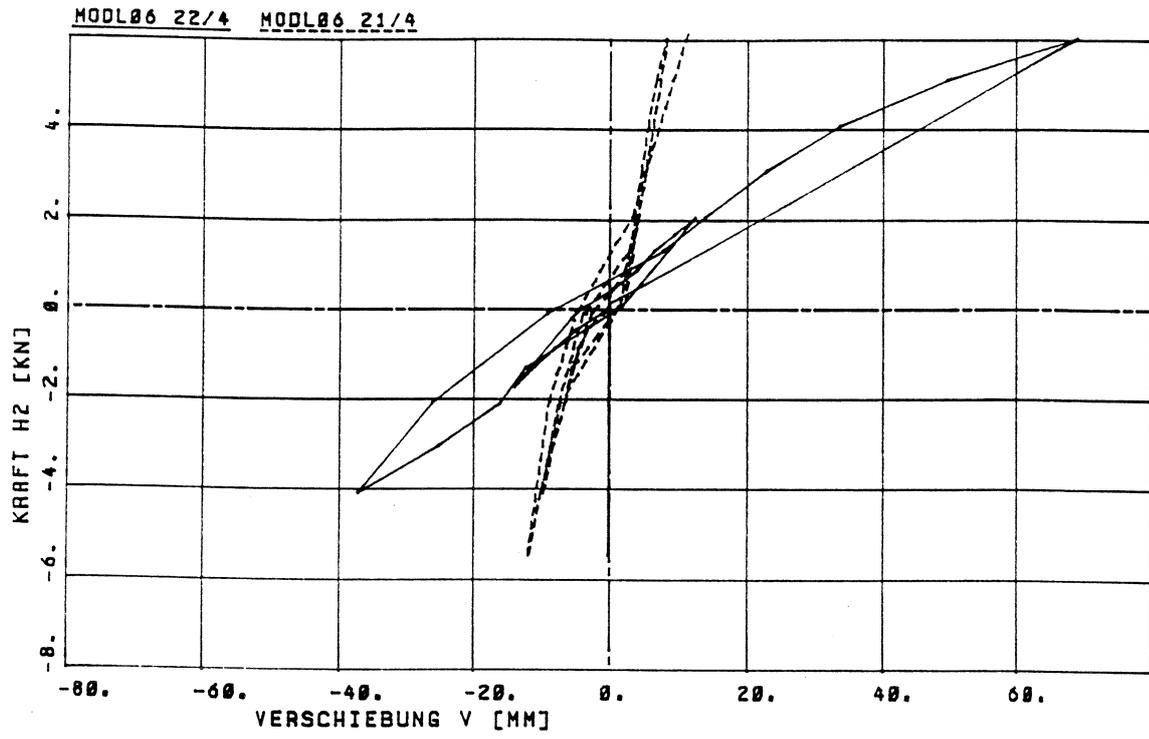


Bild 163. Versuch VL 06: v_{21} , v_{22}

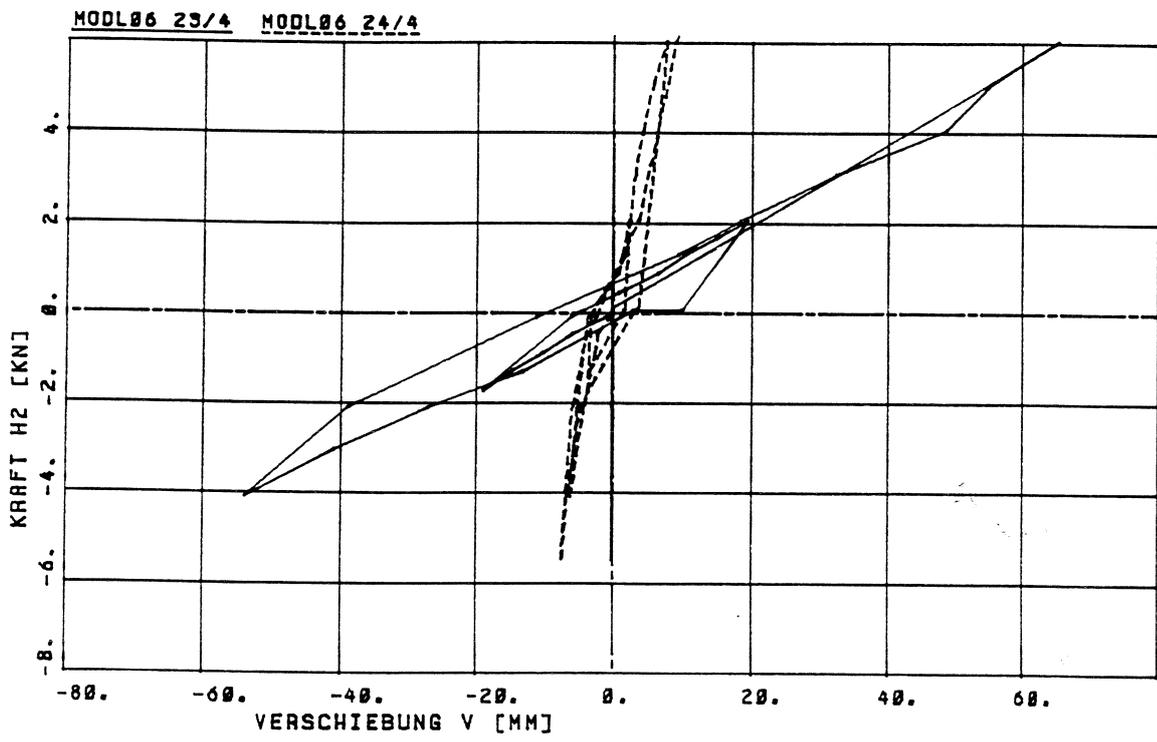
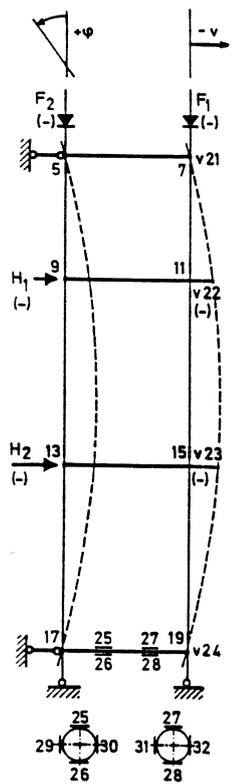


