

**Horizontalaussteifung von
Vertikalgliedern in Fassadengerüsten
nach DIN EN 12811-3**

T 3078

T 3078

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2005, ISBN 3-8167-6848-2

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.IRBbuch.de



**Schlussbericht zum
Forschungsvorhaben
Nr. 10.39-1175/05
"Horizontalaussteifung
von Vertikalgliedern
in Fassadengerüsten
nach DIN EN 12811-3"**

Auftraggeber : Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30 L
10829 Berlin

Projekt-Nr. : 7 040-0

Seitenverzeichnis : I, 1 - 40

Anlagen : 1 - 4

Karlsruhe : 26.04.2005

Aufsteller :

(Dr.-Ing. K.-C. Fröhlich)

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Aufgabenstellung	1
2.	Literaturzusammenstellung und -auswertung	3
3.	Untersuchte Gerüstsysteme	4
4.	Durchgeführte Horizontalsteifigkeitsversuche	5
4.1	Allgemeines zur Versuchsdurchführung	5
4.2	Gerüstsystem A	7
4.2.1	Versuchsergebnisse entsprechend Zulassungs- grundsätze [3]	7
4.2.2	Versuchsergebnisse entsprechend DIN EN 12811-3 [4] ..	7
4.3	Gerüstsystem B	11
4.3.1	Versuchsergebnisse entsprechend Zulassungs- grundsätze [3]	11
4.3.2	Versuchsergebnisse entsprechend DIN EN 12811-3 [4] ..	11
5.	Auswirkungen auf den Nachweis der Regelausführung ..	14
5.1	Vorgehensweise	14
5.2	Gerüstsystem A	15
5.2.1	Untersuchte Regelausführung	15
5.2.2	Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze [3]	15
5.2.3	Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend DIN EN 12811-3 [4]	20
5.2.4	Ergebnisse mit modifizierter Kennlinie	20
5.2.5	Zusammenstellung und Bewertung der Ergebnisse	23
5.3	Gerüstsystem B	27
5.3.1	Untersuchte Regelausführung	27
5.3.2	Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze [3]	27
5.3.3	Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend DIN EN 12811-3 [4]	32
5.3.4	Ergebnisse mit modifizierter Kennlinie	32
5.3.5	Zusammenstellung und Bewertung der Ergebnisse	36
6.	Zusammenfassung und Wertung der Ergebnisse im Hinblick auf bauaufsichtliche Bestimmungen	39

Anlagen 1 - 4

1. Aufgabenstellung

Die Nachweise der Standsicherheit der Regelausführungen von Fassadengerüstsystemen erfolgen bislang auf der Grundlage der Zulassungsrichtlinie; Anforderungen an Fassadengerüstsysteme (Fassung Oktober 1996). Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik -DIBt-, Reihe B, Heft 7. Berlin 1996

in Verbindung mit DIN 4420-1:1990-12. Die Kennwerte der Horizontalebene rechtwinklig sowie parallel zur Fassade werden experimentell nach

Zulassungsgrundsätze; Versuche an Gerüstsystemen und Gerüstbauteilen (Fassung August 1998). Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik -DIBt-, Reihe B, Heft 5. Berlin 1998

ermittelt.

Die genannten Zulassungsgrundsätze sollen künftig durch die Normenreihe DIN EN 12810 und 12811 ersetzt werden. Für die Art der Versuchsdurchführung und -auswertung gilt dann

DIN EN 12811-3:2003-02: Temporäre Konstruktionen für Bauwerke - Teil 3: Versuche zum Tragverhalten.

Die wesentlichen Unterschiede zur bisherigen Vorgehensweise sind in Tabelle 1 gegenübergestellt

Es besteht die Möglichkeit, dass konstruktionsbedingt zumindest bei einem Teil der Horizontalebene die Vorgehensweise nach DIN EN 12811-3 zu spürbar abweichenden Ergebnissen für die Kennwerte

- Lose f_0
- lineare Steifigkeit C_k
- Beanspruchbarkeit R_k

führt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Vorgehensweisen nach den Zulassungsgrundsätzen und nach DIN EN 12811-3

	Zulassungsgrundsätze	DIN EN 12811-3
Belastungsgeschichte	zunehmend zyklische Belastung, Zyklen auf $\pm 1,0$ kN und $\pm 2,5$ kN	vollständige zyklische Belastung (≥ 3 Lastzyklen) auf Höhe von $R_k / \gamma_M \gamma_F$
charakteristischer Widerstand	Fraktilwert oder kleinster Einzelwert aus mindestens 5 Versuchen	Fraktilwert aus mindestens 5 Versuchen
charakteristische Steifigkeit	Mittlere Steifigkeit ausgewertet zwischen $\pm 0,5$ kN und $\pm 2,5$ kN, ggf. auch weitere Angabe im höheren Lastbereich; zusätzlich ist eine Lose zu berücksichtigen	Reduzierte mittlere Steifigkeit, Reduzierung abhängig vom Variationskoeffizienten; zusätzlich ist eine Lose zu berücksichtigen

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, für zwei unterschiedliche Gerüstsysteme und Belagarten mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Versuche und Versuchsauswertung nach DIN EN 12811-3 durchzuführen und die Ergebnisse der bisherigen Zulassungspraxis gegenüberzustellen. Dabei muss in Kauf genommen werden, dass das jetzt zur Verfügung gestellte Gerüstmaterial und das in den Zulassungsversuchen verwendete Material aus unterschiedlichen Fertigungszeiträumen stammt.

Weiterhin werden die Auswirkungen von möglicherweise abweichenden Kennwerten auf den Nachweis der Regelausführungen durch exemplarische Systemberechnung bei ansonsten unveränderten Systemannahmen untersucht.

2. Literaturzusammenstellung und –auswertung

Im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben sind folgende Zulassungsgrundsätze und Normen von Bedeutung:

- [1] DIN 4420-1:1990-12: Arbeits- und Schutzgerüste, Allgemeine Regelungen, Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen
- [2] Zulassungsrichtlinie; Anforderungen an Fassadengerüstsysteme (Fassung Oktober 1996). Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik -DIBt-, Reihe B, Heft 7. Berlin 1996
- [3] Zulassungsgrundsätze; Versuche an Gerüstsystemen und Gerüstbauteilen (Fassung August 1998). Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik -DIBt-, Reihe B, Heft 5. Berlin 1998
- [4] DIN EN 12811-3:2003-02: Temporäre Konstruktionen für Bauwerke -Teil 3: Versuche zum Tragverhalten.
- [5] Beratungen der Projektgruppe "Zulassungsgrundsätze - Gerüste" 14. - 18. Sitzung, 2004 und 2005.

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für die beiden untersuchten Gerüstsysteme.

Es liegen keine allgemein zugänglichen Versuchsergebnisse mit Versuchsdurchführung entsprechend geplanter europäischer Vorgehensweise vor.

3. Untersuchte Gerüstsysteme

Es wurden zwei Fassadengerüstsysteme unterschiedlicher Konstruktionsart ausgewählt. Beide Systeme besitzen Rahmenbreite von ca. 0,7 m und werden in der Gerüstgruppe 3 nach [1] verwendet.

Im Gerüstsystem A werden offene U-Profile als Querriegel des Vertikalrahmens aus Stahl verwendet. Hier wurden Beläge vom Typ Aluminium-Rahmentafel mit angenieteteter Sperrholzplatte mit Feldlänge 3,0 m untersucht; sie sind ca. 60 cm breit. Zur Simulation einer Alterung wurden die Nietlöcher im Sperrholz um $\Delta r = 1$ mm größer als der Nietdurchmesser ausgeführt [3, 5]. Die Sicherung der Beläge gegen unbeabsichtigtes Ausheben erfolgt durch den Fußriegel der darüber angeordneten Rahmen, hier durch Rahmenabschnitte und ein Gewicht von 25 kg je Rahmen simuliert.

Das Gerüstsystem B besitzt C-förmige Profile aus Stahl als Querriegel, die im Vergleich zum offenen U-Profil eine größere Steifigkeit gegenüber der lokalen Einleitung der Klauenzugkräfte besitzen. Bei diesem Gerüstsystem werden in der Regel 2-teilige Stahlbeläge mit 32 cm Breite verwendet, die auch in den Versuchen eingesetzt wurden. Die Sicherung der Beläge gegen unbeabsichtigtes Ausheben ist im Kopfbeschlag der Beläge integriert. Die Feldlänge betrug ebenfalls 3,0 m.

Für beide Gerüstsysteme wurden in den vergangenen Jahren Zulassungsversuche entsprechend den Regelungen [3] in den Versuchseinrichtungen der SIGMA KARLSRUHE GmbH durchgeführt und ausgewertet.

In den Zulassungsversuchen wurde eine zunehmend zyklische Belastung mit Zyklen auf $\pm 1,0$ kN und $\pm 2,5$ kN aufgebracht. Nach Abschluss des Lastzyklus $\pm 2,5$ kN erfolgte die Belastung bis zum Versagen der Horizontalebene in positiver Richtung; dies entspricht einer Belastungsrichtung entgegen der angenommenen Fassade wirkend.

Nach DIN EN 12811-3 sind vollständige zyklische Belastung (≥ 3 Lastzyklen) auf Höhe von $R_k / \gamma_M \gamma_F$ durchzuführen. Die gegenwärtig in den beiden Zulassungen als Beanspruchbarkeit festgelegten Werte können als R_k herangezogen werden. Danach sind die Lastzyklen auf folgendem Niveau durchzuführen:

Gerüstsystem A: $F_{zy1} \approx 1,5$ kN

Gerüstsystem B: $F_{zy1} \approx 2,5$ kN

Hier wurden jeweils drei vollständige Lastzyklen auf den Niveaus $\pm 1,5$ kN und $\pm 2,5$ kN durchgeführt.

Bei der Steifigkeitsermittlung werden nach DIN EN 12811-3, 10.10 die Verschiebungen im letzten (dritten) Lastzyklus verwendet. Die "Projektgruppe" [5] hat beschlossen, dass die in Abhängigkeit von dem Variationskoeffizienten abgeminderte Steifigkeit als Bemessungswert betrachtet werden darf.

4.2 Gerüstsystem A

4.2.1 Versuchsergebnisse entsprechend Zulassungsgrundsätze [3]

Die Last-Verschiebungsdiagramme sind in der Anlage 1 beige-fügt. Bei den Versuchen 1-5 war Herausspringen eines Belages am mittleren Rahmen, bei dem 6. Versuch war Aufreißen der eingeschweißten Verschiebesicherung die Versagensursache.

Die Versuchsauswertung ergab:

Lose	f_0	= 2,1 cm
lineare Steifigkeit	$C_{L,k}$	= 0,42 kN/cm für $H \leq 2,0$ kN
	$C_{L,k}$	= 0,29 kN/cm für $2,0$ kN < $H \leq 2,5$ kN
Beanspruchbarkeit	$F_{L,R,k}$	= 2,5 kN

Diese Werte wurden in die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung übernommen.

4.2.2 Versuchsergebnisse entsprechend DIN EN 12811-3 [4]

Die Last-Verschiebungsdiagramme sind in der Anlage 2 beige-fügt. Mit Ausnahme des Versuchs 4 war Herausspringen einer Belagtafel nach Aufreißen der eingeschweißten Verschiebesicherung im mittleren Rahmen die Versagensursache. Beim Versuch 4 ist ein Belag am äußeren Rahmen herausgesprungen. Die Ursache für dieses Verhalten ist unklar.

Die statistische Auswertung der Höchstlasten ist in Tabelle 2 vorgenommen:

Tabelle 2: Statistische Auswertung der erreichten Höchstlasten

Versuch	Höchstlast [kN]	Höchstlast [kN]
7040R1-A	4,28	4,28
7040R2-A	5,35	5,35
7040R3-A	3,44	3,44
7040R4-A	2,40	—
7040R5-A	4,51	4,51
Mittelwert	4,00	4,40
Fraktilwert	1,80	2,67
Variationskoeffizient	0,28	0,18

Sofern der Versuch 4 als Ausreißer gewertet wird, ergibt sich als Beanspruchbarkeit

$$F_{L,R,k} \approx 2,67/1,25 = 2,14 \text{ kN}$$

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{R2} = 1,25$ wird ungünstigst in Rechnung gestellt.

Die Steifigkeiten werden nachfolgend für die Horizontalkräfte bis 1,5 kN und im Bereich 1,5 bis 2,5 kN ausgewertet.

Tabelle 3: Statistische Auswertung der Horizontalsteifigkeiten

Versuch	Lose		Lastbereich $ F_{\perp} \leq 1,5 \text{ kN}$		Lastbereich $1,5 < F_{\perp} \leq 2,5 \text{ kN}$	
	$f_{0,p}$ [cm]	$ f_{0,n} $ [cm]	$C_{p,1}$ [kN/cm]	$C_{n,1}$ [kN/cm]	$C_{n,1}$ [kN/cm]	$C_{p,2}$ [kN/cm]
7040R1-A	2,54	4,43	0,769	0,733	0,521	0,390
7040R2-A	3,51	2,74	0,917	0,962	0,667	0,592
7040R3-A	1,52	4,03	1,031	0,433	0,371	0,336
7040R4-A	2,44	2,44	0,927	0,884	-	-
7040R5-A	1,45	3,70	1,010	0,806	0,342	0,300
arithm. Mittelwert	2,9		0,921	0,706	0,443	0,379
Variations- koeffizient	-		0,12	0,36	0,29	0,27
Reduktionsfaktor	-		0,9	0,7	0,8	0,8
reduz. Steifigkeit	-		0,829	0,494	0,354	0,303

Der Variationskoeffizient ist in allen Lastbereichen $>0,10$, so dass Reduzierungen der Steifigkeiten vorgenommen werden müssen.

Nach DIN EN 12812-3, Gl. 15 sind die Steifigkeitsunterschiede im positiven und negativen Lastbereich für $|F_{\perp}| \leq 1,5 \text{ kN}$ so groß, dass die Steifigkeit nicht gemittelt werden darf:

$$(0,921-0,706) / (0,921+0,706) \times 100 = 13,2 > 10$$

Bei Verwendung der reduzierten Steifigkeiten wird Abweichung noch größer. Für den Lastbereich $1,5 < |F_{\perp}| \leq 2,5 \text{ kN}$ gilt:

$$(0,354-0,303) / (0,354+0,303) \times 100 = 7,8 < 10$$

Anmerkung zu Gl. 15: Stimmen in DIN EN 12812-3, 10.10 Text zu Gl. 15 und die Gl. 15 überein?

Für die praktische Berechnung wird nur die geringere Steifigkeit in Rechnung gestellt. Damit wird:

$$|F_{\perp}| \leq 1,5 \text{ kN: } c_{\perp,1} = 0,49 \text{ kN/cm}$$

$$1,5 < |F_{\perp}| \leq 2,5 \text{ kN: } c_{\perp,2} = 2 / (1/0,354 + 1/0,303) = 0,33 \text{ kN/cm}$$

Entsprechend den Festlegungen der "Projektgruppe" dürfen diese Steifigkeitswerte als Bemessungswerte verwendet werden.

Die Steifigkeitsbeziehungen (Bemessungswerte) nach Zulassungsgrundsätzen [3] und nach DIN EN 12811-3 sind im Bild 2 dargestellt. Im Vergleich zu den Ergebnissen nach den Zulassungsgrundsätzen ergibt sich eine größere Steifigkeit, jedoch auch eine größere Lose.

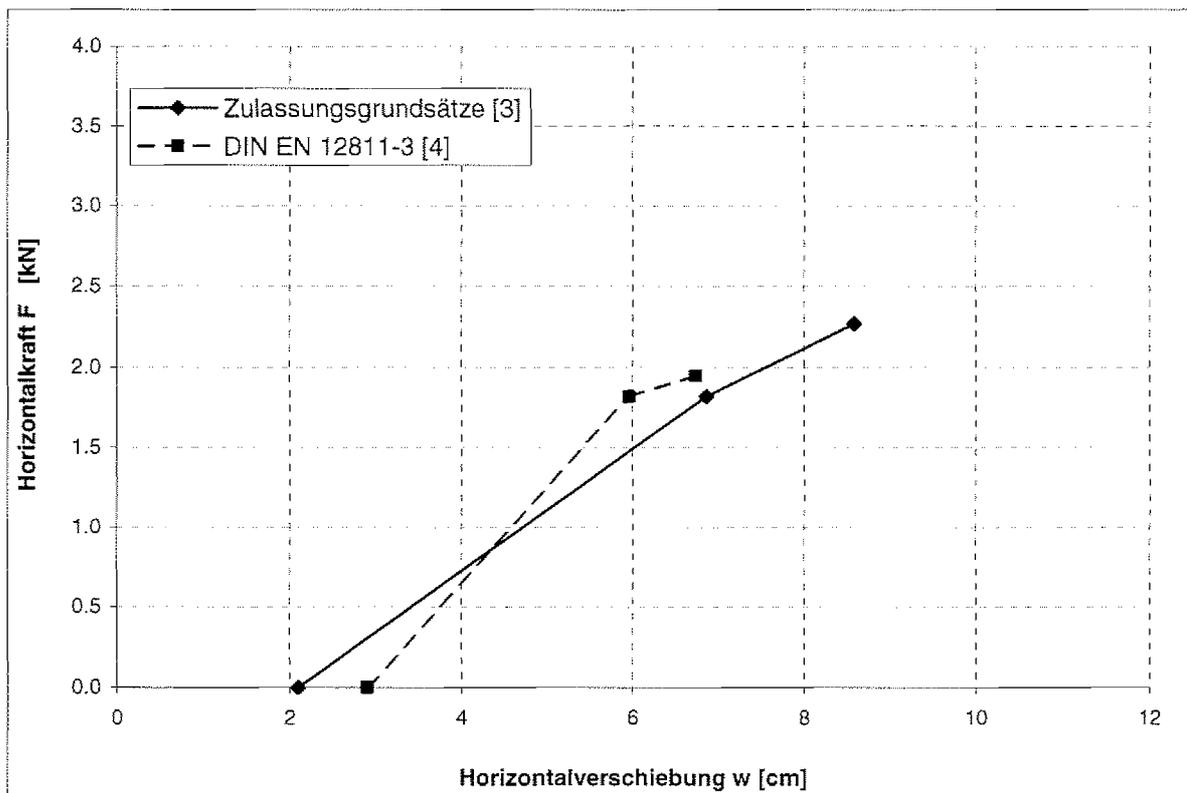


Bild 2: Steifigkeitsbeziehungen für die Horizontalebene des Gerüstsystems A

4.3 Gerüstsystem B

4.3.1 Versuchsergebnisse entsprechend Zulassungsgrundsätze [3]

Die Last-Verschiebungsdiagramme sind in der Anlage 3 beige-fügt. Bei allen Versuchen war Herausspringen einer Belagtafel die Versagensursache.

Die Versuchsauswertung ergab:

Lose	$f_0 = 3,82 \text{ cm}$
lineare Steifigkeit	$C_{L,k} = 0,68 \text{ kN/cm}$ für $F_L \leq 2,5 \text{ kN}$
	$C_{L,k} = 0,41 \text{ kN/cm}$ für $2,5 \text{ kN} < F_L \leq 4,0 \text{ kN}$
Beanspruchbarkeit	$F_{L,R,k} = 4,0 \text{ kN}$

4.3.2 Versuchsergebnisse entsprechend DIN EN 12811-3 [4]

Die Last-Verschiebungsdiagramme sind in der Anlage 4 beige-fügt. Bei allen Versuchen war Herausspringen einer Belagtafel im mittleren Rahmen die Versagensursache. Die statistische Auswertung der Höchstlasten ist in Tabelle 4 vorgenommen:

Tabelle 4: Statistische Auswertung der erreichten Höchstlasten

Versuch	Höchstlast [kN]
7040R1-B	5,71
7040R2-B	5,78
7040R3-B	5,54
7040R4-B	5,14
7040R5-B	6,06
Mittelwert	5,65
Fraktilwert	4,85
Variationskoeffizient	0,06

Damit ergibt sich als Beanspruchbarkeit

$$F_{L,R,k} \approx 4,85/1,25 = 3,88 \text{ kN}$$

wobei der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{R2} = 1,25$ ungünstigst in Rechnung gestellt wird.

Die Steifigkeiten werden nachfolgend für die Horizontalkräfte bis 2,5 kN und im Bereich 2,5 bis 4,0 kN ausgewertet.

Tabelle 5: Statistische Auswertung der Horizontalsteifigkeiten

Versuch	Lose		Lastbereich $ F_{\perp} \leq 2,5 \text{ kN}$		Lastbereich $2,5 < F_{\perp} \leq 4,0 \text{ kN}$
	$f_{0,p}$ [cm]	$ f_{0,n} $ [cm]	$c_{p,1}$ [kN/cm]	$c_{n,1}$ [kN/cm]	$c_{p,2}$ [kN/cm]
7040R1-B	3,67	4,60	0,837	0,784	0,526
7040R2-B	3,68	3,99	0,741	0,791	0,449
7040R3-B	4,83	3,56	0,840	0,819	0,472
7040R4-B	3,77	4,31	0,823	0,816	0,472
7040R5-B	4,43	3,98	0,918	0,870	0,462
arithm. Mittelwert	4,1		0,828	0,815	0,475
Variations- koeffizient	-	-	0,077	0,041	0,058

Der Variationskoeffizient ist in allen Lastbereichen $< 0,10$, so dass keine Reduzierung der Steifigkeiten vorgenommen werden muss.

Nach DIN EN 12812-3, Gl. 15 darf die Steifigkeit des positiven und negativen Lastbereichs gemittelt werden:

$$(0,828 - 0,815) / (0,828 + 0,815) \times 100 = 0,79 < 10$$

Damit wird:

$$|F_{\perp}| \leq 2,5 \text{ kN: } c_{\perp,1} = 2 / (1/0,828 + 1/0,815) = 0,82 \text{ kN/cm}$$

Für den Lastbereich $|F_{\perp}| > 2,5 \text{ kN}$ wird $c_{p,2}$ in Rechnung gestellt:

$$2,5 < |F_{\perp}| \leq 4,0 \text{ kN: } c_{\perp,2} = 0,47 \text{ kN/cm}$$

Entsprechend den Festlegungen der "Projektgruppe" dürfen diese Steifigkeitswerte als Bemessungswerte verwendet werden.

Die Steifigkeitsbeziehungen (Bemessungswerte) nach Zulassungsgrundsätzen [3] und nach DIN EN 12811-3 sind im Bild 3 dargestellt. Im Vergleich zu den Ergebnissen nach den Zulassungsgrundsätzen ergibt sich eine größere Steifigkeit, jedoch auch eine etwas größere Lose.

