

**ERMITTLUNG DER TRAGFÄHIGKEIT VON EINGELEIMTEN
GEWINDESTANGEN NACH LANGZEITBELASTUNG**

von

Jürgen Ehlbeck und Wolfgang Ehrhardt

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abteilung Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck
1994

INHALTSVERZEICHNIS

	Vorwort	1
1	Allgemeines	2
2	Klimaeinwirkung und Langzeitbelastung	2
2.1	Versuchsbezeichnung und Stangengeometrie	2
2.2	Herstellung der Versuchskörper	4
2.3	Versuchsaufbau	4
2.4	Versuchsauswertungen	5
3	Ausziehversuche	8
3.1	Versuchskörper und Versuchsaufbau	8
3.2	Versuchsdurchführung	8
4	Einfluß von Klimaeinwirkung und Langzeitbeanspruchung auf die Haftfestigkeit	11
5	Zusammenfassung	13
6	Literatur	14
	Anlagen	

Vorwort

Die Verwendung von eingeleimten Gewindestangen zur Verhinderung von Quersugrissen in Brettschichtholzträgern oder zur Krafteinleitung in hochbeanspruchten Auflagerbereichen hat in der Praxis eine beträchtliche Anwendungshäufigkeit erreicht. Über das Langzeitverhalten solcher eingeleimter Gewindestangen liegen aber nur wenige Erfahrungen vor. Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluß von Langzeit- und Klimabeanspruchung auf die Tragfähigkeit zu ermitteln.

Das Vorhaben entstand im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) mit finanzieller Unterstützung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin.

Die Planung der Versuchsaufbauten für die Langzeitbeanspruchung wurde von Herrn Dipl.-Ing P. Belchior-Gaspard vorgenommen. Die Durchführung der Ausziehversuche und die Auswertung wurden durch Herrn Dipl.-Ing. W. Ehrhardt geleitet. Für die Herstellung der Versuchskörper sowie der Versuchsvorrichtungen und die Messungen waren die Herren G. Rüd und J. Lafferthon verantwortlich. Bei der Auswertung haben unsere Studenten, die Herren cand.ing. C. Duppel, cand.ing. M. Frese und cand.ing. M. Rathschlag tatkräftig mitgewirkt.

Allen Beteiligten ist für die Mitarbeit zu danken.

Jürgen Ehlbeck

1 Allgemeines

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Ermittlung der Tragfähigkeiten auf Herausziehen beanspruchter eingeleimter Gewindestangen, die unter wechselndem Klima sechs Jahre lang belastet waren. Die Ergebnisse sollen mit Kurzzeit-Tragfähigkeiten verglichen werden, um den Einfluß von wechselnder Holzfeuchte bei gleichzeitiger Ausziehbeanspruchung abschätzen zu können. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen in die europäische Normungsarbeit einfließen.

Zur Durchführung dieses Vorhabens standen zehn Versuchskörper mit auf Herausziehen belasteten eingeleimten Gewindestangen aus dem abgeschlossenen Forschungsvorhaben "Eingeleimte Gewindestangen unter Axialbeanspruchung bei Übertragung von großen Kräften und bei Aufnahme von Quersugkräften in Biegeträgern, Teil 2: Einfluß von Klimaeinwirkung und Langzeitbeanspruchung", zur Verfügung. Diese Versuchskörper waren in einer offenen Halle aufgestellt. Über die auf die Stangen aufgeklebten Dehnungsmeßstreifen wurden seit Dezember 1987 die Dehnungen in den Stahlstangen infolge äußerer Belastung und Klimbeanspruchung gemessen.

2 Klimaeinwirkung und Langzeitbelastung

2.1 Versuchsbezeichnung und Stangengeometrie

Bei den zur Verfügung stehenden Gewindestangen handelte es sich um:

- 4 Gewindestangen der Stahlgüte 8.8 mit metrischem Gewinde M20 nach DIN 975,
- 4 Stangen der Stahlgüte 8.8 mit Nenndurchmesser $d=20$ mm und Gewinde in Anlehnung an Schrauben nach DIN 571 (Sechskantholzschrauben),
- 2 Spannstähle aus St 1080/1230 mit Gewinderippen nach Zulassung Z-12.1-V.2. mit den Durchmessern $d=26,5$ mm und $d=32,0$ mm.

Die Versuchskörperbezeichnungen ergeben sich aus Kürzeln für den jeweiligen Stangentyp, der Einbindetiefe im Langzeitversuch und dem verwendeten Kleber. Tabelle 1 gibt hierzu eine Übersicht.

Die Stangen mit metrischem Gewinde und die Spannstähle wurden vom Handel bezogen, die Stangen mit Holzschraubengewinde dagegen waren eine Sonderanfertigung.

Tabelle 1: Versuchsbezeichnungen

Versuchsbezeichnung	Stangentyp	Einbindetiefe l_E [cm]	Leimart
M20/8R M20/4R	M20	80 40	R
M20/8P M20/4P	M20	80 40	P
S20/8O S20/4O	S20	80 40	-
S20/8R S20/4R	S20	80 40	R
G26/10R G32/10P	G26 G32	100 100	R P
<p>M20 = Stange mit metrischem Gewinde, Nenndurchmesser 20 mm S20 = Stange mit Holzschraubengewinde, Nenndurchmesser 20 mm G26, G32 = Spann Stahl mit Gewinderippen, Nenndurchmesser 26,5 mm bzw. 32,0 mm</p> <p>R = Resorcinharzleim P = Polyurethankleber - = ohne Leim eingedrehte Gewindestange</p> <p>l_E = Einbindetiefe: gesamte Länge der Stahlstange innerhalb des Holzkörpers</p>			

In die Stangen wurden Nuten eingefräst, in die Dehnungsmeßstreifen (DMS) mittels eines kalthärtenden Zweikomponenten-Schnellklebstoffes eingeklebt wurden. Nach dem Anlöten der Drahtenden an Kupferkabel und dem Abdecken der DMS mit dauerelastischem Kitt wurden die Nuten mit handelsüblichem Gießharz vergossen. Bei den beiden Stangen mit Holzschraubengewinde und 80 cm Einleimlänge (S20/8R, S20/8O) wurde jeweils nur eine Nut eingefräst, um ein Fließen der sehr langen Gewindestangen mit geringem Kernquerschnitt während der Klima- und Langzeitbeanspruchung zu vermeiden. Durch Einfärsung von zwei Nuten bei allen anderen Stangen sollten vorhandene Exzentrizitäten erkannt und bei der Auswertung eliminiert werden können.

Vor dem Eindrehen der Stangen in die Holzkörper wurden die DMS in einem Zugversuch auf ihre Wirksamkeit untersucht. Hierzu wurde bei den Stangen mit Holzschraubengewinde auf den ersten 30 mm ein metrisches Gewinde aufgebracht (vgl. Bild 2 und Bild 3 in Anlage 2 und Anlage 3). Die dadurch um 30 mm reduzierte Einbindetiefe wurde bei der späteren Auswertung der Versuche berücksichtigt.

In den Bildern 1 bis 5 (Anlagen 1 bis 5) sind die Abmessungen der Stangen sowie die Anordnungen der DMS dargestellt. Die sich am "oberen" Ende der Stahlstangen befindenden DMS lagen im eingebauten Zustand außerhalb des Holzes und dienten zur Ermittlung und Kontrolle der Belastung.

2.2 Herstellung der Versuchskörper

Die Versuchskörper wurden in einer geschlossenen Werkhalle hergestellt. Die Einleimung der Stangen erfolgte ausschließlich rechtwinklig zur Holzfaserrichtung. Die Bohrlöcher wurden mit einem Handbohrgerät vorgebohrt und anschließend mit Preßluft ausgeblasen. Der Bohrlochdurchmesser entsprach bei den Stangen mit metrischem Gewinde dem Außen- bzw. dem Nenndurchmesser ($d_B=20$ mm), bei den Stangen mit Holzschraubengewinde dem Mittel aus Kern- und Außendurchmesser ($d_B=18$ mm) und bei den Spannstählen dem Nenndurchmesser zuzüglich der Dicke der aufgewalzten Profilierung ($d_B=30$ mm bzw. $d_B=36$ mm).

Entsprechend der vorgesehenen Einbindetiefe wurden für die Versuchskörper unterschiedliche Abmessungen gewählt: Vier Brettschichtholzkörper der Abmessung $65 \times 16 \times 65$ cm (Länge \times Breite \times Höhe) und weitere sechs der Abmessung $150 \times 20 \times 110$ cm. Diese Versuchskörper wurden jeweils aus Brettschichtholzträgern der Güteklasse II herausgesägt. In die großen Versuchskörper wurden die Stangen mittig eingebracht (Einbindetiefe 80 bzw. 100 cm), bei den kleinen Versuchskörpern wurden die Stangen nahe der Hirnholzfläche eingeleimt, um den Einfluß des schnelleren Feuchtetransports auf den Dehnungs- und Haftspannungsverlauf festzustellen (Einbindetiefe 40 cm). Die Hirnholzflächen wurden daher auch nicht versiegelt. Die Holzfeuchte betrug zum Zeitpunkt des Einleimens etwa 12%. Die Versuchskörper sind in den Bildern 6 und 7 (Anlage 6) dargestellt.

2.3 Versuchsaufbau

Nach dem Eindrehen der Stangen wurden die zehn Versuchskörper in einer an zwei Seiten offenen Halle aufgestellt und die Kabel der Dehnungsmeßstreifen an drei Mehrstellen-Meß-Umschaltanlagen angeschlossen (November 1987). Je Umschaltanlage war ein DMS zur Temperaturkompensation vorhanden. Mit diesem Kompensations-DMS wurden die Temperaturdehnungen der Stahlstange eliminiert. Die Kompensations-DMS waren dabei auf kleinen Metallplättchen aufgebracht. Da bei einem Meßzeitraum über sechs Jahre Einflüsse der Meßapparatur nicht auszuschließen sind, ist in Tabelle 2 die Zuordnung der Versuchskörper zu den Meßeinrichtungen zusammengestellt.

Etwa zwei Wochen nach der Aufstellung wurde die Belastung aufgebracht. Die Belastung erfolgte über Hebelarme, an deren Enden Gewichte in mehreren Lastschritten aufgebracht wurden (Dezember 1987). Für die kleinen und großen Versuchskörper wurden jeweils unterschiedliche Versuchsanordnungen gewählt. Die Belastungseinrichtungen sind in Bild 8 und 9 (Anlagen 7 und 8) dargestellt.

Nach dem Aufbringen der Belastungen standen die Versuchskörper in dieser Halle bis Ende März 1994. Dann erfolgte eine stufenweise Entlastung. Die Dehnungen der Stahlstangen wurden anfangs in zeitlich engen Abständen, später in einem zweiwöchigem Abstand gemessen. Temperatur und relative Luftfeuchte wurden mittels eines Klimaschreibgerätes fortlaufend aufgezeichnet. In den Bildern 10 und 11 (Anlagen 9 und 10) sind die in der offenen Halle gemessenen Temperaturen und Luftfeuchten dargestellt.

Tabelle 2: Zuordnung der Versuchskörper zu den Meßeinrichtungen

Umschaltanlage 1	G32/10P G26/10R S20/8R S20/8O
Umschaltanlage 2	M20/8R M20/8P M20/4R
Umschaltanlage 3	M20/4P S20/4R S20/4O

2.4 Versuchsauswertungen

Unmittelbar vor der Lastaufbringung wurde jeder einzelne DMS angesteuert und abgelesen. Dieser Wert wurde von jedem später abgelesenen Wert subtrahiert. Aus der Differenz und dem k-Wert der DMS ergibt sich die Dehnung der Stahlstange an der Stelle dieser DMS. Bei den so ermittelten Dehnungen handelt es sich um die Dehnungen aus der äußeren Belastung zuzüglich der Dehnungen aus der Zwängungsbeanspruchung infolge behinderter Längenänderung durch Temperatur- und Feuchtebeanspruchung bezogen auf den Zeitpunkt unmittelbar vor der Belastung.

Die Dehnungen der sich jeweils gegenüberliegenden DMS wurden gemittelt. Bei den Stangen mit Holzschraubengewinde und 80 cm Einbindetiefe konnte keine Mittelung vorgenommen werden, da hier nur einseitig DMS angebracht waren. Ebenso wurde bei Ausfall einzelner DMS an diesen Stellen die Auswertung mit den Einzelwerten vorgenommen.

Der Verlauf der so ermittelten Dehnungen während der Standdauer von etwa sechs Jahren ist in den Bildern 12 bis 21 (Anlagen 11 bis 20) dargestellt. Es ist zu beachten, daß bei den Stangen mit Holzschraubengewinde im Bereich der außerhalb des Holzkörpers liegenden DMS ein größerer Querschnitt vorhanden war und sich somit kleinere Dehnungen ergaben als bei den übrigen im Holz liegenden DMS. Ebenso ist zu beachten, daß bei diesem Stangentyp mit einer Einbindetiefe von 80 cm wegen der einseitigen Anordnung der DMS keine Mittelwertbildung erfolgte und somit der Einfluß einer eventuell vorhandenen exzentrischen Lasteinleitung nicht eliminiert werden konnte (S20/8R, S20/8O).

Bedingt durch die gewählte Versuchseinrichtung waren Reibungskräfte unter den Auflagerplatten nicht auszuschließen. Es entstand, besonders ausgeprägt bei den kleinen Versuchskörpern, ein statisch unbestimmtes System, in dem durch die vertikalen Lasten auch Normalkräfte in Teilen der Hebelarme und im Querhaupt auftraten. Dies führte insbesondere bei den kleinen Prüfkörpern wegen der Verformungen infolge von Klimaeinwirkungen zu einer veränderlichen äußeren Belastung. Sehr deutlich ist dies an den Dehnungen der außerhalb des Holzes liegenden DMS zu erkennen (Bild 13, 15, 17 und 19).

Aus diesen Gründen wurden die effektiv vorhandenen Ausziehkräfte aus den gemessenen Dehnungen berechnet. Hierzu dienten die Dehnungen der außerhalb des Holzes liegenden DMS. Bei den großen Versuchskörpern war annähernd eine konstante Dauerlast vorhanden, bei den kleinen Prüfkörpern führte der Klimaeinfluß zu einer veränderlichem äußeren Last mit einem leichten Anstieg der mittleren Belastungen. Mit diesen Zugkräften F wurden die auf die gesamte Einbindetiefe l_E gemittelten Haftspannungen nach Gleichung (1) errechnet. Diese sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

$$\tau_m = F / (\pi d l_E) \quad (1)$$

mit: d = Nenndurchmesser
 l_E = Einbindetiefe
 F = in die Stange eingeleitete Zugkraft

Tabelle 3: Aus der Ausziehbeanspruchung ermittelte Haftspannungen während der Langzeitbeanspruchung

Versuchsbezeichnung	mittlere Haftspannung τ_m [N/mm ²]
M20/8R M20/4R	1,4 (0,9+1,1)±0,2 ¹⁾
M20/8P M20/4P	1,5 (0,9+1,5)±0,2 ¹⁾
S20/8O S20/4O	1,4 (1,0+1,5)±0,2 ¹⁾
S20/8R S20/4R	1,4 (0,7+0,9)±0,2 ¹⁾
G26/10R G32/10P	1,2 1,3

¹⁾ Der Wert in der Klammer gibt die Zunahme der mittleren Haftspannung an, der Wert nach der Klammer die jahreszeitliche Schwankung.

An den gemessenen Dehnungen an den Stangen der großen Prüfkörper (Bild 12, 14, 16, 18, 20 und 21) erkennt man deutlich den jahreszeitlich veränderlichen Verlauf der Dehnungen. Im Winter nehmen die Dehnungen (Zug) zu, im Sommer haben sie ihren kleinsten Wert. Die größten Dehnungsunterschiede zwischen Sommer und Winter treten im mittleren Bereich der Einbindetiefen auf. Nimmt man für diese Dehnungsschwankungen einen sinus- oder parabelförmigen Verlauf über die Einbindetiefe an, so ergeben sich die maximalen Haftspannungsschwankungen an den Stangenenden. Dieser schwankende Verlauf wird maßgeblich durch die Änderung der Holzfeuchte verursacht: Im Winter stellt sich eine höhere Ausgleichsfeuchte ein, der Holzkörper quillt und durch die Dehnungsbehinderung erhält die Stahlstange zusätzliche Zugspannungen. Weitere Zugspannungen erhält die Stange, weil sie sich wegen der niedrigeren

Temperaturen im Winter verkürzen möchte und daran durch das Holz behindert wird.

Dies gilt im Prinzip auch für die kleinen Versuchskörper. Hier sind aber schon die Dehnungen aus der äußeren Last entsprechend dem jahreszeitlichen Einfluß des Klimas auf die Versuchseinrichtung veränderlich.

Die mehr oder weniger kleinen Dehnungssprünge (Zacken) in den Dehnungsverläufen sind zum Teil auf Temperatureinflüsse und zum Teil auf eine ungenügende Temperaturkompensation zurückzuführen. Die Kompensations-Dehnungsmeßstreifen, die nur durch eine plastische Masse geschützt auf kleine Metallplättchen appliziert waren, konnten wesentlich schneller auf Temperaturänderungen reagieren als die aktiven Dehnungsmeßstreifen auf den eingeleimten Gewindestangen innerhalb des Holzes. Bei vorhandenen Temperaturdifferenzen zwischen einzelnen Punkten der Stahlstange einerseits und dem entsprechenden Metallplättchen andererseits ist die Kompensation daher nicht vollständig.

3 Ausziehversuche

3.1 Versuchskörper und Versuchsaufbau

Der in Abschnitt 2.3 beschriebene Versuchsaufbau war auf die Ermittlung von Haftspannungsverläufen und nicht auf die Ermittlung von Haftfestigkeiten konzipiert. Die Einbindetiefen waren bei den meisten Versuchskörpern so groß, daß bei Ausziehversuchen ein Abreißen der Gewindestangen zu erwarten war, so daß die Versuchskörper abgeändert werden mußten. Zur Reduzierung der Haftlängen wurden die Stangen am unteren Ende vorsichtig freigelegt. Hierzu wurden seitlich der Stangen zwei Sägeschnitte geführt und das Holz um die Stangen vorsichtig herausgestemmt (Bild 22 und 23, Anlage 21).

3.2 Versuchsdurchführung

Die Ausziehkraft wurde mittels einer hydraulischen Presse mit Ringkolben über eine Mutter direkt in die Stangen eingeleitet (Bild 24 und 25, Anlage 22). Zur Erhöhung der Aufstandsfläche für den Kolben wurde bei den kleinen Prüfkörpern seitlich je eine Sperrholzplatte von 20 mm Dicke aufgeleimt. Die Belastungsgeschwindigkeit wurde so gewählt, daß nach etwa 5 min das Versagen zu erwarten war.

Die beiden Stangen G26/10R und G32/10P konnten wegen ihres großen Stahlquerschnittes und ihrer hohen Stahlfestigkeit (Spannstahl) ohne eine Reduzierung der Haftlänge ($l_E = 100$ cm) herausgezogen werden. Während der Polyurethankleber an der Stange haften blieb und vollständig mit herausgezogen wurde (G32/10P) blieb der Resorcinharzleim am Stahl nicht haften und wurde beim vollständigen Herausziehen an der Bohrlochwandung zermahlen (G26/10R). Bei der Stange G32/10P konnten die Dehnungen wegen einer Störung der Meßeinrichtung, wahrscheinlich hervorgerufen durch einen fehlerhaften DMS, nicht ausgewertet werden.

An der Stange S20/8R wurde zunächst einmal untersucht, ob ein deutlicher Abfall der Haftfestigkeit durch die Langzeit- und Klimabeanspruchung zu erwarten ist. Dazu wurde die Stange bei einer Einbindetiefe von 80 cm beansprucht. Nachdem die Stange am oberen Ende zu Fließen begann, wurde der Versuch abgebrochen. Die Einbindetiefe wurde auf 40 cm reduziert, die Stange erneut belastet und wiederum bei Beginn des Fließens entlastet. Erst bei einer Einbindetiefe von 30 cm konnte die Stange aus dem Holz herausgezogen werden. Trotz dieser wiederholt hohen Belastung ergab sich für eine Einbindetiefe von 30 cm eine mittlere Haftfestigkeit von $4,9 \text{ N/mm}^2$.