Bild 164. Versuch VL 06: v_{23} , v_{24}

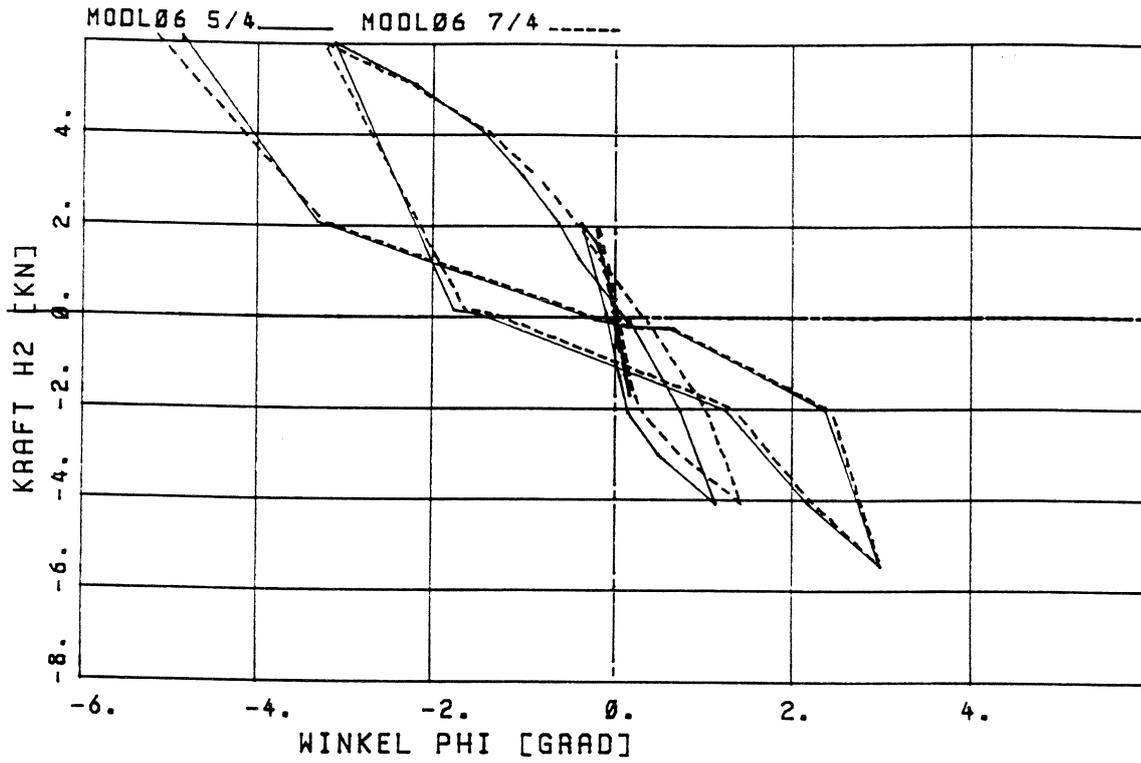


Bild 165. Versuch VL 06: φ_5, φ_7

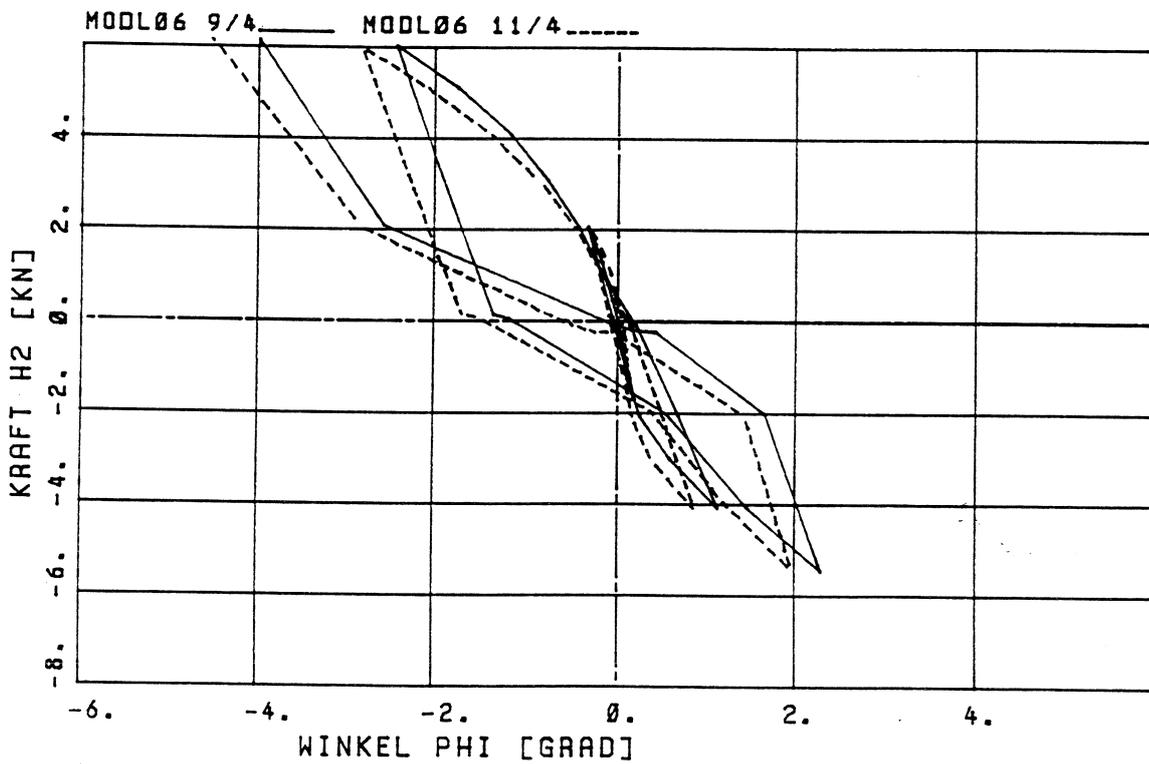
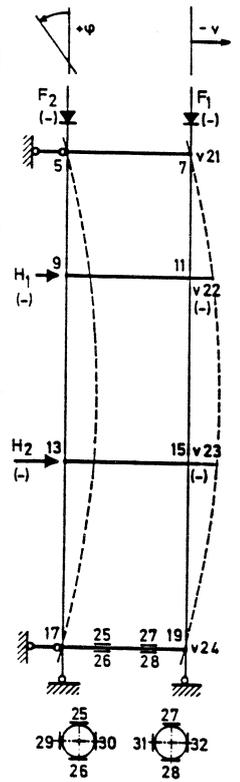