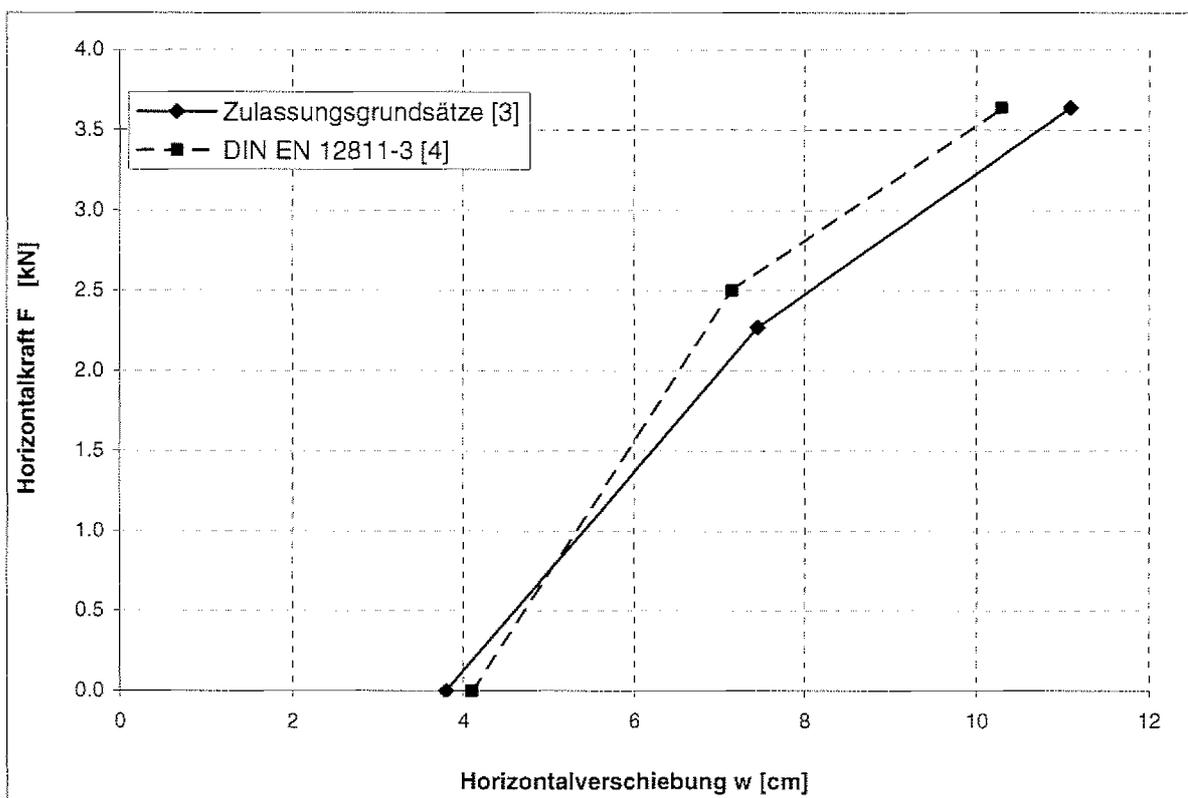


Bild 3: Steifigkeitsbeziehungen für die Horizontalebene des Gerüstsystems B

5. Auswirkungen auf den Nachweis der Regelausführung

5.1 Vorgehensweise

Für die beiden Fassadengerüstsysteme wird nachfolgend am Beispiel einer repräsentativen Regelausführung, die im Zuge des Zulassungsverfahrens nachgewiesen wurde, überprüft, wie sich Änderungen von Lose und Steifigkeit auf die Ausnutzung der einzelnen Bauteile auswirken.

Es werden die jeweiligen auf Grundlage von [1] und [2] bestimmten System- und Lastannahmen aus den vorliegenden Zulassungsberechnungen übernommen. Abweichend davon wird lediglich anstelle des einzelnen Rahmenezuges, der mit um 20 mm reduzierter Lose entsprechend [2], Abschnitt 6.4.2 berechnet wurde, das vereinfachte räumliche System durch zwei gekoppelte ebene Rahmenezüge verwendet. Hierbei sind Koppelungen durch Horizontalfedern in jeder ausgelegten Gerüstlage vorhanden, wobei die volle Lose in Rechnung zu stellen ist. Zusätzlich werden auch die Ergebnisse ermittelt am ebenen Ersatzsystem mit um 20 mm reduzierter Lose angegeben.

Alle Berechnungen werden mit $1/\gamma_M$ -fachen Steifigkeiten unter γ_F -fachen Einwirkungen durchgeführt.

5.2 Gerüstsystem A

5.2.1 Untersuchte Regelausführung

Bei diesem Gerüstsystem werden geschweißte Rahmen mit Rohren $\varnothing 48,3 \times 2,7$ verwendet. Der Fußriegel übernimmt die Funktion der Belagsicherung; er besitzt nur geringe Biegesteifigkeit. In der Zulassungsberechnung wurde er als gelenkig angeschlossen betrachtet.

Untersucht wird ein unbekleidetes Gerüst vor offener Fassade (Öffnungsanteil maximal 60%) mit Innenkonsolen 0,32 cm breit in jeder Gerüstlage. Die Spindelauszugslänge beträgt 35 cm. Die Verankerung erfolgt versetzt in vertikalen Abständen von 8 m, wobei in H = 4 m Höhe eine durchgehende Ankerreihe vorliegt. Es werden Verkehrslasten Gerüstgruppe 3 in Rechnung gestellt.

Im Zuge der Zulassungsberechnung wurde eine Untersuchung zur maßgebenden Vorverformungslinie durchgeführt mit dem Ergebnis, dass hier bei sehr kleiner Mindeststeifigkeit $c^* > 0,08 \text{ kN/cm}$ die 4 m-Knickbiegeline maßgebend wird.

Bild 4 zeigt das statische Modell.

5.2.2 Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze [3]

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse des untersuchten Gerüsts mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.2.1 sind in den Bildern 5 bis 7 dargestellt. Eine tabellarische Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade der einzelnen Bauteile enthält Tabelle 6.

Im Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" wirkt lediglich die Koppelfeder in 24 m Höhe, siehe Bild 5. Mit 76% Ausnutzung ist ein Verbinder das am stärksten beanspruchte Bauteil.

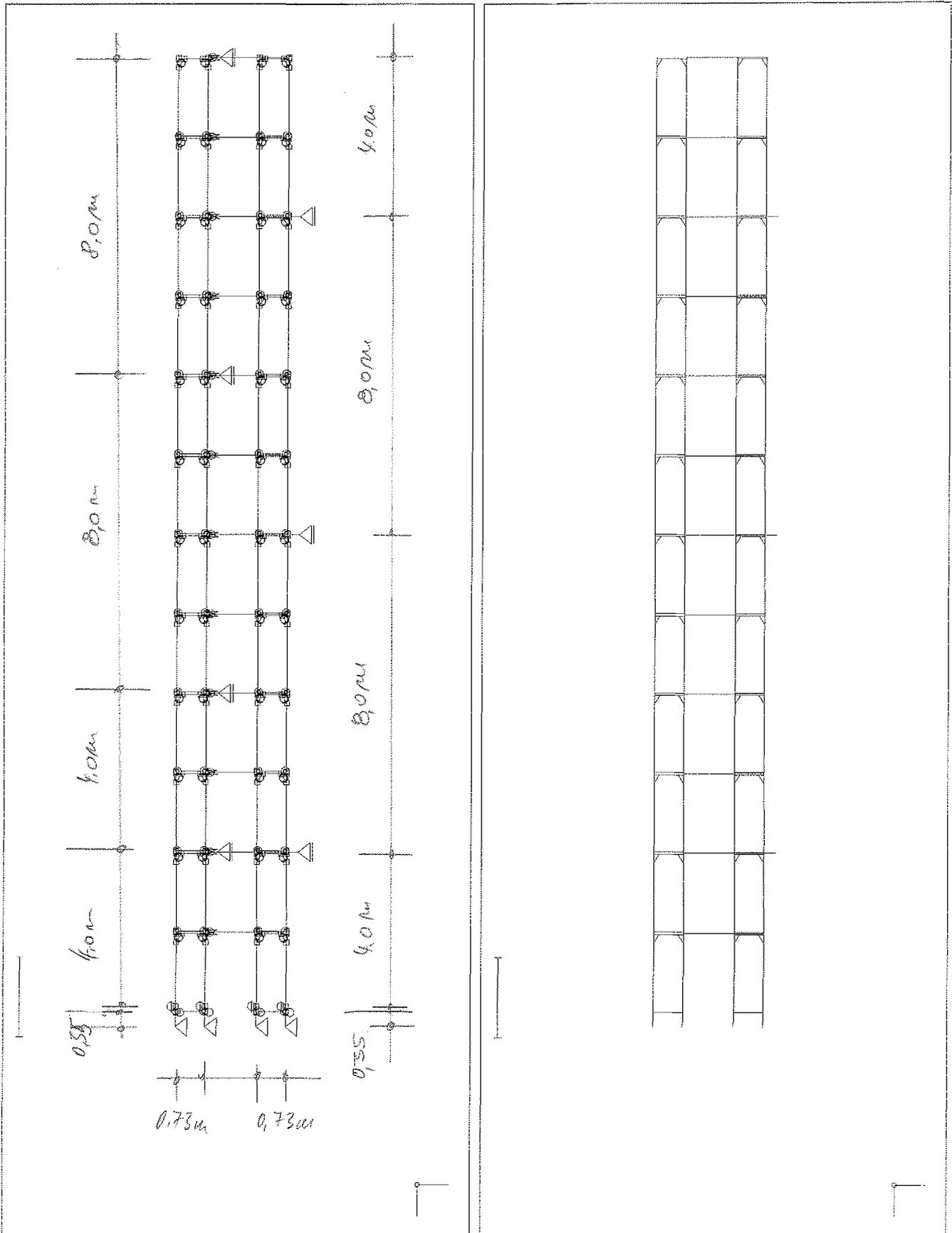


Bild 4: Gerüstsystem A, statisches Modell

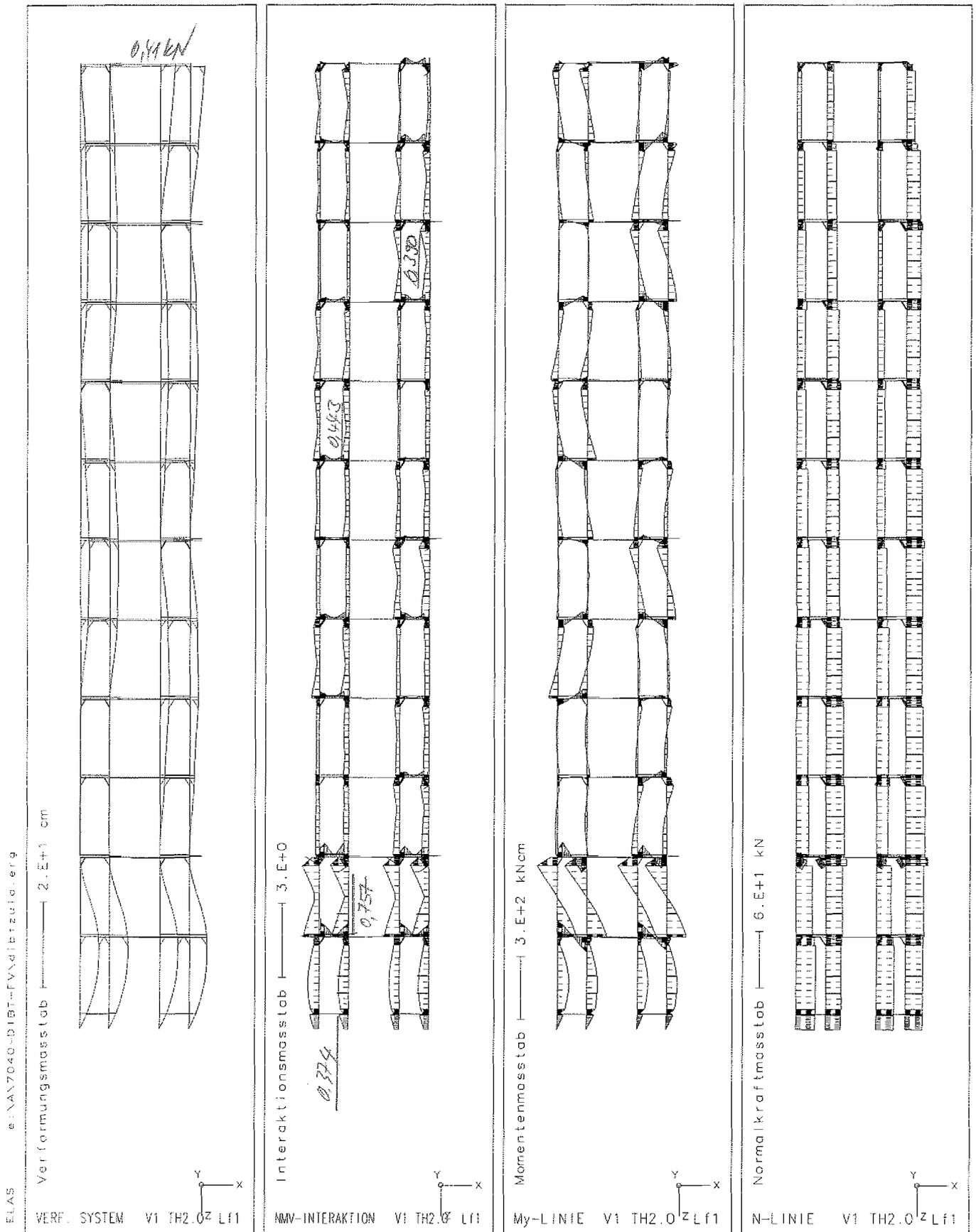


Bild 5: Gerüstsystem A, Ergebnisse für Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze

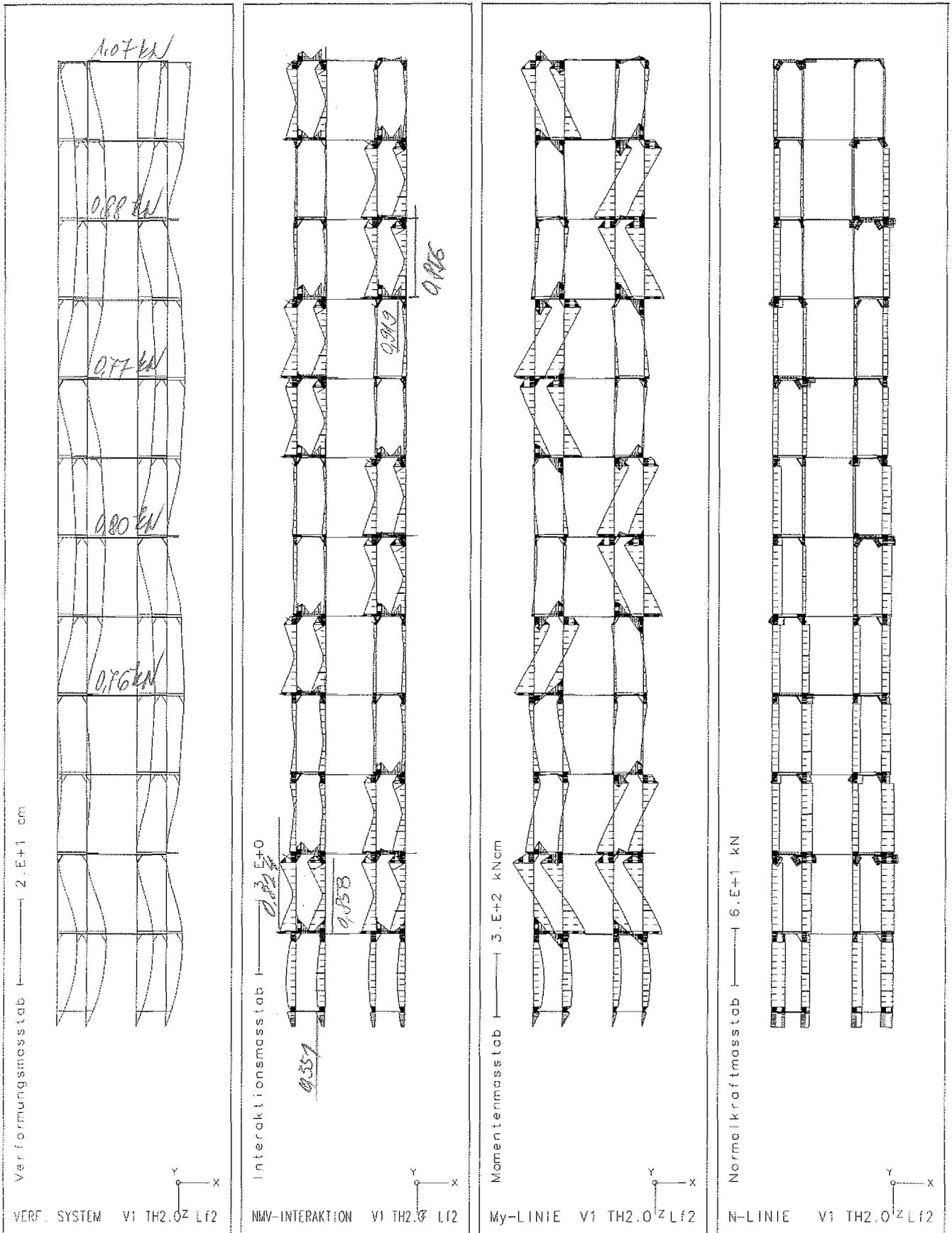


Bild 6: Gerüstsystem A, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze

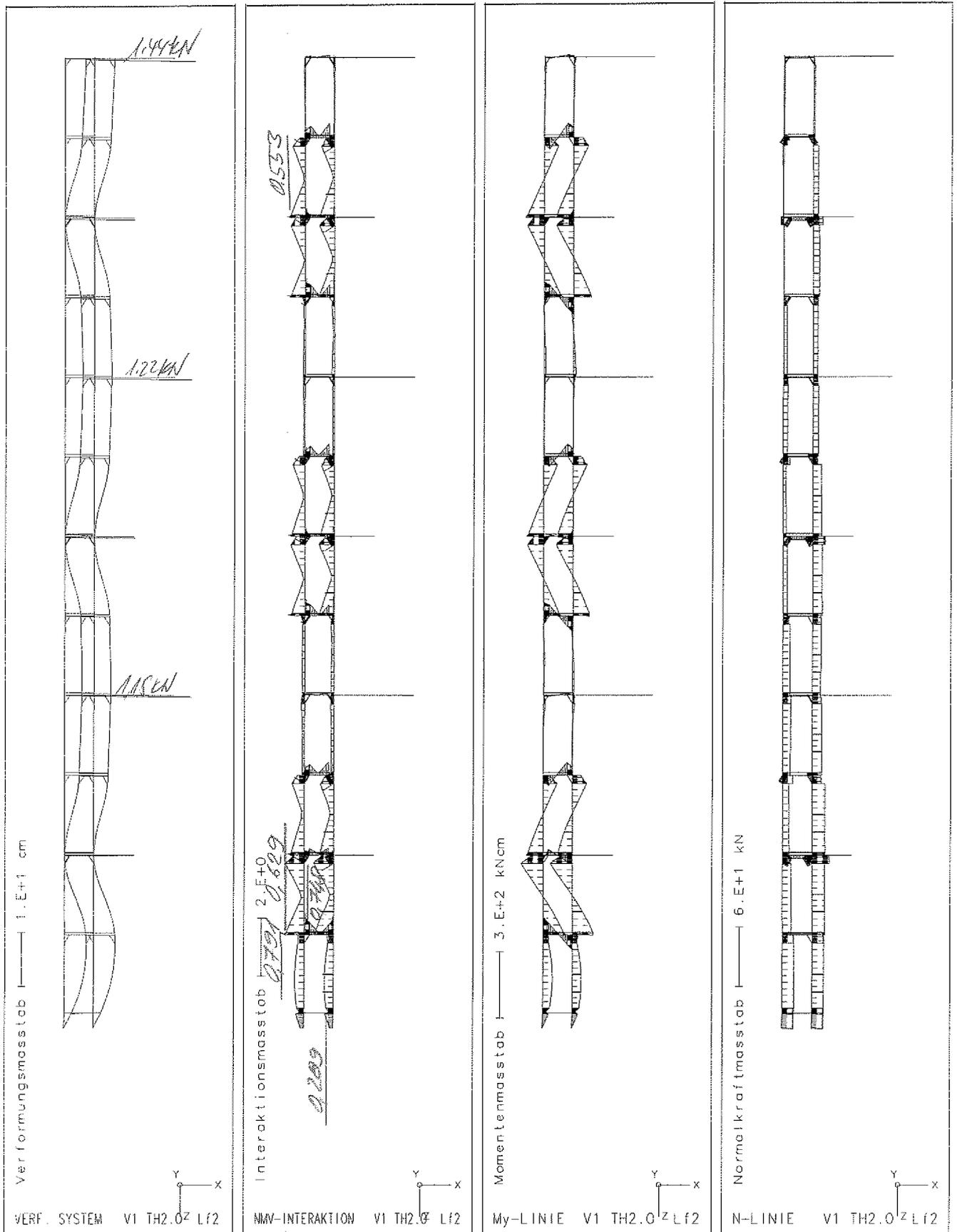


Bild 7: Gerüstsystem A, Ergebnisse der ebenen Berechnung für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze, Lose um 20 mm reduziert

Im Lastfall 2 "größte Windlast" (Bild 6) werden die Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam; die größte Federkraft beträgt 1,07 kN. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 92% (Querriegel). Für diesen Lastfall sind in Bild 7 die Ergebnisse der ebenen Berechnung dargestellt, wobei die Lose um 20 mm reduziert wurde ($f_0 = 2,1 - 2,0 = 0,1$ cm). Die Ausnutzung der Bauteile sinkt spürbar, lediglich die Federkräfte steigen an.

5.2.3 Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend DIN EN 12811-3 [4]

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse für das untersuchte Gerüst mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.2.2 sind im Bild 8 dargestellt. Da die Lose etwas größer ist als zuvor, ergeben sich für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb", bei dem nur die Feder in $H = 24$ m wirksam ist, nur geringe Änderungen.

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden wieder die Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 95% (Querriegel).

5.2.4 Ergebnisse mit modifizierter Kennlinie

Um die Einflüsse einer stärkeren Änderung der Federkennlinie nach Abschnitt 4.2.1, ermittelt entsprechend den Zulassungsgrundsätzen [3], zu beurteilen, werden folgende Annahmen getroffen:

a) Vergrößerung der Lose um 10 mm

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse für das untersuchte Gerüst mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.2.1 zzgl. 10 mm Lose ($f_0 = 2,1 + 1,0 = 3,1$ cm) sind im Bild 9 dargestellt. Für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ergeben sich nur unbedeutende Änderungen.

