

PRAKTIKABLE EINLEIMMETHODEN UND WIRKUNGSWEISE
VON EINGELEIMTEN GEWINDESTANGEN UNTER AXIALBELASTUNG
BEI ÜBERTRAGUNG VON GROSSEN KRÄFTEN UND BEI AUFNAHME
VON QUERZUGKRÄFTEN IN BIEGETRÄGERN

Teil 1: EINLEIMMETHODEN
MESSVERFAHREN
HAFTSPANNUNGSVERLAUF

von

Jürgen Ehlbeck und Wichard Siebert

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abt. Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
o.Prof.Dr.-Ing. Jürgen Ehlbeck
1987

V O R W O R T

Die Verwendung von eingeleimten Gewindestangen zur Verhinderung von Quersugrissen in Brettschichtholzbauteilen oder zur besseren Kraft-einleitung in hochbeanspruchten Auflagerbereichen hat in der Praxis des Holzbaues eine beträchtliche Anwendungshäufigkeit erlangt. Die Tragfähigkeitsnachweise basieren bisher im wesentlichen auf einer Forschungsarbeit von Karl Möhler und Klaus Hemmer über "Versuche mit eingeleimten Gewindestangen" aus dem Jahre 1981.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die heute gebräuchlichen Einleimverfahren darzustellen und die bei Beanspruchung in Stablängsrichtung auftretenden Haftspannungsverteilungen für unterschiedliche Gewindestangenformen und verschiedene Leime zu bestimmen. Die Arbeit entstand in den Jahren 1983 bis 1986 im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. und wurde durch Forschungsmittel des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau - Gesch.Z. B I 6 - 80 01 83 - 9 - gefördert.

Die Forschungsarbeit wurde maßgeblich geleitet von Herrn Dipl.-Ing. W. Siebert. Der Bau der Meßeinrichtungen und die Durchführung der Messungen erfolgte von Herrn G. Rüd. Auch den wissenschaftlichen Hilfskräften, insbesondere Herrn cand.ing. M. Waßmer, ist für die gewissenhafte Mithilfe bei den Auswertungen der Meßdaten und ihrer graphischen Darstellung zu danken.

Jürgen Ehlbeck

I N H A L T

1	Allgemeines - Literatur	1
2	Praktikable Einleimethoden von Gewindestangen	3
3	Haftfestigkeit	8
4	Gewindestangen und Meßmethoden	10
5	Prüfkörper, Versuchsübersicht und Versuchsdurchführung	12
6	Versuchsergebnisse und Auswertung	22
7	Zusammenfassung	32
8	Schrifttum	38

127 Anlagen

1 Allgemeines - Literatur

Die Entwicklung des Holzleimbaues eröffnete den Bauingenieuren und Architekten die Möglichkeit, mit neuen Trägerformen ansprechende und aus der Sicht des Tragwerksplaners immer anspruchsvollere Tragwerke zu errichten. Mit zunehmender Ausnutzung der hohen Festigkeit des Baustoffes Holz in seiner Faserrichtung trat jedoch die relativ niedrige Festigkeit quer zur Faser, vor allem die geringe Querkzugfestigkeit immer mehr zu Tage, und schon frühzeitig wurden neben anderen Möglichkeiten Gewindestangen zur Verstärkung des Holzes quer zur Faserrichtung angewandt.

In zahlreichen Untersuchungen [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] und [9] wurden die Haftfestigkeiten eingeleimter Gewindestangen ermittelt. Diese Haftfestigkeiten erwiesen sich als abhängig von einer Vielzahl von Parametern, wie z.B. Durchmesser und Einschraub- bzw. Einleimlänge der Stangen, Durchmesser der Bohrung im Holz, Art des verwendeten Klebers, Anordnung der Gewindestange - parallel oder rechtwinklig zur Holzfaserrichtung -, Beanspruchung durch Druck, Zug oder Wechselbelastung sowie Feuchtigkeits-, Klima- und Langzeitbeanspruchungen.

Über Untersuchungen mit Gewindestangen als Querkzug-, Querkdruck- und Schubverstärkungen sowie zur Einleitung von Kräften rechtwinklig zur Achsrichtung wird in [3], [4], [7], [10], [11], [12], [13], [14] und [15] berichtet. Anwendungsbereiche waren hier neben Kräfteinleitungszonen und auflagernahen schubbeanspruchten Bereichen vorwiegend querkzuggefährdete Bereiche von gekrümmten und Satteldachträgern sowie die Zonen mit großen Querkzug- und Schubspannungen bei Auflagerausklinkungen und Trägerdurchbrüchen.