Die übrigen Prüfkörper wurden daraufhin auf eine Einbindetiefe von 30 cm reduziert. Bei der Stange S20/4R wurde der Einfluß des Stahlfließens auf die Haftfestigkeit untersucht. Im ersten Belastungsschritt wurde bei 93 kN und deutlichem Fließen entlastet und nach etwa 5 min erneut bis zu einer Last von 102 kN belastet. Unter dieser Last zeigte sich ein ausgeprägtes Fließen. Im anschließenden dritten Belastungsschritt zeigte sich der Einfluß der vorangegangenen Belastungsprozedur. Durch die hohen Stahldehnungen war der

Verbund Stahl-Holz teilweise zerstört. Es ergab sich nur noch eine Bruchlast von 87 kN, entsprechend einer Haftfestigkeit von 4,6 N/mm².

Die Stangen S20/40 und S20/80, die ohne Leim eingedreht waren, ergaben nur geringe Haftfestigkeiten. Dies ist auf einen mangelhaften Verbund an den oberen Stangenenden zurückzuführen. Bei der Stange S20/80 erkennt man dies sehr deutlich am Dehnungsverlauf der äußeren Dehnungsmeßstreifen in dem Diagramm der Langzeitbeanspruchung (Bild 16). Der erste innerhalb des Holzes liegende DMS (DMS-Nr. 11) weist wie der außerhalb des Holzes liegende DMS (DMS-Nr. 12) einen annähernd konstanten Dehnungsverlauf auf. Die Differenz der Dehnungen dieser beiden Meßstreifen ist auf die unterschiedlichen Querschnitte an beiden Stellen und auf eine eventuelle exzentrische Lasteinleitung zurückzuführen. Bei der Stange S20/40 erkennt man den mangelhaften Verbund (Bild 17) daran, daß die Kurven 7/15 und 6/14 fast identische Dehnungsverläufe aufweisen.

Die Stangen M20/8R und M20/4R ließen sich bei einer Haftlänge von 30 cm herausziehen. Der Versuch mit der Stange M20/8P mußte wegen Fließens des Stahles abgebrochen werden. Da dieser Versuch zeigte, daß bei der Verwendung von Polyurethangleber im Vergleich zum Resorcinharzleim höhere Haftfestigkeiten erreicht werden können, wurde auch die Einbindetiefe des Versuchskörpers M20/4P auf 20 cm reduziert.

Die bei den Versuchen ermittelten Bruchlasten und die daraus berechneten Haftfestigkeiten nach Gleichung (1) sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Bruchlasten und Haftfestigkeiten

Bruchlast F_u [kN] / Haftfestigkeit $\tau_{u,m}$ [N/mm ²]					
Stangen- bezeichnung	Einbindetiefe l_E beim Ausziehversuch				
	$l_E = 100$ cm $\hat{=} 40$ d (G26) $\hat{=} 30$ d (G32)	$l_E = 80$ cm $\hat{=} 40$ d	$l_E = 40$ cm $\hat{=} 20$ d	$l_E = 30$ cm $\hat{=} 15$ d	$l_E = 20$ cm $\hat{=} 10$ d
M20/8R M20/4R				98,3 / 5,2 109 / 5,8	
M20/8P M20/4P				>115 / >6,1	81,8 / 6,5 86,1 / 6,9
S20/80 S20/40				33,8 / 1,8 56,3 / 3,0	
S20/8R S20/4R		>96,2 / >1,9	>95,4 / >3,8	91,7 / 4,9 102 / 5,4	
G26/10R G32/10P	341 / 4,2 460 / 4,6				

Die Dehnungsverläufe während der Ausziehversuche sind in den Bildern 26 bis 39 (Anlagen 23 bis 36) dargestellt. Während der Langzeitbeanspruchung ausgefallene DMS lieferten zum Teil bei den Ausziehversuchen wieder brauchbare Meßwerte und wurden daher in die Auswertung mit einbezogen.

4 Einfluß von Klimaeinwirkung und Langzeitbeanspruchung auf die Haftfestigkeit

In EHLBECK et al. 1992 wurden alle verfügbaren Haftfestigkeiten aus Kurzzeitversuchen ausgewertet und die Mittelwerte tabellarisch zusammengestellt. Die mit den Ergebnissen nach Tabelle 4 vergleichbaren Daten sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Die Haftfestigkeiten aus Kurzzeitversuchen für die Spannstähle sind EHLBECK, SIEBERT 1987 entnommen. In Tabelle 5 (ebenso in Tabelle 4) sind die Haftfestigkeiten auch für die Spannstähle auf den Nenndurchmesser bezogen. Bei einer Verleimung mit Polyurethanleim werden die Haftspannungen meist auf den größeren Bruchflächendurchmesser (i.d.R. den Bohrlochdurchmesser) bezogen. Ohne Einschränkung der Vergleichbarkeit werden in diesem Falle die Haftfestigkeiten auf den Nenndurchmesser bezogen, zumal bei EHLBECK, SIEBERT 1987 die gleichen Stangen- und Bohrlochdurchmesser verwendet wurden wie im vorliegenden Fall.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Mittelwerte der Haftfestigkeiten aus Kurzzeitversuchen

Mittelwerte der Haftfestigkeiten $\tau_{u,m}$ [N/mm ²] ¹⁾							
Klammerwerte: Anzahl der Einzelversuche							
Stangentyp	Leimart ²⁾	Einbindetiefe l_E					
		≈ 40 d	≈ 30 d	≈ 25 d	≈ 20 d	≈ 15 d	≈ 10 d
Stangen mit metrischem Gewinde	R				4,7 (22)	4,4 (2)	5,5 (53)
	P				5,1 (1)	-	-
Stangen mit Holzschraubengewinde in Anlehnung an DIN 571	-				3,2 (5)	4,5 (7)	5,6 (45)
	R				4,8 (2)	-	4,2 (5)
Spannstähle mit Gewinderippen	R	2,6 (1)	2,9 (2)	3,0 (1)			
	P	4,2 (1)	4,5 (1)	4,6 (1)			

¹⁾ bei Einleimung rechtwinklig zur Holzfaser

²⁾ R = Resorcinharzleim
P = Polyurethankleber
- = ohne Leim eingedrehte Gewindestange

Ein Vergleich von Tabelle 5 mit Tabelle 4 läßt keinen Abfall der Haftfestigkeiten durch die Langzeitbelastung erkennen. Lediglich die Stangen mit Holzschraubengewinde ohne Leim erreichen die ursprünglichen Mittelwerte der Haftfestigkeiten nicht. Der Grund hierfür ist auf eine schon anfangs vorhandene, mangelhafte Verbundwirkung zurückzuführen. Einschränkend muß aber darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den durchgeführten Versuchen um Einzelwerte handelt, so daß diese Aussage statistisch nicht gesichert ist. Außerdem betragen die mittleren Haftspannungen im Langzeitversuch etwa 1 bis 1,5 N/mm², also etwa nur 20 bis 30% der Mittelwerte der Haftfestigkeiten der Kurzzeitversuche.

5 Zusammenfassung

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Ermittlung der Tragfähigkeit von auf Herausziehen beanspruchten eingeleimten Gewindestangen, die unter wechselndem Klima sechs Jahre lang belastet waren. Durch Vergleich mit Kurzzeit-Tragfähigkeiten sollte der Einfluß der Klima- und Langzeitbelastung auf die Haftfestigkeit untersucht werden. Hierzu standen zehn Versuchskörper mit eingeleimten Gewindestangen aus einem abgeschlossenen Forschungsvorhaben zur Verfügung. Diese standen über einen Zeitraum von sechs Jahren in einer an zwei Seiten offenen Halle und waren mit jeweils unterschiedlichen Ausziehbeanspruchungen, die mittleren Haftspannungen von 0,7 bis 1,5 N/mm² entsprachen, belastet. Die unterschiedlichen Stangentypen (Stangen mit metrischem Gewinde, Stangen mit Holzschraubengewinde und Spannstähle mit Gewinderippen) waren mit zwei Leimsorten (Resorcinharzleim, Polyurethankleber), bei den Stangen mit Holzschraubengewinde auch ohne Leim mit Einbindetiefen von 40, 80 und 100 cm eingebracht. Für die Ausziehversuche mußten die Einbindetiefen teilweise bis auf 20 cm reduziert werden. Bei den Stangen mit Holzschraubengewinde ergaben sich vergleichsweise geringe Haftfestigkeiten, die aber auf einen schon zu Beginn der Langzeitbelastung vorhandenen mangelhaften Verbund Stahl-Holz zurückzuführen waren. Bei den übrigen Stangen war im Vergleich zu den Haftfestigkeiten aus Kurzzeitversuchen kein Einfluß der Klima- und Langzeitbeanspruchung auf die Tragfähigkeit erkennbar.

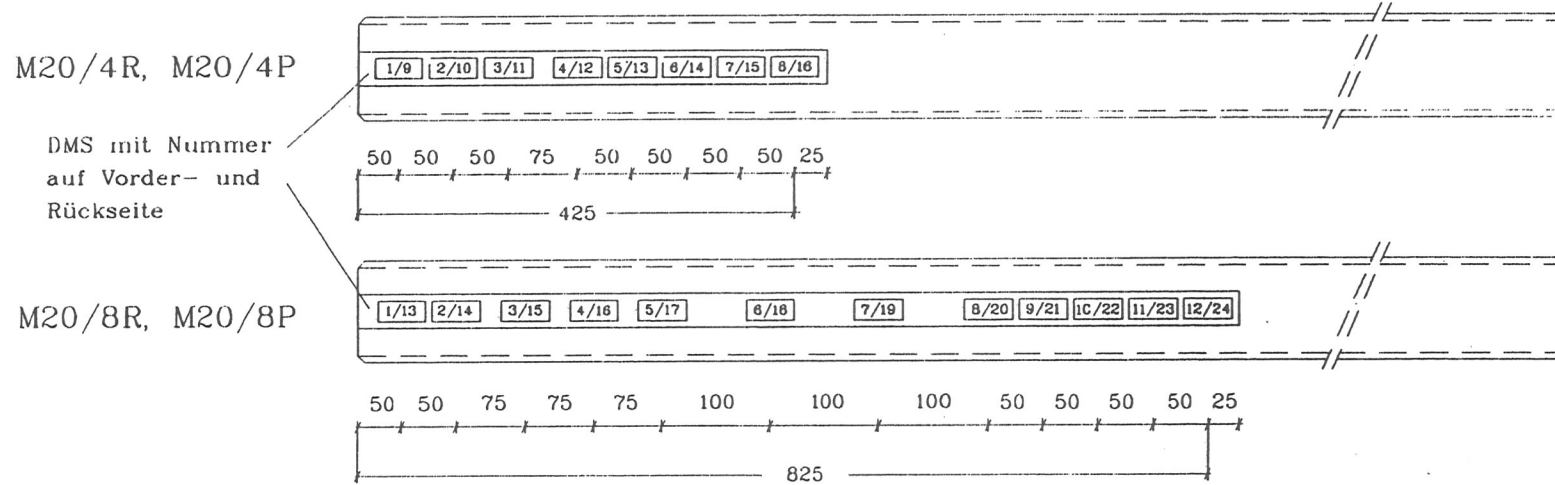
6 Literatur

EHLBECK, J.; SIEBERT, W. 1987

Praktikable Einleimmethoden und Wirkungsweise von eingeleimten Gewindestangen unter Axialbelastung bei Übertragung von großen Kräften und bei Aufnahme von Querkraften in Biegeträgern. Teil 1: Einleimmethoden, Meßverfahren, Haftspannungsverlauf. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, der Universität Karlsruhe (TH)

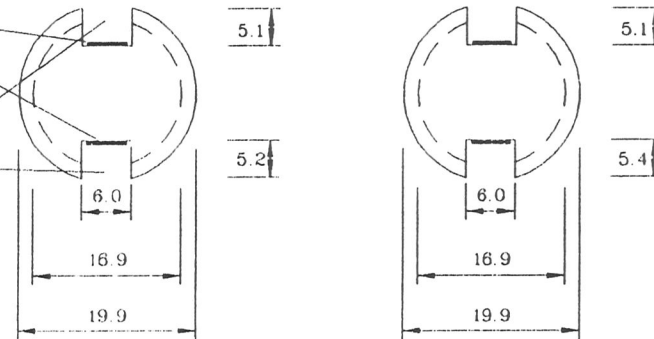
EHLBECK, J.; BELCHIOR-GASPARD, P.; GEROLD, M. 1992

Eingeleimte Gewindestangen unter Axialbelastung bei Übertragung von großen Kräften und bei Aufnahme von Querkraften in Biegeträgern. Teil 2: Einfluß von Klimaeinwirkung und Langzeitbelastung. Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Ingenieurholzbau, der Universität Karlsruhe (TH)



Dehnungs-
meßstreifen
(DMS)

Nut für DMS
und Kabel; mit
Polyesterharz
ausgegossen



Stahl Festigkeitsklasse 8.8
Maße in [mm]

Querschnitt: M20/8P

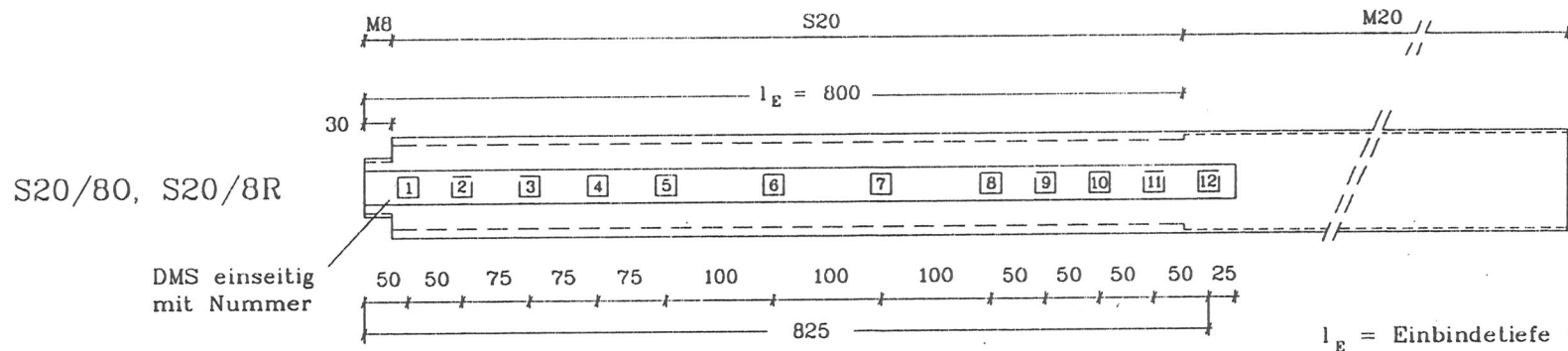
M20/4R
M20/4P
M20/8R

Netto-Kernquer-
schnittsfläche:
 A_n [mm²]

175

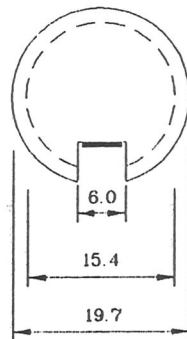
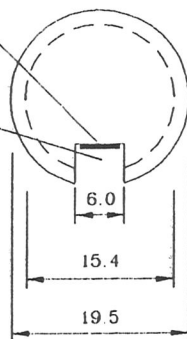
175

Bild 1: Abmessungen und Anordnung der DMS der Stangen M20/4R, M20/4P, M20/8R und M20/8P



Dehnungs-
messstreifen
(DMS)

Nut für DMS
und Kabel; mit
Polyesterharz
ausgegossen



Stahl Festigkeitsklasse 8.8

Maße in [mm]

Querschnitt: S20/80

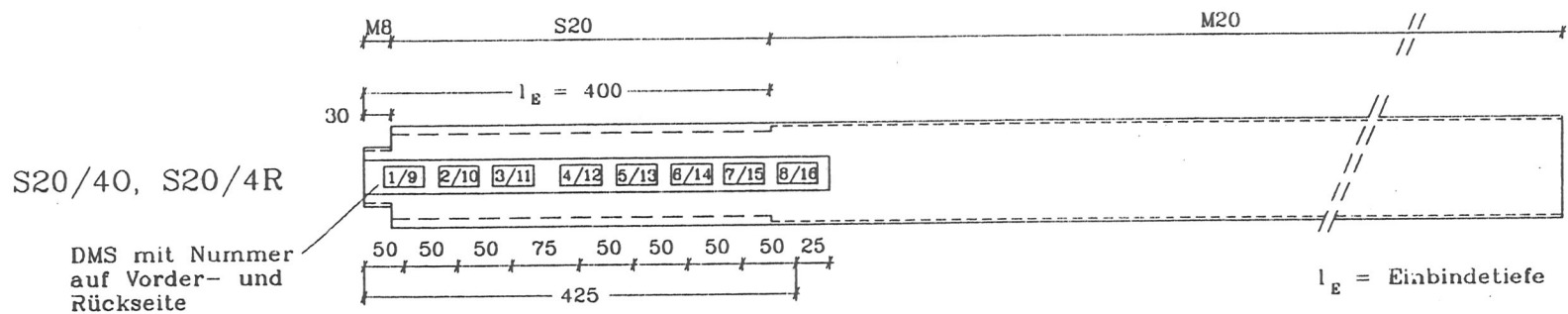
S20/8R

Netto-Kernquer-
schnittsfläche: 160

159

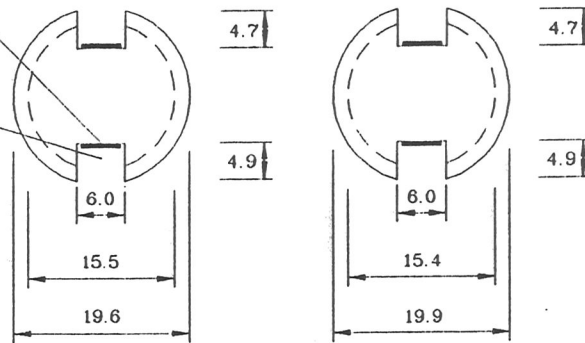
A_n [mm²]

Bild 2: Abmessungen und Anordnung der DMS der Stangen S20/80 und S20/8R



Dehnungs-
messtreifen
(DMS)

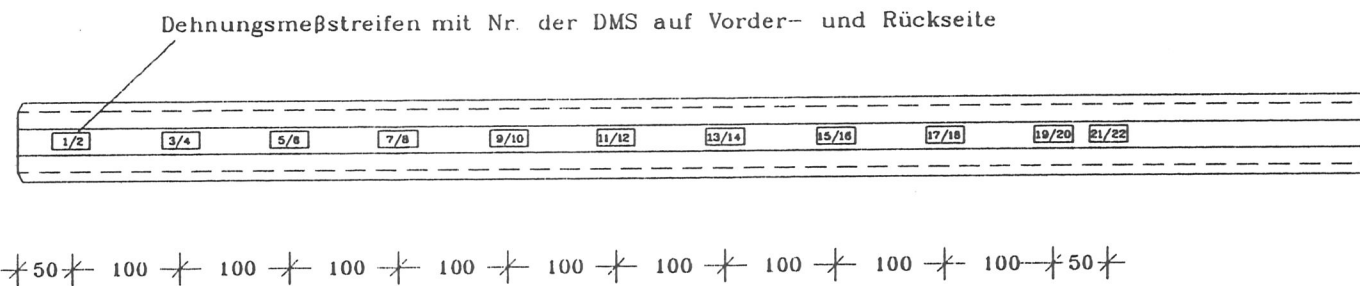
Nut für DMS
und Kabel; mit
Polyesterharz
ausgegossen



Stahl Festigkeitsklasse 8.8
Maße in [mm]

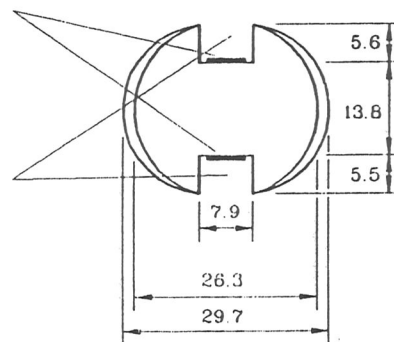
Querschnitt:	S20/40	S20/4R
Netto-Kernquer- schnittsfläche:	151	151
A_n [mm ²]		

Bild 3: Abmessungen und Anordnung der DMS der Stangen S20/40 und S20/4R



Dehnungs-
meßstreifen
(DMS)

Nut für DMS
und Kabel; mit
Polyesterharz
ausgegossen



GEWI--Stahl 1080/1230

Nenndurchmesser: 26.5 mm

Maße in [mm]