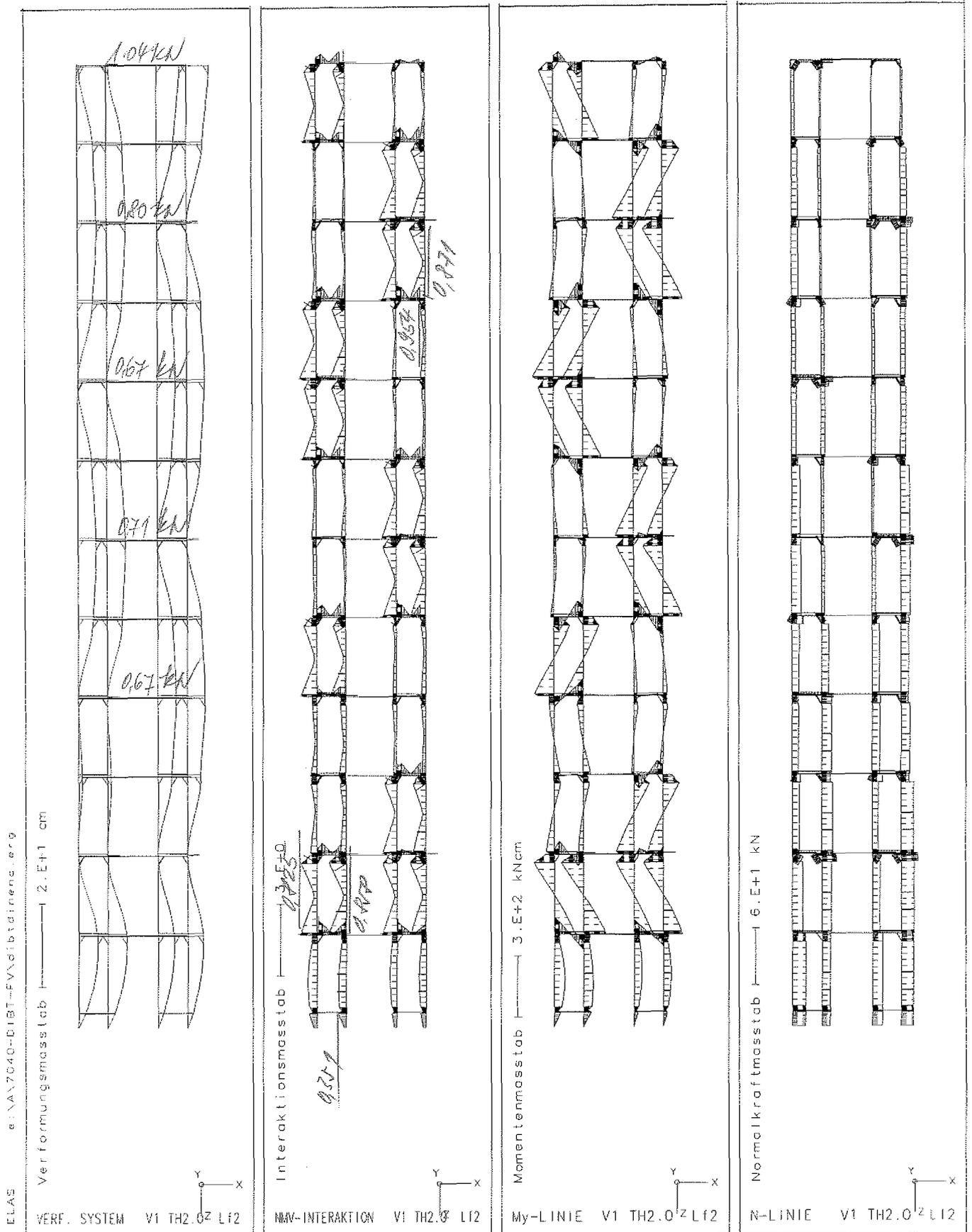


Bild 8: Gerüstsystem A, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend DIN EN 12811-3

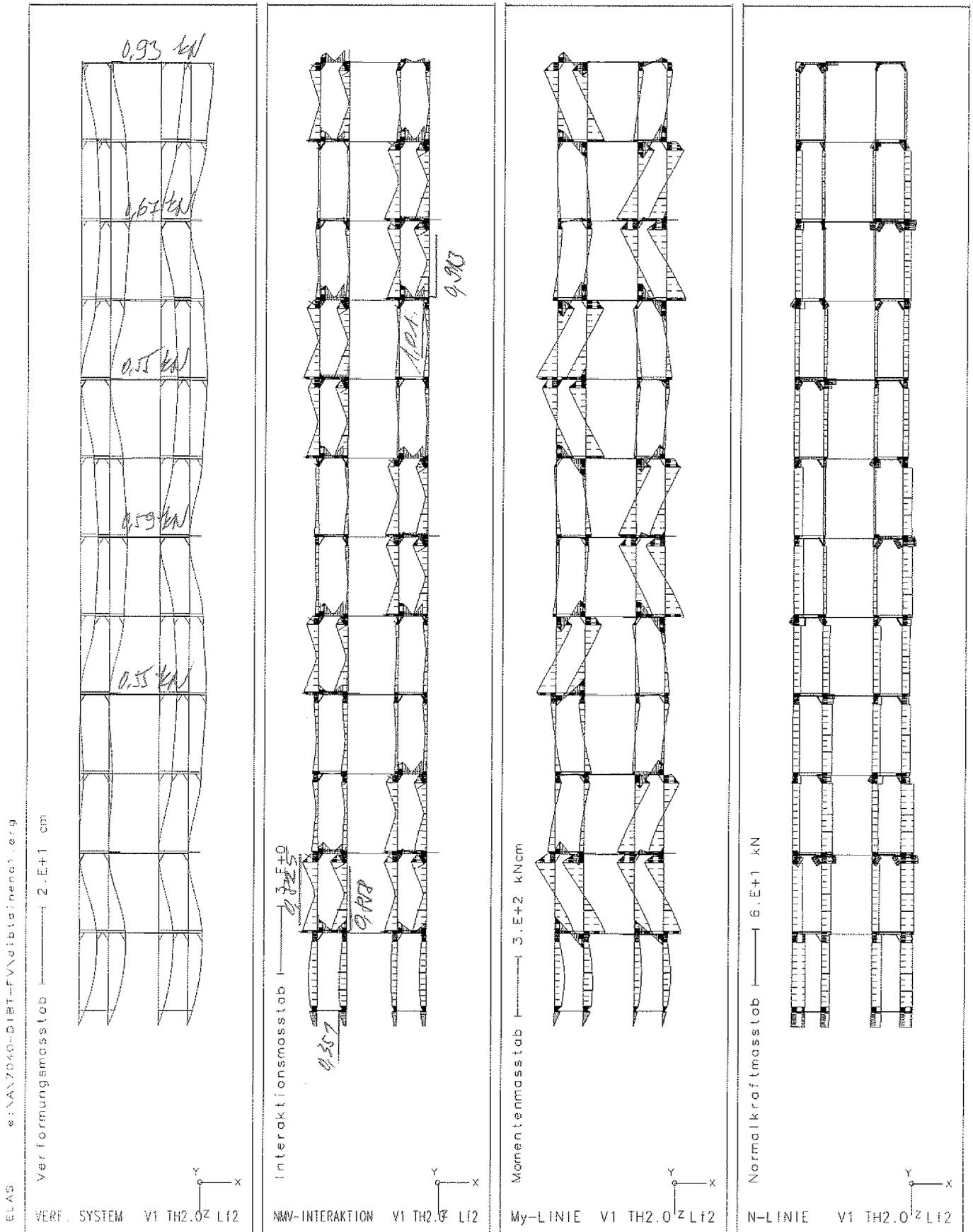


Bild 9: Gerüstsystem A, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze mit zusätzlicher Lose $\Delta f_0 = 1,0$ cm

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden wieder die Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 101% (Querriegel).

b) Reduzierung der Federsteifigkeit auf 75%

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse für das untersuchte Gerüst mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.2.1 jedoch auf 75% reduzierter Federsteifigkeit ($C_{L,d} = 0,75 \times 0,42/1,1 = 0,29$ kN/cm) sind im Bild 10 dargestellt. Für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ergeben sich keine spürbaren Änderungen.

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden wieder alle Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 98% (Querriegel).

c) Vergrößerung der Lose um 10 mm und Reduzierung der Federsteifigkeit auf 75%

Hier werden die Annahmen nach a) und b) gemeinsam angesetzt. Für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ergeben sich keine wesentlichen Änderungen, im Lastfall 2 "größte Windlast" ergeben sich annähernd die Ergebnisse wie bei a); die größte Ausnutzung beträgt jetzt 105% (Querriegel). Im Bild 11 sind die wesentlichen Ergebnisse grafisch dargestellt.

5.2.5 Zusammenstellung und Bewertung der Ergebnisse

Eine tabellarische Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade der einzelnen Bauteile enthält Tabelle 6. Die Berechnungen zeigen für die Kennlinien nach Abschnitt 4.2.1 und 4.2.2 nahezu identische Ergebnisse. Da die Koppelfedern in den nicht geankerten Zwischenlagen bei räumlicher Berechnung nicht wirksam sind, können sich in diesem statischen Modell nur die ebenen Eigenschaften entfalten. Die Berechnung des ebenen Ersatzsystems, bei dem die Lose um 20 mm reduziert wird, ergibt daher die geringsten Beanspruchungen für die Bauteile des Gerüstsystems.

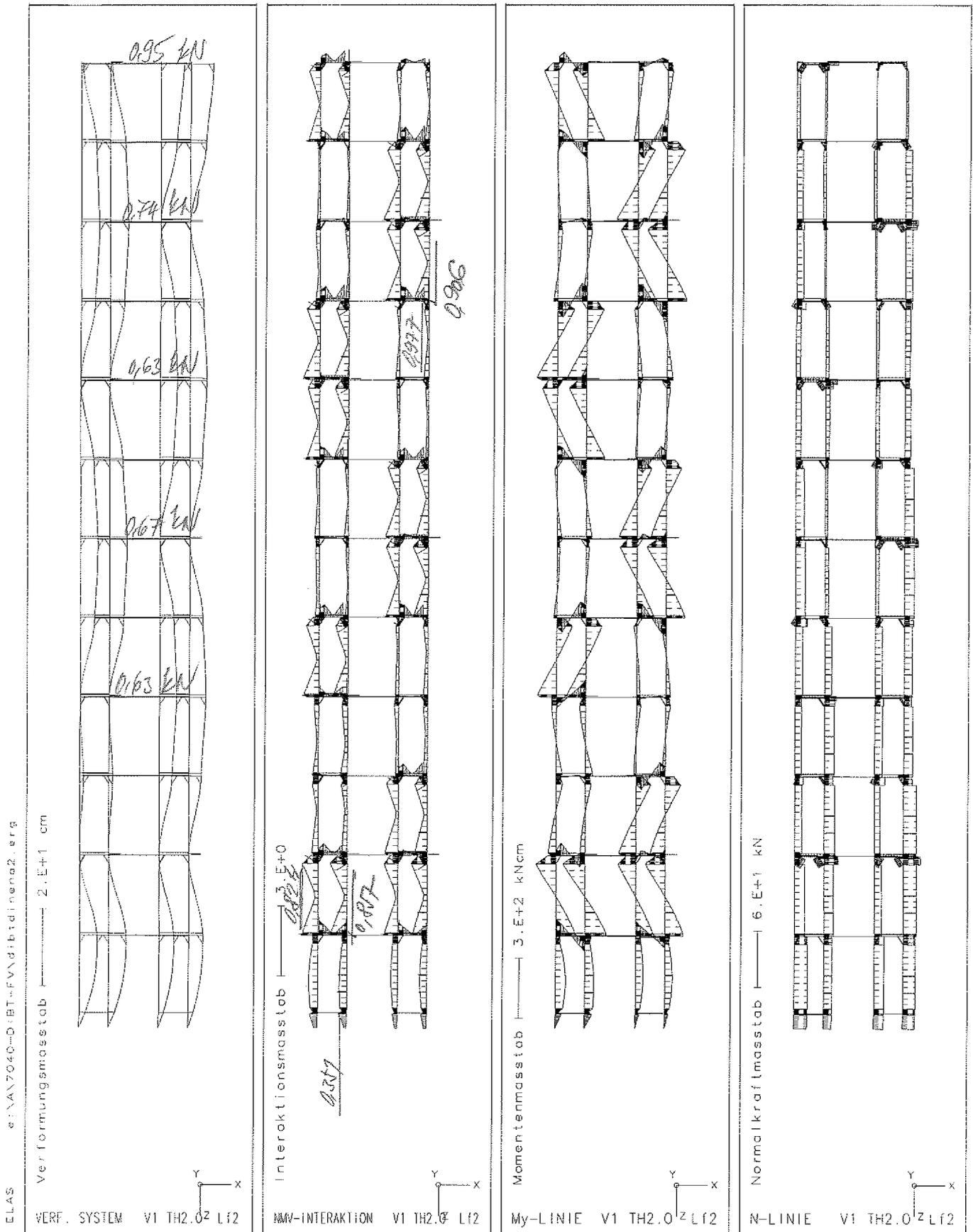


Bild 10: Gerüstsystem A, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze jedoch Steifigkeit auf 75% reduziert

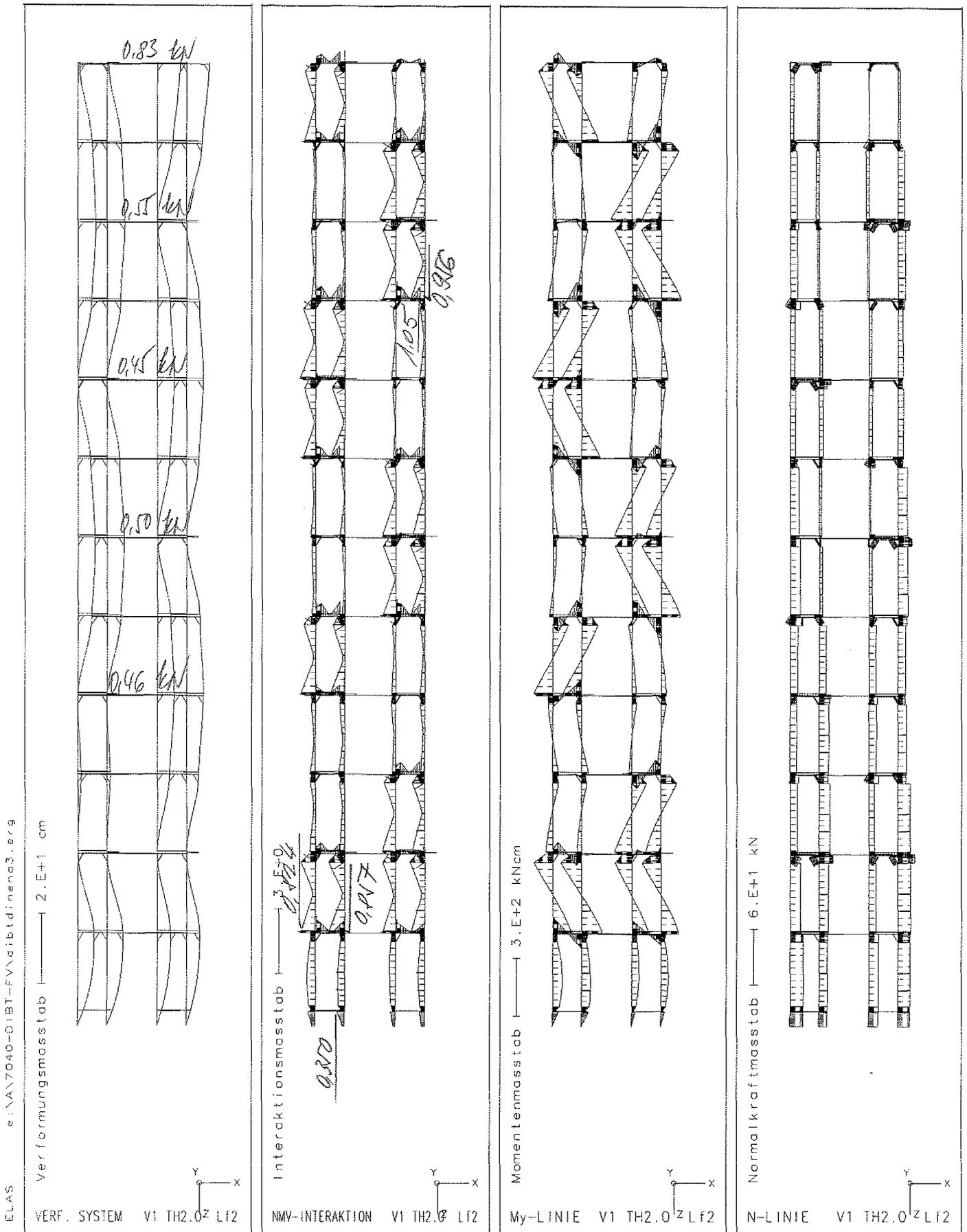


Bild 11: Gerüstsystem A, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze mit zusätzlicher Lose $\Delta f_0 = 1,0$ cm und auf 75% reduzierter Steifigkeit

Eine spürbare Änderung ergibt sich bei Vergrößerung der Lose um 10 mm. Die Reduzierung der Federsteifigkeit auf 75% zeigt dagegen nahezu keine Wirkung.

Tabelle 6: Ausnutzungsgrade der Bauteile im Lastfall 2 "größte Windlast" bei verschiedenen Federkennlinien

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Bauteil	Zulassungsgrundsätze, [3], ebenes System -20 mm Lose	Zulassungsgrundsätze [3], räumliches System	DIN EN 12811-3 [4]	wie (2) zzgl. 10 mm Lose	wie (2) jedoch $C_{L,d} = 0,75 \times C_{L,(1)}$	wie (4) jedoch $C_{L,d} = 0,75 \times C_{L,(1)}$
Spindel	0,289 (82%)	0,351 (100%)	0,351 (100%)	0,351 (100%)	0,351 (100%)	0,350 (100%)
Querriegel	0,748 (81%)	0,919 (100%)	0,954 (104%)	1,007 (110%)	0,977 (106%)	1,051 (114%)
Ständer unterhalb H = 4 m	0,629 (76%)	0,824 (100%)	0,825 (100%)	0,825 (100%)	0,824 (100%)	0,824 (100%)
Ständer oberhalb H = 4 m	0,553 (65%)	0,856 (100%)	0,871 (102%)	0,913 (107%)	0,906 (106%)	0,956 (112%)
Verbinder	0,791 (92%)	0,858 (100%)	0,858 (100%)	0,858 (100%)	0,857 (100%)	0,857 (100%)
max. Federkraft [kN]	1,44 (135%)	1,07 (100%)	1,04 (97%)	0,93 (87%)	0,95 (89%)	0,83 (0,78)

5.3 Gerüstsystem B

5.3.1 Untersuchte Regelausführung

Bei diesem Gerüstsystem werden geschweißte Rahmen mit Rohren $\varnothing 48,3 \times 3,2$ mm verwendet. Am Fuß des Gerüsts wird ein Basisrahmen eingebaut, der den gleichen Querriegel besitzt wie die normalen Rahmen. Das Trägheitsmoment der Querriegel beträgt ca. 40 cm^4 ; die Riegel besitzen damit eine erheblich größere Biegesteifigkeit als andere Vertikalrahmen.

Untersucht wird ein unbekleidetes Gerüst vor offener Fassade (Öffnungsanteil maximal 60%) mit Innenkonsolen 0,32 m breit in jeder Gerüstlage, Außenkonsole 1,04 m mit Schutzwand in oberster Gerüstlage, Schutzdach. Die Spindelauszugslänge beträgt 60 cm. Die Verankerung erfolgt versetzt in vertikalen Abständen von 8 m. Die Wirkung der Außenkonsolen wird hier nur durch ihre Vertikallasten berücksichtigt; je nach Einbauposition der Konsolen sind örtliche Zusatzmaßnahmen vorgeschrieben, insbesondere horizontale Halterungen in Höhe der Konsolagen. Es werden Verkehrslasten Gerüstgruppe 3 in Rechnung gestellt.

Im Zuge der Zulassungsberechnung wurde eine Untersuchung zur maßgebenden Vorverformungslinie durchgeführt mit dem Ergebnis, dass hier bei sehr kleiner Mindeststeifigkeit $c^* > 0,10 \text{ kN/cm}$ die 4 m-Knickbiegeline maßgebend wird.

Bild 12 zeigt das statische Modell.

5.3.2 Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze [3]

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse des untersuchten Gerüsts mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.3.1 sind in den Bildern 13 bis 15 dargestellt. Eine tabellarische Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade der einzelnen Bauteile enthält Tabelle 7.