Sanierungsmöglichkeiten von gerissenen gekrümmten Trägern und Ausklinkungen wurden in [7], [11], [12] und [14] untersucht.

Berechnungs- und Bemessungsvorschläge sind in [2], [16], [17] und [18] zu finden und in [2], [5], [9], [19] und [20] werden u.a. vielfältige Möglichkeiten der Anwendung von eingeleimten Gewindestangen vorgestellt.

Bei den vielfältigen Untersuchungen und in den Bemessungsvorschlägen wurde jedoch niemals der tatsächliche Spannungsverlauf entlang der Gewindestange beschrieben, sondern es wurde i.a. mit der Annahme einer über die Einschraub- bzw. Einleimlänge konstanten Haftspannung gearbeitet und eine anrechenbare Haftlänge definiert und dann für die Rechnung nach oben begrenzt, um die Abweichungen der gemittelten Haftspannung von den vorhandenen Spannungsspitzen rechnerisch auszugleichen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den tatsächlichen Verlauf der Stahllängsspannungen und daraus die Haftspannungen zwischen Stahlstab und Holz zu ermitteln.

Weiterhin war die Durchführbarkeit verschiedener Einleimmethoden zu untersuchen d.h. es sollten geeignete Verfahren zum Einleimen von Gewindestangen entwickelt und überprüft werden.

2 Praktikable Einleimmethoden von Gewindestangen

Um die in der Praxis üblichen Einleimmethoden kennenzulernen, wurden 29 Holzleimbaubetriebe nach ihren Erfahrungen mit eingeleimten Gewindestangen befragt. Von diesen Firmen haben zehn über die Anwendung von Gewindestangen berichtet.

Anwendungsbereiche waren gekrümmte Träger, Satteldachträger, Ausklinkungen, Durchbrüche, Queranschlüsse sowie Auflagerverstärkungen bei zu hoher Querpressung des Holzes. Die Stangen hatten üblicherweise metrische Gewinde von 12 bis 24 mm Durchmesser und Längen bis 2,20 m. Die überwiegend verwendeten Durchmesser waren M 16 und M 20.

Die zur Leimverteilung vorgesehene Nut mit Querschnitten von etwa 2 x 2 bis 4 x 3 mm wird mittels Winkelschleifer angebracht oder eingefräst. Ihre Wirksamkeit wird jedoch vielfach bezweifelt, da ein frühzeitiges Zusetzen mit Holzspänen den Leimtransport verhindert. Mehrere Anwender verzichteten deshalb ganz auf die Nut und vertrauen auf die mechanische Verzahnung zwischen Gewinde und Holz, wenn die Bohrung ein oder zwei mm kleiner als der Gewindeaußendurchmesser ausgeführt wird oder auf ausreichende Leimverteilung durch Abschrägen des Stangenendes, zusätzliches Bestreichen der Stange mit Leim oder durch Bohren mit dem Gewindeaußendurchmesser.

Es wird meistens mit Handbohrgeräten und Führung des Bohrers gearbeitet, nur in zwei Fällen mit feststehendem Bohrgerät. Das Bohrloch wird mit Preßluft ausgeblasen. Die Oberfläche der Gewindestangen ist entweder roh, blank oder verzinkt und wird vor dem Einleimen, wenn auch nicht in allen Fällen, abgebürstet oder entfettet. Zum Einleimen wird Resorcinharzleim in das Bohrloch gegossen oder mittels Kartusche, Injektionsrohr oder -schlauch eingebracht. Zum Teil werden die Stangen noch zusätzlich in Leim getaucht oder bestrichen und überwiegend maschinell mittels Bohrmaschine oder Schlagschrauber eingeschraubt. Die Trägerlage variiert zwischen liegend, stehend und schräg.