Bild 166. Versuch VL 06: φ_9, φ_{11}

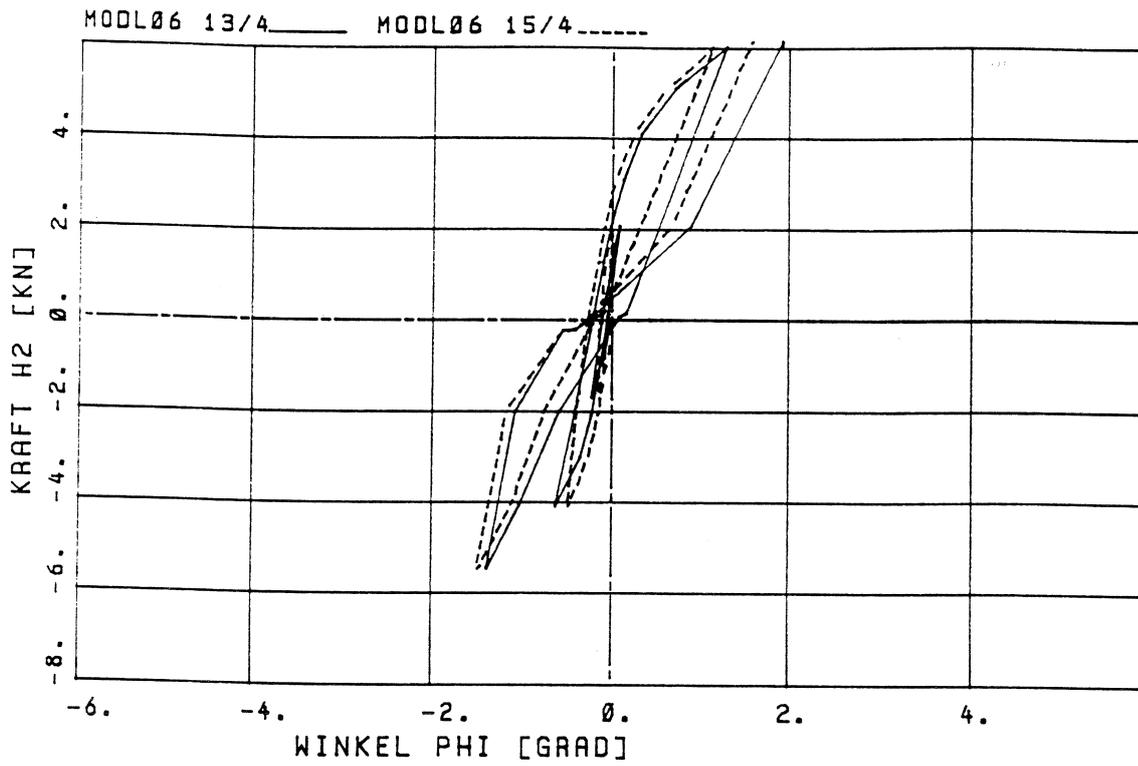


Bild 167. Versuch VL 06: φ_{13} , φ_{15}

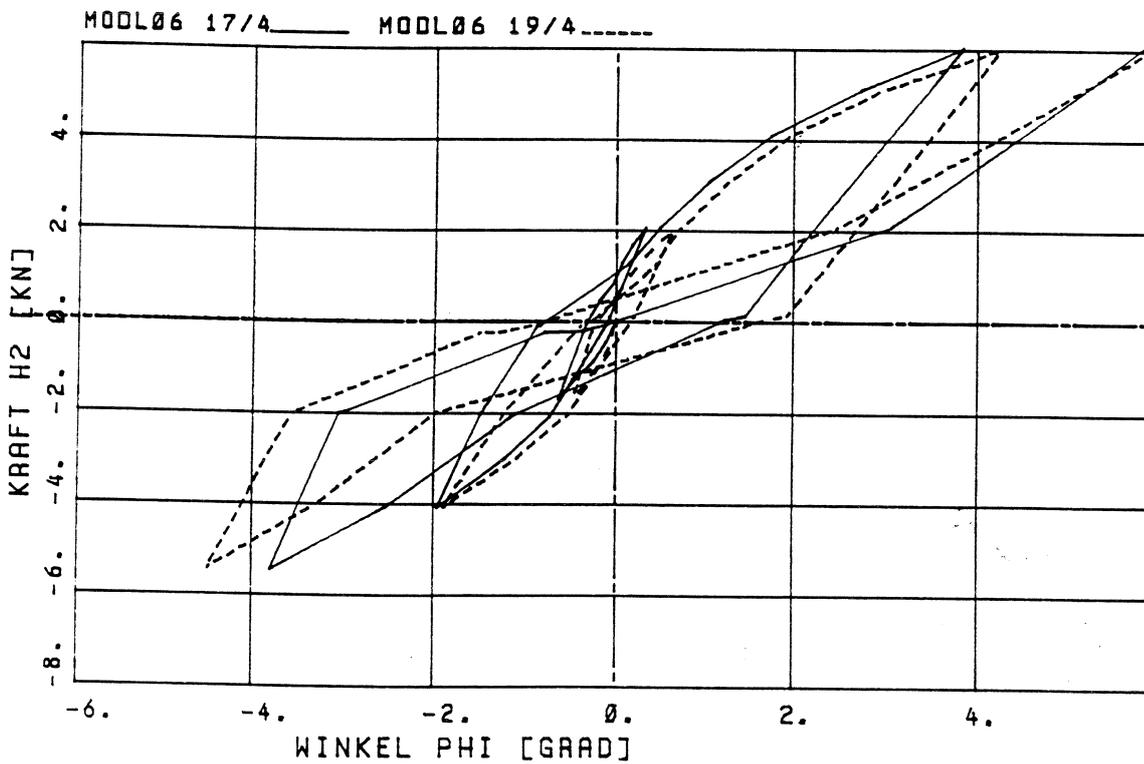
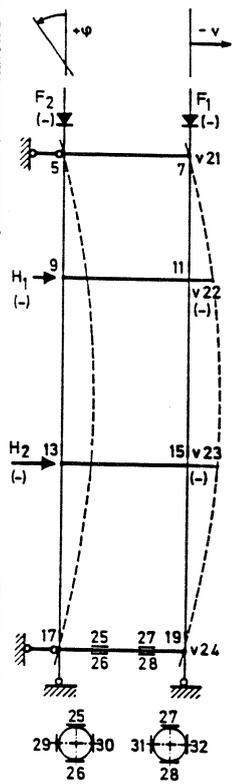


Bild 168. Versuch VL 06: φ_{17} , φ_{19}

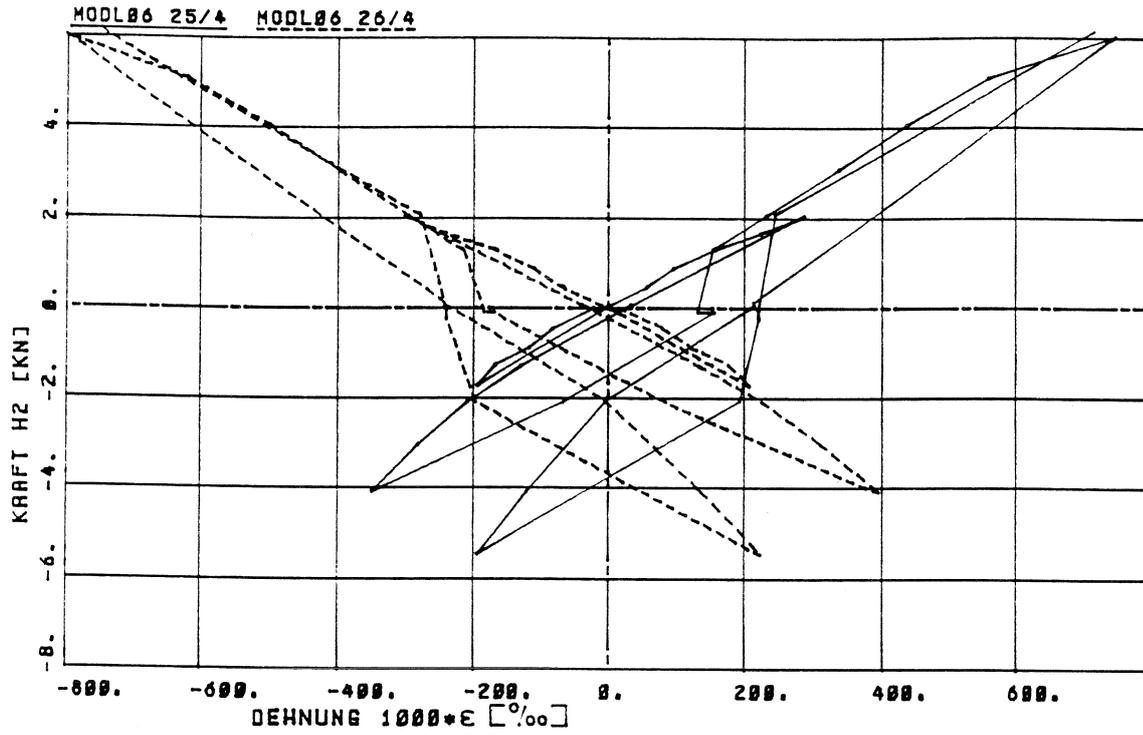


Bild 169. Versuch VL 06: ϵ_{25} , ϵ_{26}

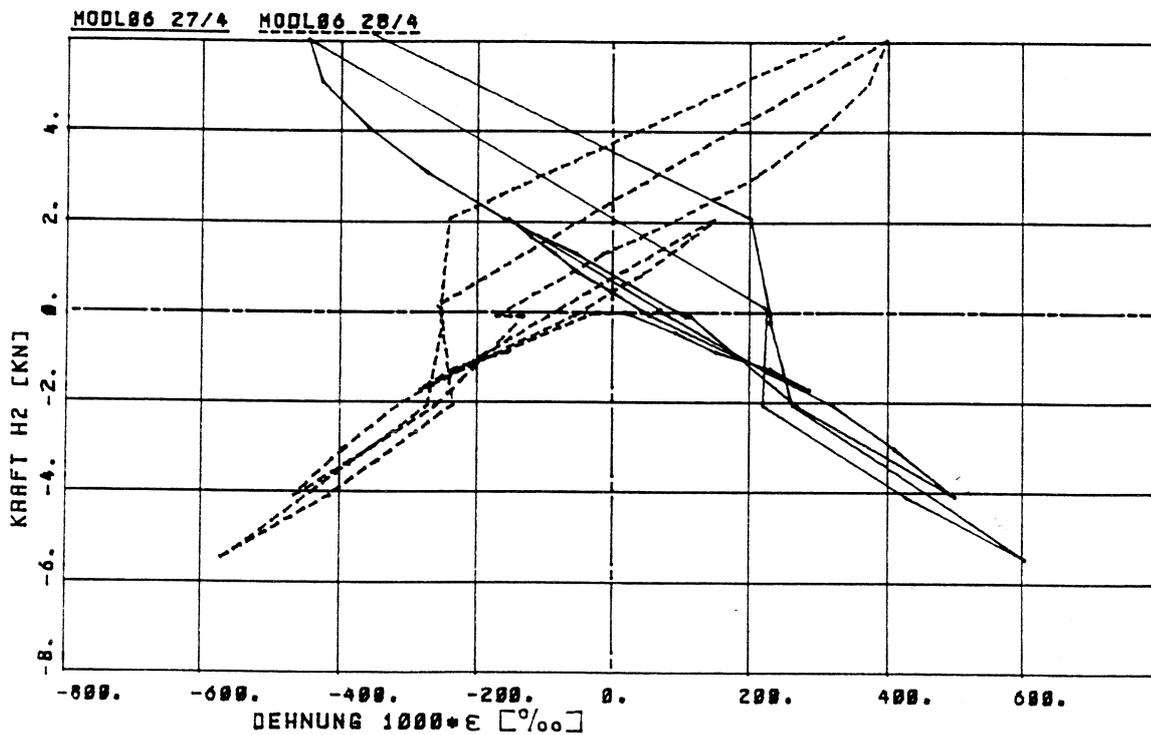
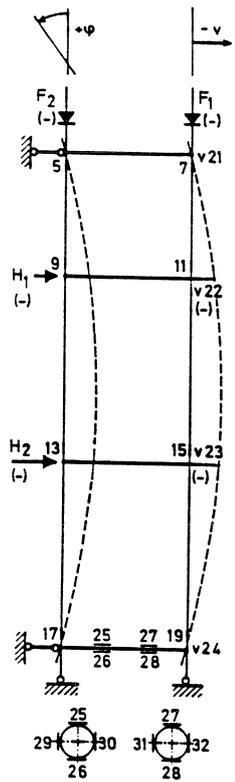