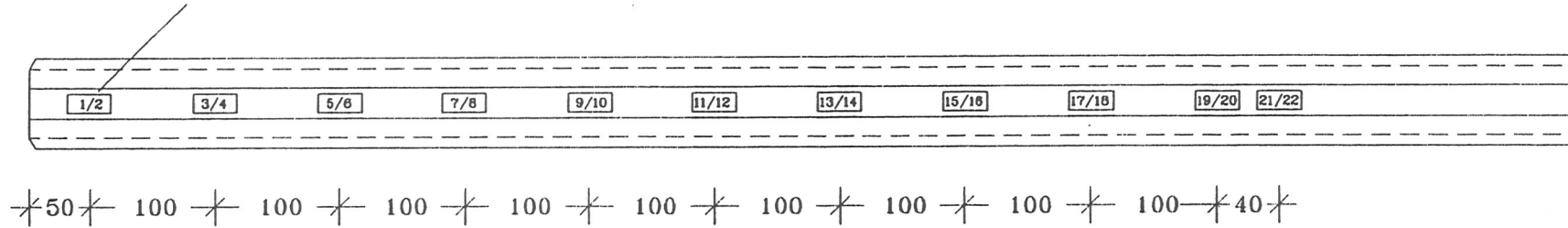
Querschnitt: G26/10R

Netto-Kernquer-
schnittsfläche: 450

A_n [mm²]

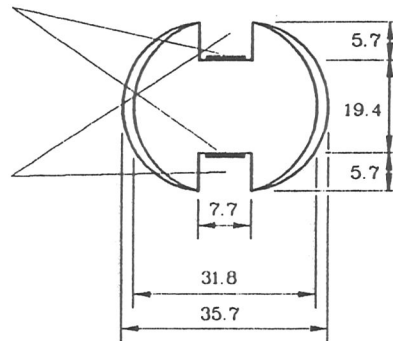
Bild 4: Abmessung und Anordnung der DMS der Stange G26/10R

Dehnungsmeßstreifen mit Nr. der DMS auf Vorder- und Rückseite



Dehnungs-
meßstreifen
(DMS)

Nut für DMS
und Kabel; mit
Polyesterharz
ausgegossen



GEWI-Stahl 1080/1230
Nenn Durchmesser: 32.0 mm
Maße in [mm]

Querschnitt: G32/10P

Netto-Kernquer-
schnittsfläche: 700

A_n [mm²]

Bild 5: Abmessung und Anordnung der DMS der Stange G32/10P

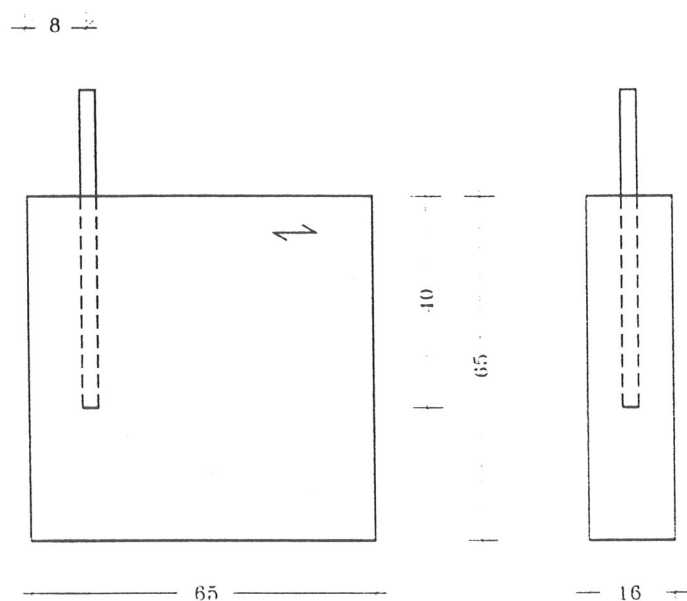


Bild 6: Abmessungen der kleinen Versuchskörper
 (S20/4O, S20/4R, M20/4P, M20/4R)
 Maße in cm

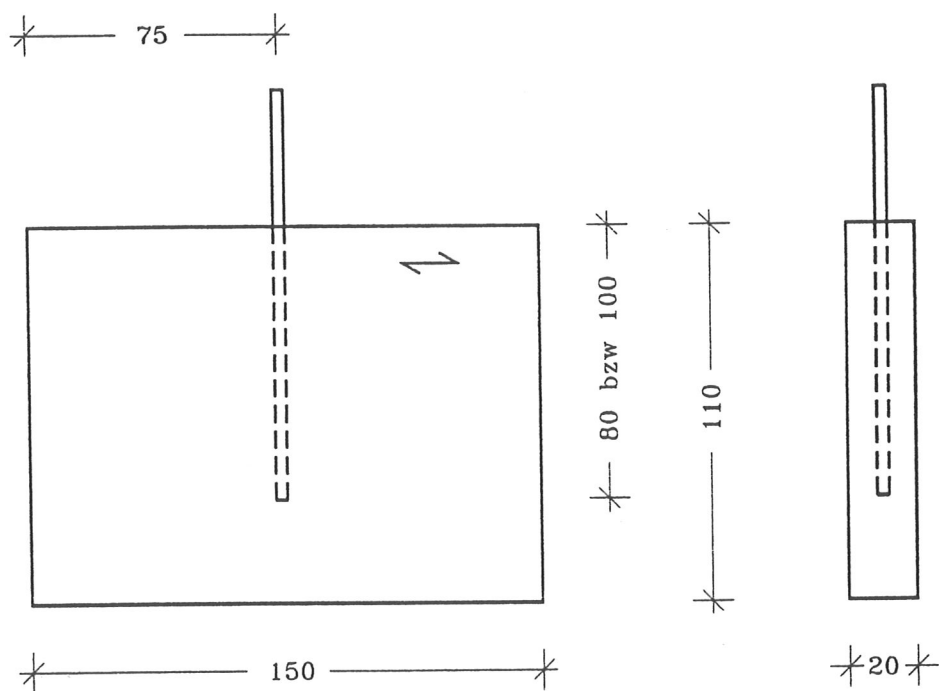
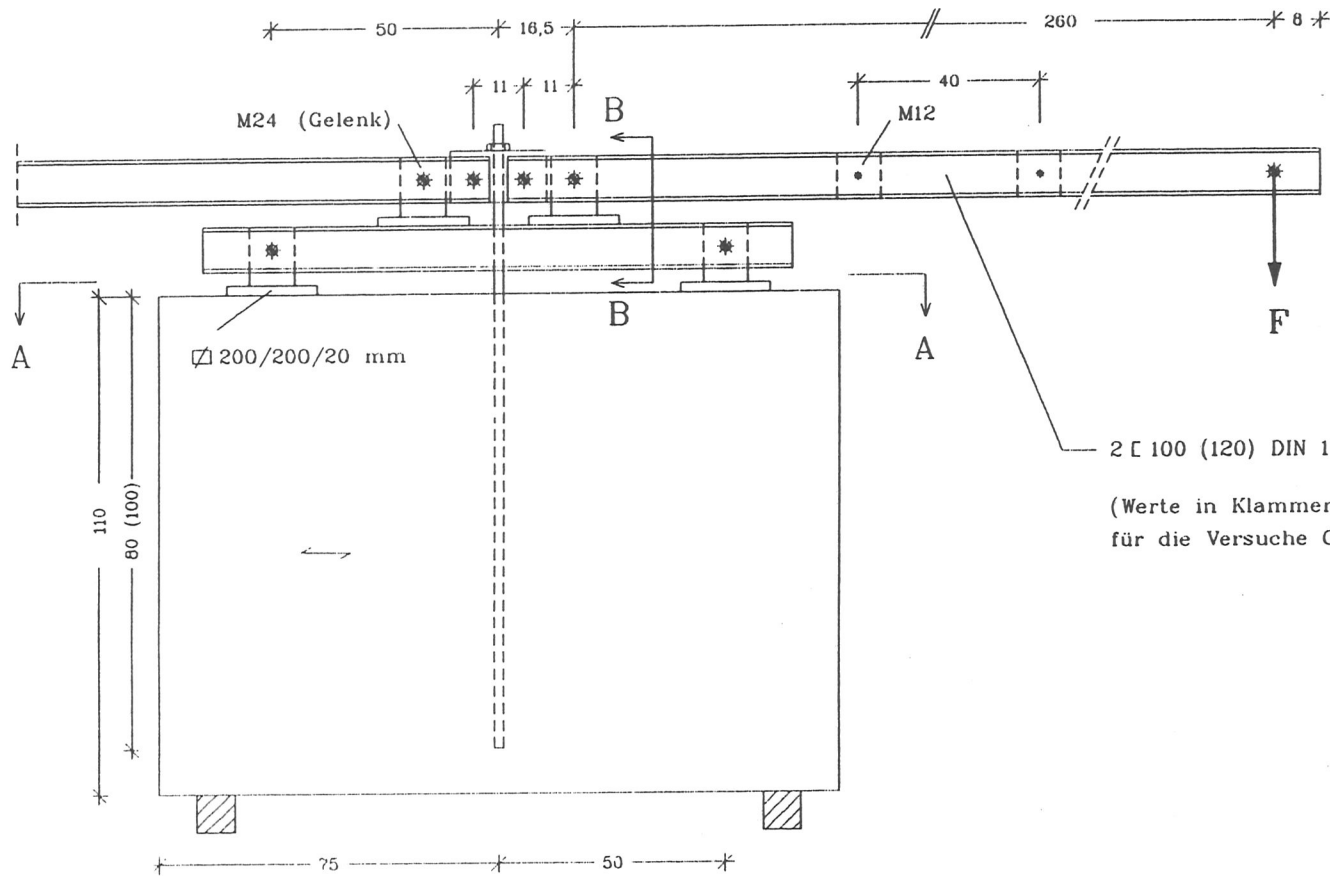
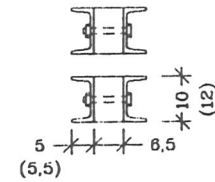


Bild 7: Abmessungen der großen Versuchskörper
 (S20/8O, S20/8R, M20/8P, M20/8R, G26/10R, G32/10P)
 Maße in cm

Ansicht



Schnitt B-B



2 [100 (120) DIN 1026 St37

(Werte in Klammern gelten für die Versuche G26/10R und G32/10P)

Schnitt A-A

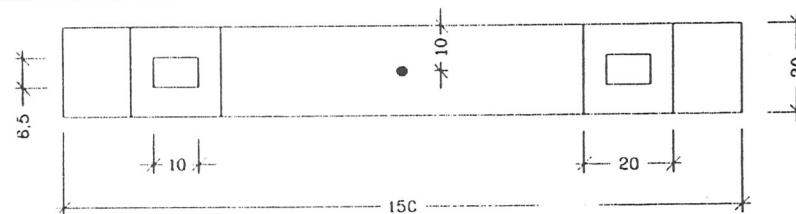
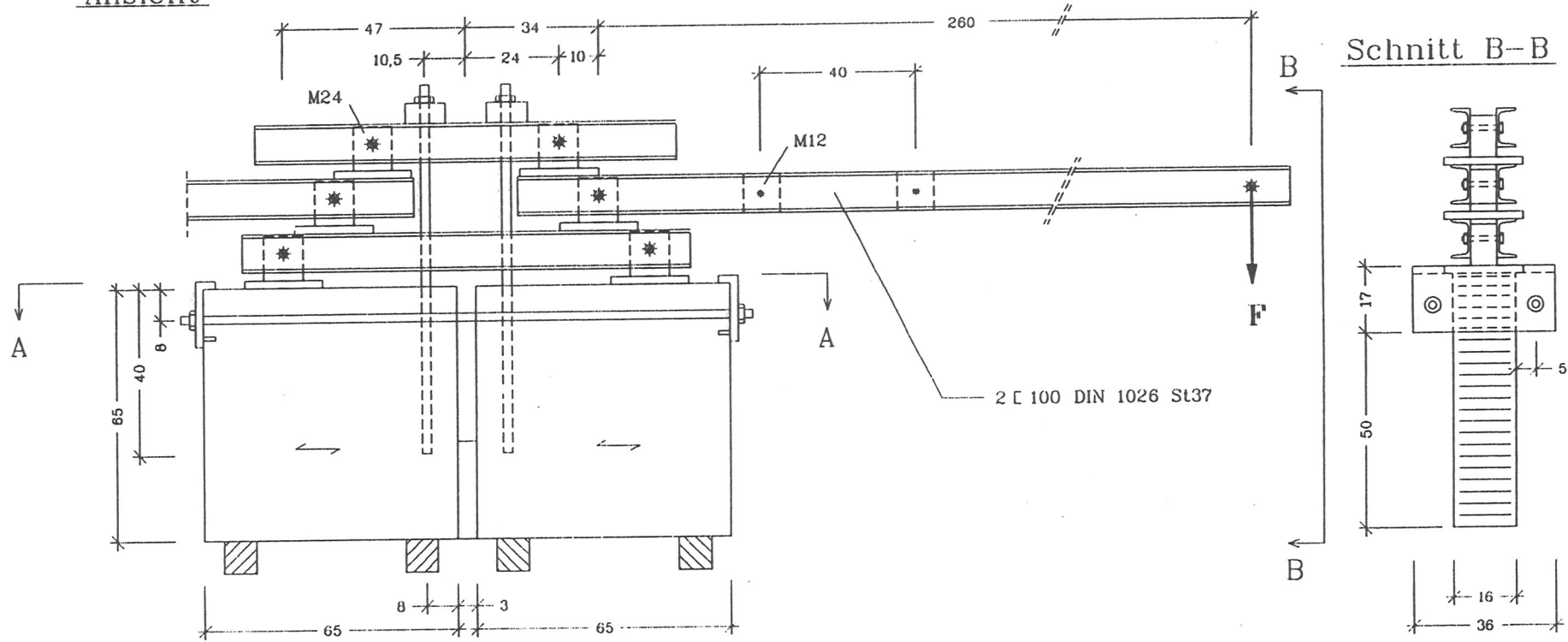


Bild 8: Versuchsanordnung für die Langzeitbelastung der großen Versuchskörper (S20/8O, S20/8R, M20/8P, M20/8R, G26/10R, G32/10P)

Maße in cm

Ansicht



Schnitt B-B

Schnitt A-A

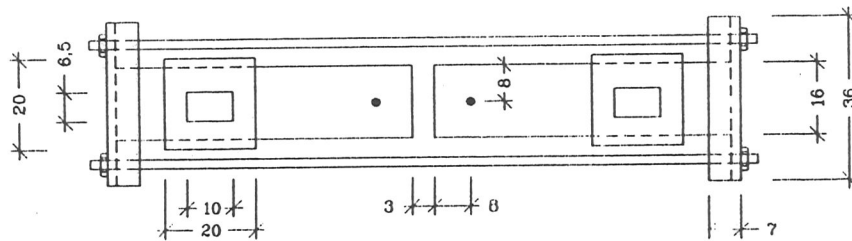


Bild 9: Versuchsanordnung für die Langzeitbelastung der kleinen Versuchskörper (S20/4O, S20/4R, M20/4P, M20/4R)
Maße in cm

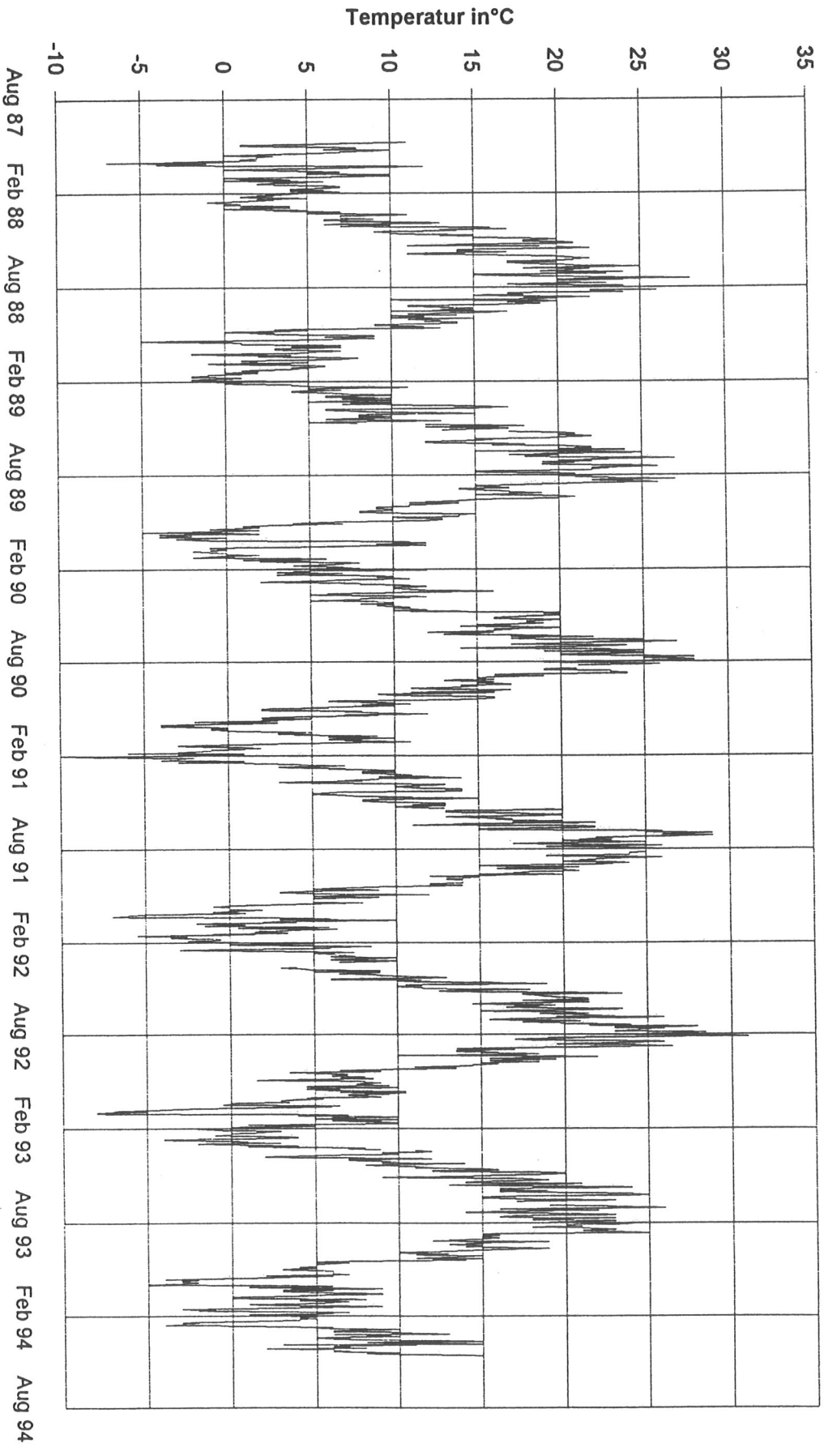


Bild 10: Mittlere Tagestemperaturen in der Halle während der Langzeitbelastung

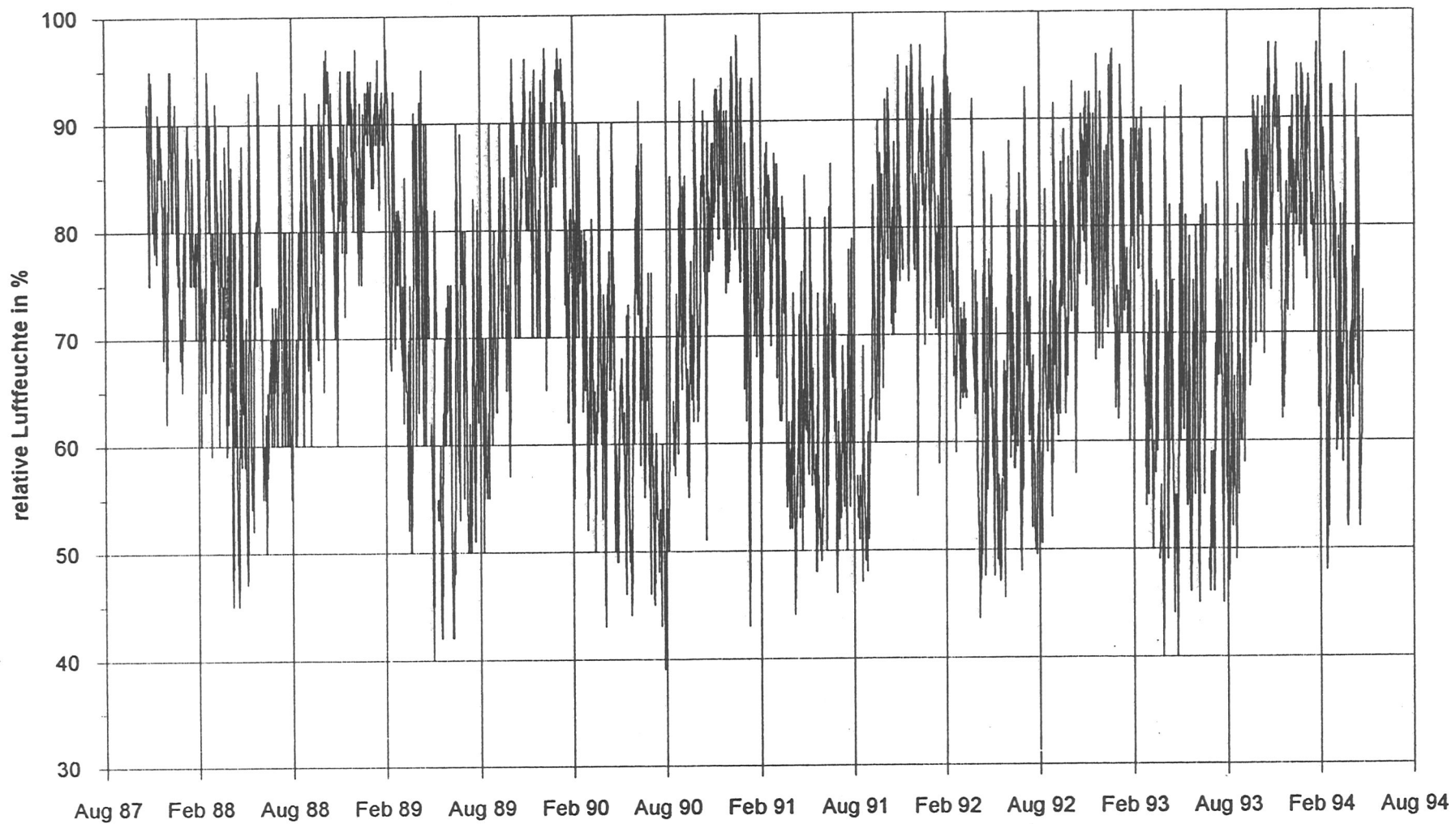


Bild 11: Tagesmittel der relativen Luftfeuchte in der Halle während der Langzeitbelastung