Von einer Firma wird ein neues Verfahren empfohlen, bei dem Stangen mit dem Gewinde von Sechskant-Holzschrauben nach DIN 571, sog. "Schlüsselschrauben", eingeleimt werden. Hierbei wird auf eine Entlastungsnut verzichtet. Bei kleineren Einschraubtiefen (bis 80 cm) wird mit dem Kerndurchmesser vorgebohrt, ansonsten mit dem arithmetischen Mittel aus Kern- und Außendurchmesser. Durch den im Vergleich zu metrischen Gewinden gleicher Außendurchmesser größeren Unterschied zwischen Außen- und Kerndurchmesser ist eine bessere Verzahnung im Holz möglich, so daß selbst bei nicht vollständiger Benetzung mit Leim eine hohe Haftfestigkeit erreicht wird. Vorteilhaft wirken sich auch die größere Gewindesteigung und der größere Abstand der Gewindegänge dadurch aus, daß die Schrauben sich schneller und mit weniger Widerstand eindrehen lassen, so daß eine zu große Erhitzung mit der Folge zu frühen Leimerhärtens vermieden wird.

Ein weiteres Verfahren wird in jüngster Zeit von Riberholt [9] empfohlen. Dabei wird die Gewindestange in ein Bohrloch eingeführt, das einen etwa 1 mm größeren Durchmesser als die Stange hat. Durch eine Bohrung im Holz am Ende der Stange wird der Leim eingepreßt. Tritt am anderen Ende durch eine zweite Bohrung Leim aus, dann ist sichergestellt, daß die dazwischenliegende Fuge mit Leim gefüllt ist.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden folgende Einleimmethoden angewandt:

- a) Die "klassische" Methode, bei der mit dem Mittel aus Kern- und Außendurchmesser vorgebohrt wird. Das Loch wird etwa zur Hälfte mit Leim gefüllt und die Gewindestange ist mit einer Nut versehen, durch die der Leim beim Eindrehen der Gewindestange aufsteigen kann. Dieses Verfahren ließ sich bei Einschraubtiefen von bis zu 0,8 m mit M 16- und M 20-Schrauben noch zufriedenstellend durchführen. Bei größeren Einschraubtiefen muß jedoch mit zu hohem Eindrehwiderstand und ungenügender Leimverteilung gerechnet werden.

Auch auf die mechanische Verzahnung ist nicht immer Verlaß, da ein exaktes Bohren nicht garantiert werden kann. So sind z.B. die Bohrer in den genauen Durchmesserabstufungen nicht immer verfügbar, und außerdem werden die Löcher durch mehrmaliges Ansetzen des Bohrers bzw. durch öfteres Herausziehen zum Entfernen des Bohrgutes zusätzlich aufgeweitet.

In einem Fall wurde für eine Gewindestange M 16 mit einem 15 mm-Bohrer vorgebohrt (statt $\varnothing = 14,7 \text{ mm} = \frac{16 + 13,4}{2}$). Nachmessungen am Bohrlochausgang ergaben einen tatsächlichen Durchmesser von 15,2 bis 15,7 mm und einen Gewindeaußendurchmesser von ebenfalls 15,7 mm.

Diese Stange ließ sich folglich sehr leicht einschrauben und konnte im Belastungsversuch bei 800 mm Einschraubtiefe ohne Leim bereits mit einer Kraft von 25 kN herausgezogen werden, was einer Haftfestigkeit von nur $0,8 \text{ N/mm}^2$ entspricht, wenn man einen wirksamen Umfang (Nutabzug) von 40 mm in Rechnung stellt.

Eine Stange M 20 hingegen ließ sich trotz Entlastungsnut von ca. $5 \times 5 \text{ mm}$ nur mit größter Mühe in eine Bohrung von 18 mm Durchmesser einleimen.

- b) Wurden die Löcher mit dem Nenndurchmesser der Gewindestangen vorgebohrt, so ließen sich die Stangen sehr gut einbringen. Sie konnten nach Einfüllen des Leimes fast bis auf die vollständige Einleimtiefe (hier 800 mm) eingeschoben werden. Es empfiehlt sich, das letzte Stück einzudrehen, damit der Leim gut zwischen den Gewindegängen verteilt wird. Nach [13] und [21] braucht dabei nicht mit einem Nachlassen der Haftfestigkeit gegenüber kleinerem Bohrlochdurchmesser gerechnet zu werden.
- c) Weitere Versuche wurden mit Schlüsselschrauben (Sechskant-Holzschrauben entsprechend DIN 571) mit 20 mm Außendurchmesser und 18 mm Bohrlochdurchmesser sowie 27 mm Außendurchmesser und 24 mm

Bohrlochdurchmesser durchgeführt. Diese Schrauben hatten keine Entlastungsnut. Die 20 mm-Schraube ließ sich gut von Hand eindrehen, jedoch war bei der 27 mm-Schraube vor allem gegen Ende des Einschraubvorgangs (Einschraubtiefe 750 mm) ausgelöst durch den Widerstand des Leimes ein erheblicher Kraftaufwand zum Eindrehen nötig. Mit Hilfe eines Schlagschraubgerätes können diese Schrauben jedoch gut eingebracht werden.