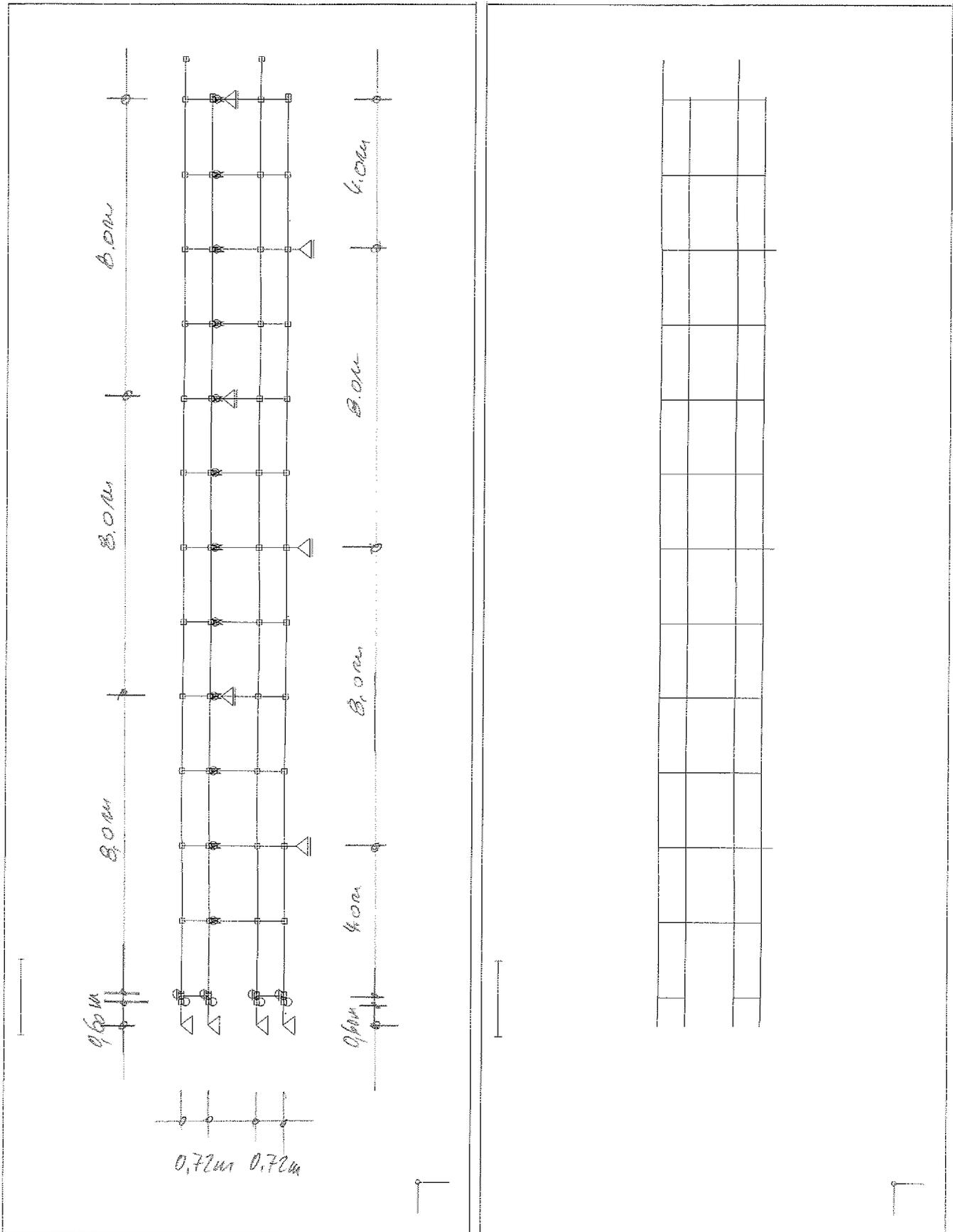


Bild 12: Gerüstsystem B, statisches Modell

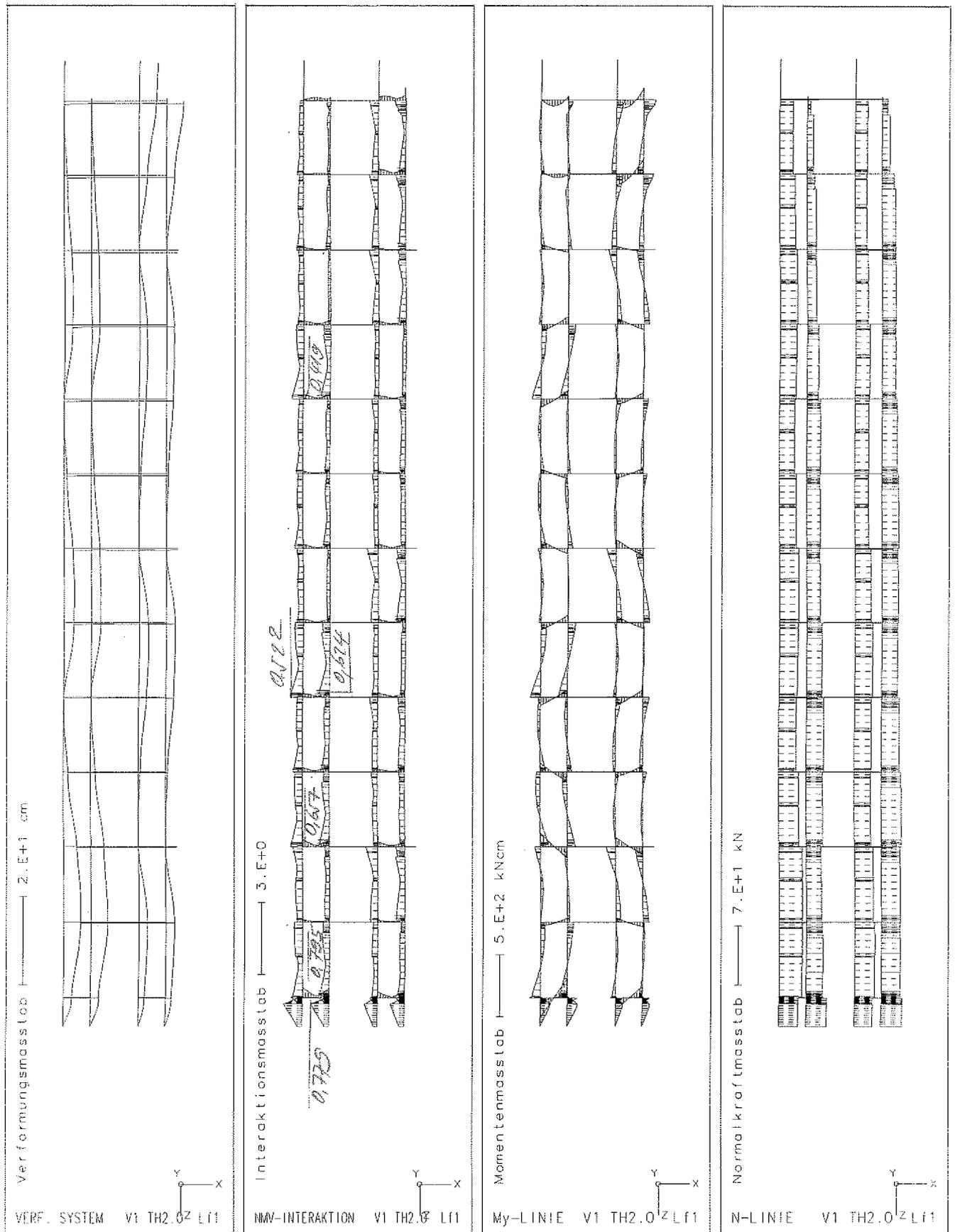


Bild 13: Gerüstsystem B, Ergebnisse für Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze

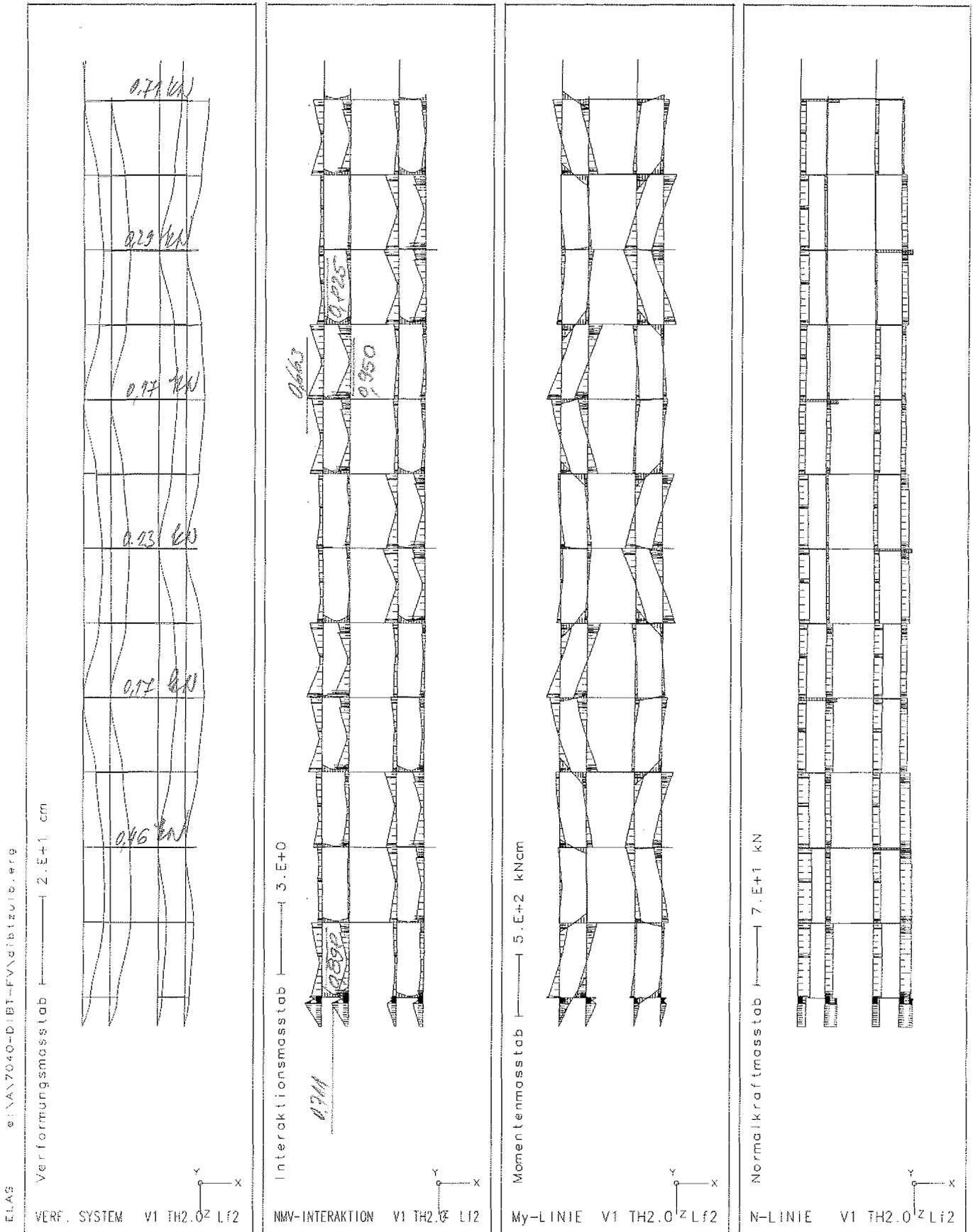


Bild 14: Gerüstsystem B, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze

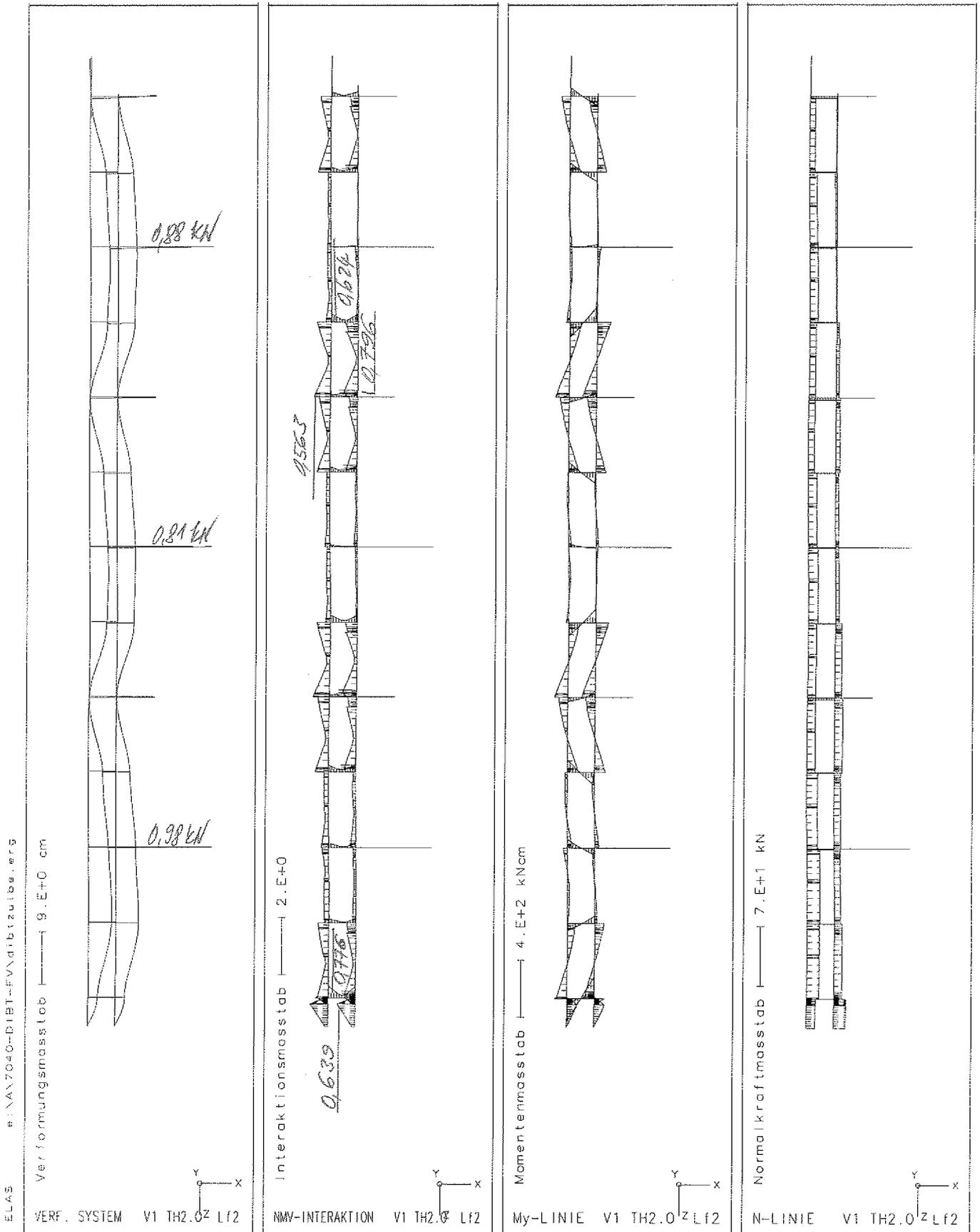


Bild 15: Gerüstsystem B, Ergebnisse der ebenen Berechnung für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze, Lose um 20 mm reduziert

Im Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ist keine der Koppelfedern wirksam; jeder Rahmenzug wirkt für sich allein, siehe Bild 13. Der Fußriegel ist mit 78% Ausnutzung das am stärksten beanspruchte Bauteil.

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden die Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam (Bild 14); die größte Federkraft beträgt 0,71 kN. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 95% (Verbinder). Für diesen Lastfall sind in Bild 15 die Ergebnisse der ebenen Berechnung dargestellt, wobei die Lose um 20 mm reduziert wurde ($f_0 = 3,8 - 2,0 = 1,8$ cm). Die Ausnutzung der Bauteile sinkt spürbar, lediglich die Federkräfte steigen an.

5.3.3 Ergebnisse mit Kennlinie entsprechend DIN EN 12811-3 [4]

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse für das untersuchte Gerüst mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.3.2 sind im Bild 16 dargestellt. Da die Lose etwas größer ist als zuvor ergeben sich für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" keine Änderungen (Federn bleiben unwirksam).

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden wieder die Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 96% (Verbinder).

5.3.4 Ergebnisse mit modifizierter Kennlinie

Um die Einflüsse einer stärkeren Änderung der Federkennlinie nach Abschnitt 4.3.1, ermittelt entsprechend den Zulassungsgrundsätzen [3], zu beurteilen, werden folgende Annahmen getroffen:

a) Vergrößerung der Lose um 10 mm

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse für das untersuchte Gerüst mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.3.1 zzgl. 10 mm Lose ($f_0 = 3,8 + 1,0 = 4,8$ cm) sind im Bild 17 dargestellt. Für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ergeben sich keine Änderungen.

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden nur die Koppelfedern in Höhe 4 m und 24 m wirksam. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 102% (Verbinder).

b) Reduzierung der Federsteifigkeit auf 75%

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse für das untersuchte Gerüst mit der Kennlinie entsprechend Abschnitt 4.3.1 jedoch auf 75% reduzierter Federsteifigkeit ($C_{L,d} = 0,75 \times 0,68/1,1 = 0,46$ kN/cm) sind im Bild 18 dargestellt. Für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ergeben sich keine Änderungen.

Im Lastfall 2 "größte Windlast" werden wieder alle Koppelfedern in Höhe der verankerten Gerüstlagen wirksam. Die Ausnutzung der Bauteile erreicht jetzt 96% (Verbinder).

c) Vergrößerung der Lose um 10 mm und Reduzierung der Federsteifigkeit auf 75%

Hier werden die Annahmen nach a) und b) gemeinsam angesetzt. Für den Lastfall 1 "Arbeitsbetrieb" ergeben sich keine Änderungen, im Lastfall 2 "größte Windlast" ergeben sich annähernd die Ergebnisse wie bei a). Im Bild 19 sind die wesentlichen Ergebnisse grafisch dargestellt.

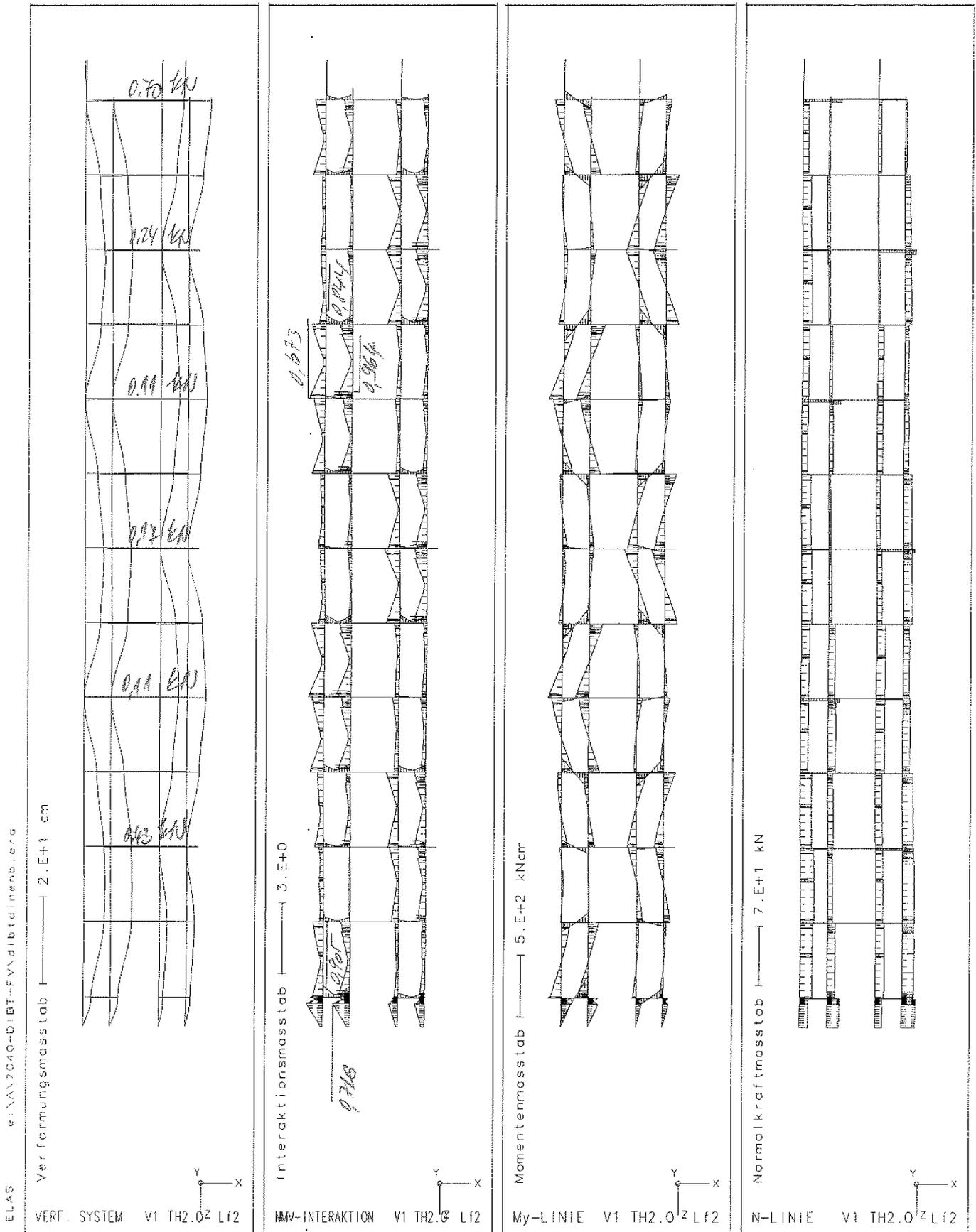


Bild 16: Gerüstsystem B, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend DIN EN 12811-3

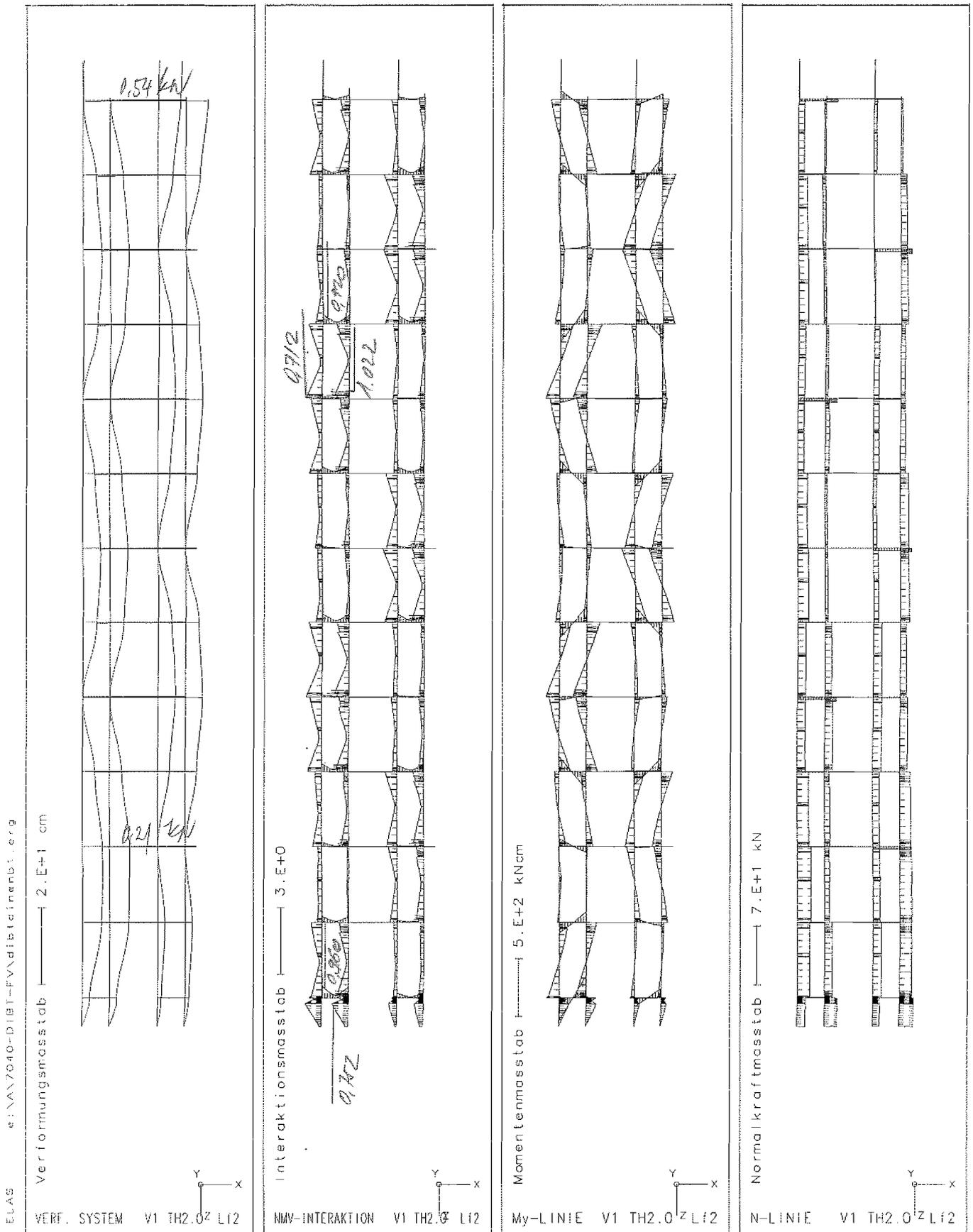


Bild 17: Gerüstsystem B, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze mit zusätzlicher Lose $\Delta f_0 = 1,0$ cm