M20/8R

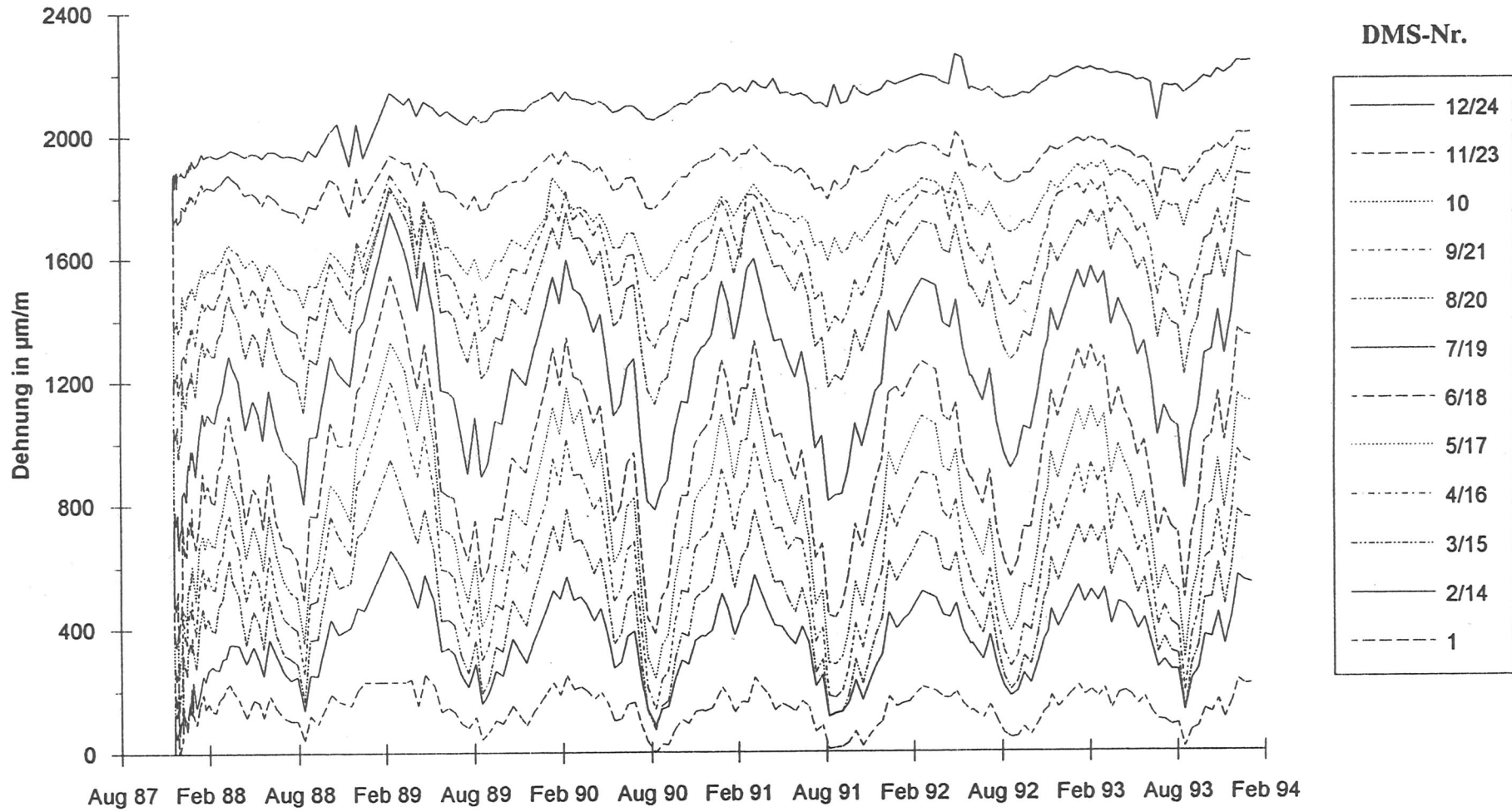


Bild 12: Dehnungen entlang der Stange M20/8R während der Langzeitbelastung

M20/4R

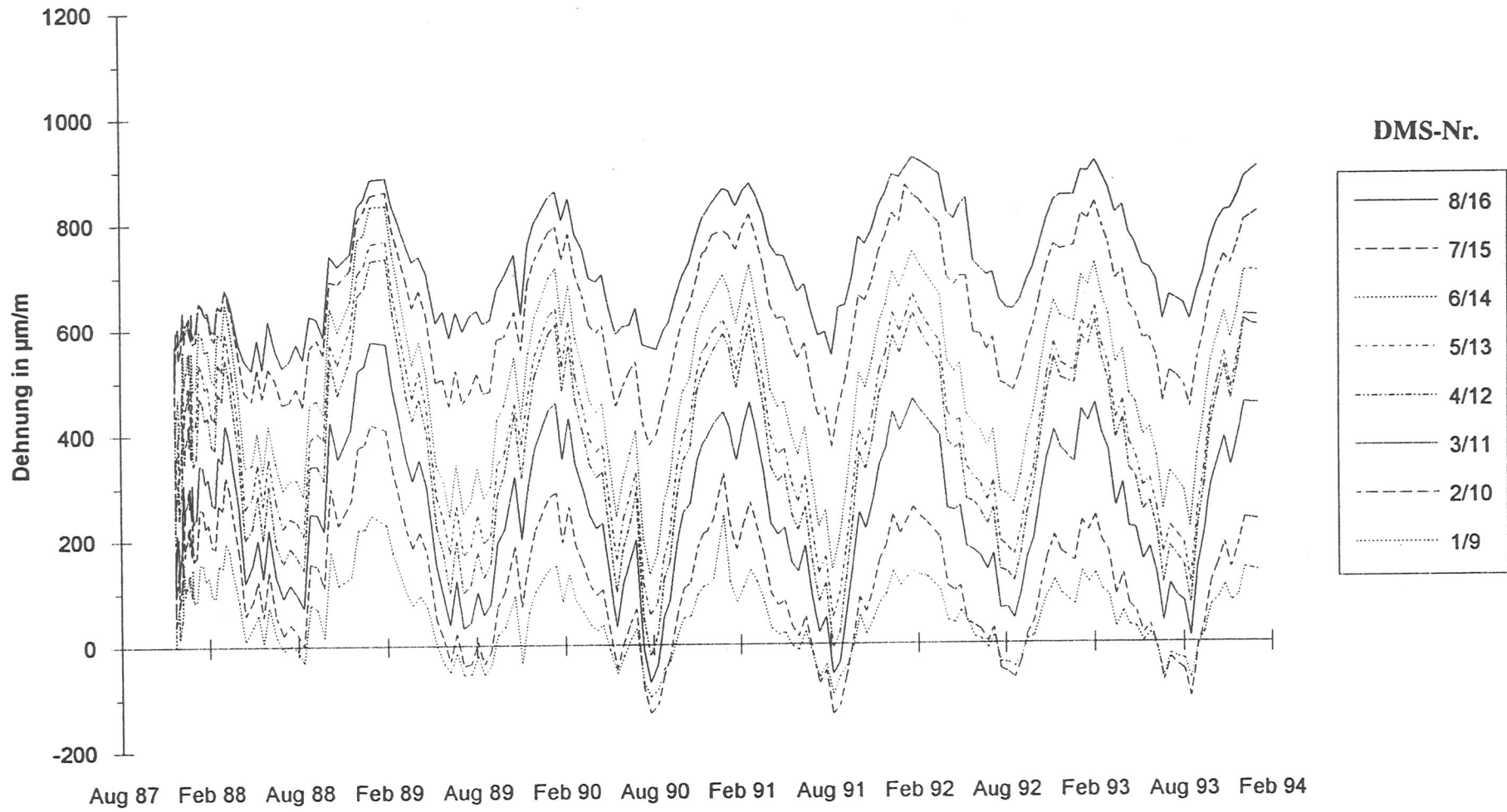


Bild 13: Dehnungen entlang der Stange M20/4R während der Langzeitbelastung

M20/8P

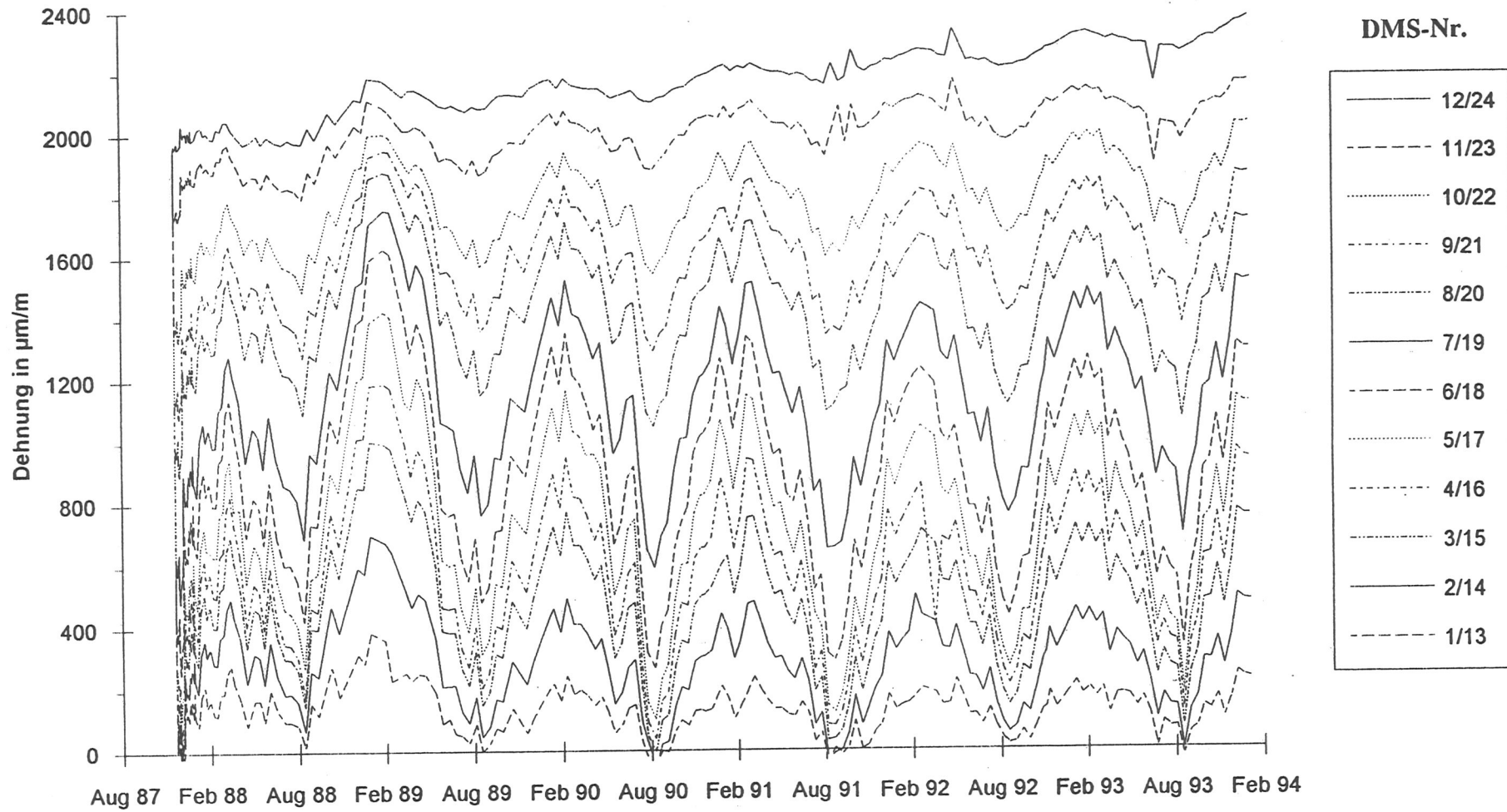


Bild 14: Dehnungen entlang der Stange M20/8P während der Langzeitbelastung

M20/4P

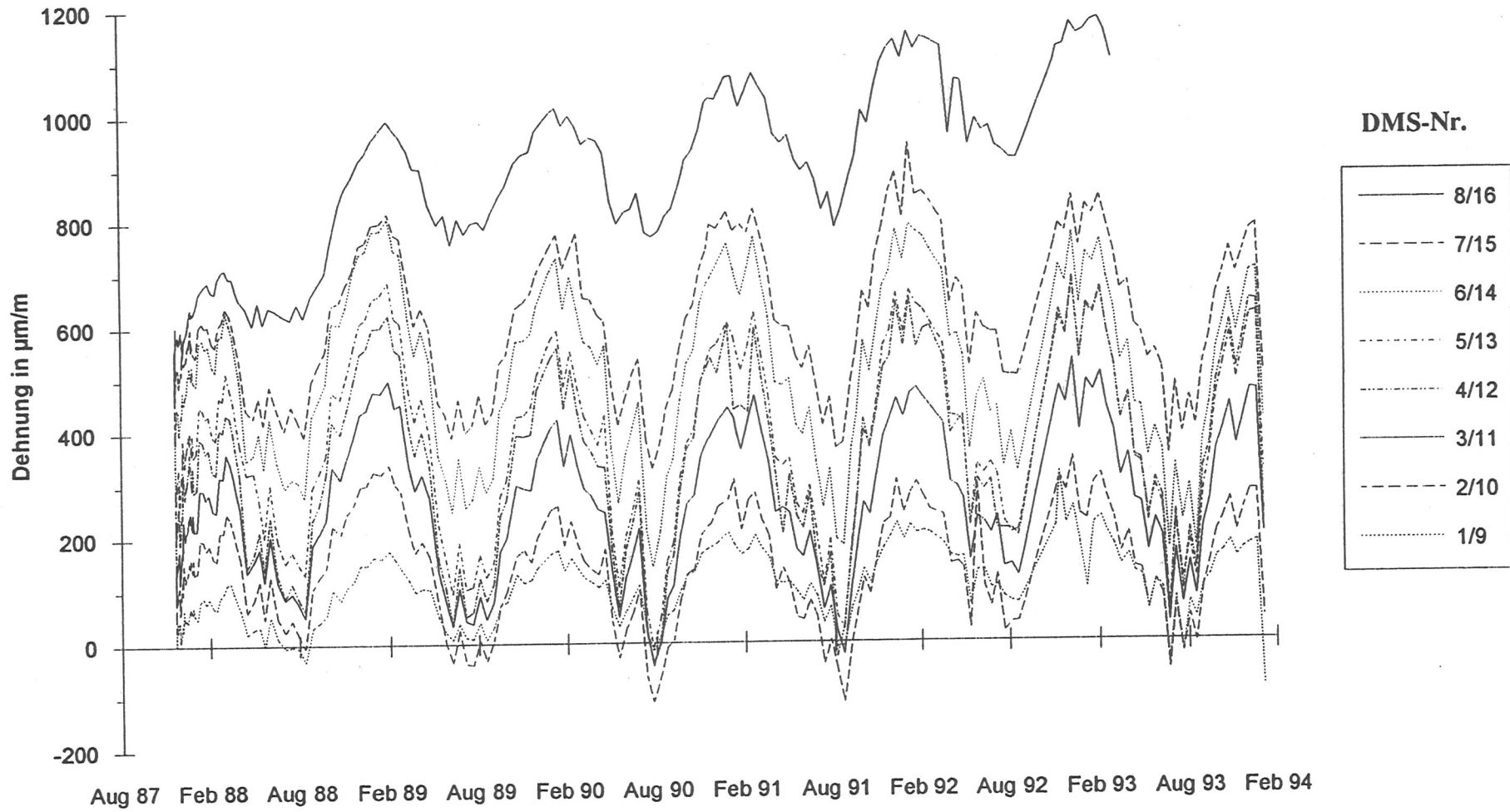


Bild 15: Dehnungen entlang der Stange M20/4P während der Langzeitbelastung

S20/80

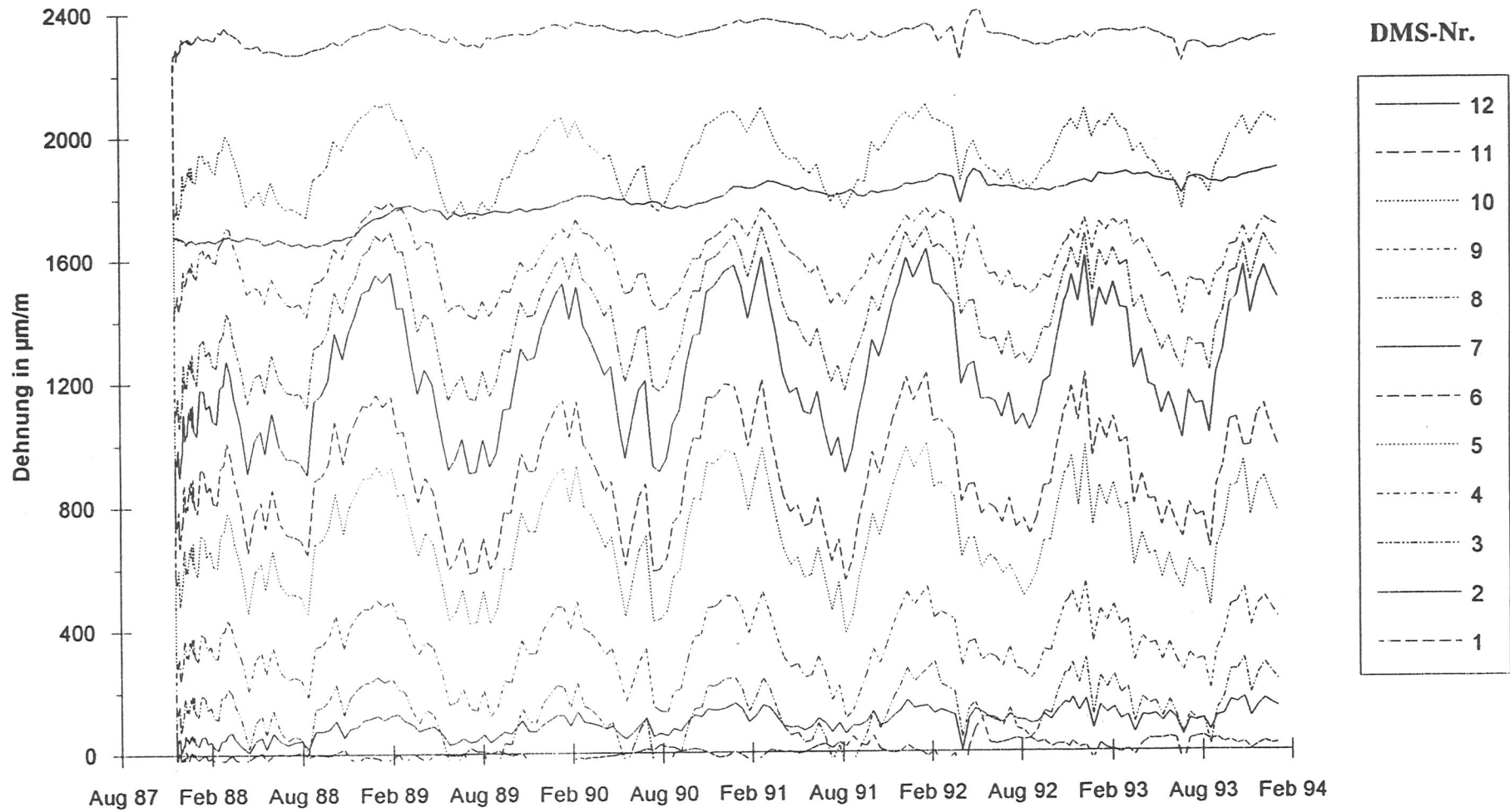


Bild 16: Dehnungen entlang der Stange S20/80 während der Langzeitbelastung

S20/40

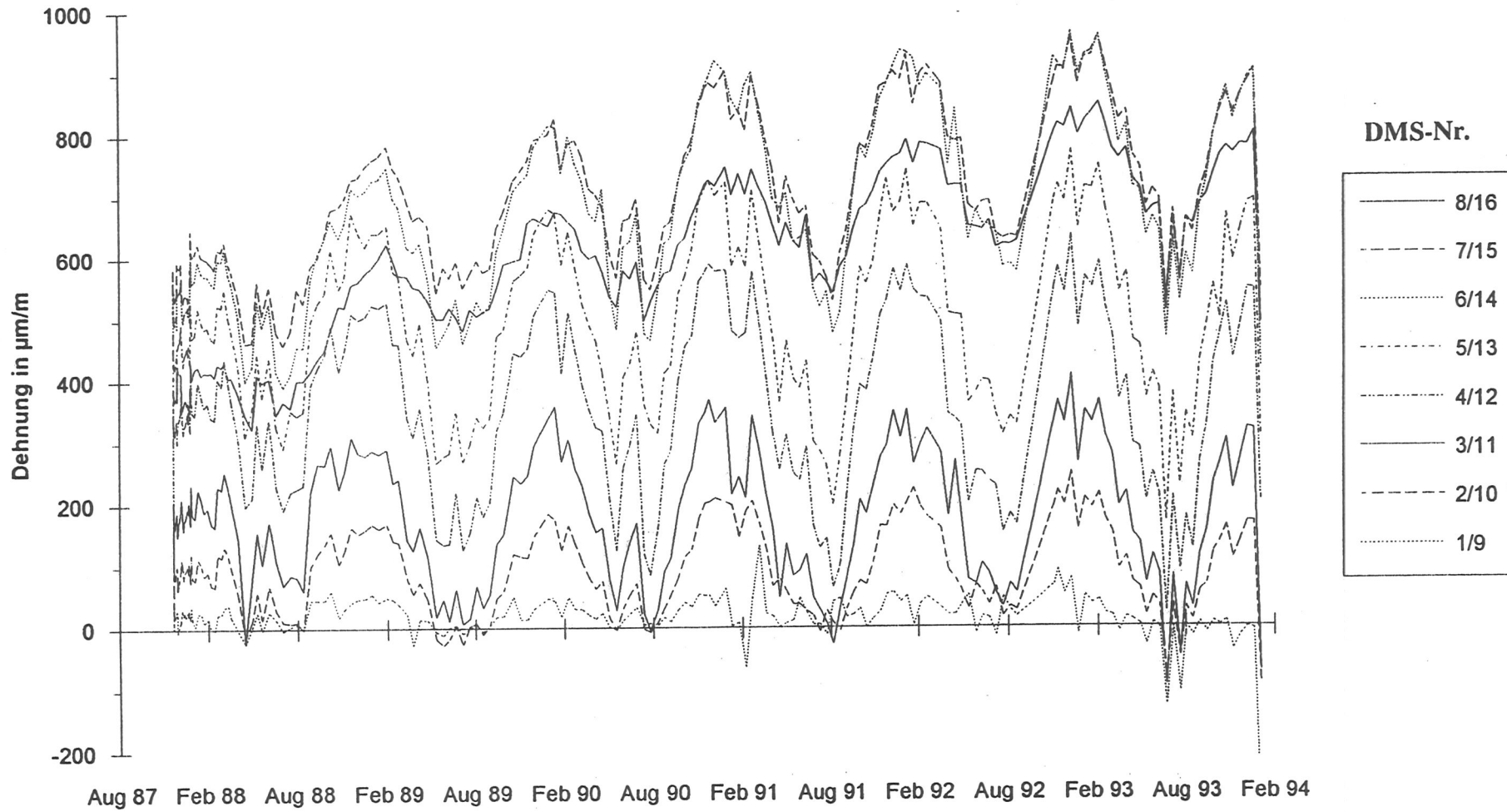