- d) Bei der Verwendung von Betonstählen als Holzverstärkung bieten sich GEWI-Stähle wegen ihrer Formgebung und ihrer Festigkeit (Betonrippenstahl BSt 420/500 bis Spannstahl 1420/1570) an. Während bei glatten Stahlstäben ohne aufwendiges Sandstrahlen keine ausreichende Haftfestigkeit erreicht wird, besteht bei den herkömmlichen gerippten Betonstählen das Problem, daß oft der Bereich zwischen den Rippen nicht mit Leim gefüllt wird, was ebenfalls zu unbefriedigenden Ausziehkräften führen kann. Baustähle mit Gewinderippen, sog. GEWI-Stähle, können wegen der dicken stumpfen Rippen nicht wie Schrauben mit metrischem oder Holzschraubengewinde in Bohrungen eingebracht werden, die kleiner sind als der Gewindeaußendurchmesser. Es muß daher mit mindestens dem Gewindeaußendurchmesser vorgebohrt werden, so daß eine mechanische Verzahnung mit dem Holz nicht mehr erreicht wird. Dies hat jedoch andererseits den Vorteil, daß die Stäbe auch bei großen Längen ohne großen Widerstand einzubringen sind und zudem durch ein abschließendes Eindrehen eine gleichmäßige Verteilung des Leimes erreicht wird.

In diesem Forschungsvorhaben wurden GEWI-Stähle mit zwei unterschiedlichen Durchmessern eingesetzt:

1. Nenndurchmesser 26,5 mm, Außendurchmesser 29,7 mm,
Bohrlochdurchmesser 30 mm,
2. Nenndurchmesser 32 mm, Außendurchmesser 35,7 mm,
Bohrlochdurchmesser 36 mm.

Die Einleimtiefen betragen bis zu 1000 mm. Es wurden Resorcinharzleim und Polyurethankleber verwendet.

Das Einleimen erfolgte problemlos, so daß angenommen werden kann, daß dieses Verfahren auch bei größeren Stablängen ohne Schwierigkeit durchführbar ist.

3 Haftfestigkeiten

Es war grundsätzlich nicht Aufgabe und Ziel dieser Arbeit, die Haftfestigkeiten von Gewindestangen zu ermitteln. Dies ist in einem großen Teil des zitierten Schrifttums geschehen. In Vorversuchen sowie mit den Gewindestangen A bis H konnten jedoch einzelne Ausziehkräfte ermittelt werden. Die über die gesamte Einschraubtiefe gemittelten und auf den Bohrlochdurchmesser bzw. Gewindeaußendurchmesser (der größere Wert war maßgebend) bezogenen Haftfestigkeiten $\tilde{\tau}$ sind in der nachfolgenden Tabelle 1 den übrigen Versuchsergebnissen vorweggenommen.

Die Bezeichnungen bei den Nenndurchmessern bedeuten:

- M = metrisches Gewinde
- S = Schlüsselschraube
- G = GEWI-Stahl nach Zulassung-Nr. Z-12.1-V.2

Klebstoffbezeichnungen:

- R = Resorcinharzleim
- PU = Polyurethankleber

Tabelle 1: Haftfestigkeiten - Ergebnisse einzelner Ausziehversuche

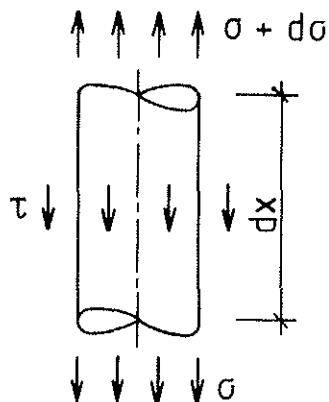
Stange	Nenn- Ø	Außen- Ø mm	Kern- Ø mm	Bohr- Ø mm	Ein- schraub- tiefe mm	Achse- Faser- richtung	Kleb- stoff	Aus- zieh- kraft kN	Haftfestigkeit (N/mm ²)	
									ohne Leim	mit Leim
A	M 16	15,7	13,4	15	170	⊥	-	27,0	3,2	
A	M 16	15,7	13,4	15	140	⊥	R	36,2		5,1
C	M 16	15,7	13,5	15*)	800		-	25,0	0,6	
C	M 16	15,7	13,5	15	150		R	36,0		4,8
D	M 20	19,8	16,8	18	300		R	98,6		5,2
E	S 20	20,2	15,8	18	300	⊥	-	70,0	3,7	
F	S 27	27,0	22,5	24	300	⊥	-	130,0	5,1	
G	G 26,5	29,7	26,3	30	500	⊥	R	130,0		2,8
G	G 26,5	29,7	26,3	30	750	⊥	R**))	100,0		1,4
G	G 26,5	29,7	26,3	30	750	⊥	R	166,0		2,3
G	G 26,5	29,7	26,3	30	1000	⊥	R	216,7		2,3
G	G 26,5	29,7	26,3	30	850	⊥	PU	317,1		4,0
G	G 26,5	29,7	26,3	30	1000	⊥	PU	350,0		3,7
H	G 32	35,7	31,8	36	750	⊥	R	230,0		2,7
H	G 32	35,7	31,8	36	1000	⊥	R	319,0		2,8
H	G 32	35,7	31,8	36	850	⊥	PU	388,7		4,0
Vorversuche	M 12	11,7	9,7	10,7	90	⊥	-	15,2	4,5	
	M 12	11,7	9,7	10,7	110	⊥	-	18,8	4,5	
	M 12	11,7	9,7	10,7	200		-	29,4	3,9	
	M 16	16	13,4	14,75	100	⊥	-	21,8	4,3	
	S 16	16	12	12	100	⊥	-	25,0	5,0	
	S 16	16	12	14	100	⊥	-	21,6	4,3	
	M 16	16	13,4	14,75	100	⊥	R	30,3		6,0
	S 16	16	12	12	86	⊥	R	26,5		6,1
	S 16	16	12	14	88	⊥	R	27,0		6,1

*) Nachmessungen im äußeren Bereich ergaben 15,2 bis 15,7 mm

**) Der Leim war alt und grießig, nur 2 Tage ausgehärtet

4 Gewindestangen und Meßmethoden

Die Haftspannungen entlang einer Gewindestange lassen sich ermitteln, wenn die Stahllängsdehnungen bekannt sind:



Umfang $U = \text{konstant}$

Nettoquerschnitt $A_n = \text{konstant}$

Es gilt:

$$\tau \cdot U \cdot dx + \sigma \cdot A_n = (\sigma + d\sigma) \cdot A_n$$

$$\tau = \frac{A_n}{U} \cdot \frac{d\sigma}{dx}$$

$$\text{mit } \frac{d\sigma}{dx} = E \cdot \frac{d\varepsilon}{dx}$$

$$\tau = \frac{A_n}{U} \cdot E \cdot \frac{d\varepsilon}{dx}$$

Zur Ermittlung der Haftung zwischen Beton und Bewehrungsstäben wurden bereits 1955 Versuche von Amstutz [22] und 1975 Untersuchungen von Eisenbiegler [23] durchgeführt, bei denen die Stahldehnungen mittels Dehnungsmeßstreifen registriert wurden. Hierzu wurden von zwei Stangen je eine Hälfte abgefräst und in die Mitte eine Nut eingefräst, in die die DMS geklebt und die Anschlußkabel verlegt wurden.

Anschließend wurden die beiden Hälften zusammengeklebt, so daß sie für Dehnungsmessungen in Versuchskörper eingegossen werden konnten.

Diese Methode konnte bei Gewindestangen nicht ohne weiteres angewandt werden. Durch Ausführungsungenauigkeiten mußte damit gerechnet werden, daß die Gewindegänge nicht mehr genau zusammenzufügen waren, wodurch ein Einschrauben in Bohrer mit kleinerem Durchmesser als dem Gewindeaußendurchmesser nicht mehr möglich gewesen wäre.

Deshalb wurden in die Gewindestangen je eine oder zwei Nute von außen eingefräst, in welche die Dehnungsmeßstreifen eingeklebt wurden. Nach dem Anlöten und Verlegen der Anschlußkabel wurden die Nute mit Polyesterharz ausgegossen, so daß die Meßstreifen und ihre Anschlüsse vor Beschädigungen geschützt waren. Auf diese Weise wurden acht Gewindestangen vorbereitet und mit den Buchstaben A bis H gekennzeichnet.