Bild 170. Versuch VL 06: ϵ_{27} , ϵ_{28}

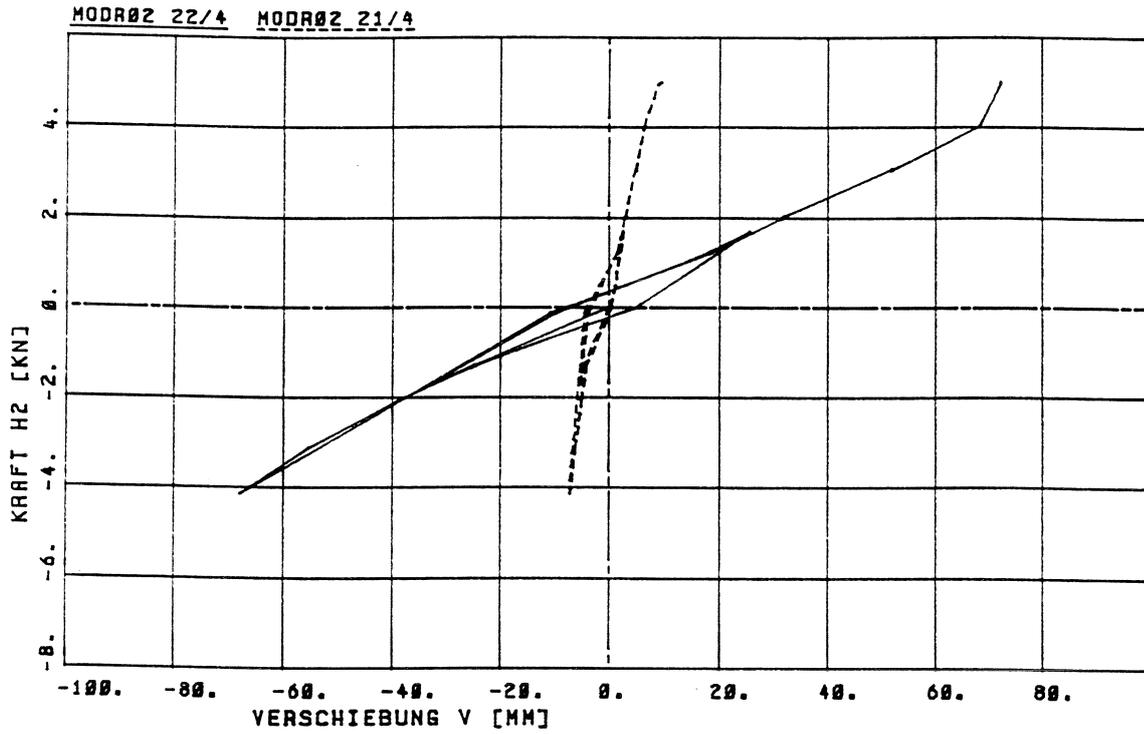


Bild 171. Versuch VR 02: v_{21} , v_{22}

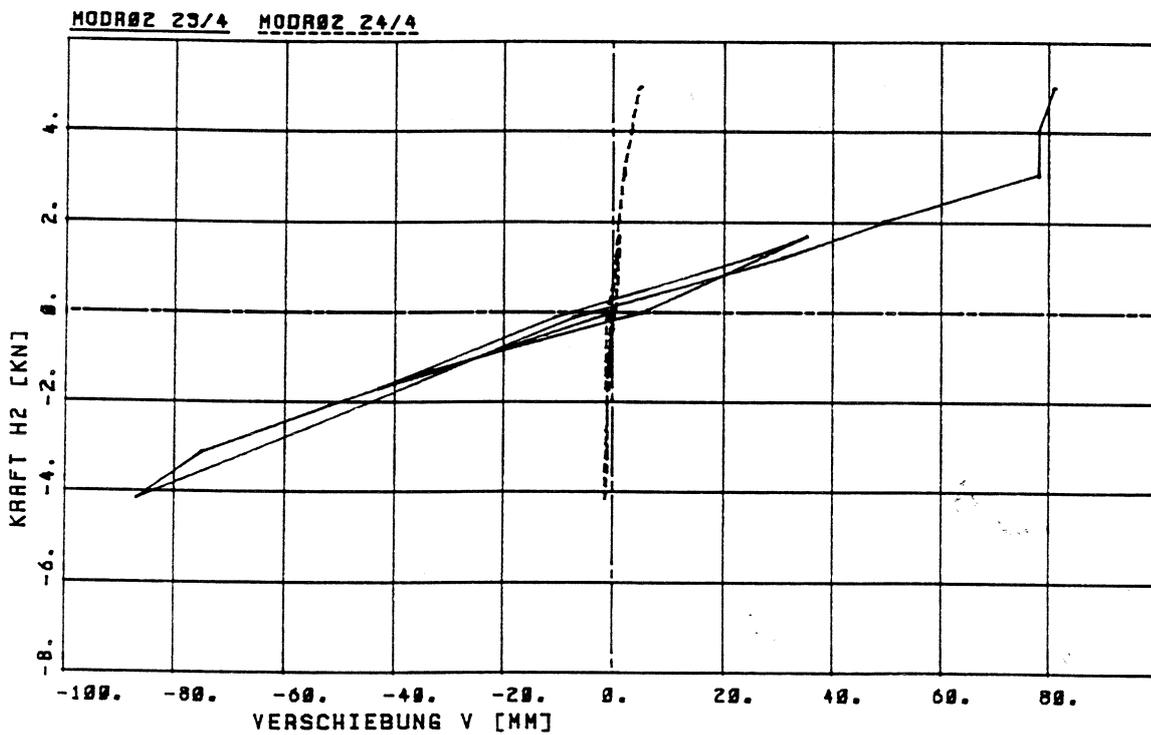
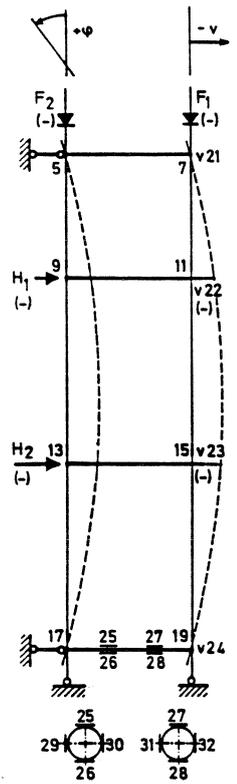