Bild 17: Dehnungen entlang der Stange S20/40 während der Langzeitbelastung

S20/8R

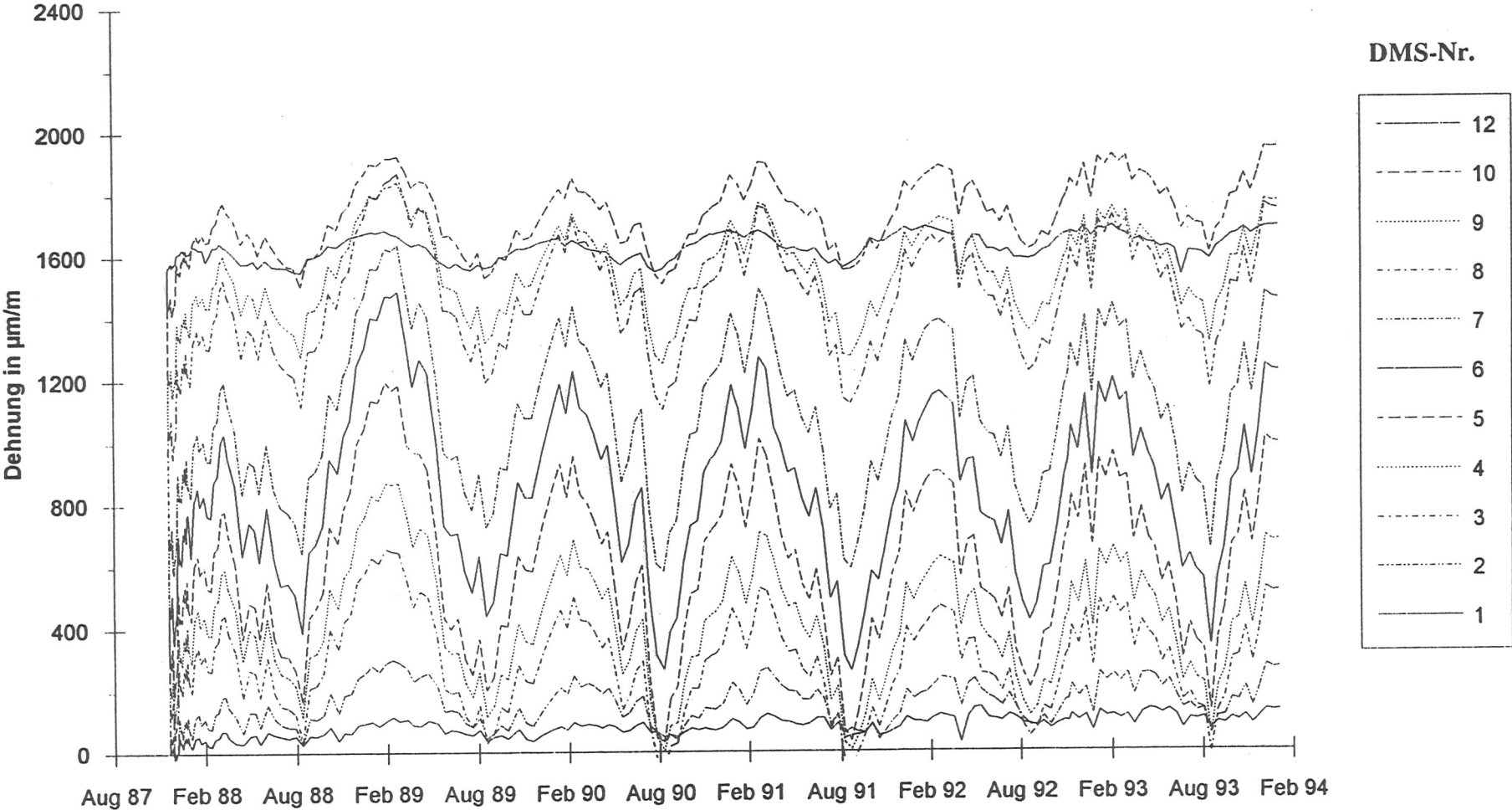


Bild 18: Dehnungen entlang der Stange S20/8R während der Langzeitbelastung

S20/4R

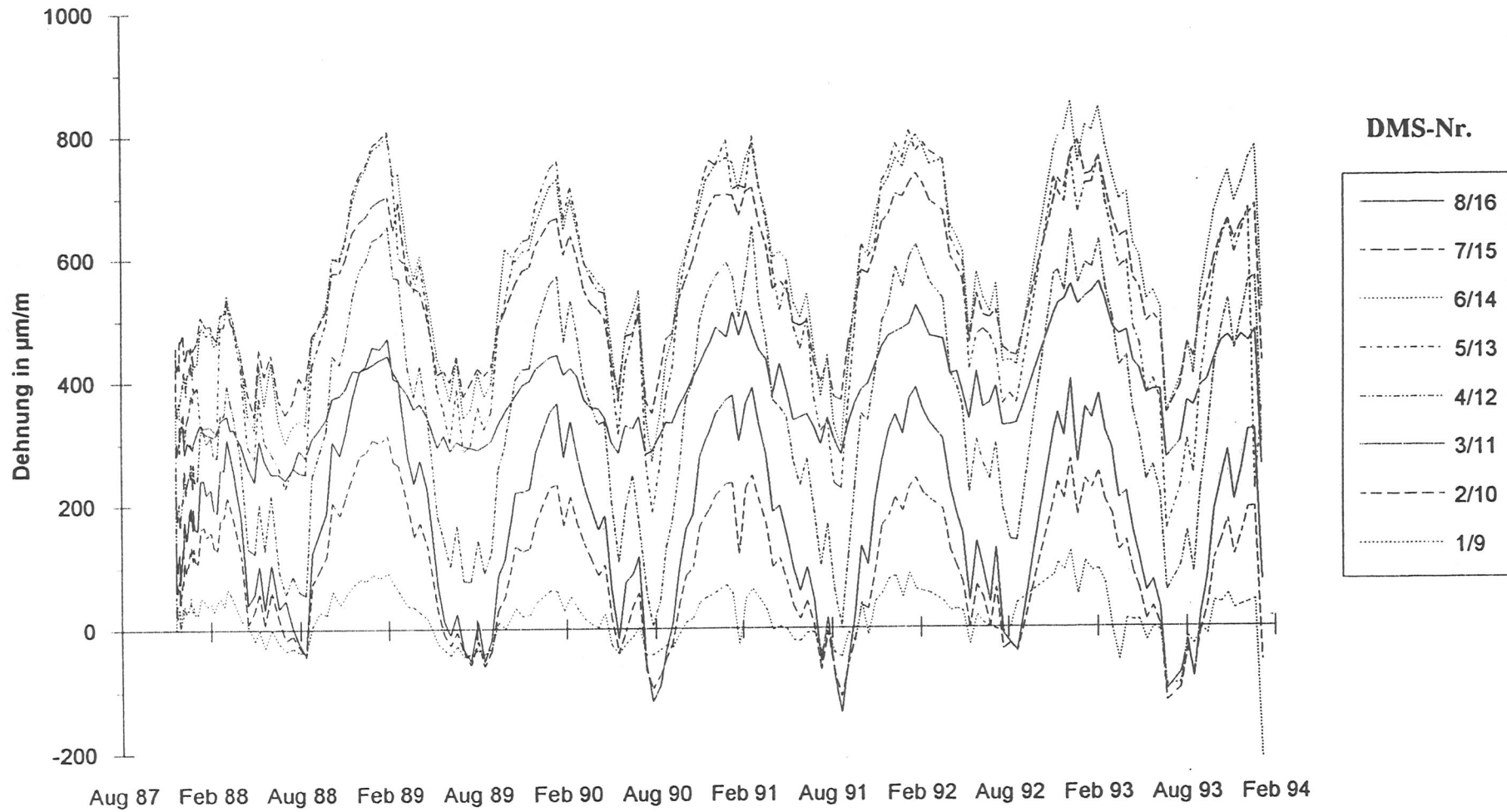


Bild 19: Dehnungen entlang der Stange S20/4R während der Langzeitbelastung

G26/10R

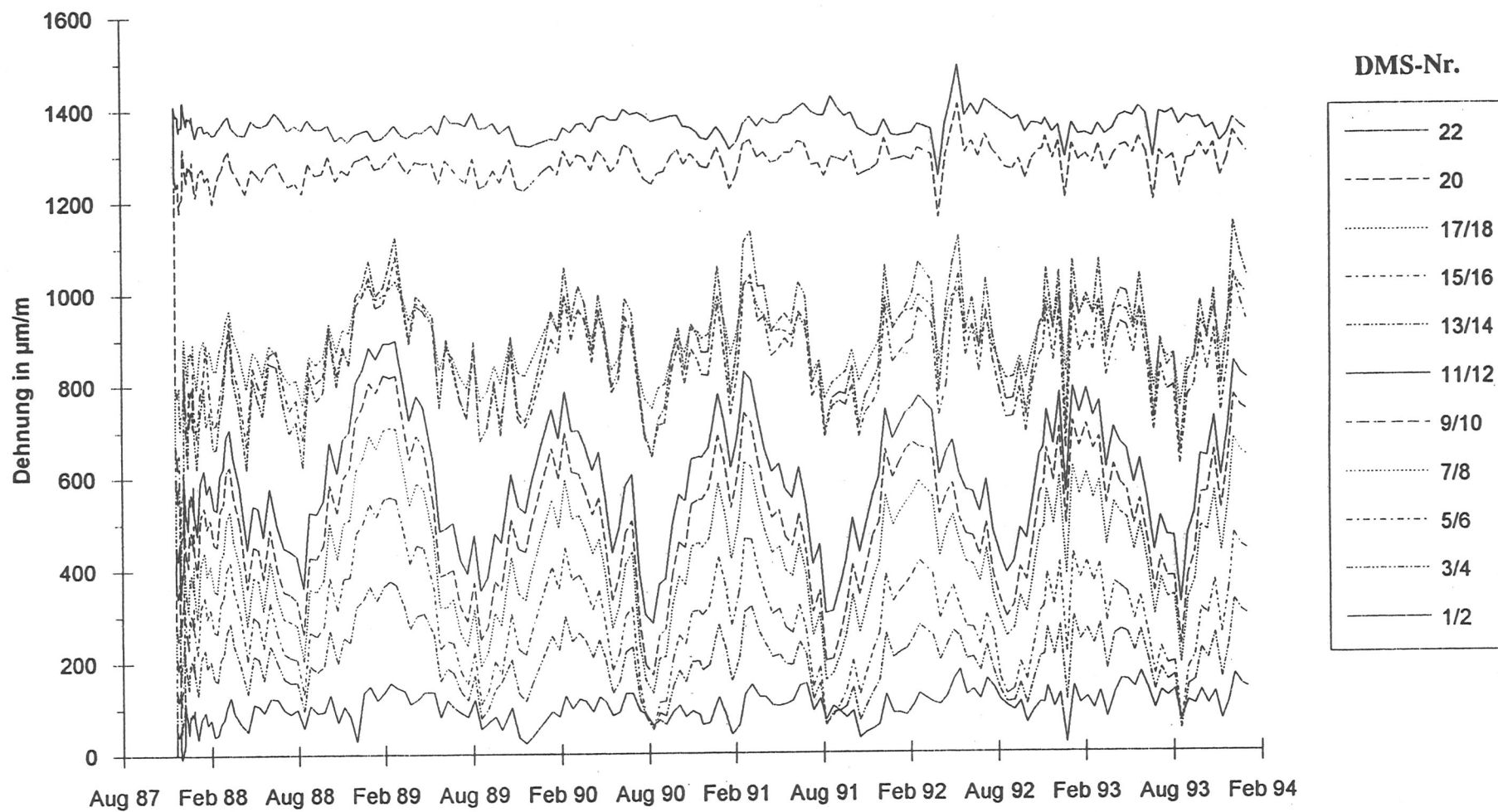


Bild 20: Dehnungen entlang der Stange G26/10R während der Langzeitbelastung

G32/10P

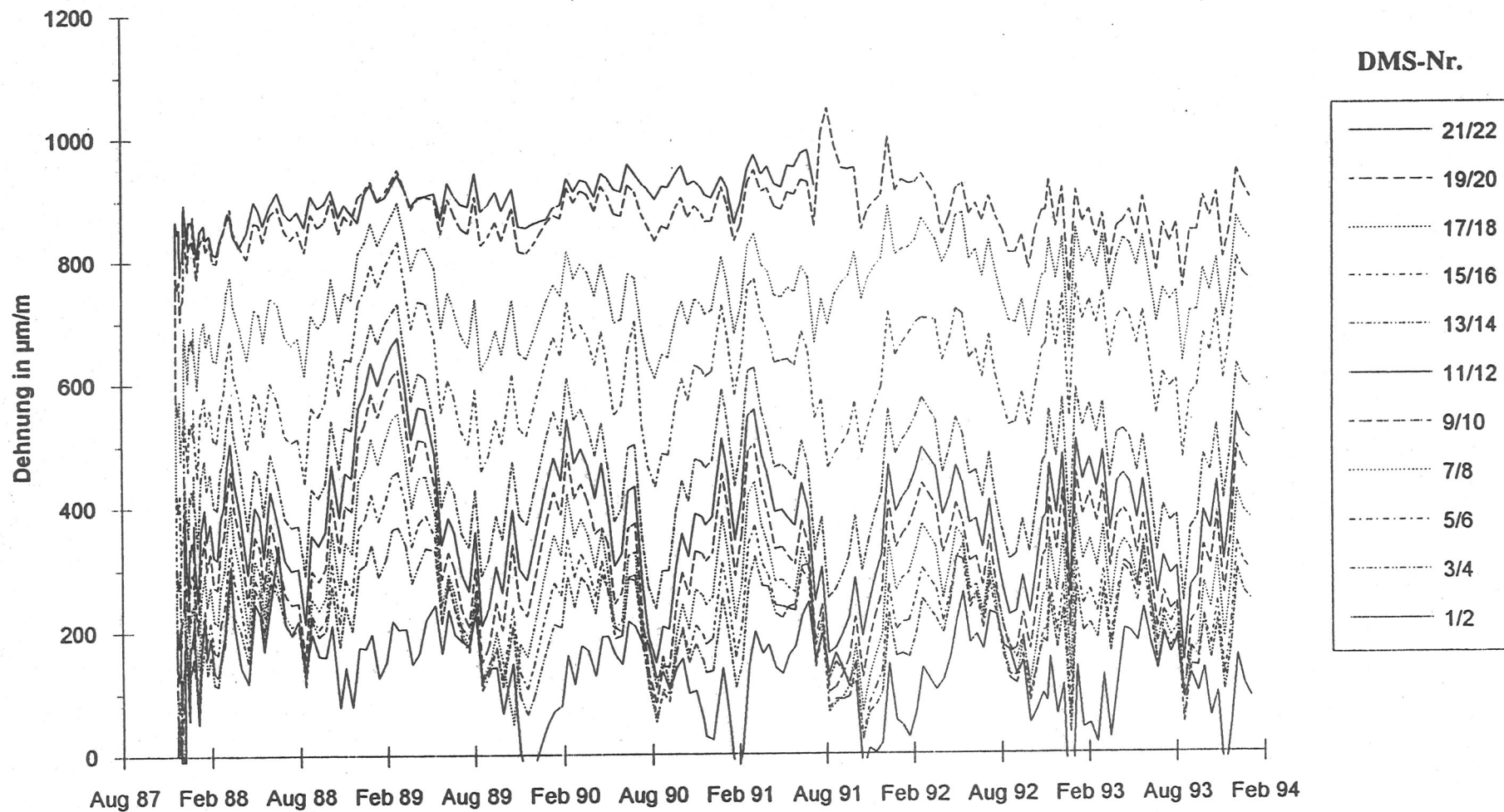


Bild 21: Dehnungen entlang der Stange G32/10P während der Langzeitbelastung

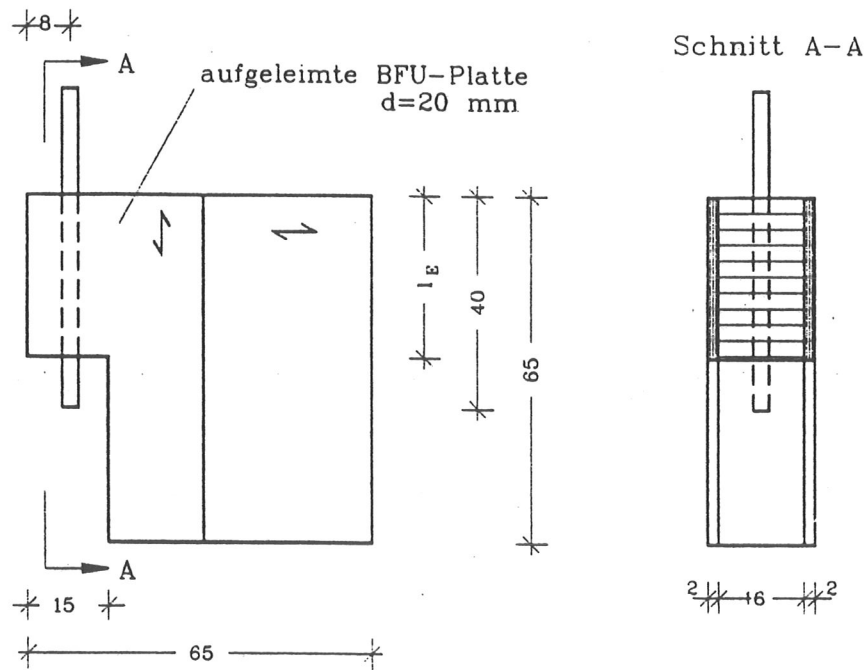


Bild 22: Versuchskörperabmessung für die Ausziehversuche der Stangen S20/4O, S20/4R, M20/4R und M20/4P
Maße in cm