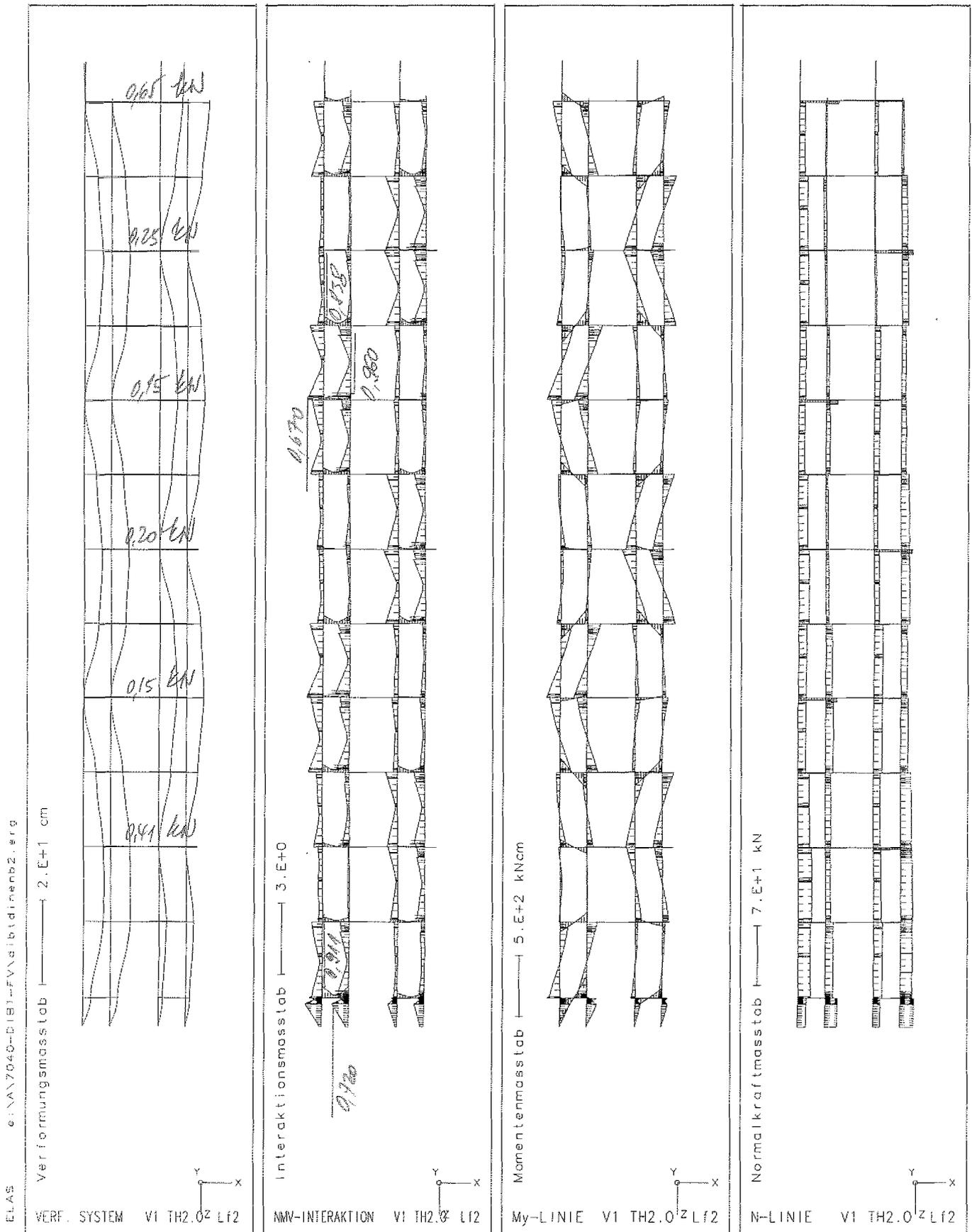


Bild 18: Gerüstsystem B, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze jedoch Steifigkeit auf 75% reduziert

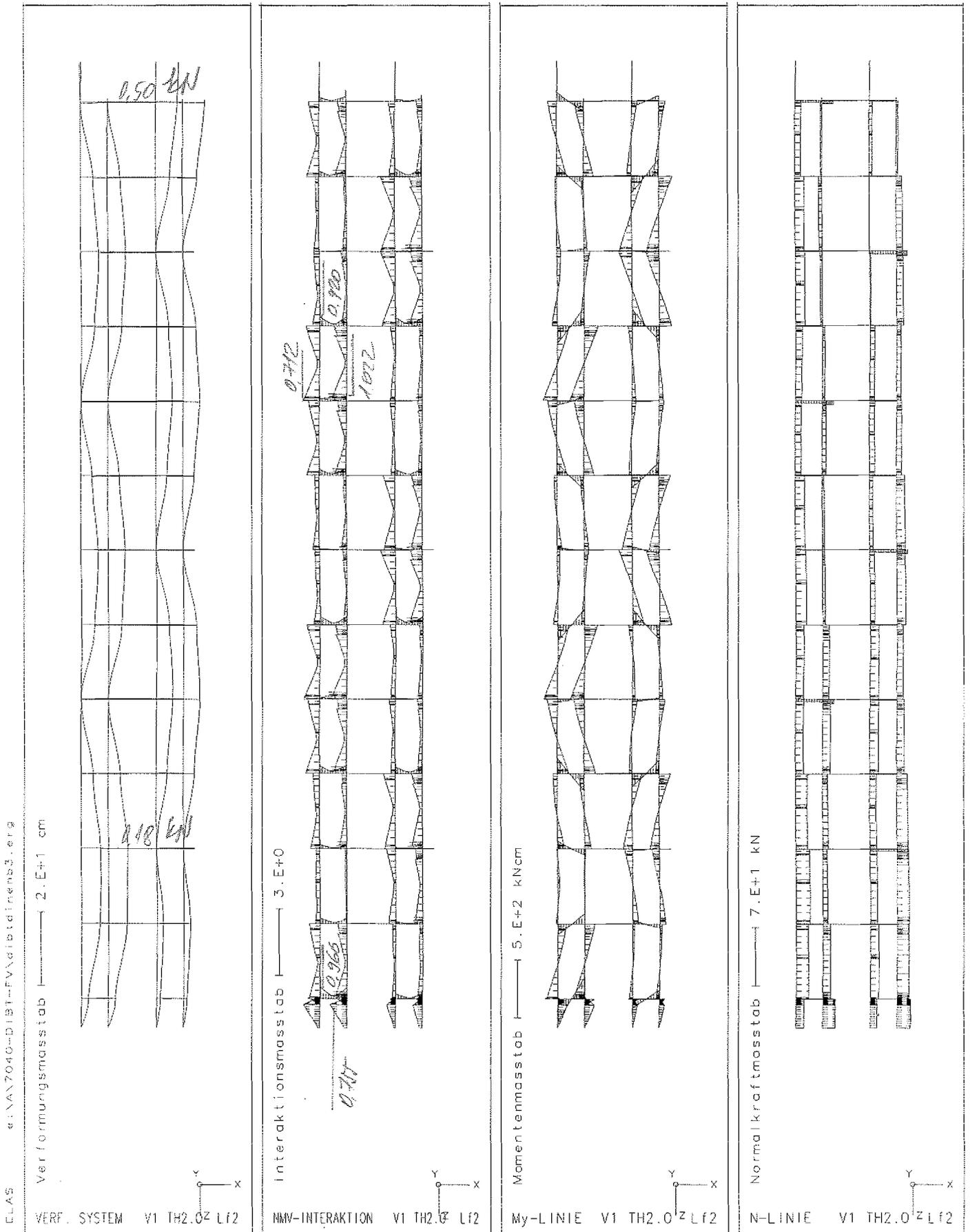


Bild 19: Gerüstsystem B, Ergebnisse für Lastfall 2 "Größte Windlast"; Kennlinie entsprechend Zulassungsgrundsätze mit zusätzlicher Lose $\Delta f_0 = 1,0$ cm und auf 75% reduzierter Steifigkeit

5.3.5 Zusammenstellung und Bewertung der Ergebnisse

Eine tabellarische Zusammenstellung der Ausnutzungsgrade der einzelnen Bauteile enthält Tabelle 7.

Die Berechnungen zeigen für die Kennlinien nach Abschnitt 4.3.1 und 4.3.2 nahezu identische Ergebnisse. Da die Koppelfedern in den nicht geankerten Zwischenlagen bei räumlicher Berechnung nicht wirksam sind, können sich in diesem statischen Modell nur die ebenen Eigenschaften entfalten. Die Berechnung des ebenen Ersatzsystems, bei dem die Lose um 20 mm reduziert wird, ergibt daher wie beim Gerüstsystem A die geringsten Beanspruchungen für die Bauteile.

Eine spürbare Änderung ergibt sich bei Vergrößerung der Lose um 10 mm. Die Reduzierung der Federsteifigkeit auf 75% zeigt dagegen nahezu keine Wirkung.

Tabelle 7: Ausnutzungsgrade der Bauteile im Lastfall 2 "größte Windlast" bei verschiedenen Federkennlinien

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Bauteil	Zulassungsgrundsätze [3], ebenes System -20 mm Lose	Zulassungsgrundsätze [3], räumliches System	DIN EN 12811-3 [4]	wie (2) zzgl. 10 mm Lose	wie (2) jedoch $C_{L,d} = 0,75 \times C_{L,(1)}$	wie (4) jedoch $C_{L,d} = 0,75 \times C_{L,(1)}$
Spindel	0,639 (90%)	0,711 (100%)	0,716 (101%)	0,752 (106%)	0,720 (101%)	0,755 (106%)
Fußriegel	0,776 (86%)	0,898 (100%)	0,905 (101%)	0,960 (107%)	0,911 (101%)	0,966 (108%)
Querriegel	0,624 (76%)	0,825 (100%)	0,844 (102%)	0,920 (112%)	0,838 (102%)	0,920 (112%)
Ständer	0,563 (85%)	0,663 (100%)	0,673 (102%)	0,712 (107%)	0,670 (101%)	0,712 (107%)
Verbinder	0,796 (84%)	0,950 (100%)	0,964 (102%)	1,022 (108%)	0,960 (101%)	1,022 (108%)
max. Federkraft [kN]	0,98 (138%)	0,71 (100%)	0,70 (99%)	0,54 (76%)	0,65 (92%)	0,50 (70%)

6. Zusammenfassung und Wertung der Ergebnisse im Hinblick auf bauaufsichtliche Bestimmungen

Es wurden Horizontalsteifigkeitsversuche nach geplanter europäischer Vorgehensweise mit zwei Fassadengerüstsystemen durchgeführt und ausgewertet und den vorliegenden Ergebnissen von Zulassungsversuchen nach bisheriger nationaler Vorgehensweise gegenübergestellt.

Für beide Systeme ergibt sich jetzt eine größere Steifigkeit, jedoch auch eine größere Lose (8 mm bzw. 3 mm). Ob diese Differenzen auf die geänderte Versuchsdurchführung mit wiederholter zyklischer Belastung oder auf geringfügige Modifizierungen der Bauteile (Zulassungsversuche mit Bauteilen aus 0-Serie, jetzt Serienmaterial) zurückzuführen sind kann nur vermutet werden.

In Modellberechnungen je einer ausgewählten Regelausführung zeigen die Änderungen der Horizontalsteifigkeitskennlinie nur geringe Auswirkung auf die Ausnutzgrade der Gerüstbauteile. Auch bei einer unterstellten Vergrößerung der Lose um 10 mm und Reduzierung der Steifigkeit auf 75% der gegenwärtig in den Zulassungen angegebenen Werten steigen die Beanspruchungen nur moderat. Größere Bedeutung besitzt der Verzicht auf die Reduzierung der Lose um 20 mm bei ebener Berechnung der Vertikalenebene: Im Vergleich zu den Zulassungsberechnungen steigen die maximalen Beanspruchungen bei beiden Gerüstsystemen um ca. 15%. Die Beanspruchbarkeit der Koppelfedern wird weit unterschritten.

Im Hinblick auf die geplante Übernahme der Regelungen von DIN EN 12811-3 können daher folgende Empfehlungen gemacht werden:

1. Die Versuchsdurchführung entsprechend DIN EN 12811-3 mit wiederholter zyklischer Belastung lässt keine wesentlich anderen Steifigkeitskennwerten als nach bisheriger Praxis erwarten.

2. Die derzeit in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen angegebenen Steifigkeitskennwerte (Lose, lineare Federsteifigkeit) dürfen auch als Größen ermittelt nach DIN EN 12811-3 betrachtet werden.

Es besteht daher kein Handlungsbedarf für eine Wiederholung der Versuche für die zugelassenen Gerüstsysteme.

3. Die Beanspruchbarkeit der Federn sollte nach DIN EN 12811-3 durch statistische Auswertung der vorliegenden Ergebnisse bestimmt werden sofern bislang der kleinste Einzelwert verwendet wurde. Erfahrungsgemäß sind die Beanspruchbarkeiten so hoch, dass sie keine Begrenzung darstellen.

Anlage 1

Gerüstsystem A

Last-Verschiebungsdiagramme
der Horizontalsteifigkeitsversuche
entsprechend
"Zulassungsgrundsätze
Versuche an Gerüstsystemen und Gerüstbauteilen
Fassung 1998"
aus Prüfbericht Nr. 8 200 02