Bild 172. Versuch VR 02: v_{23} , v_{24}

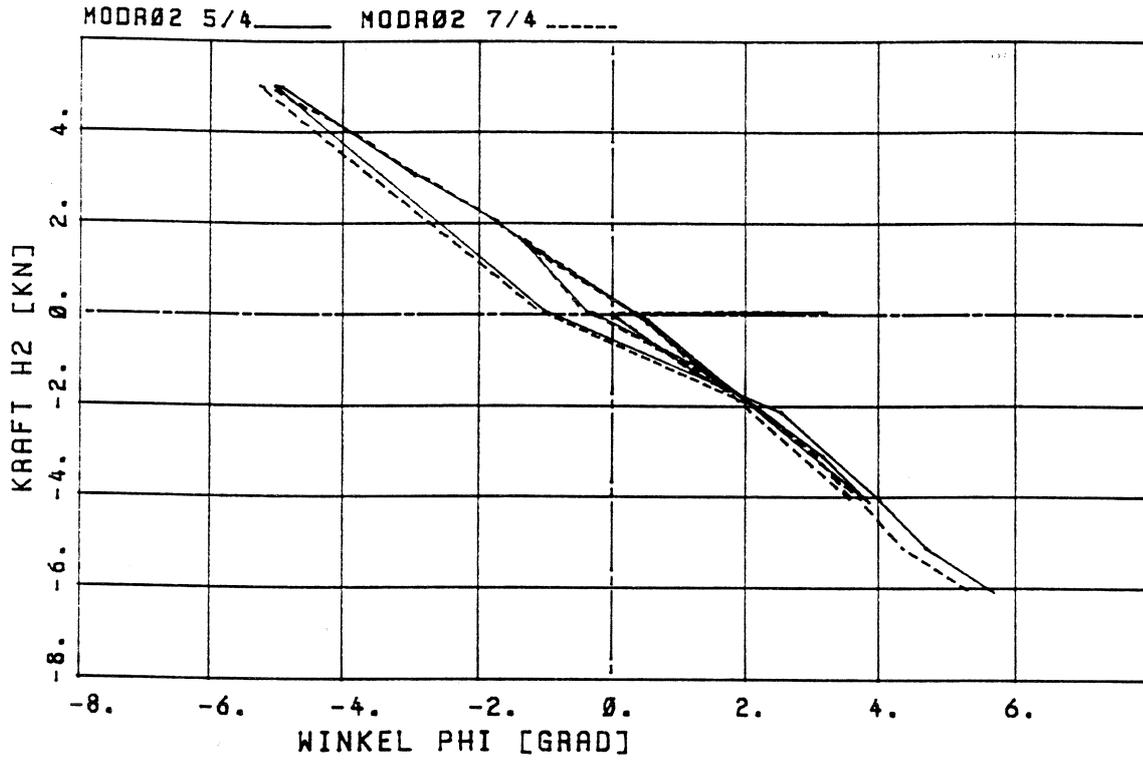


Bild 173. Versuch VR 02: φ_5, φ_7

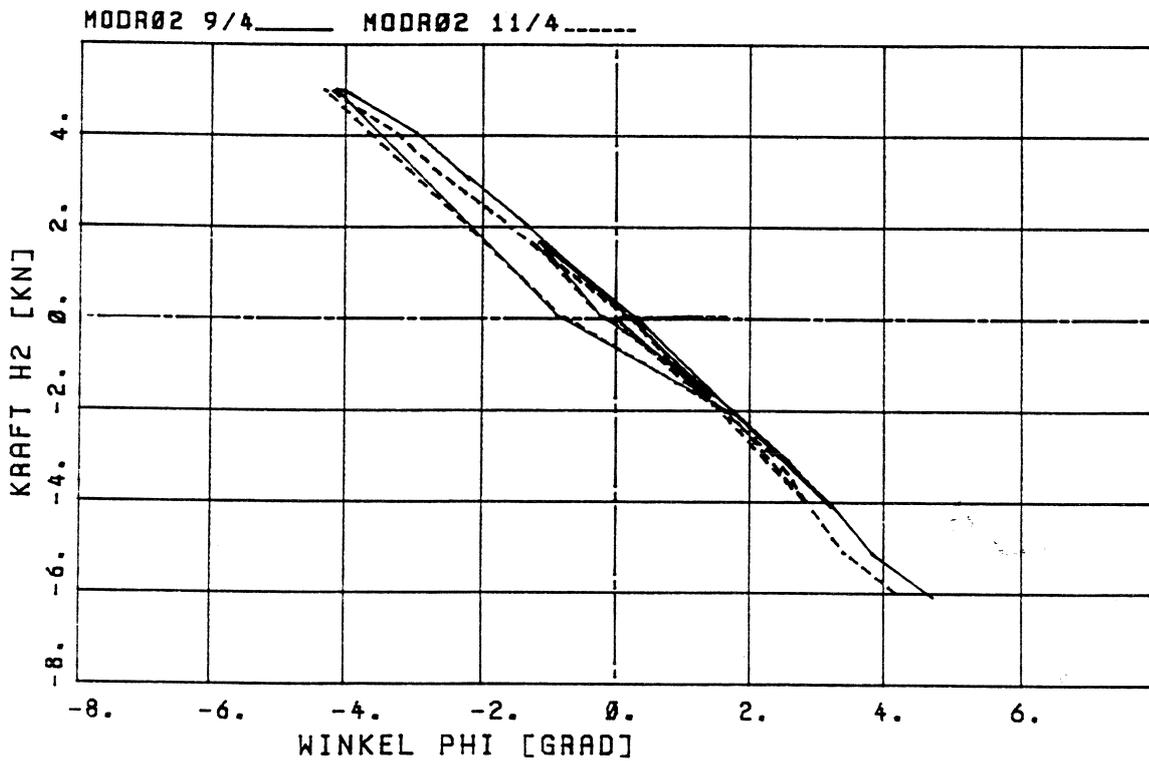
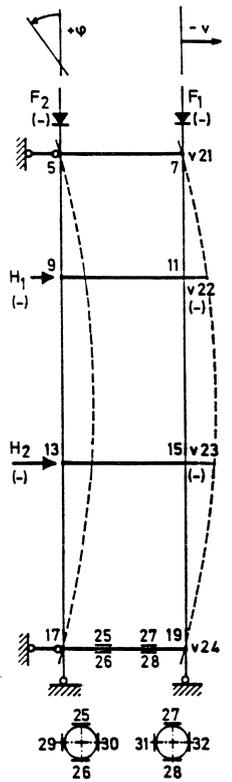