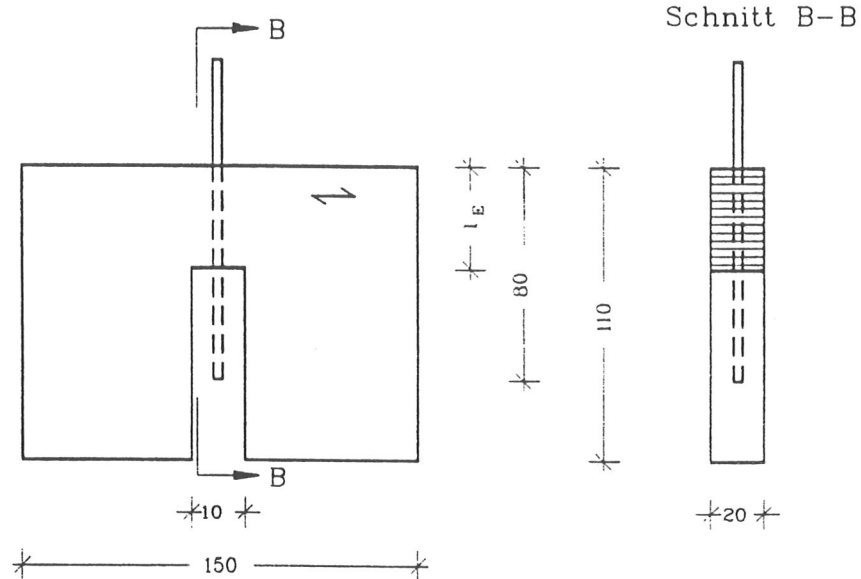


Bild 23: Versuchskörperabmessung für die Ausziehversuche der Stangen S20/8O, S20/8R, M20/8R und M20/8P
Maße in cm

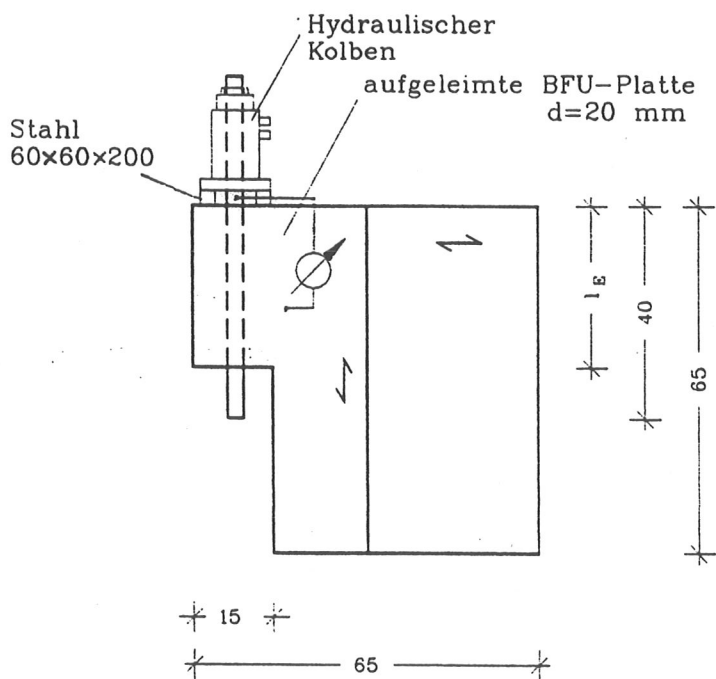


Bild 24: Versuchsaufbau für die Ausziehversuche der Stangen S20/4O, S20/4R, M20/4R und M20/4P
Maße in cm

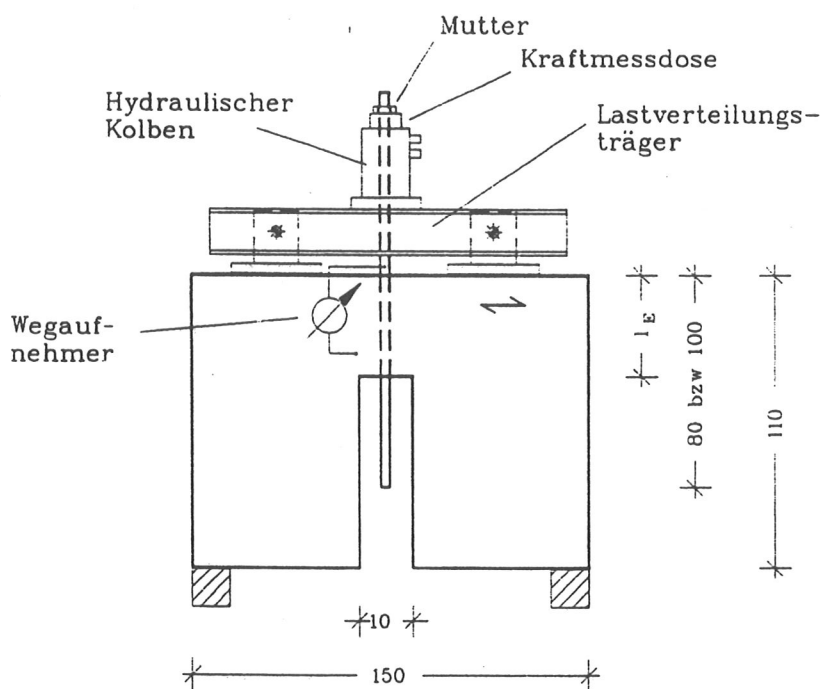


Bild 25: Versuchsaufbau für die Ausziehversuche der Stangen S20/8O, S20/8R, M20/8R, M20/8P (sinngemäß ohne Ausklinkung auch für die Stangen G26/10R und G32/10P)
Maße in cm