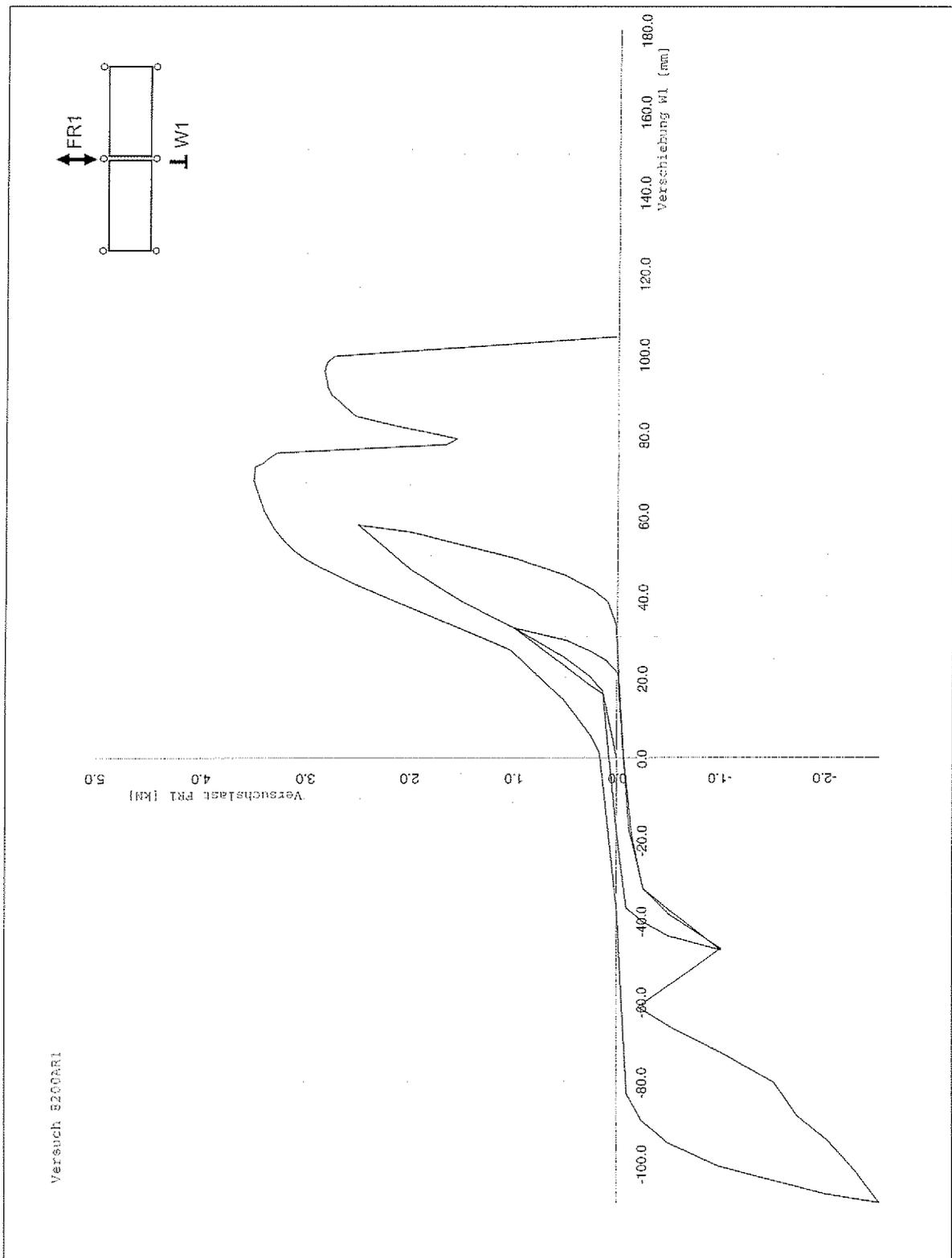


Bild 10: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch AR 1

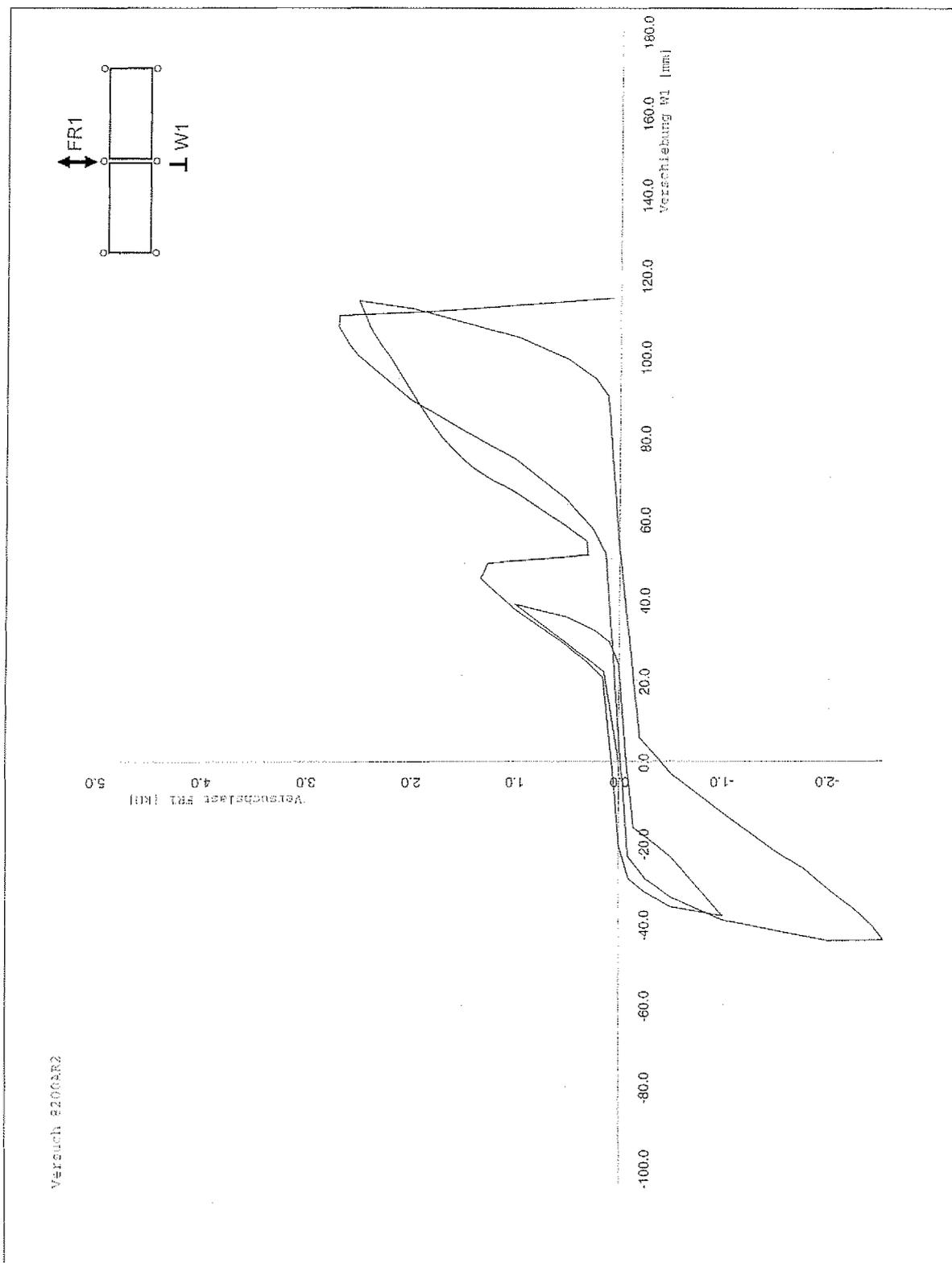


Bild 11: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch AR2

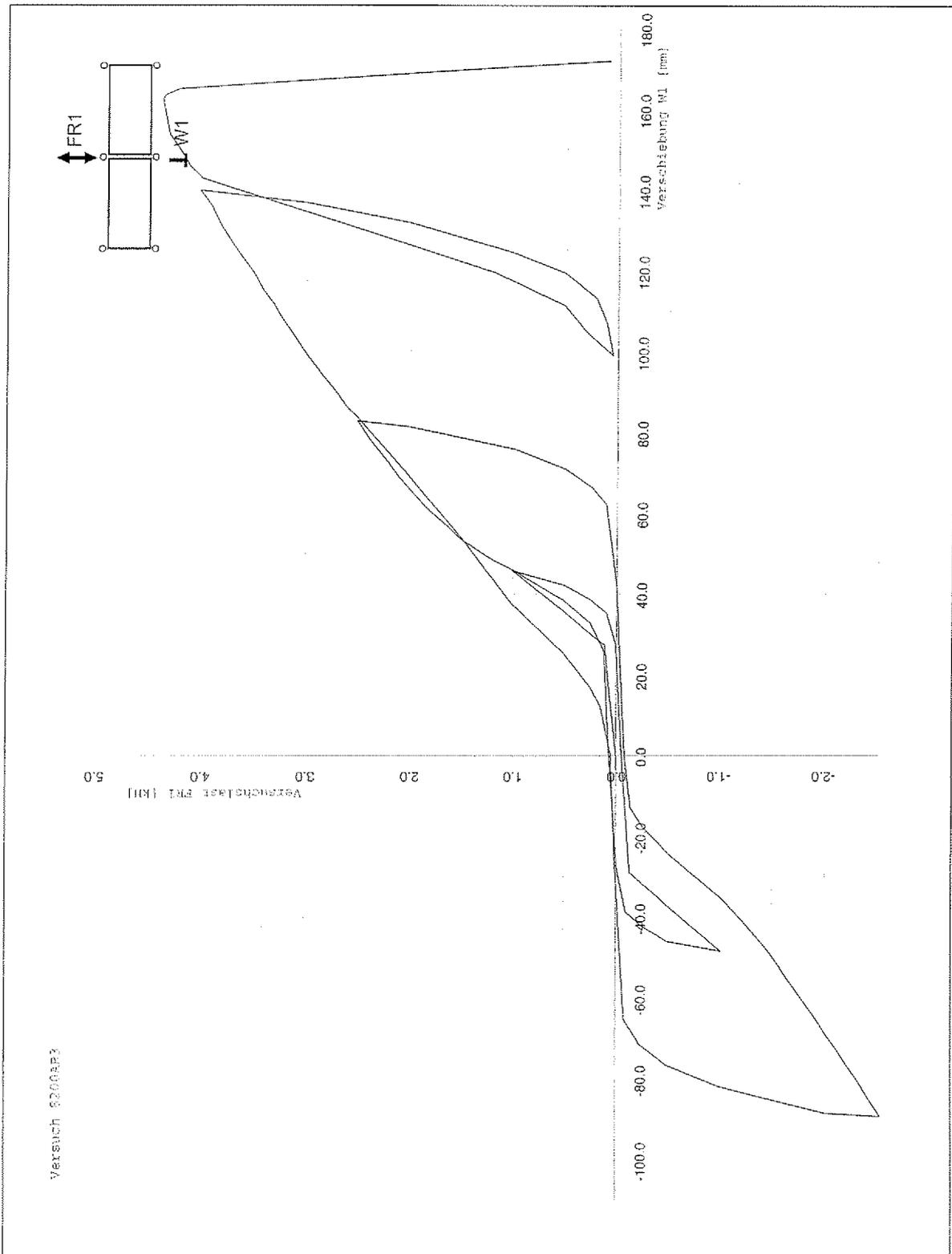


Bild 12: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch AR 3

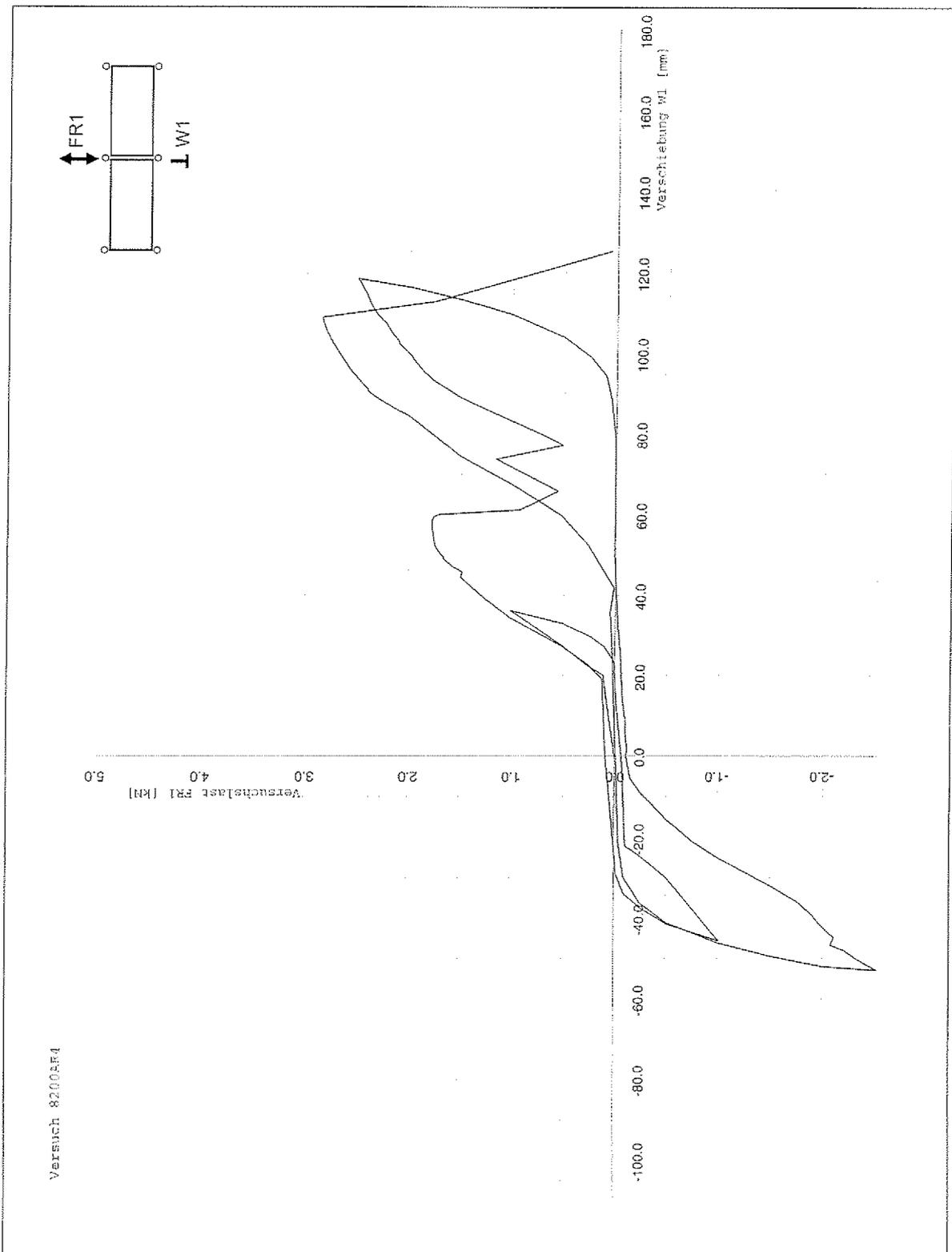


Bild 13: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch AR 4

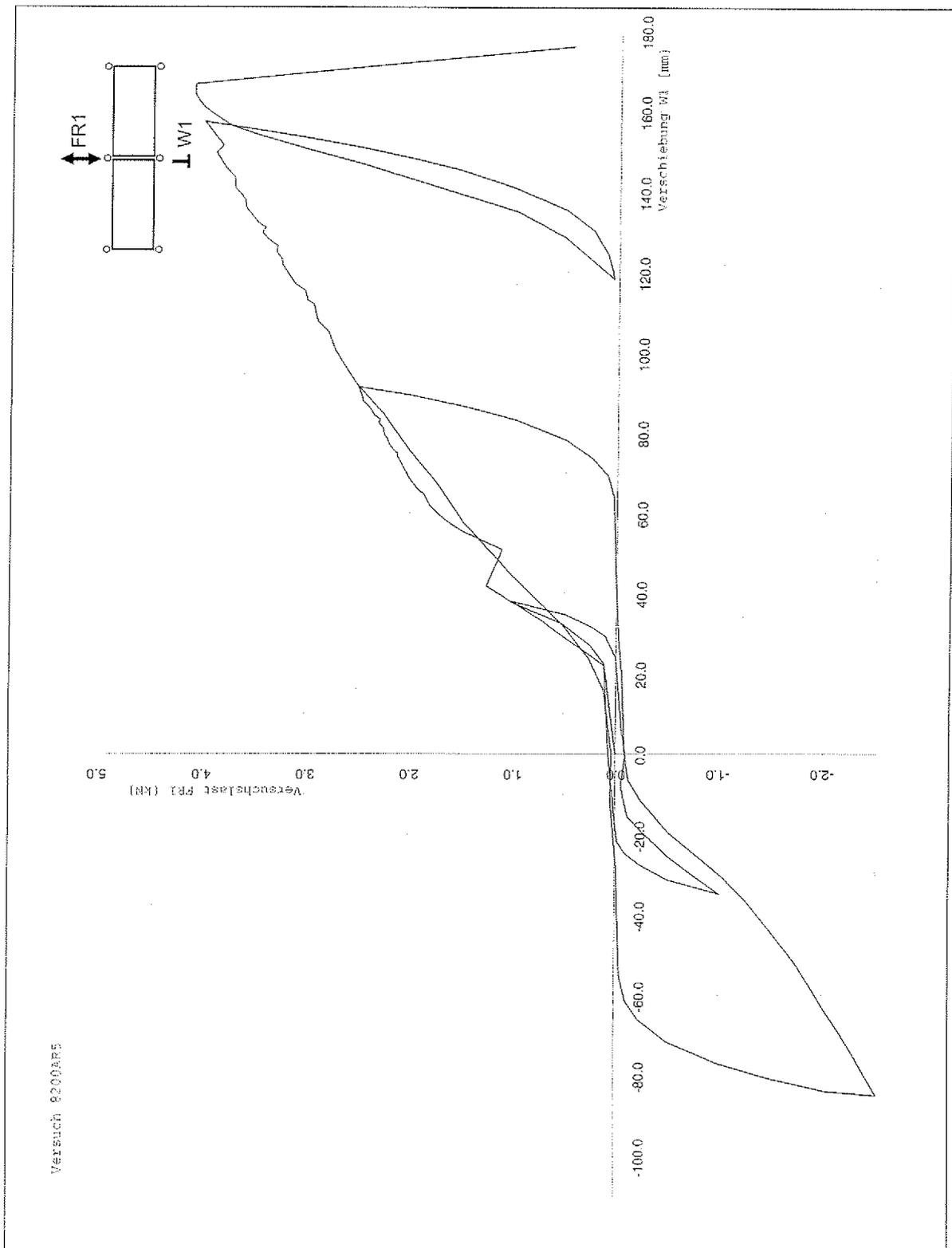


Bild 14: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch AR 5

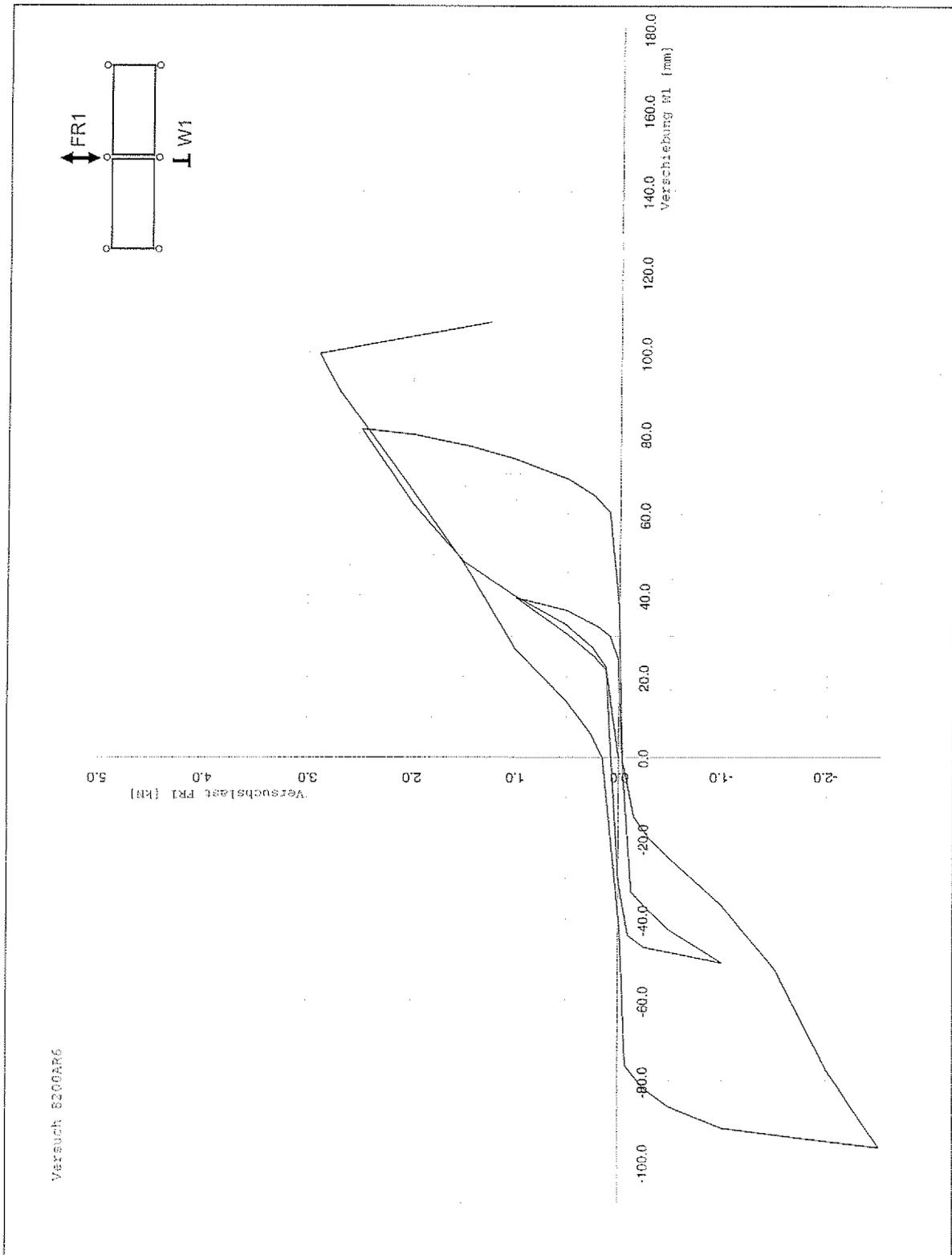


Bild 15: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch AR6

Tabelle 4: Höchstlasten und Versagensursachen
Versuche AR

Versuch	max FR1 [kN]	Versagensursachen
AR 1	3,5	1)
AR 2	2,7	1)
AR 3	4,4	1)
AR 4	2,8	1)
AR 5	4,1	1)
AR 6	2,9	2)

- 1) Herausspringen eines Belags am Riegel B
- 2) Bruch der Verschiebesicherung

Anlage 2

Gerüstsystem A

Last-Verschiebungsdiagramme
der Horizontalsteifigkeitsversuche
entsprechend
DIN EN 12811-3:2003-02