Bild 174. Versuch VR 02: φ_9, φ_{11}

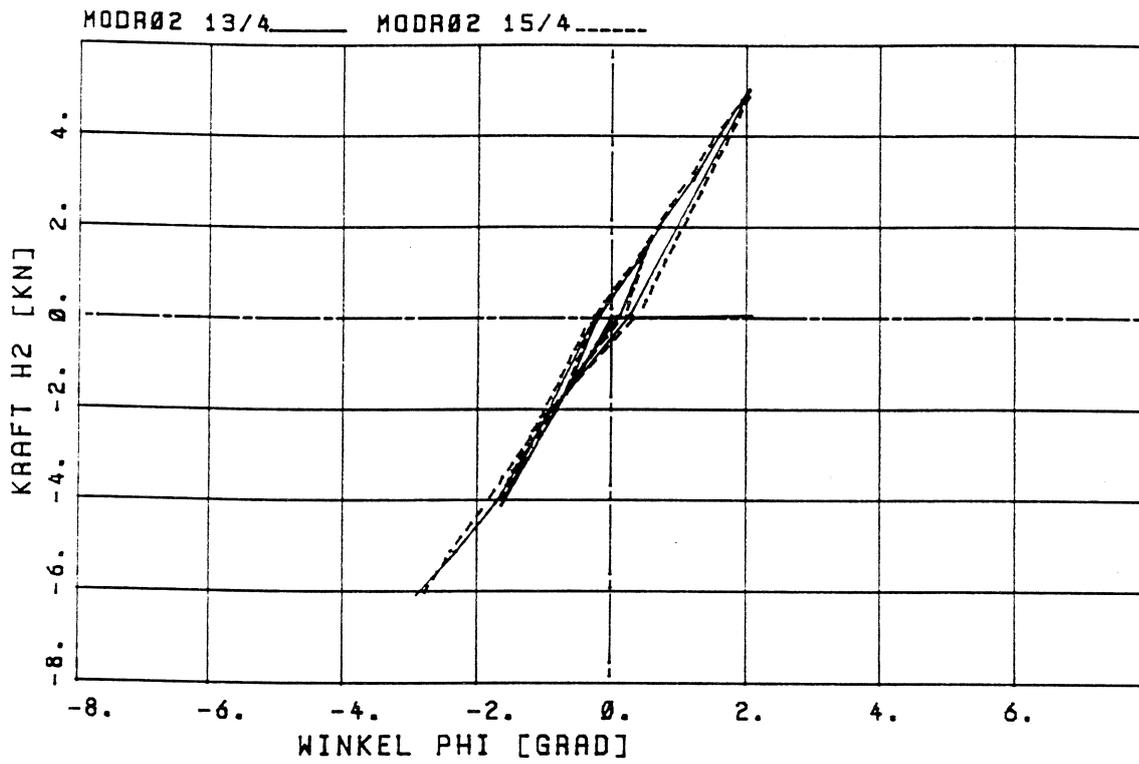


Bild 175. Versuch VR 02: φ_{13} , φ_{15}

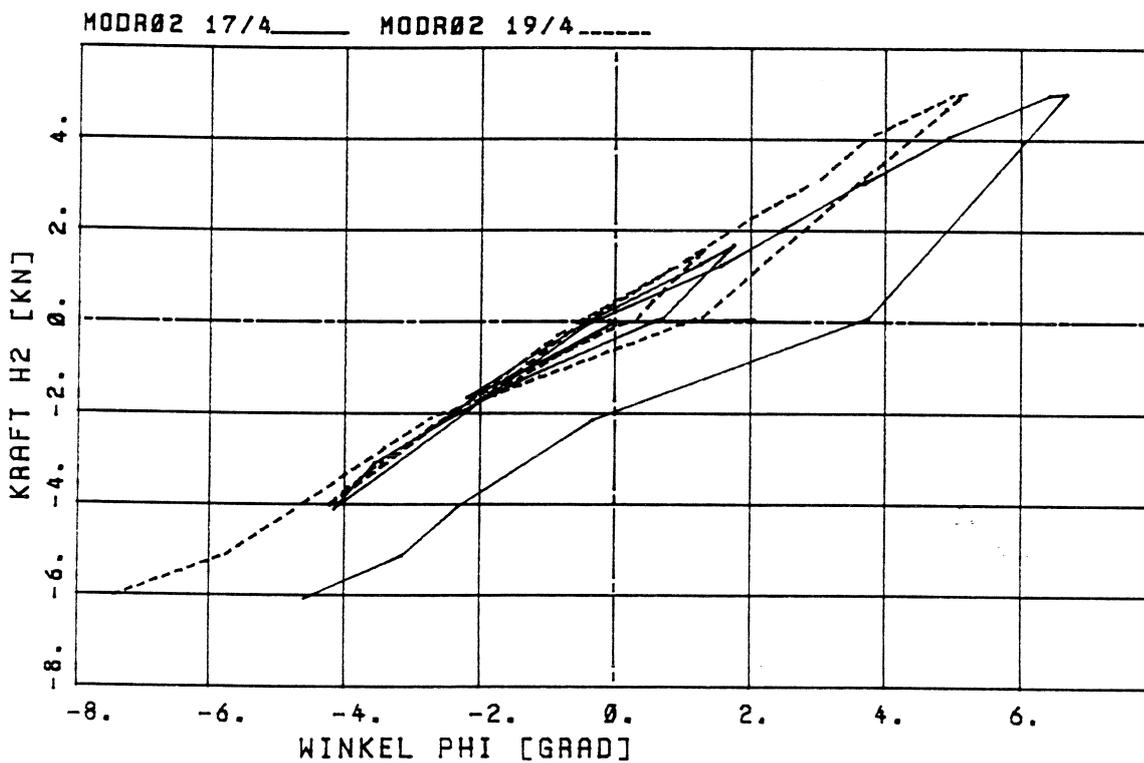
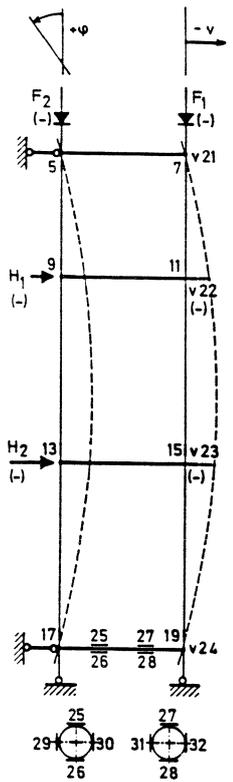


Bild 176. Versuch VR 02: φ_{17} , φ_{19}

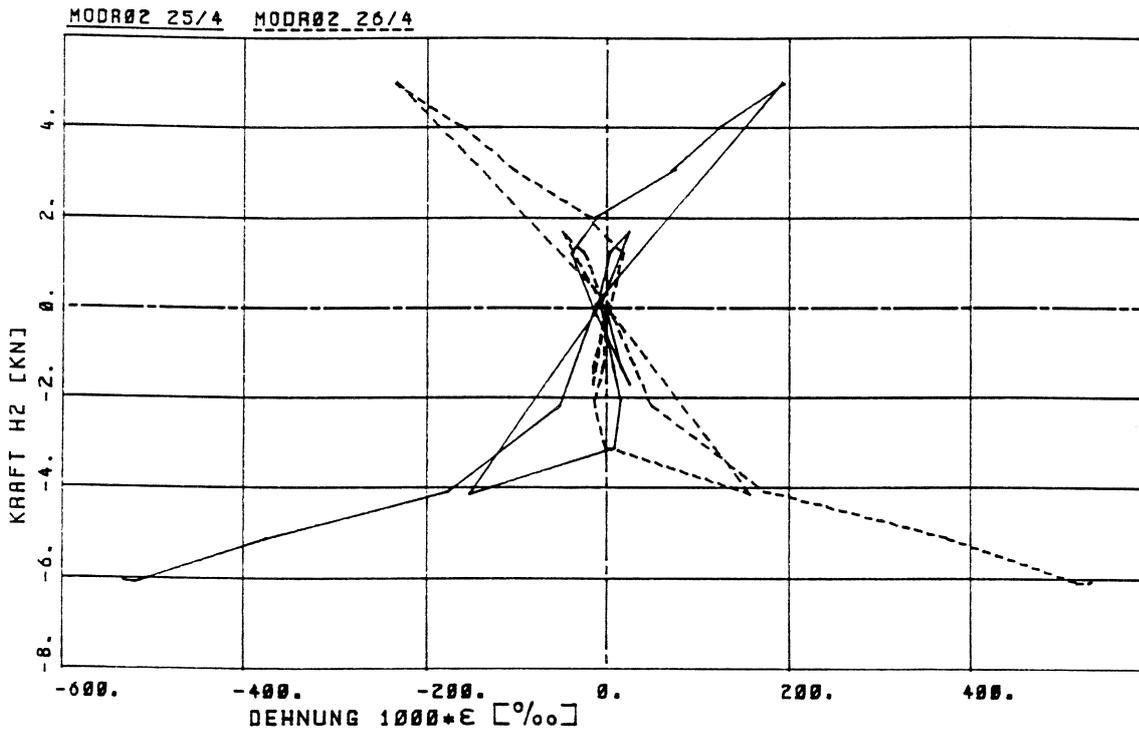


Bild 177. Versuch VR 02: ϵ_{25} , ϵ_{26}

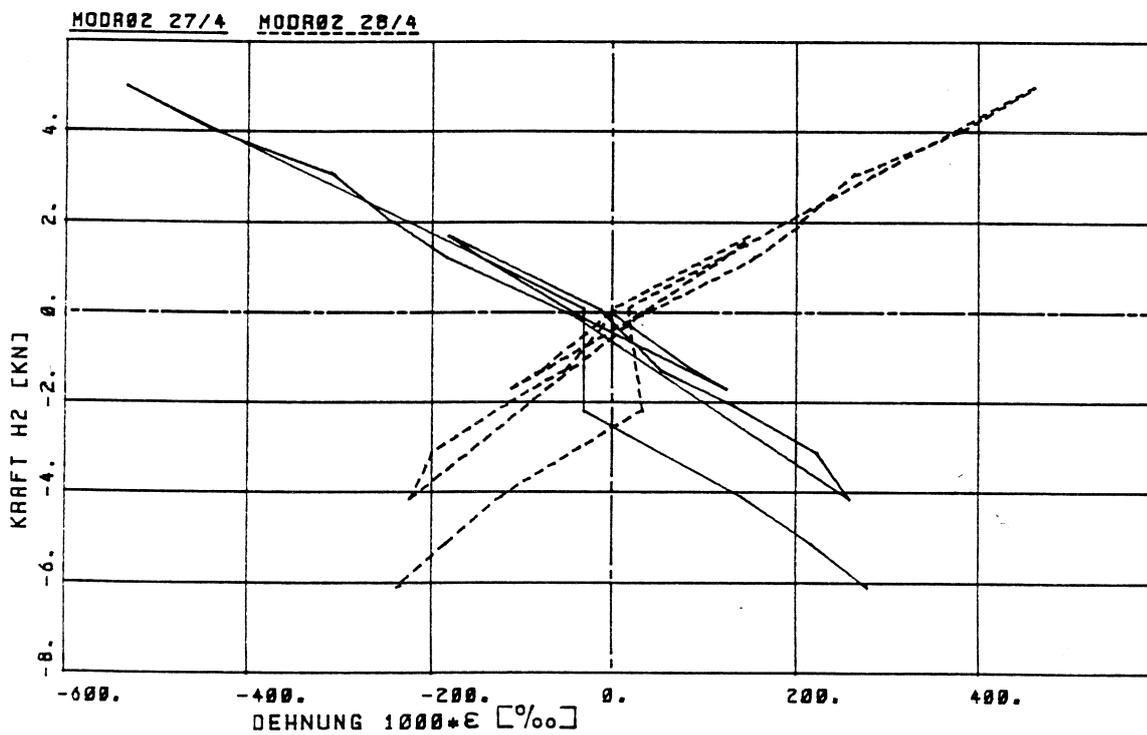
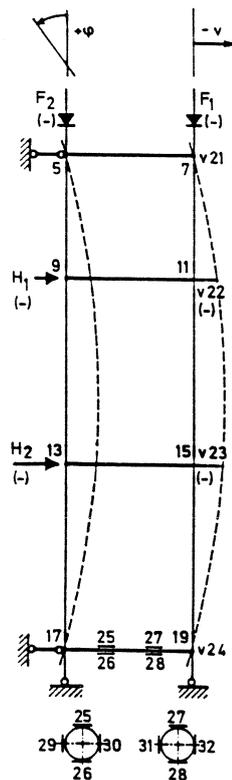