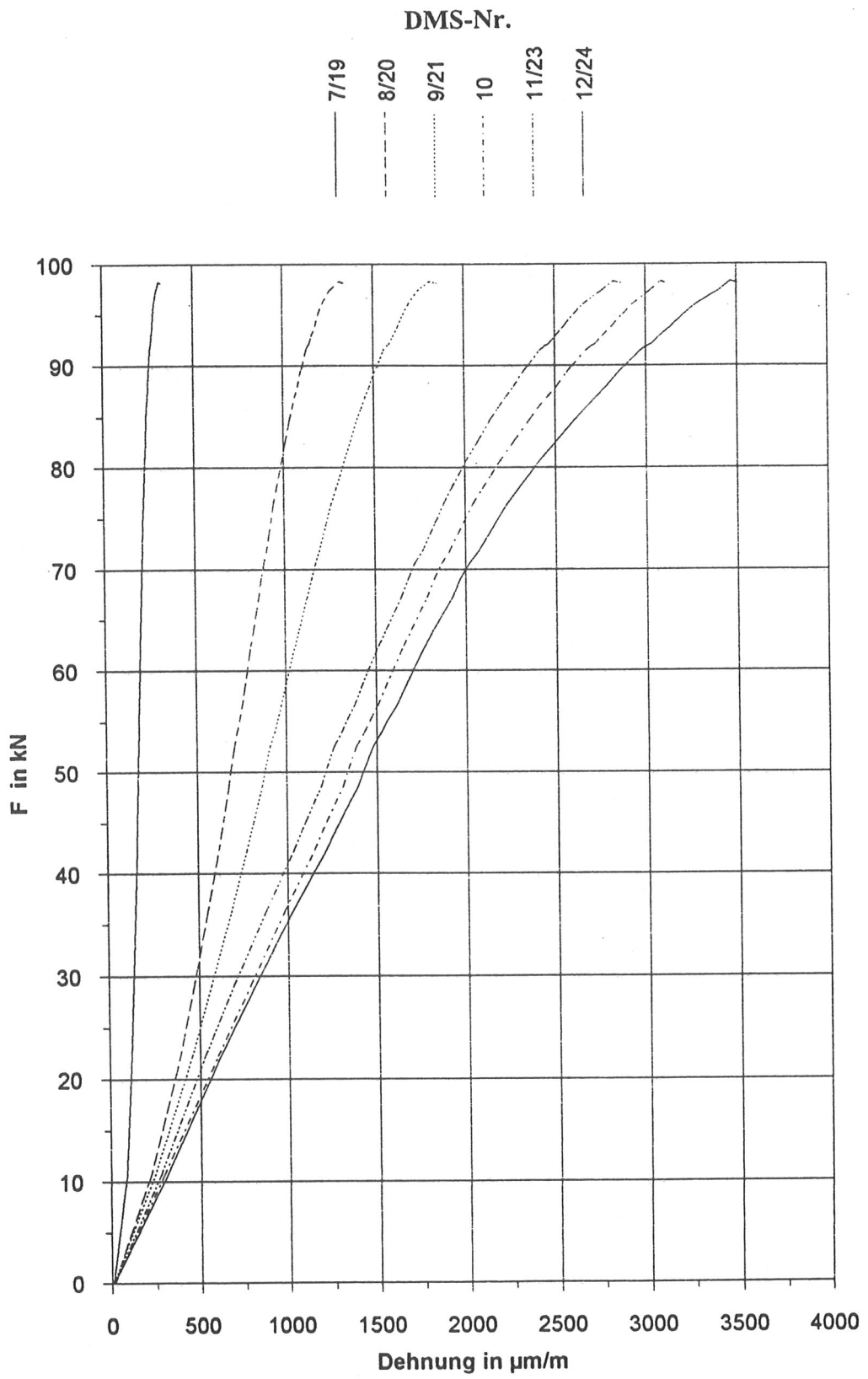


Bild 26: Ausziehversuch der Stange M20/8R, $l_E = 30\text{cm}$

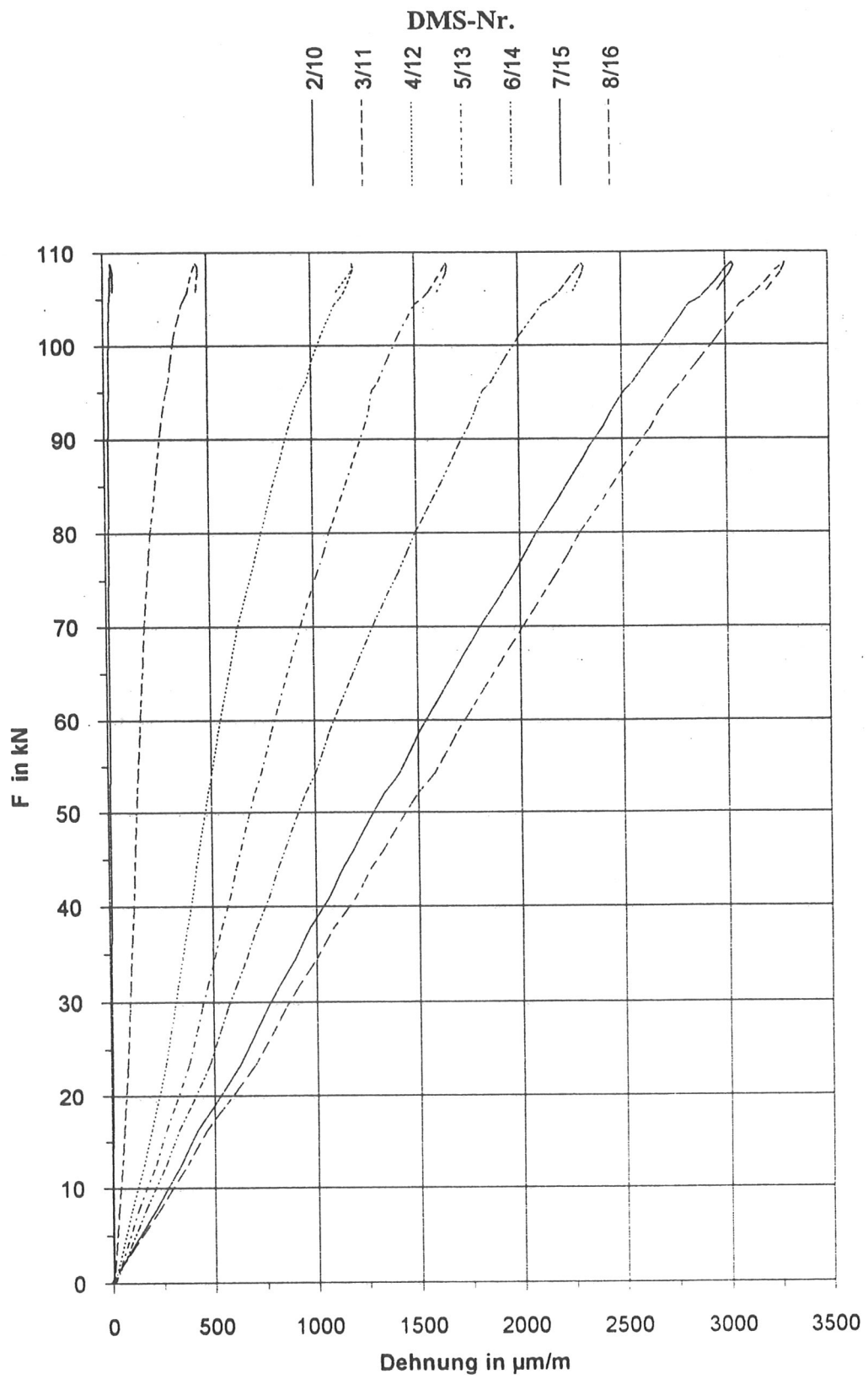


Bild 27: Ausziehversuch der Stange M20/4R, $l_E = 30\text{cm}$

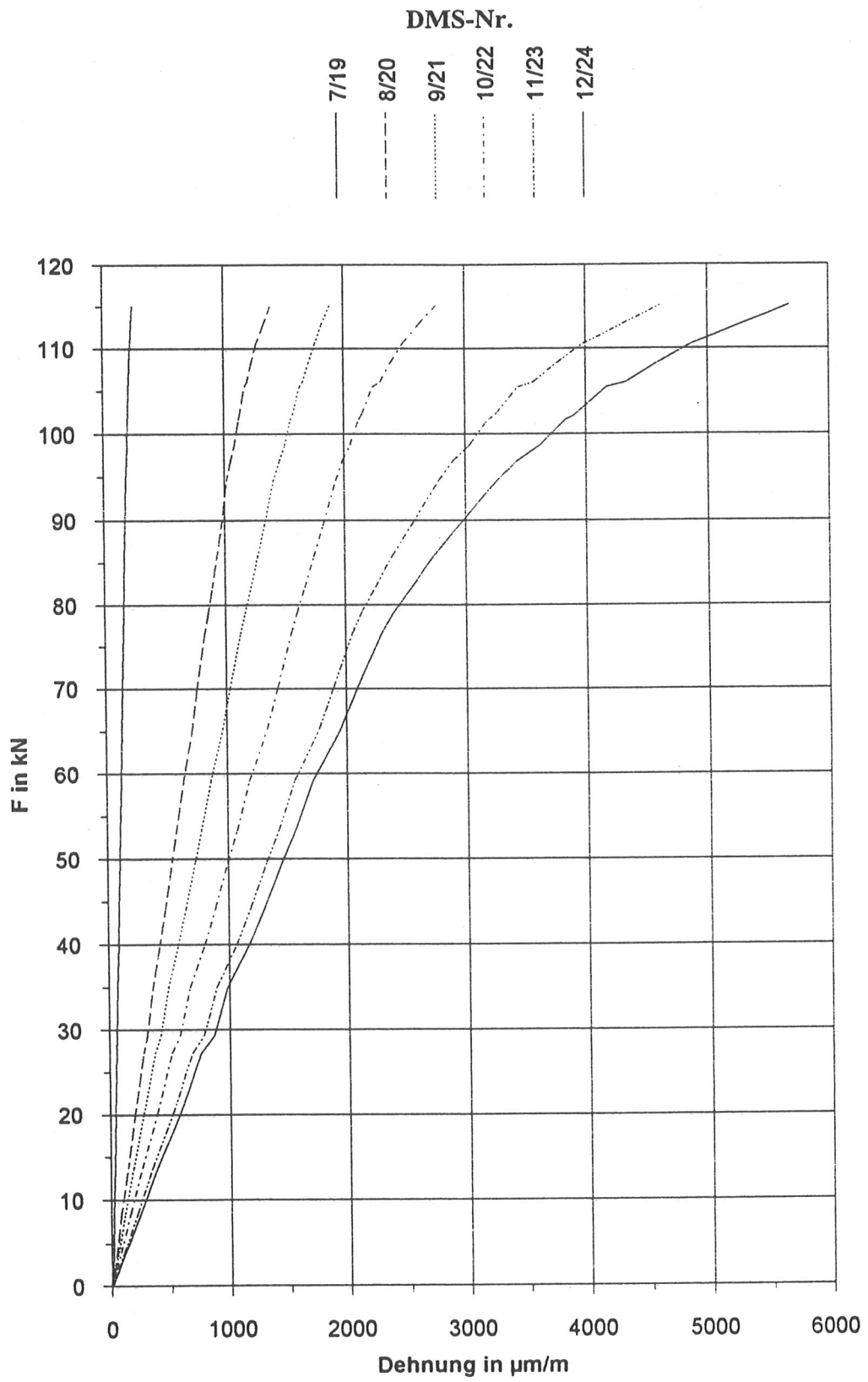


Bild 28: Ausziehversuch der Stange M20/8P, 1. Zugversuch mit $l_E = 30\text{cm}$

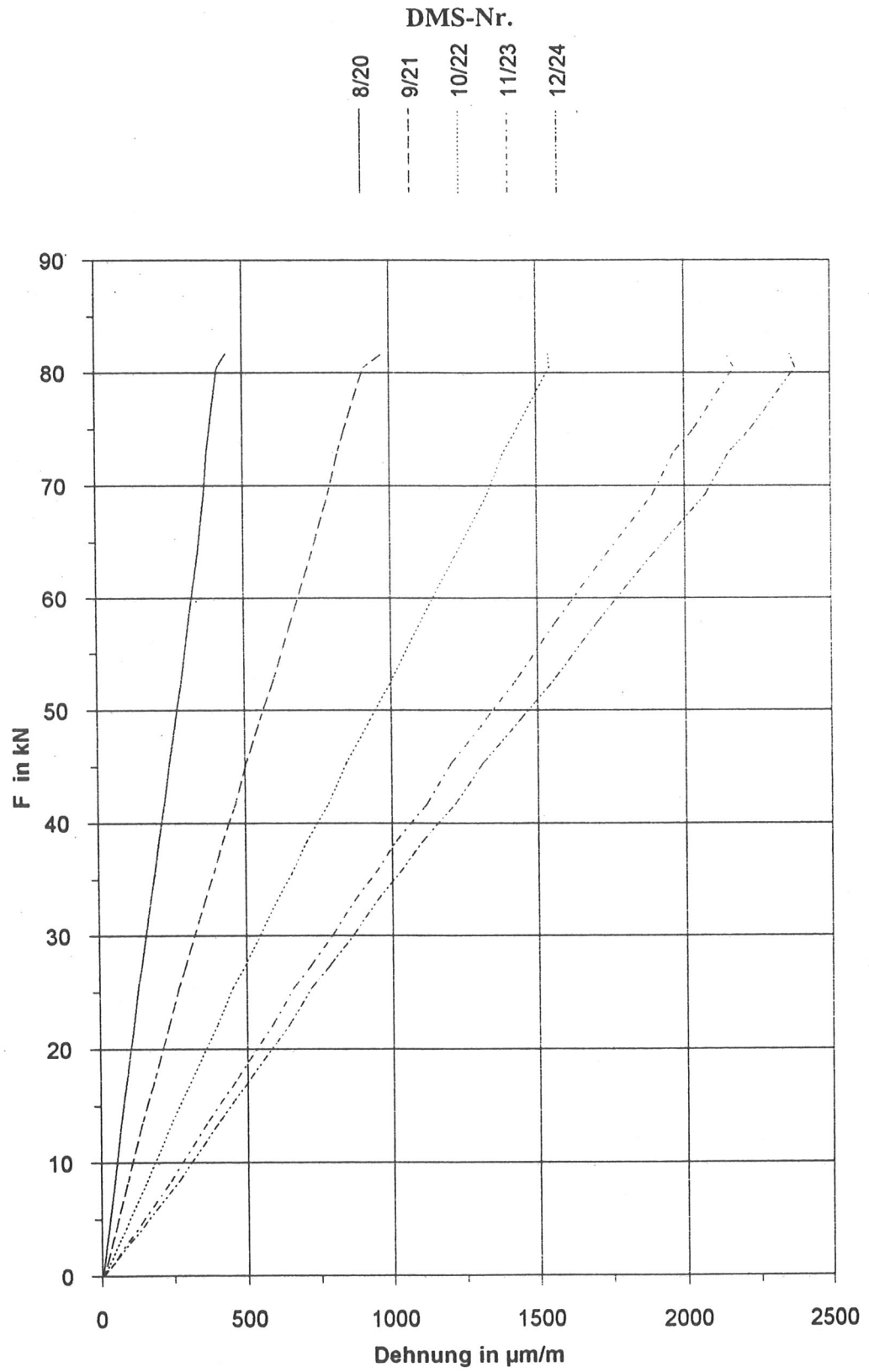
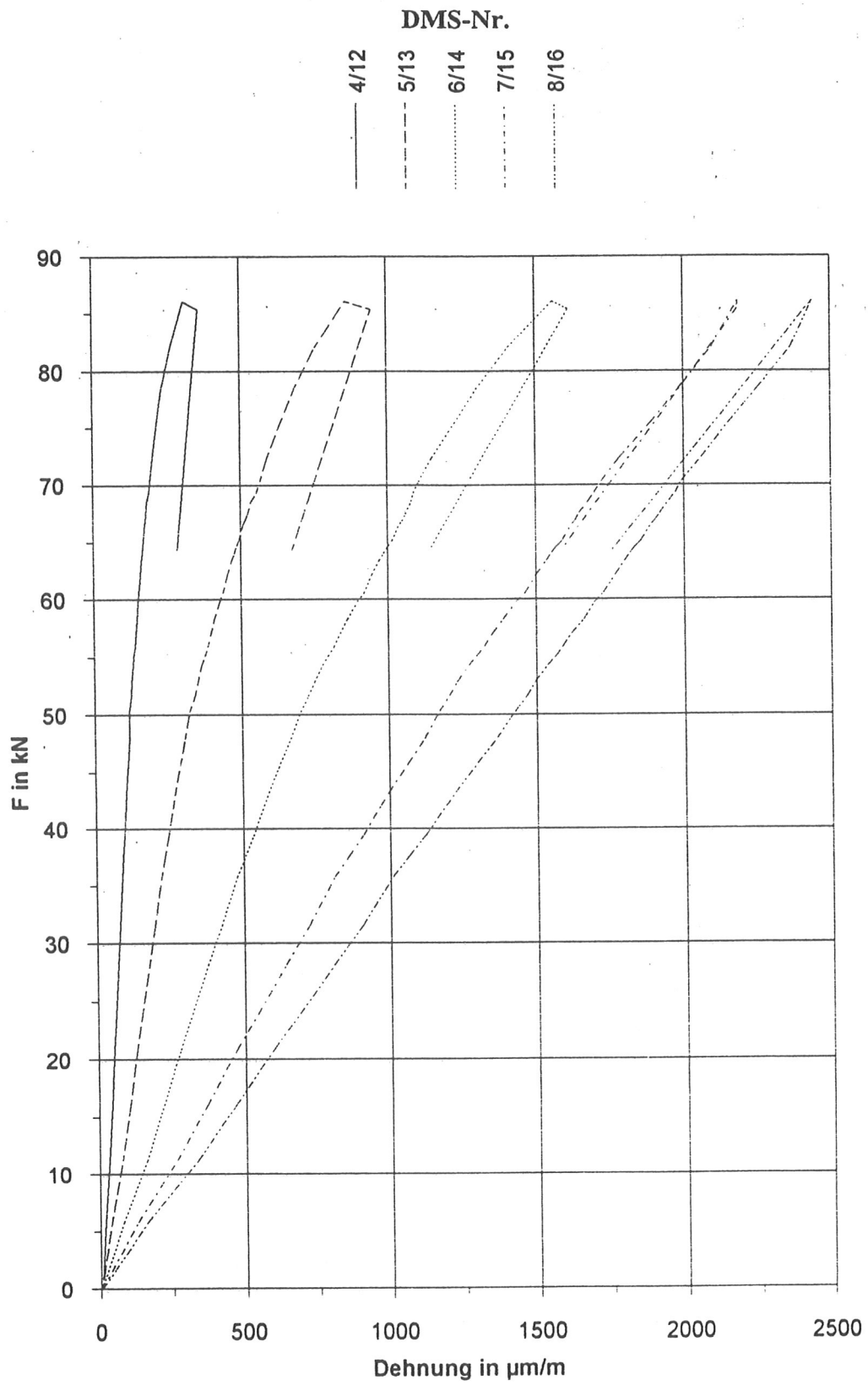