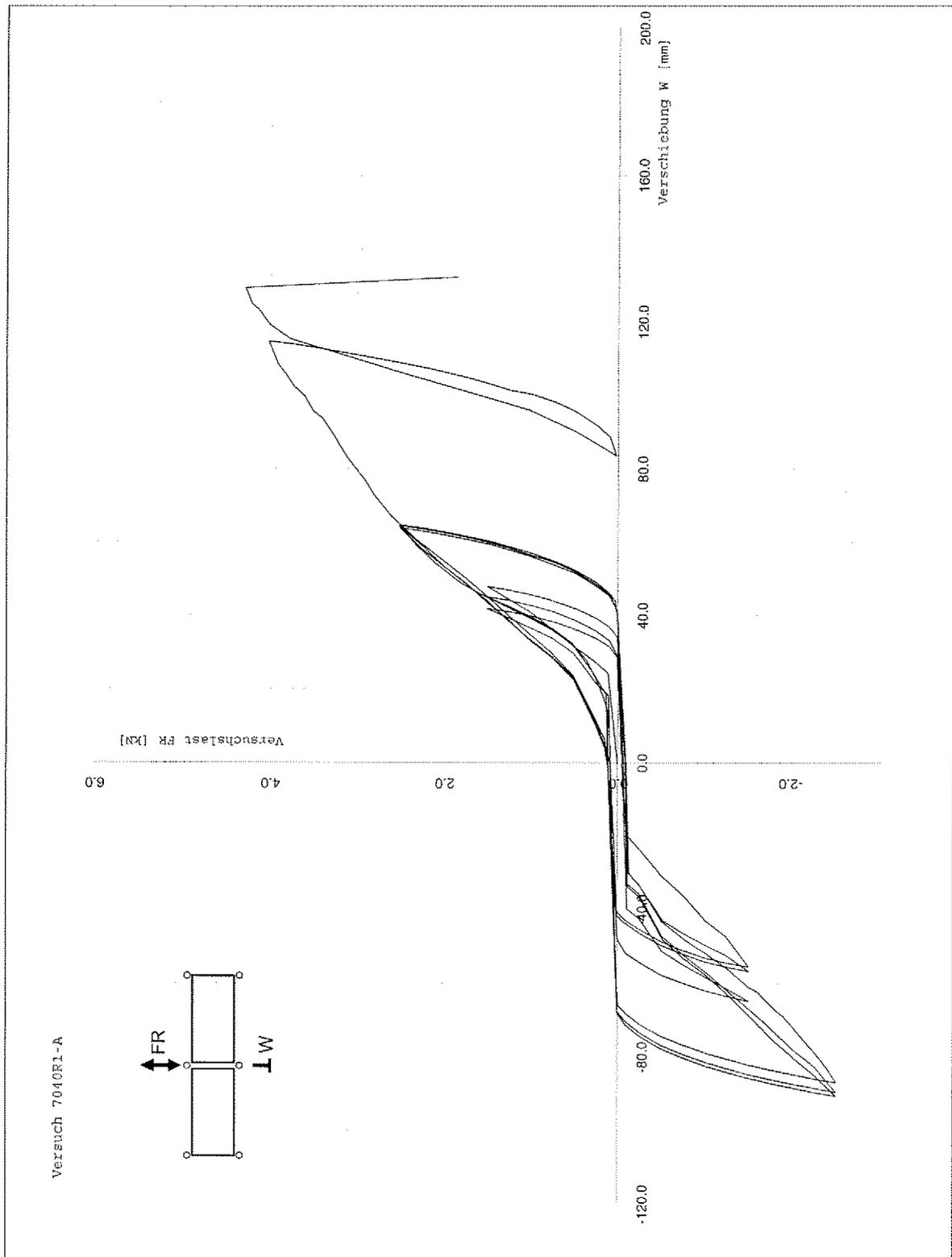


Bild 1: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R1-A

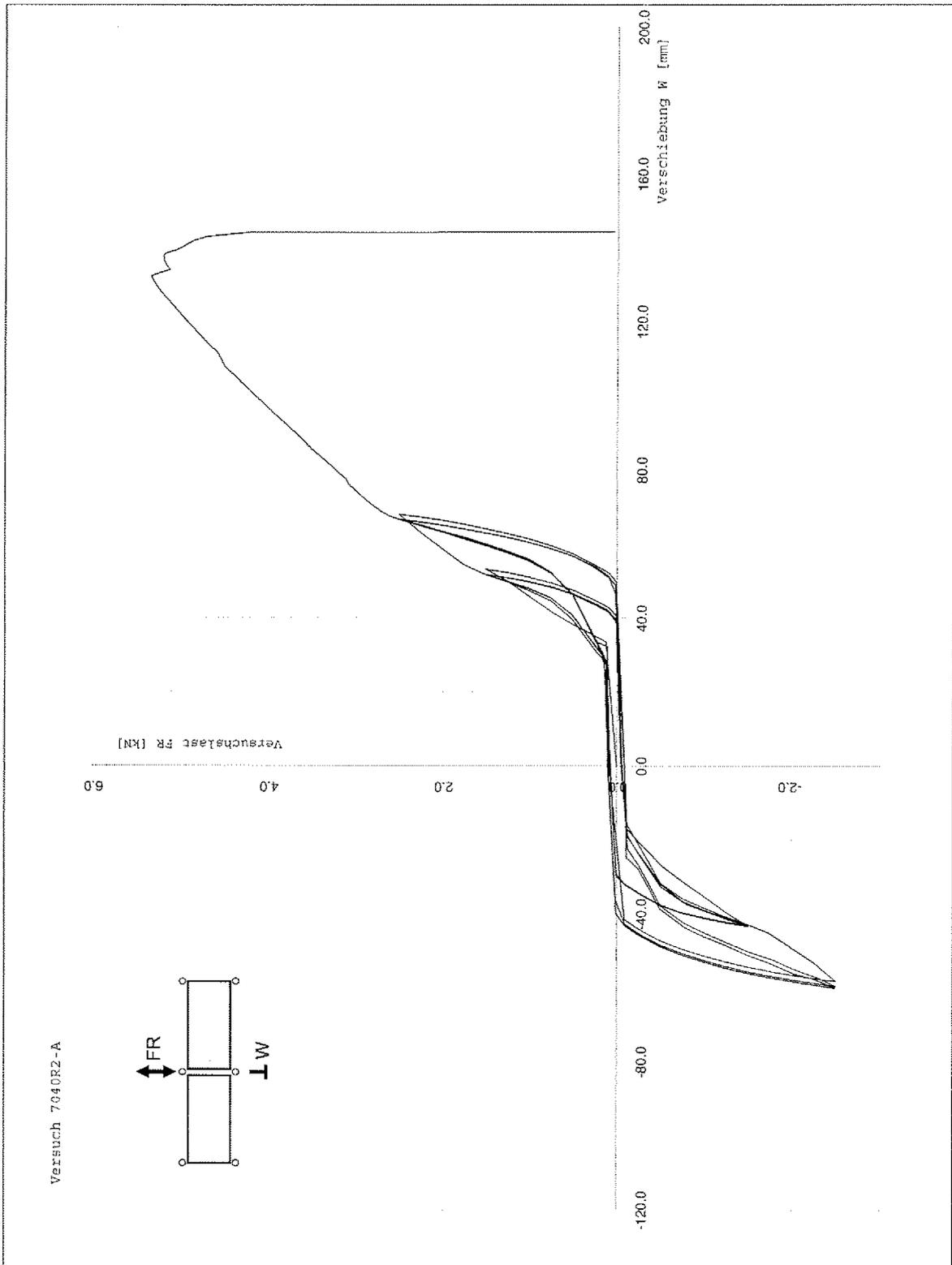


Bild 2: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R2-A

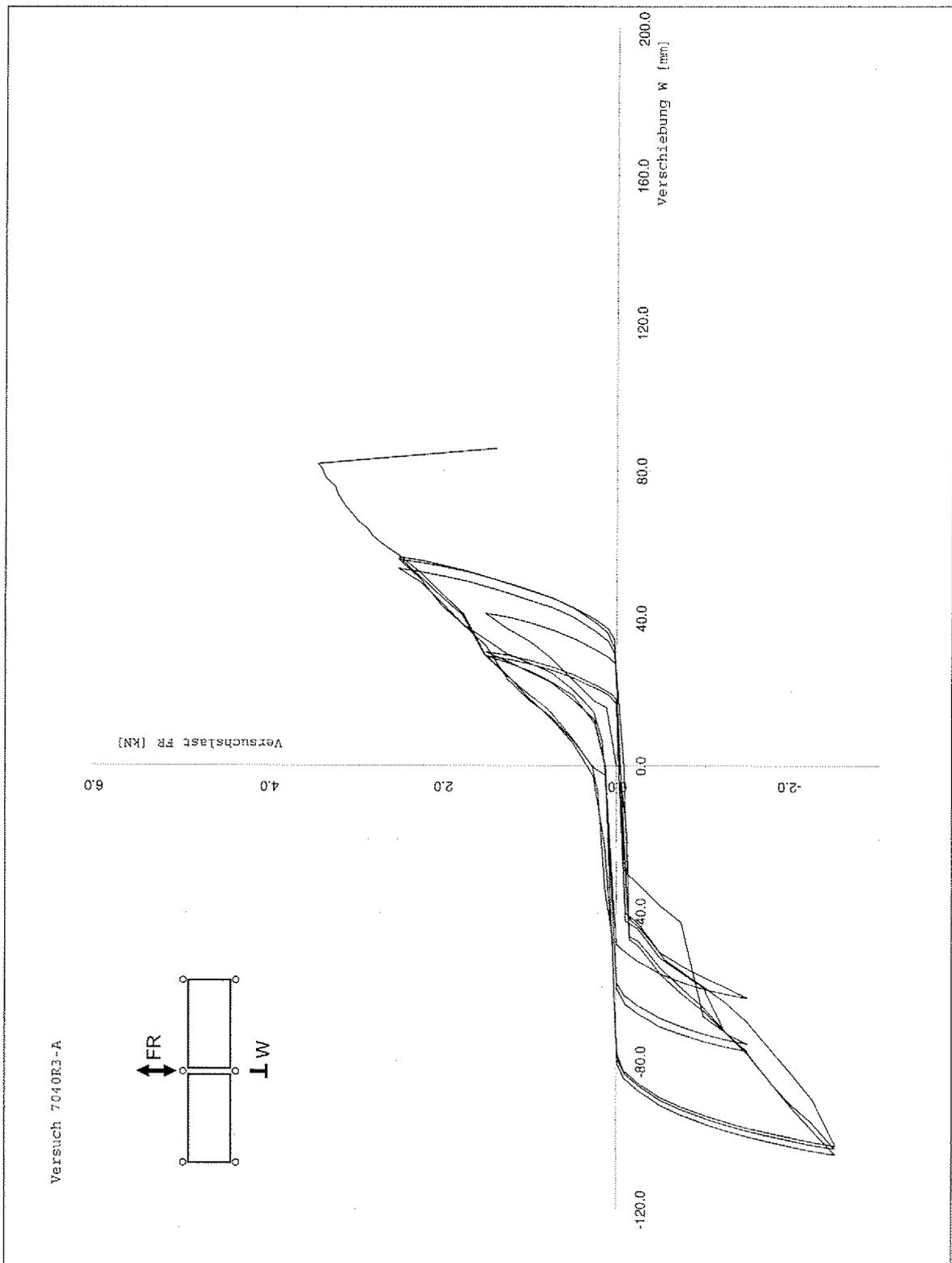


Bild 3: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R3-A

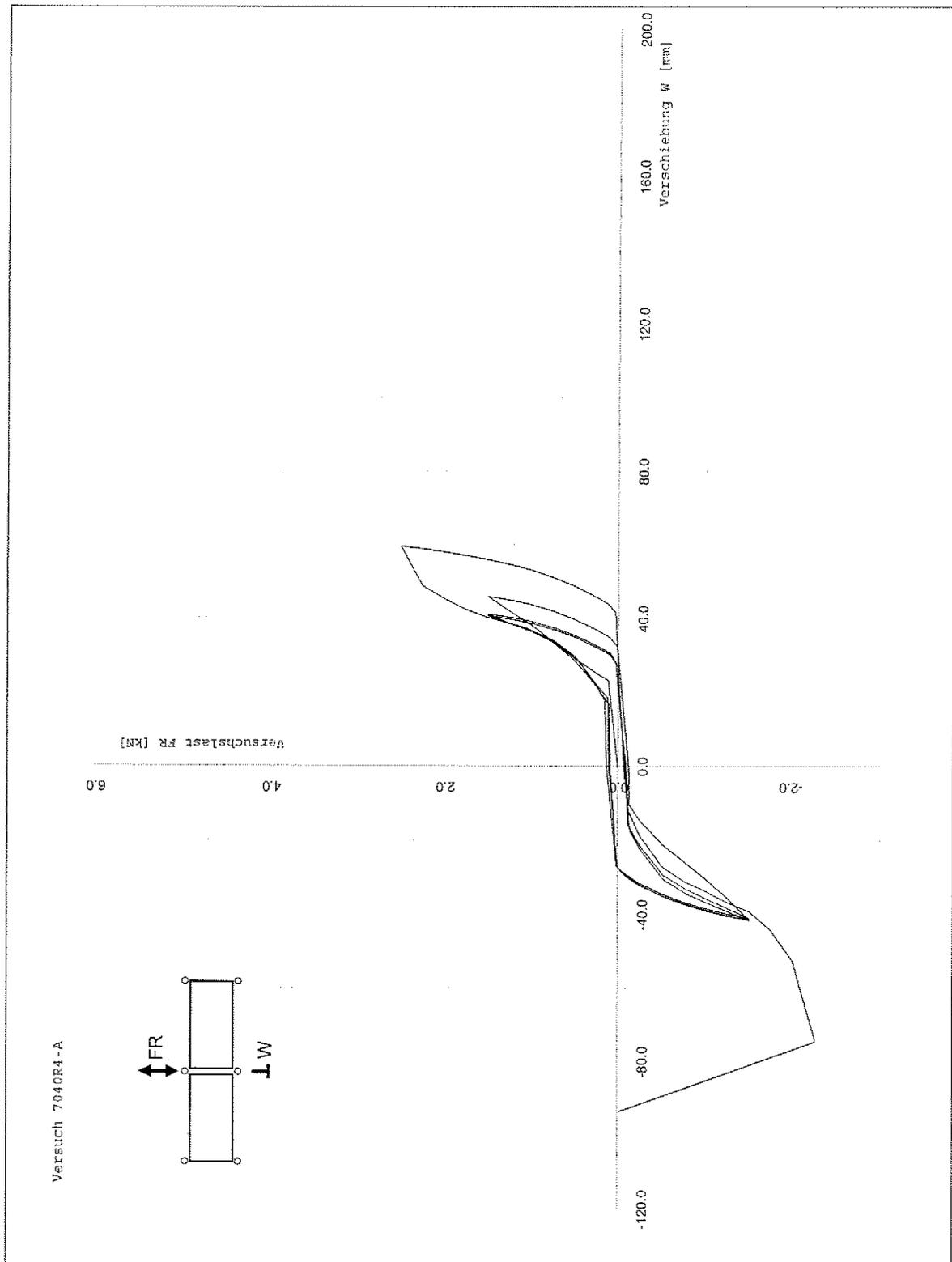


Bild 4: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R4-A

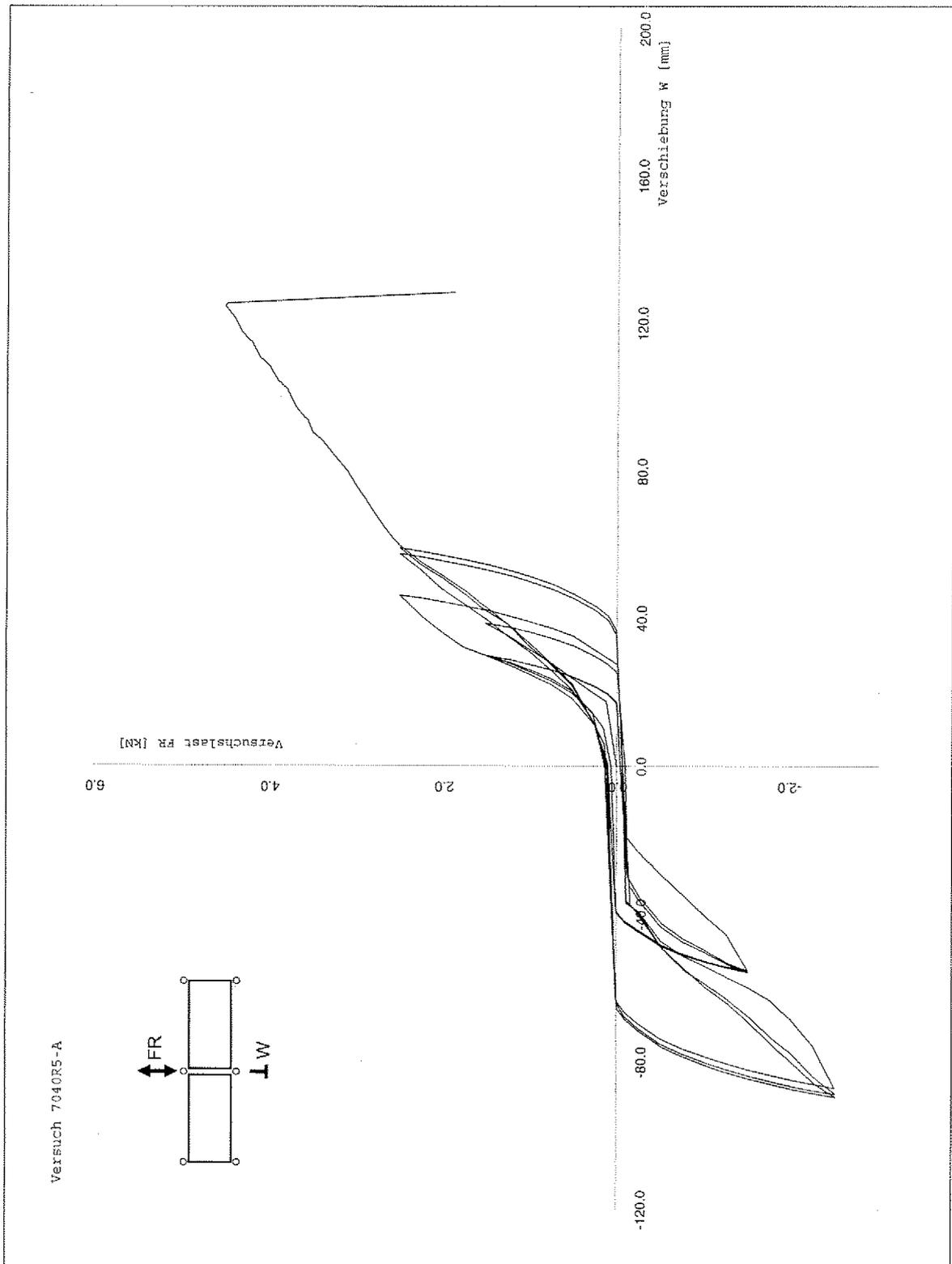


Bild 5: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R5-A

Horizontalaussteifung nach DIN EN 12811-3

SIGMA KARLSRUHE GmbH • AUER STRASSE 1, 76227 KARLSRUHE • TEL: (07 21) 40 20 51 • FAX: 40 59 35 • e-mail: info@sigma-ka.de

Anlage 3

Gerüstsystem B

Last-Verschiebungsdiagramme
der Horizontalsteifigkeitsversuche
entsprechend
"Zulassungsgrundsätze
Versuche an Gerüstsystemen und Gerüstbauteilen
Fassung 1998"
aus Prüfbericht Nr. 98 7001/2