Bild 178. Versuch R 02: ϵ_{27} , ϵ_{28}



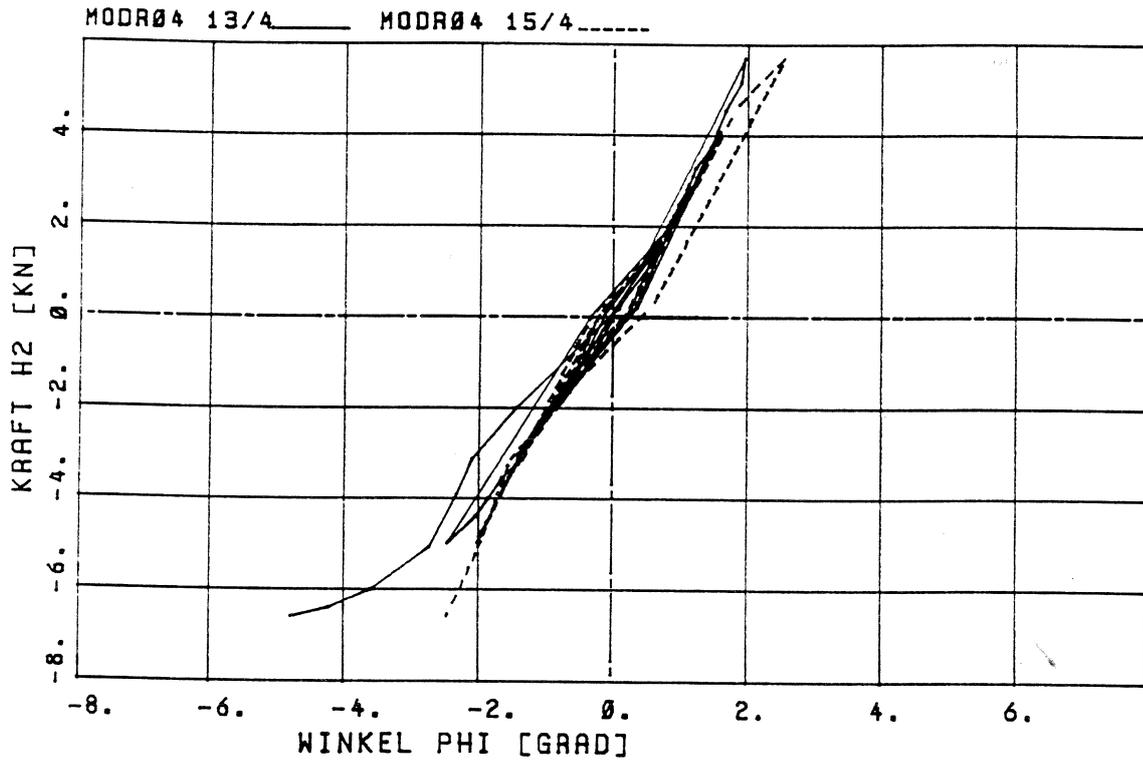


Bild 183. Versuch R 04: φ_{13} , φ_{15}

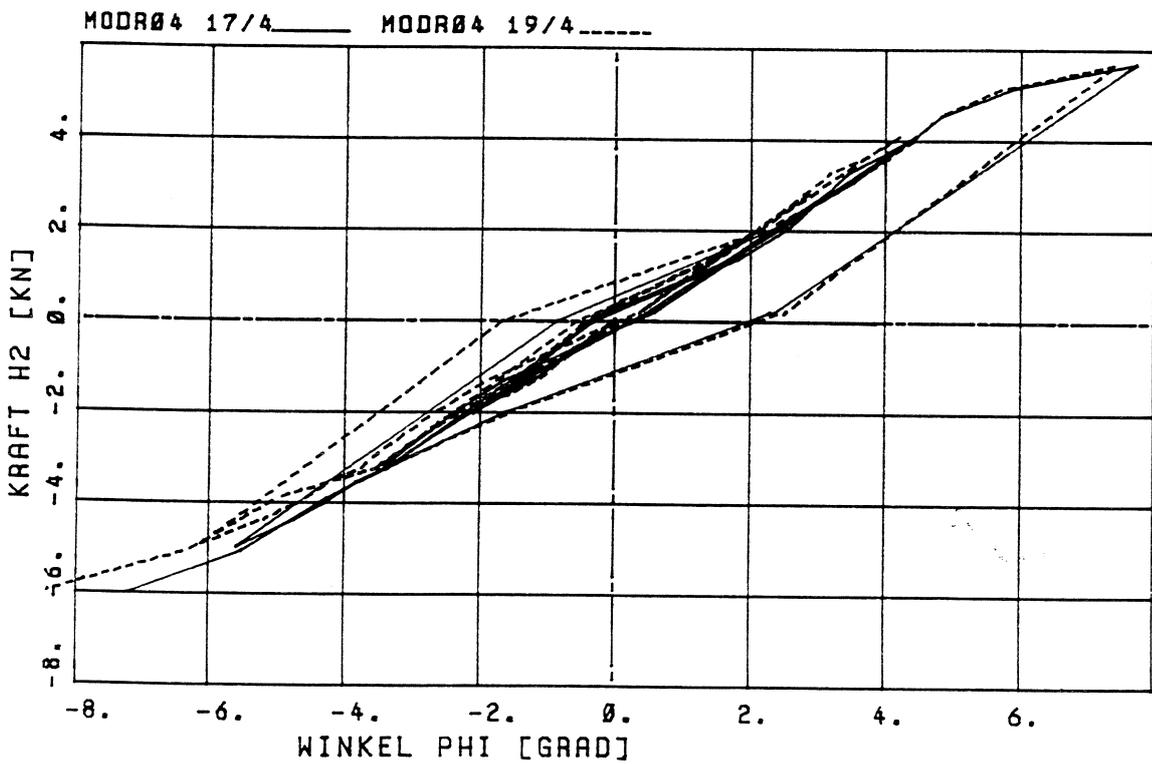
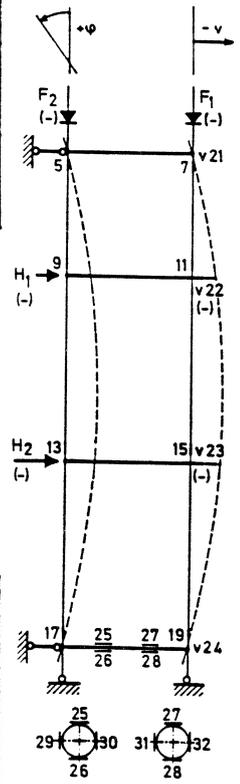