Bild 29: Ausziehversuch der Stange M20/8P, 2.Zugversuch mit $l_E = 20\text{cm}$

Bild 30: Ausziehversuch der Stange M20/4P, $l_E = 20\text{cm}$

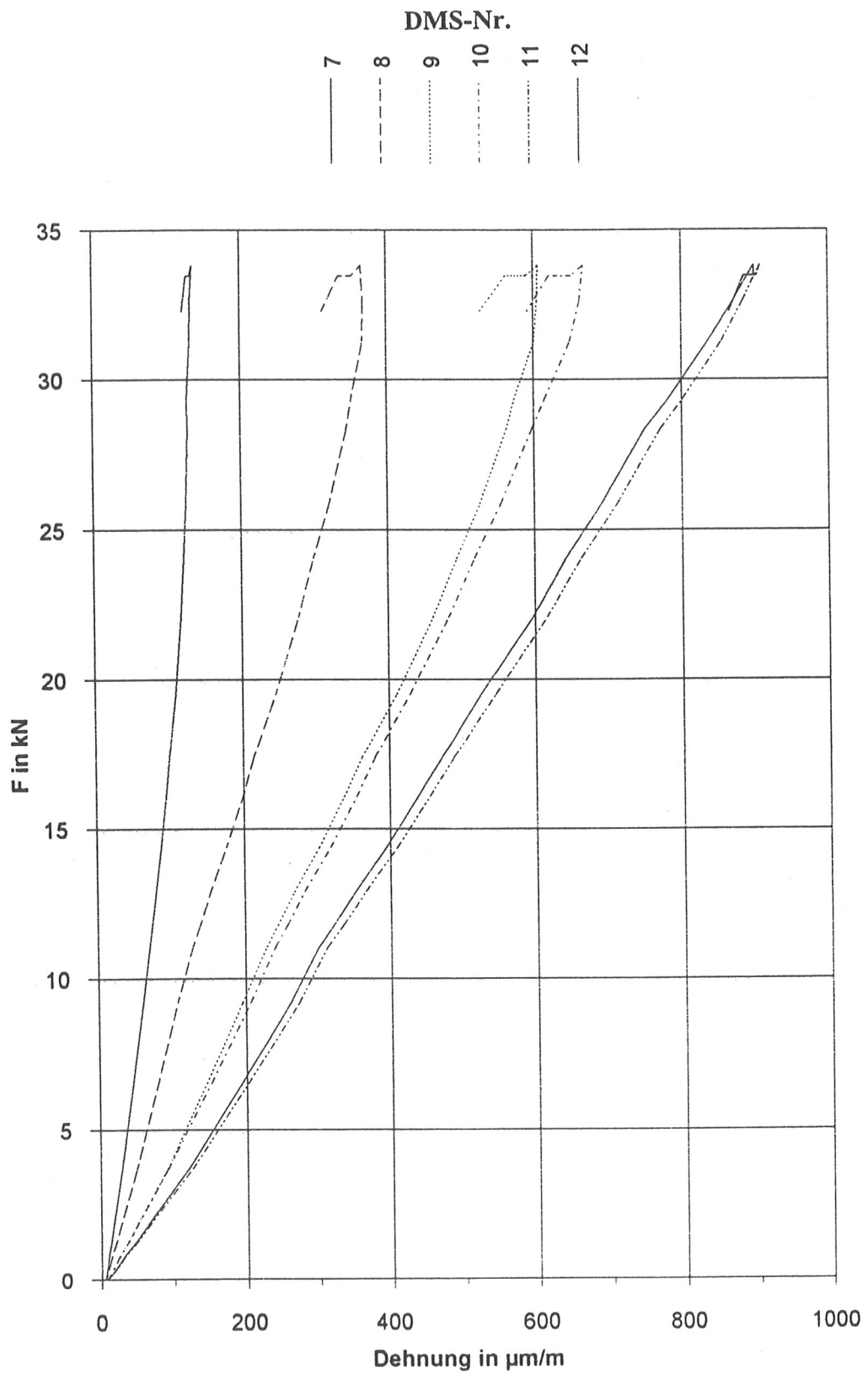


Bild 31: Ausziehversuch der Stange S20/80, $l_E = 30\text{cm}$

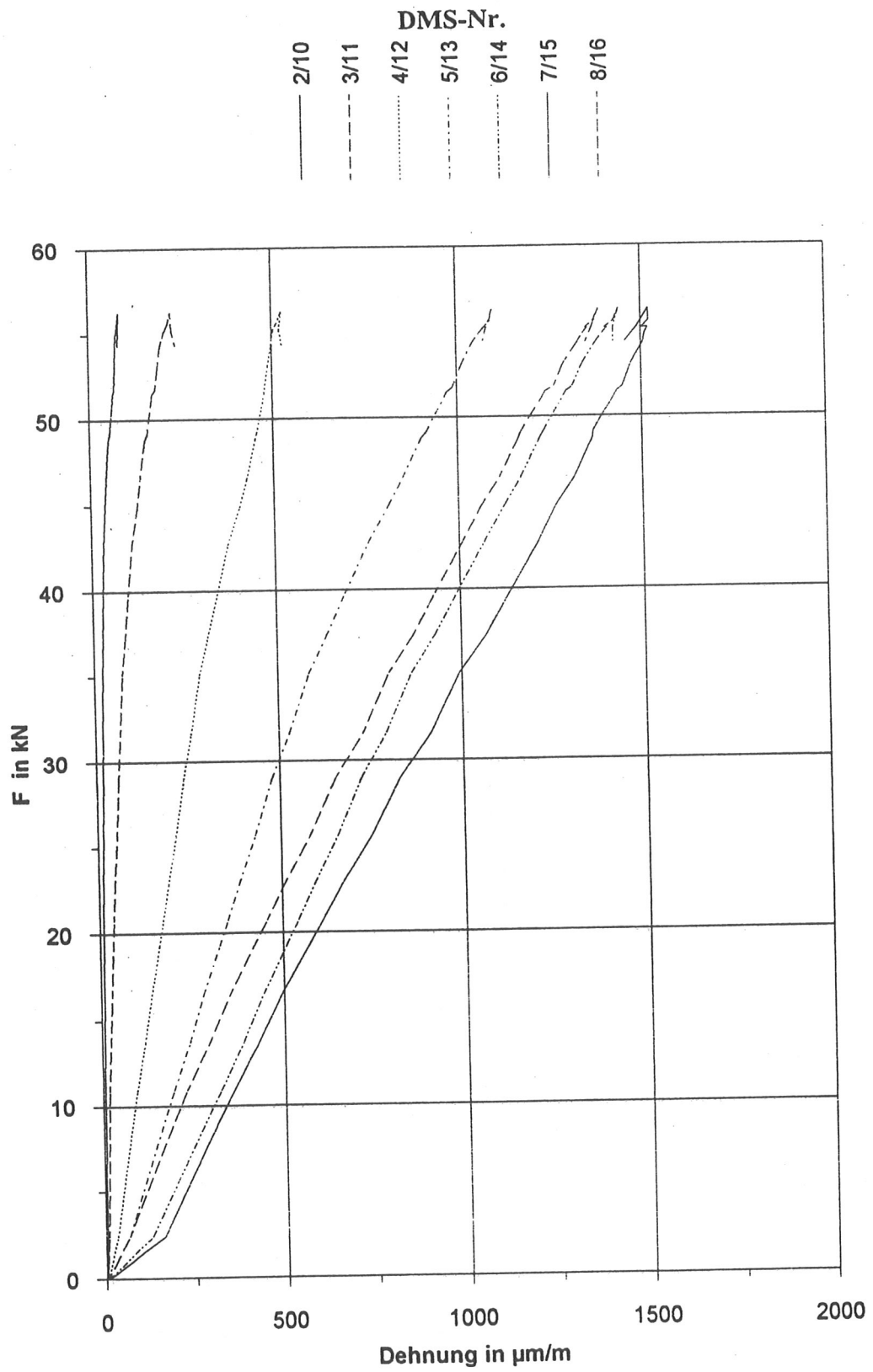


Bild 32: Ausziehversuch der Stange S20/40, $l_E = 30\text{cm}$

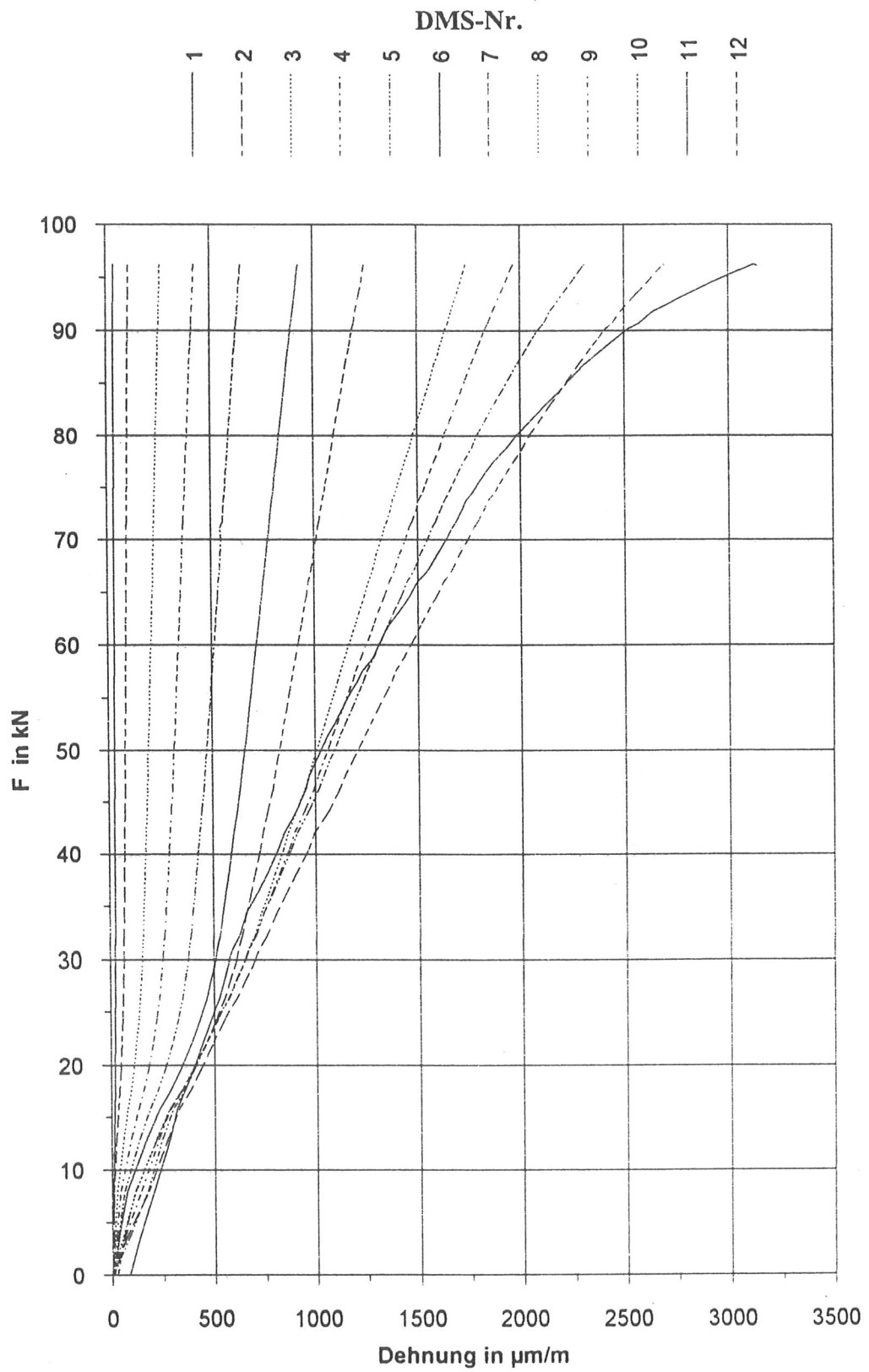


Bild 33: Ausziehversuch der Stange S20/8R, 1. Zugversuch mit $l_E = 80\text{cm}$

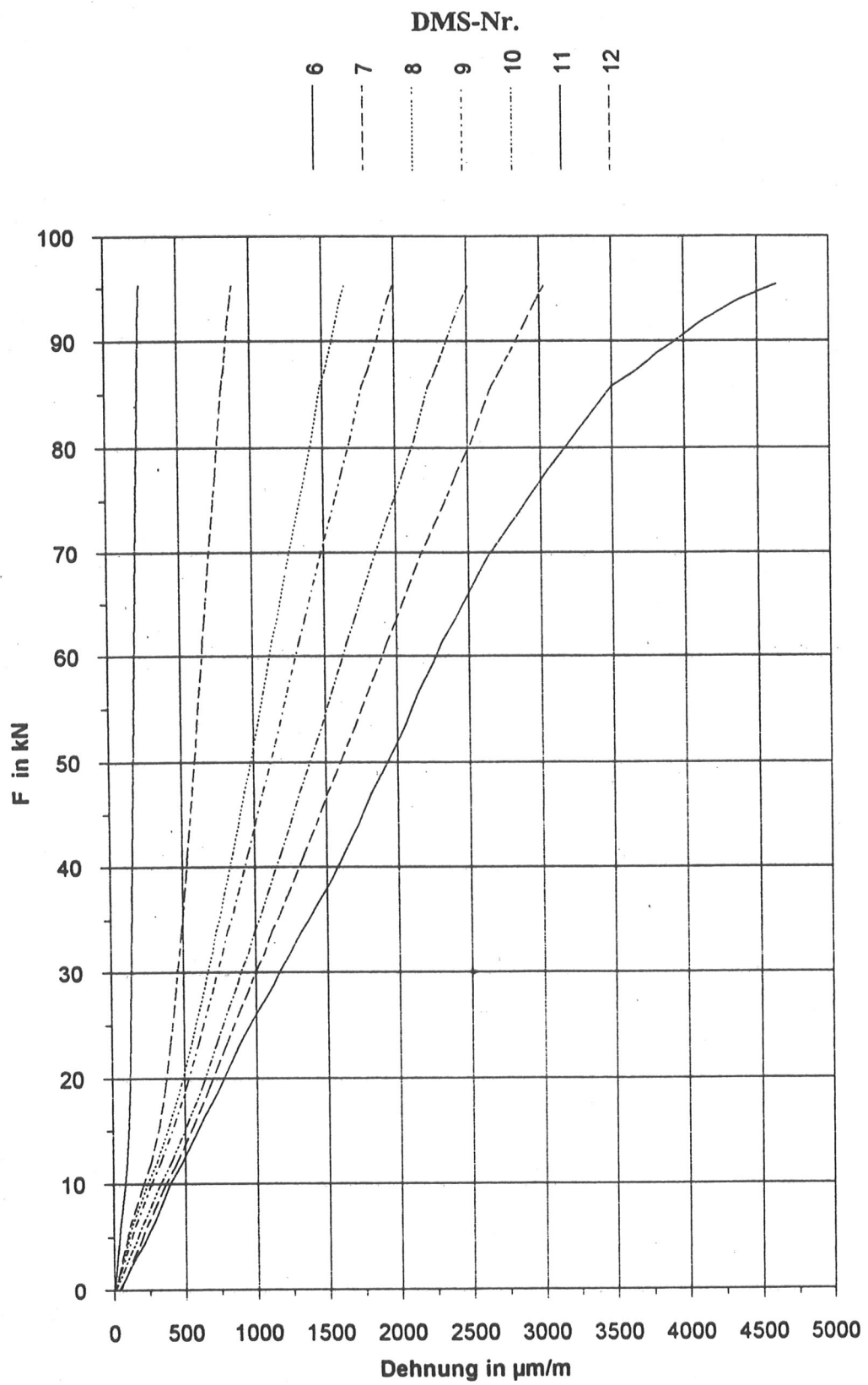


Bild 34: Ausziehversuch der Stange S20/8R, 2.Zugversuch mit $l_E = 40\text{cm}$

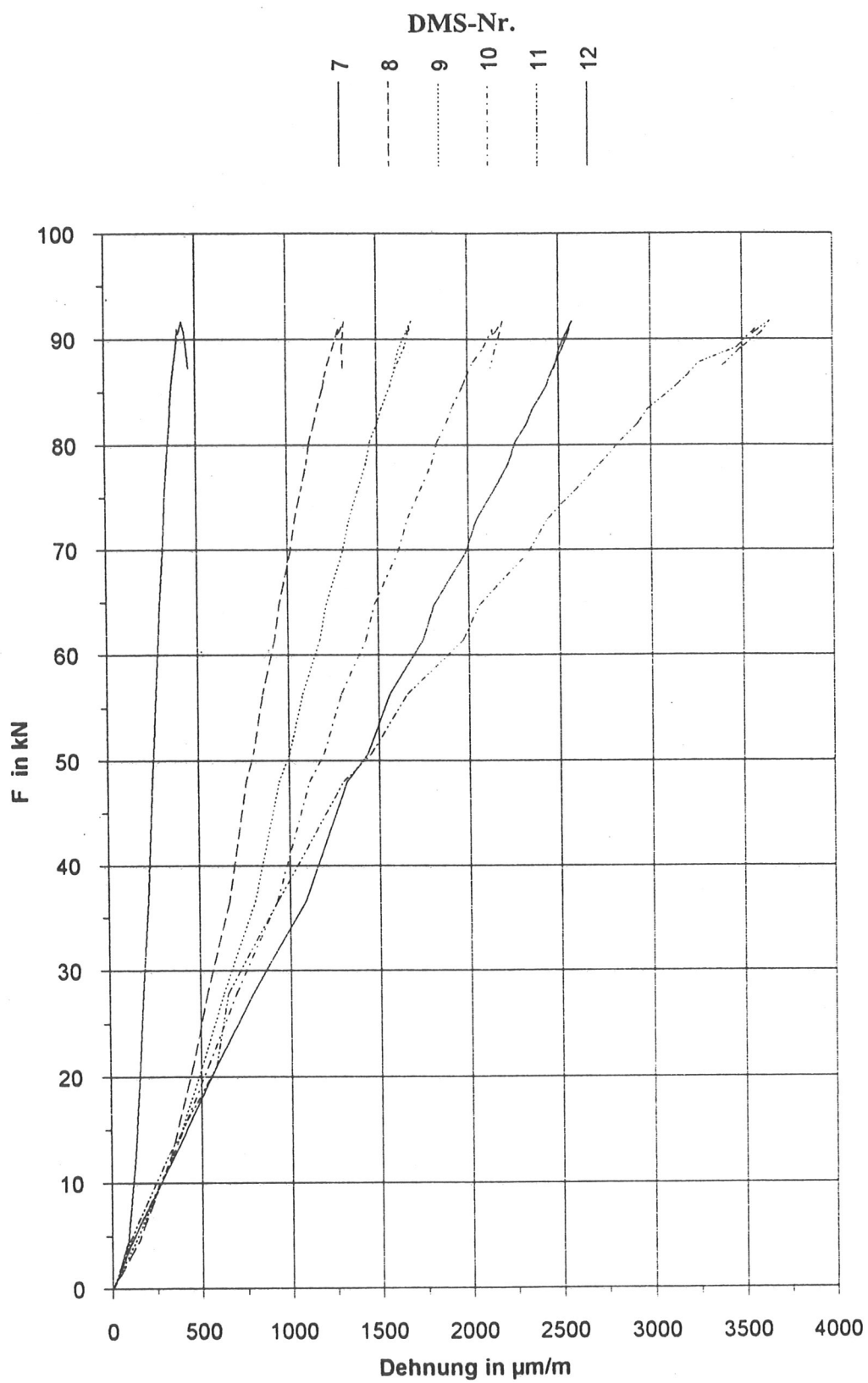


Bild 35: Ausziehversuch der Stange S20/8R, 3.Zugversuch mit $l_E = 30\text{cm}$

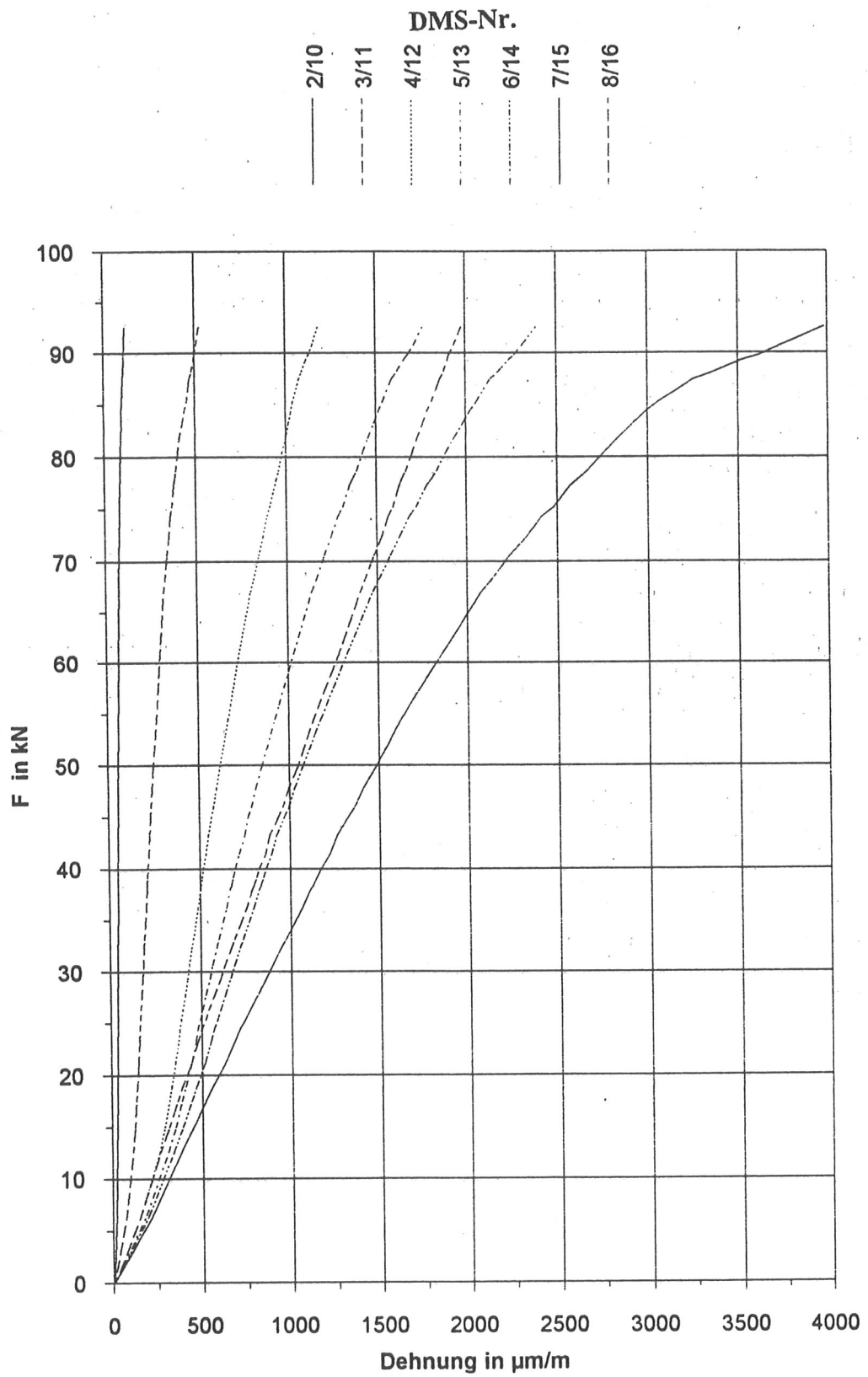


Bild 36: Ausziehversuch der Stange S20/4R, $l_E = 30\text{cm}$, 1. Belastungszyklus

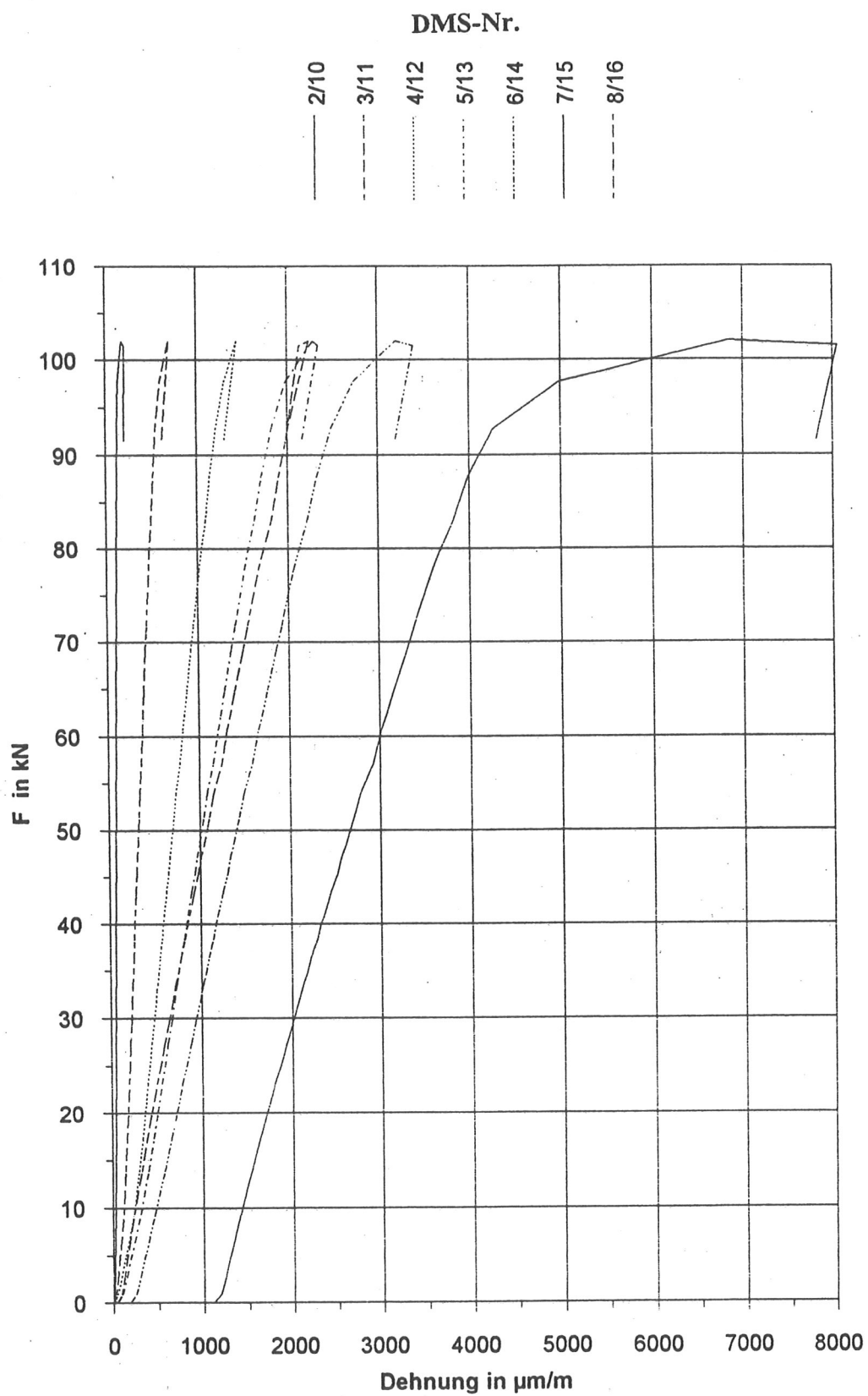


Bild 37: Ausziehversuch der Stange S20/4R, $l_E = 30\text{cm}$, 2. Belastungszyklus

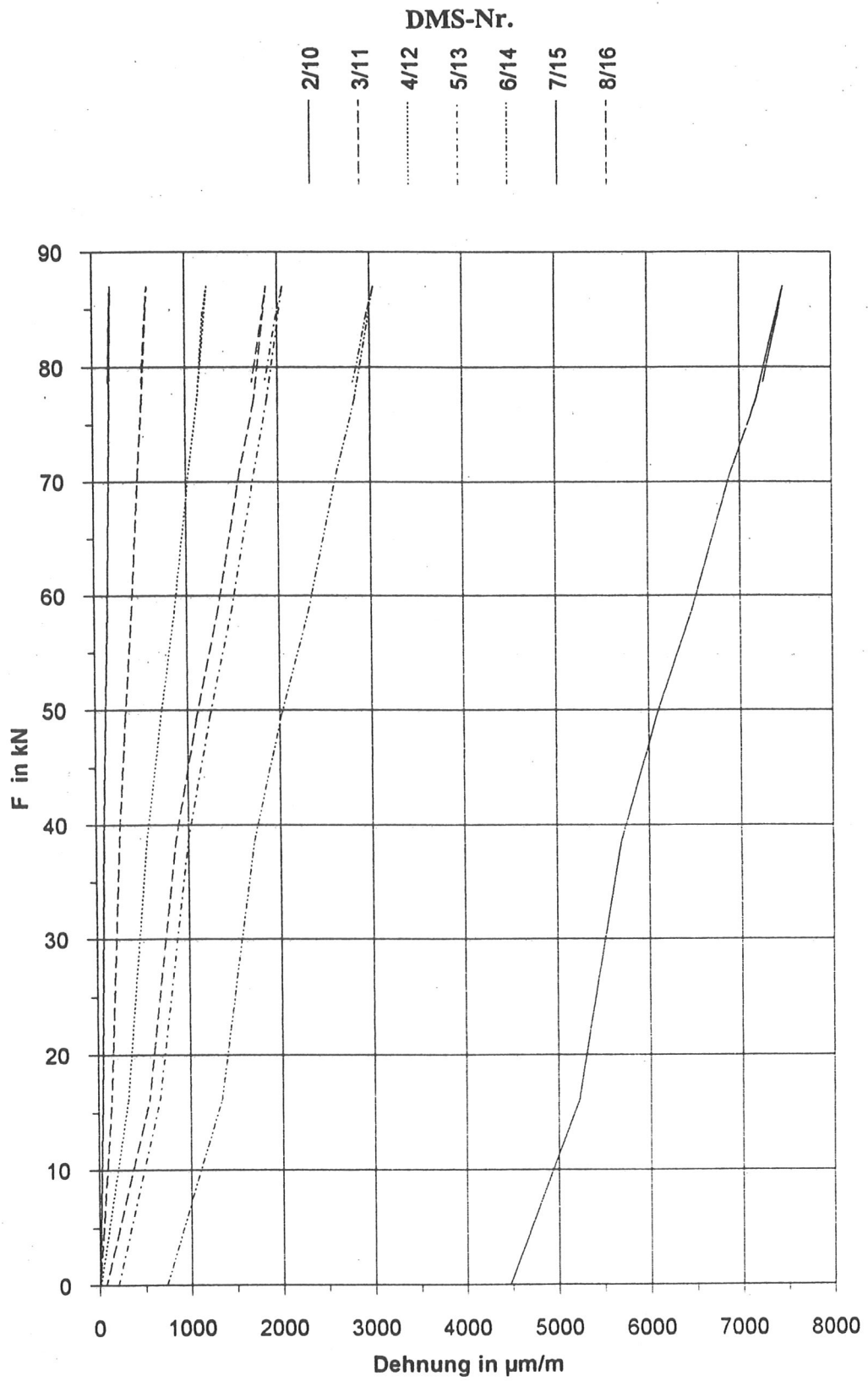


Bild 38: Ausziehversuch der Stange S20/4R, $l_E = 30\text{cm}$, 3. Belastungszyklus

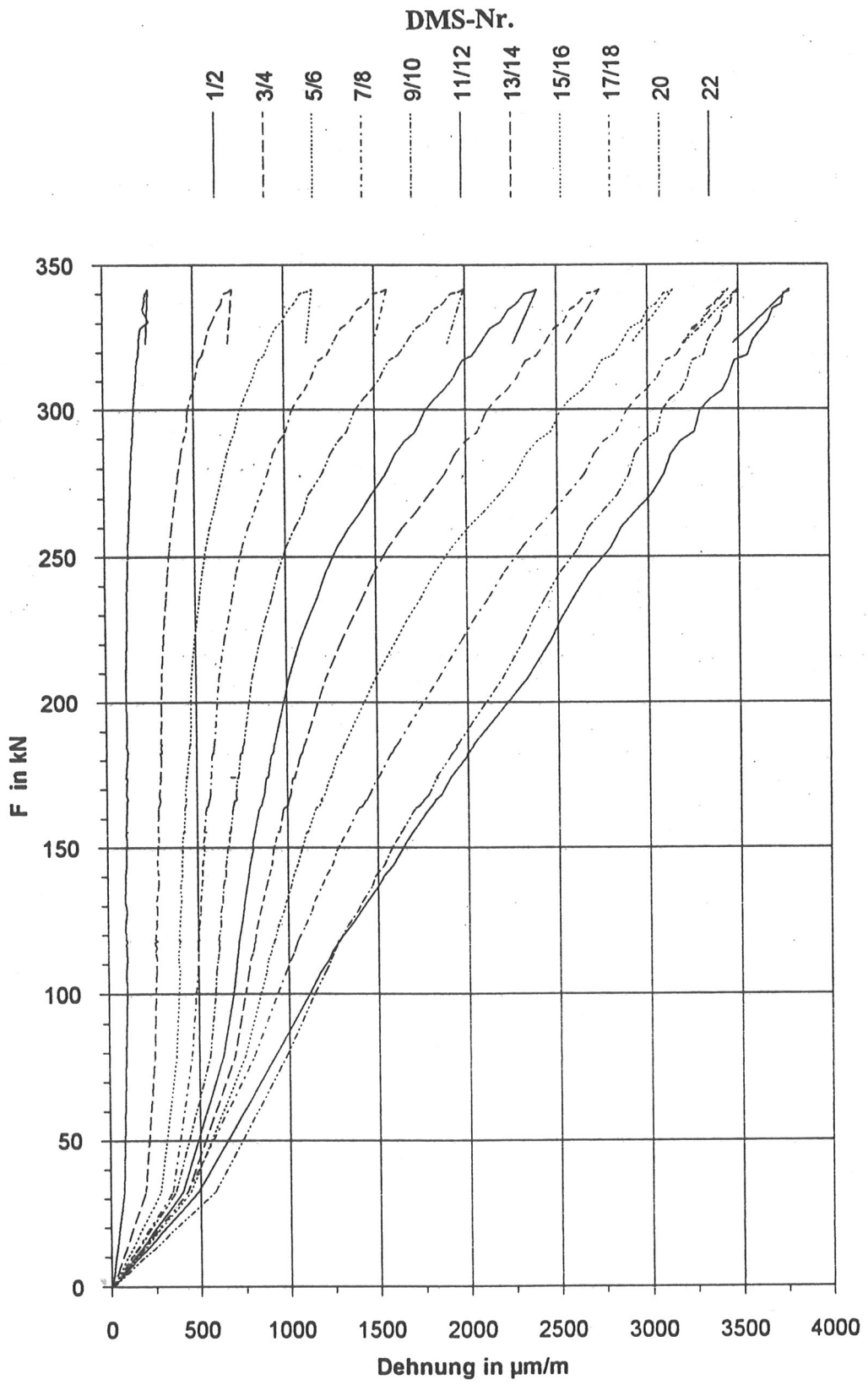


Bild 39: Ausziehversuch der Stange G26/10R, $l_E = 100\text{cm}$