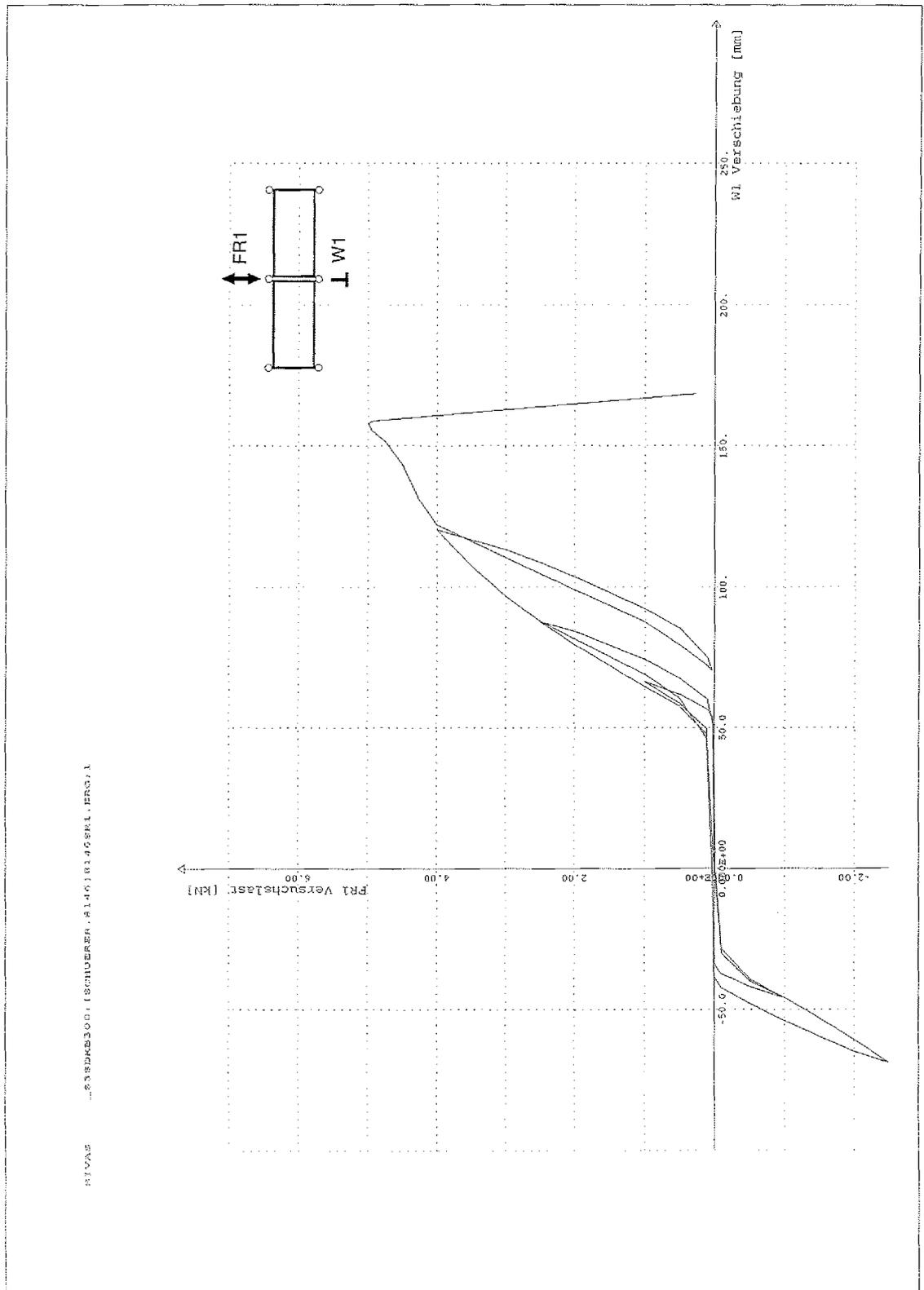


Bild 10: Last-Verformungsbeziehungen Versuch SR 1

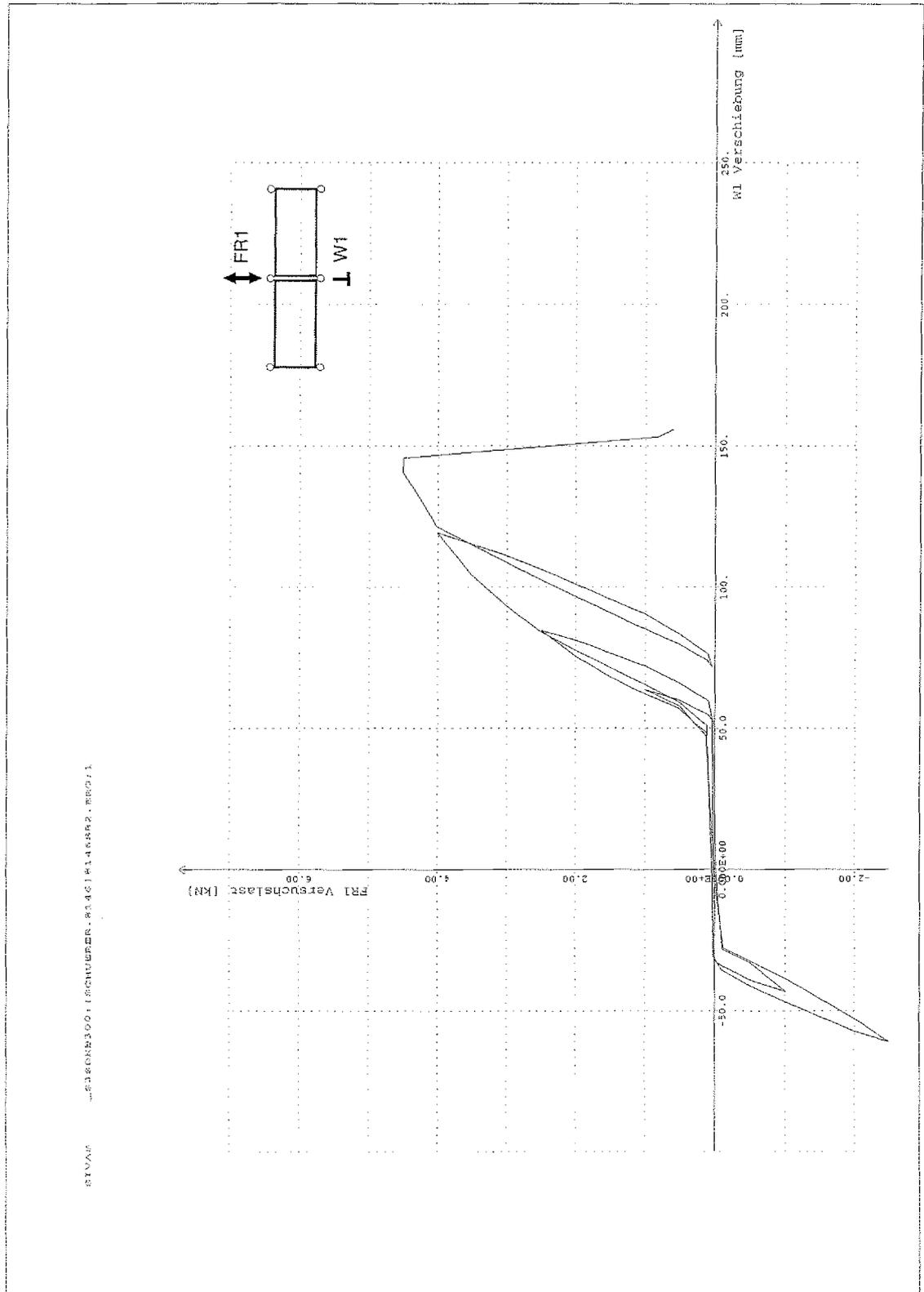


Bild 11: Last-Verformungsbeziehungen Versuch SR 2

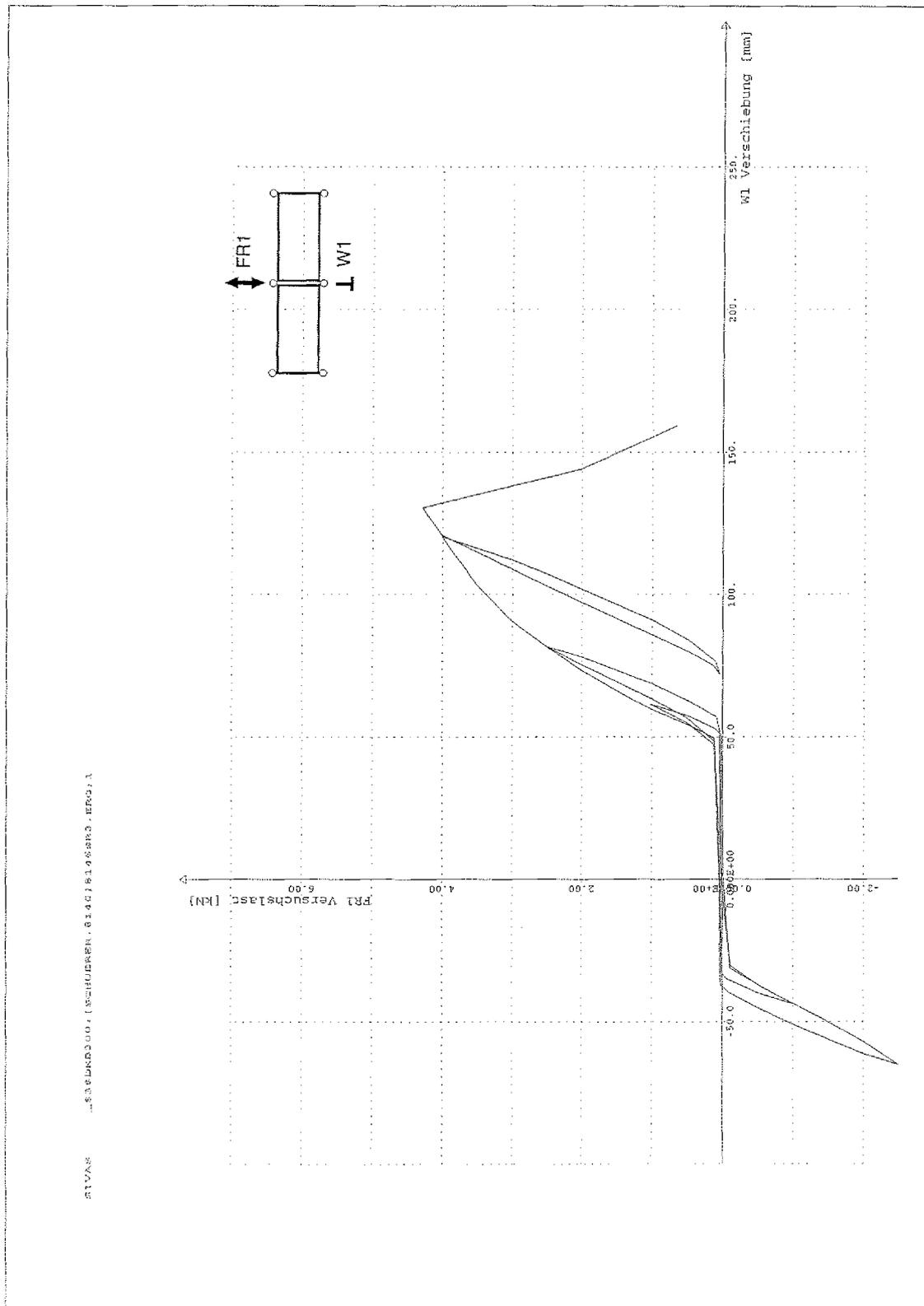


Bild 12: Last-Verformungsbeziehungen Versuch SR 3

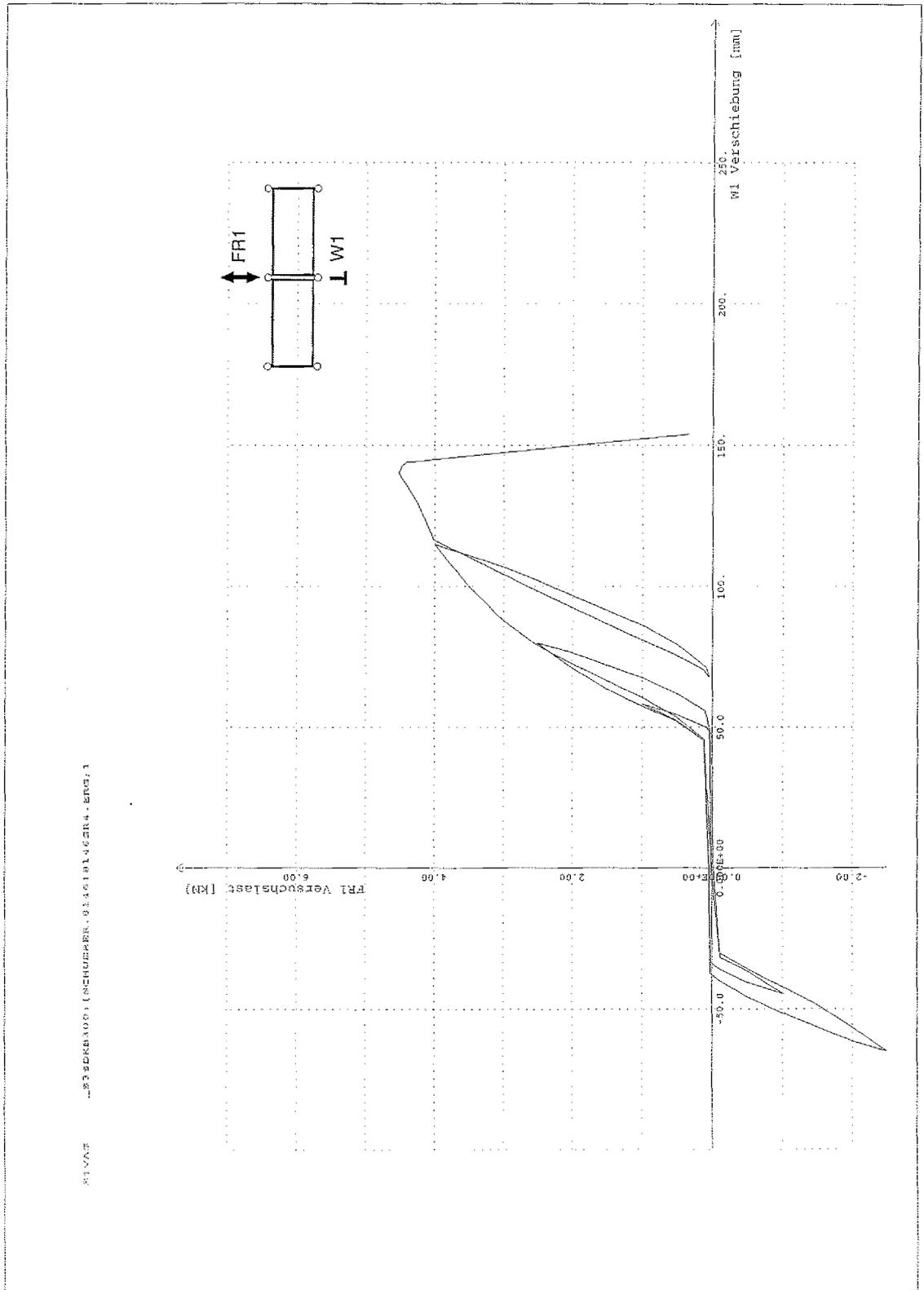


Bild 13: Last-Verformungsbeziehungen Versuch SR 4

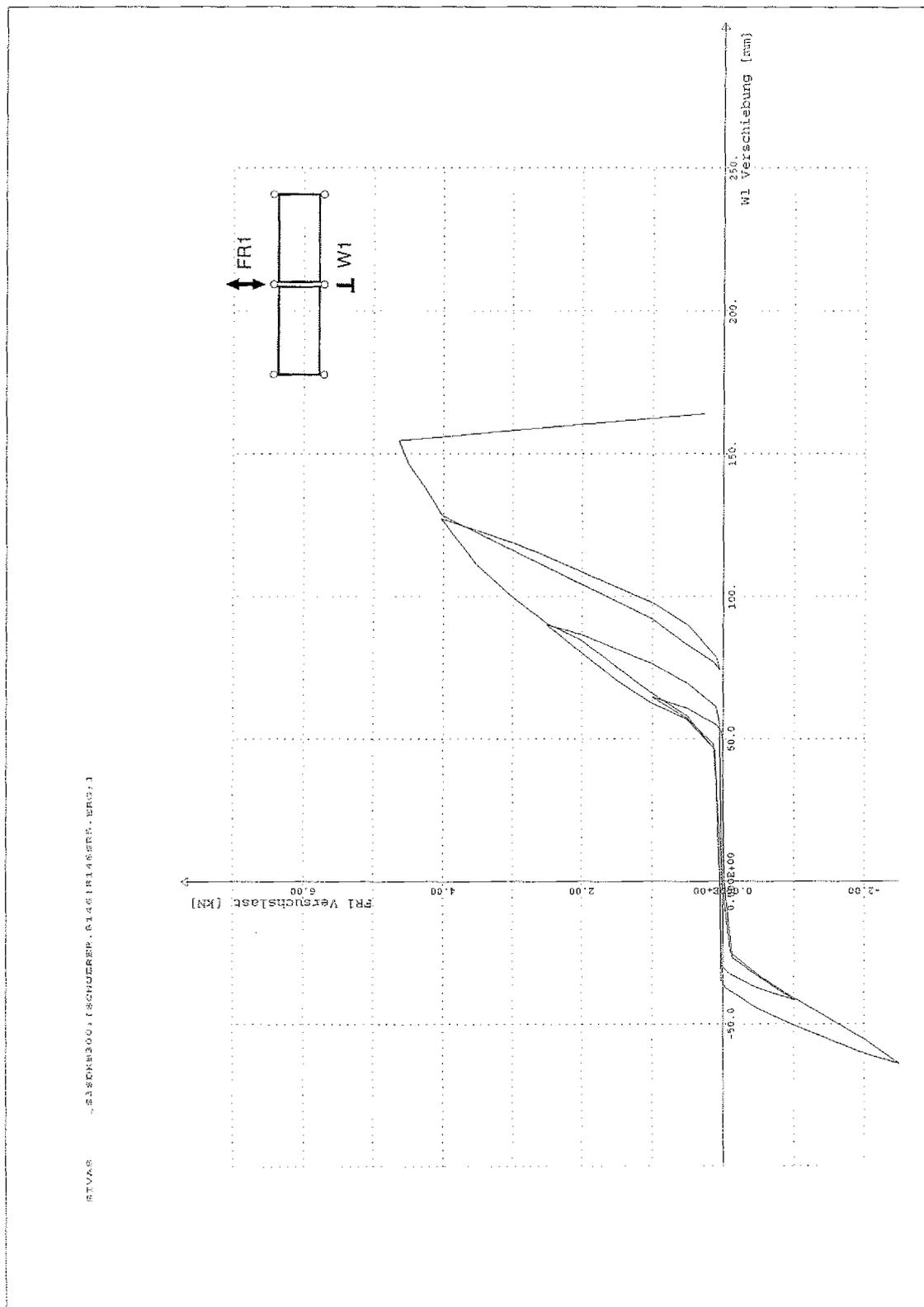


Bild 14: Last-Verformungsbeziehungen Versuch SR 5

Tabelle 5: Höchstlasten und Versagensursache
Versuche SR 1-5

Versuch	max FR1 [kN]	Versagensursache
SR 1	5,0	schlagartiges einseitiges Herausspringen einer Belagtafel
SR 2	4,5	
SR 3	4,3	
SR 4	4,5	
SR 5	4,6	

Anlage 4

Gerüstsystem B

Last-Verschiebungsdiagramme
der Horizontalsteifigkeitsversuche
entsprechend
DIN EN 12811-3:2003-02

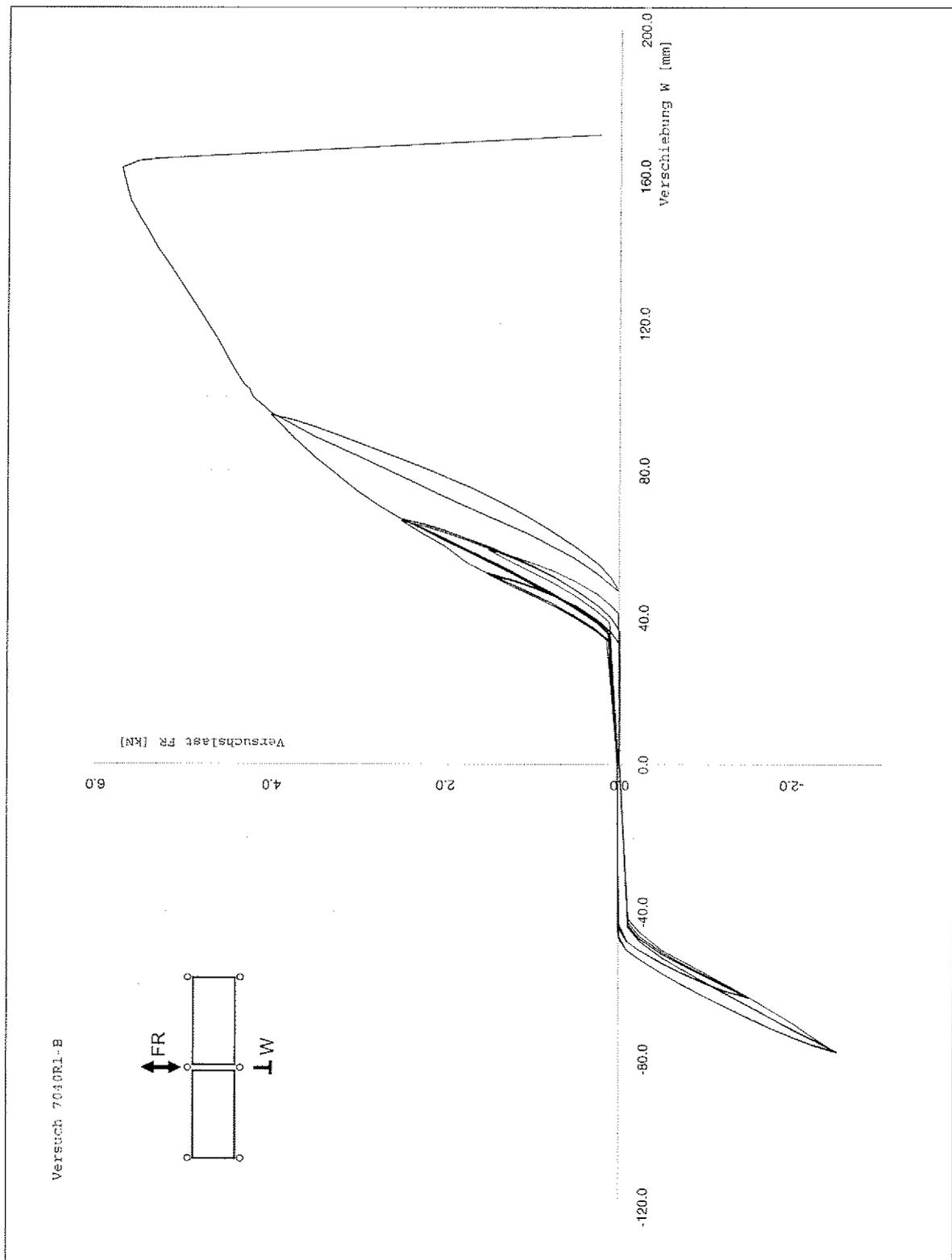


Bild 1: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R1-B

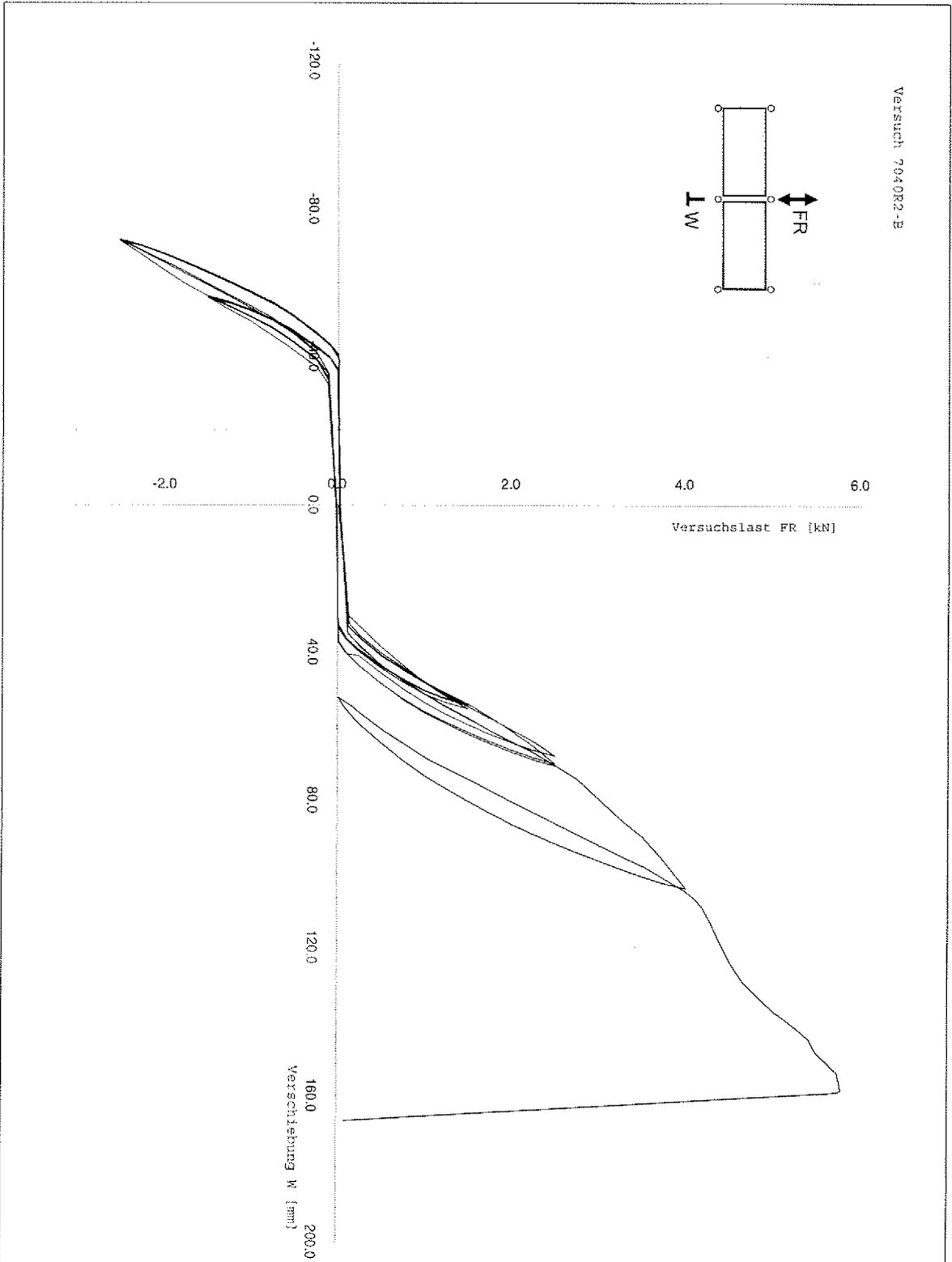


Bild 2: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R2-B

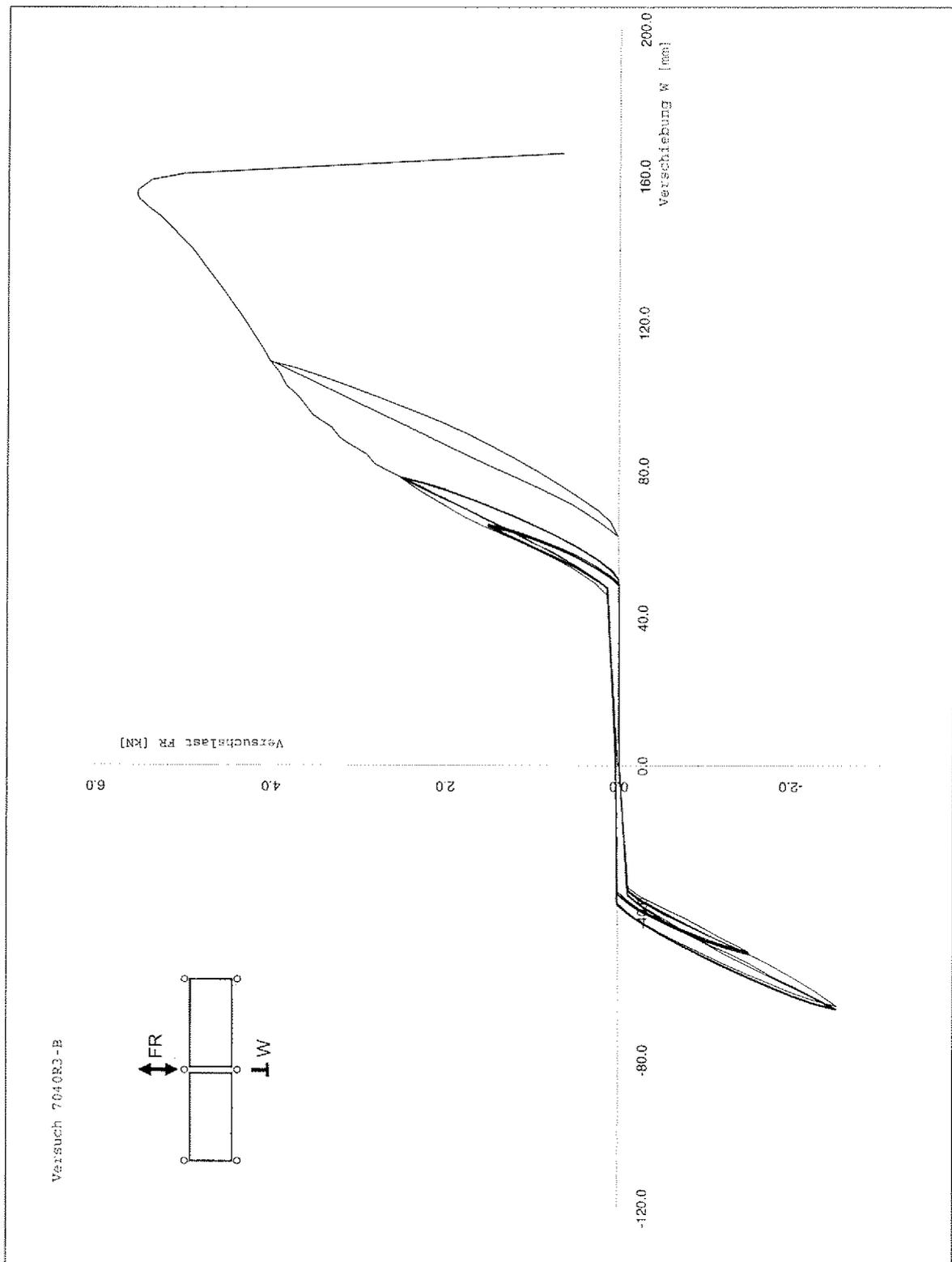


Bild 3: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R3-B

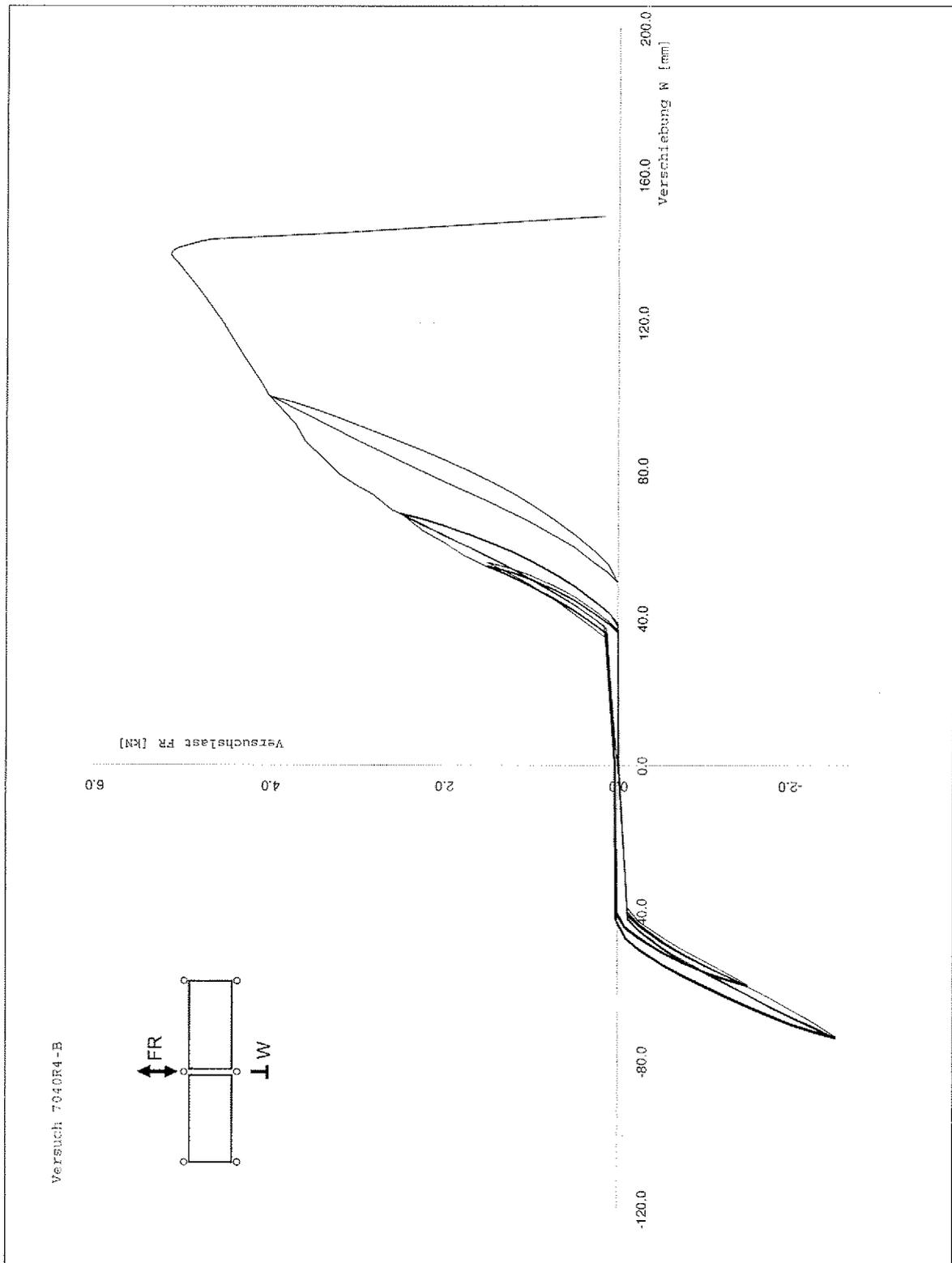


Bild 4: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R4-B

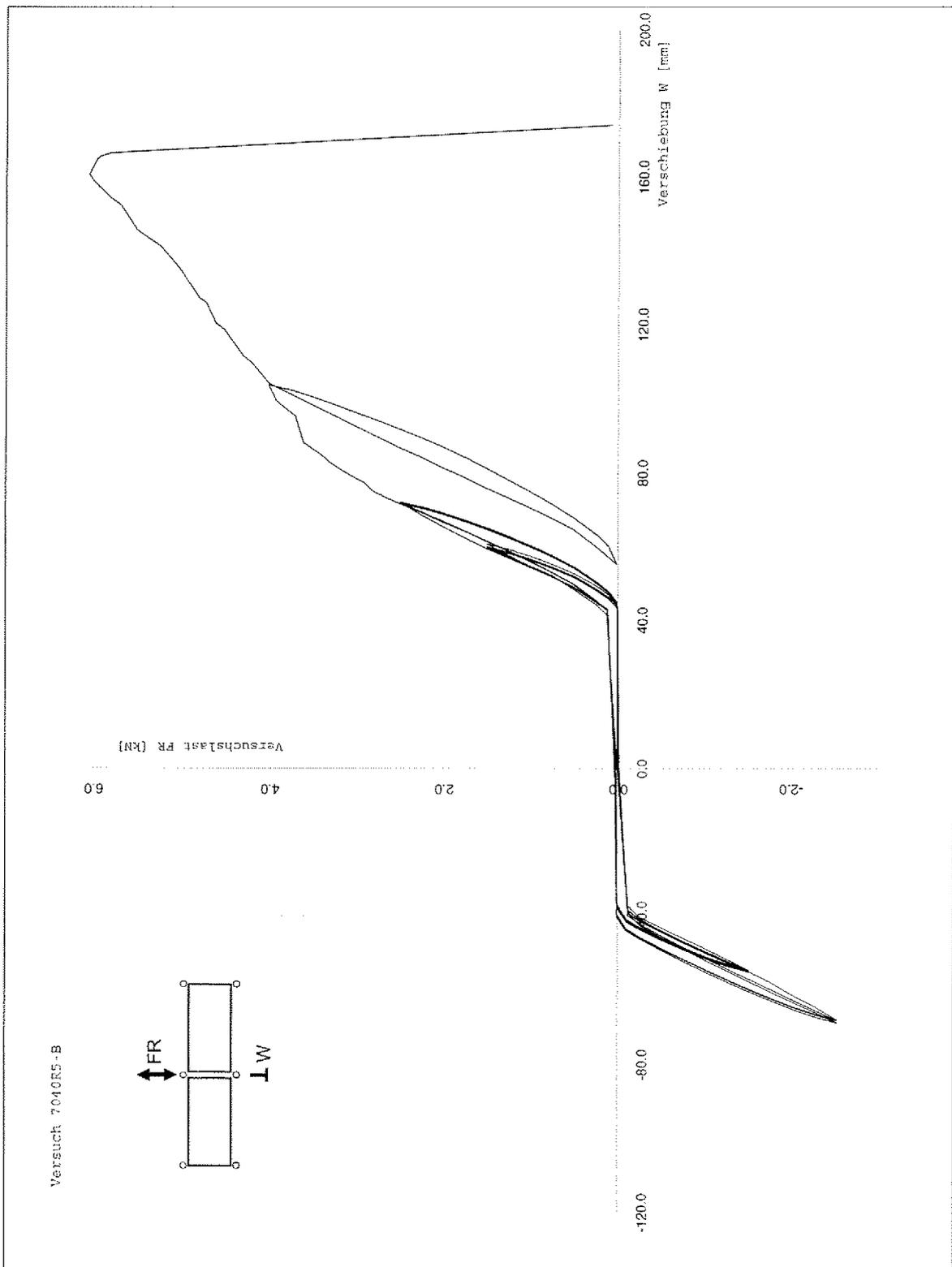


Bild 5: Last-Verschiebungsbeziehungen Versuch R5-B