Bild 184. Versuch R 04: φ_{17} , φ_{19}

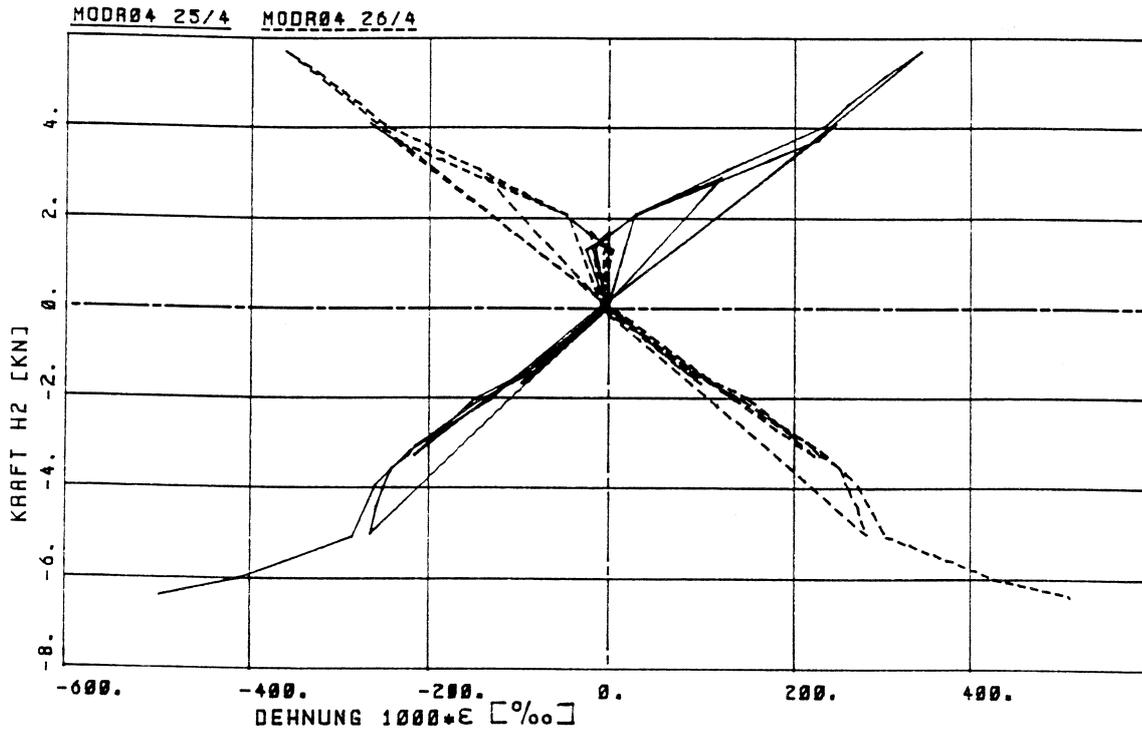


Bild 185. Versuch R 04: ϵ_{25} , ϵ_{26}

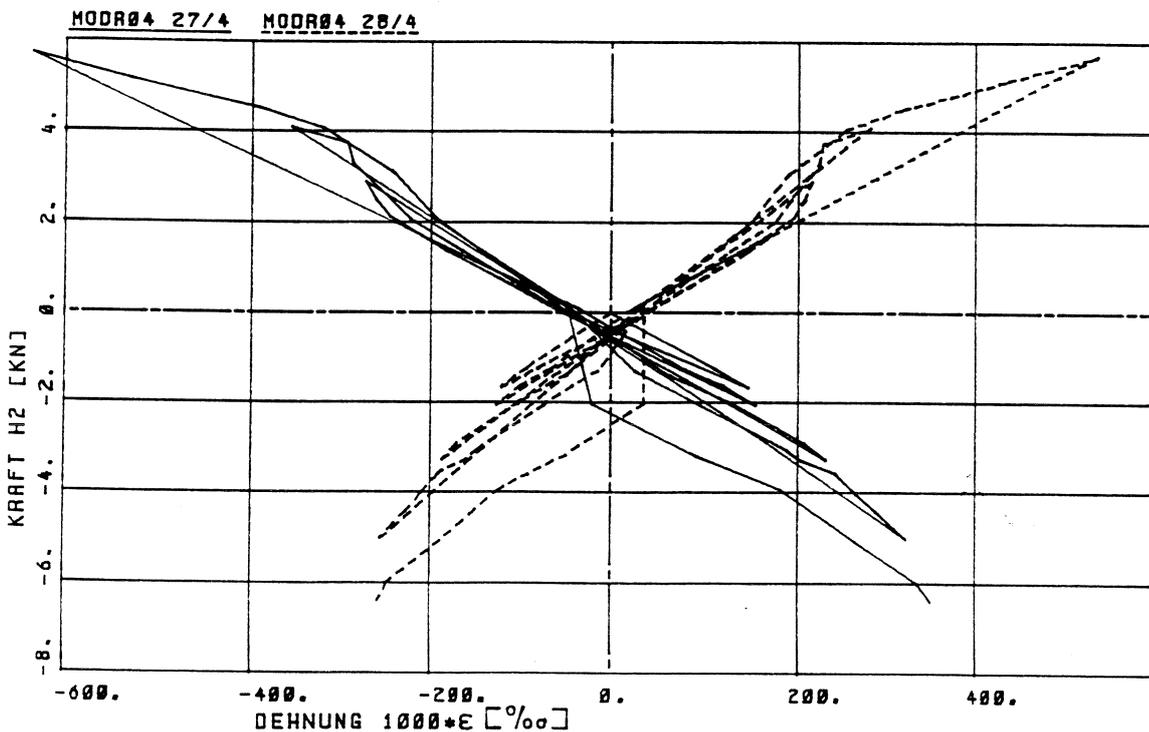
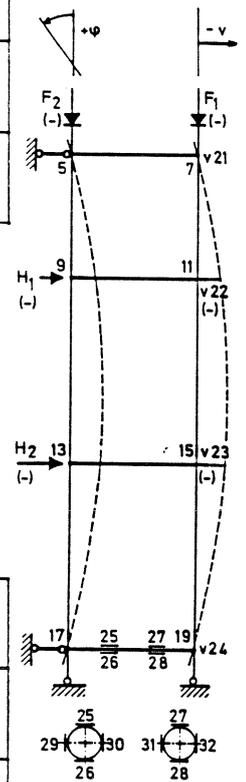


Bild 186. Versuch R 04: ϵ_{27} , ϵ_{28}

FMPA

Research project: Vierendeel systems of scaffolds with modular nodes with torsional springs of spreading stiffness

Number of the IfBt: IV 1-5-497/87

Number of the FMPA: 25-14940-3

Date of the report: 19.03.1990

Summary

The characteristic of the torsional spring between standards and transoms (ledgers) of modular scaffold systems normally is nonlinear and considerably spreading. The approvals of the building inspection permit the calculation of modular scaffold systems with an average stiffness if additionally for the transom with the maximal stress a local system is examined for the maximal and minimal stiffness.

The primary aim of the research project was the verification of this regulation of the approvals. For this purpose defined Vierendeel systems should be examined by tests and calculations basing on the in the approvals fixed spring stiffness.

After carrying out the first system tests new knowlegde regarding the load bearing behaviour of modular nodes led to a modificatioin of the research aim. Detail tests were carried out for 2 types of modular systems to determine the bending moment-angle-relation of the standard-transom-connection.

Complete hysteresis loops were carried through for the scope of positive and negative bending moments. These hysteresis loops were repeated for single loading steps up to 10 times.

By them it turned up that from certain loading steps the angle is increased during repetition of the loops, the stiffness is reduced. This phenomenon happened for the one examined modular node for bending moments $M \geq \text{perm } M$, for the other node for bending moments $M \geq 0,2 \cdot \text{perm } M$. The reason for that is probably the reductive of the pre-stressing in the wedge connection.

The research report has 3 parts:

- (1) 25-14940-3 Test report
- (2) 25-14940-3/A1 Appendix of the tables of the test data
- (3) 25-14940-3/A2 Calculations parallel to the tests for the Vierendeel systems

Dok.: T2-322

Projet de recherche: Poutre Vierendeel dans des échafaudages modulaires avec des ressorts de torsion à raideur variable

Numéro de référence du IfBt: IV 1-5-497/87

Numéro de référence de la FMPA: 25-14940-3

Date du rapport: 19 mars 1990

R é s u m é

La caractéristique du ressort de torsion entre la lisse ou la traverse et le poteau des nœuds d'échafaudage modulaire est en règle générale non-linéaire et varie considérablement. Les agréments de l'administration publique pour des nœuds de système modulaire permettent d'adopter une rigidité moyenne du ressort dans les calculs statiques du système sous condition que dans les endroits d'effort maximal de la traverse, des calculs supplémentaires correspondant aux raideurs maximales et minimales soient effectués localement.

Le but original du projet de recherches était de vérifier ces déterminations des agréments en examinant des poutres Vierendeel définies à l'aide d'essais et de calculs basés sur les raideurs du ressort fixées dans les agréments.

Les premiers essais globaux de Vierendeel effectués, des nouvelles connaissances concernant le comportement des nœuds du système modulaire conduisaient à une modification du but de recherches.

Des essais d'éléments sur deux types de nœuds ont été effectués pour établir la relation moment-angle de la connection poteau-traverse. Au cours de ces travaux on a réalisé des boucles d'hystérésis complètes pour la domaine des moments positifs et négatifs. Ces boucles d'hystérésis ont été répétées jusqu'à dix fois sur de certains paliers de charge.

On observait qu' à partir d'un certain palier de charge les angles augmentent en répétant les boucles d'hystérésis, tandis que la raideur de la connection diminue. Un certain nœud montrait ce phénomène sous des moments $M_1 \geq \text{adm } M$, un autre déjà sous des moments plus petits $M_2 \geq 0,2 \text{ adm } M$. Une diminution de la précontrainte dans le raccord à coin semble être la raison de ce phénomène.

Le rapport de recherches consiste en 3 parties:

- (1) 25-14940-3 Documentation des essais (essais de détail et essai sur poutre Vierendeel)
- (2) 25-14949-3/A1 Appendice des tableaux des valeurs de mesure
- (3) 25-14940-3/A2 Calcul accompagnant les essais sur poutres Vierendeel