Die Geometrie der Stangen und die Anordnung der Meßstreifen ist den Bildern 1 bis 8 (Anlagen 1 bis 8) zu entnehmen. Die Stäbe A bis D hatten metrisches Gewinde. Sie wurden mit je einer Nut für DMS und einer zur Leim-Entlastung bzw. -Verteilung versehen.

Die Schlüsselschrauben E und F hatten nur je eine Nut zur Aufnahme der DMS während die GEWI-Stähle aus Spannstahl 1080/1230 mit je zwei Meßstreifen-Nuten versehen waren. Stähle mit derartig hohen Festigkeiten gelten aufgrund ihrer Härte als mechanisch nicht mehr bearbeitbar. Dennoch gelang es, eine Werkstatt zu finden, die in der Lage war, mit speziellem Werkzeug und unter erheblichem Aufwand diese Nuten einzufräsen.

5 Prüfkörper, Versuchsübersicht und Versuchsdurchführung

Mit den Prüfkörpern, die in den Bildern 9 bis 18 (Anlagen 9 bis 13) dargestellt sind, wurden insgesamt 231 Einzelversuche durchgeführt. Sämtliche Körper bestanden aus Brettschichtholz. Die Holzeigenschaften wurden an 10 Proben nach den einschlägigen Prüfnormen ermittelt. Nachfolgend sind die Mittel- und Grenzwerte zusammengestellt:

Mittlere Jahrringbreite	mm	1,4	-	2,4	-	4,6
Rohdichte	g/cm ³	0,35	-	0,44	-	0,56
Druckfestigkeit	N/mm ²	36	-	46	-	58
Holzfeuchte u	%	10,6	-	11,5	-	12,2
auf u = 15 % umgerechnete Druckfestigkeit*)	N/mm ²	29	-	38	-	50

$$*) \beta_{D15} = \frac{17}{32-u} \cdot \beta_{D11}$$

In Tabelle 2 (Anlagen 14 bis 18) sind sämtliche Versuche zusammengestellt. Die Versuchsreihen wurden folgendermaßen bezeichnet:

1. Buchstaben A bis H = Gewindestangen A bis H, siehe auch Tabelle 1,
2. Römische Ziffer = Prüfkörper-Nr. bzw. Bohrloch-Nr.;
0 = Kalibrierversuch = Zugbelastung der Stange vor dem Einschrauben zur Überprüfung der Dehnungsmeßstreifen,
3. L = Stange eingeleimt,
ansonsten ohne Leim eingeschraubt.
4. Arabische Ziffern = laufende Numerierung
5. D = Stange auf Druck beansprucht, ansonsten Beanspruchung auf Zug.

Bei den Versuchen wurden die Prüfkörper grundsätzlich stufenweise belastet. Die Dehnungen in den Gewindestangen wurden mittels DMS und die Kräfte mittels einer Kraftmeßdose aufgenommen und über eine Vielstellenmeßanlage mit angeschlossenem Drucker bei jeder einzelnen Laststufe ausgedruckt.

Mit der Gewindestange A wurden vorwiegend die Funktion der Meßstreifen und Meßanlage überprüft sowie Variationen im Ablesemodus vorgenommen und Probleme der Lasteinleitung studiert. Die Kraft wurde jeweils über eine aufgeschraubte Mutter oder einen angeschweißten Schraubenkopf in die Stange eingeleitet. Trotz späterer Verwendung eines Axialgelenklagers machte es größte Schwierigkeiten, die Kraft zentrisch in die Gewindestangen einzuleiten. Im allgemeinen mußte bei jedem Versuch durch geringfügiges Verschieben und Verdrehen der Krafteinleitungsvorrichtung der Lastangriffspunkt mehrmals variiert werden, bis aus der Dehnungsanzeige der äußeren Meßstelle(n), die in einem Bereich mit bekannter Längsbeanspruchung lag(en), auf eine mittige Lasteinleitung geschlossen werden konnte. Geringe Exzentrizitäten mußten dennoch meistens in Kauf genommen werden.

Mit der Stange A wurden bereits unterschiedliche Einschraubtiefen, Beanspruchung auf Zug und Druck, ohne und mit Leim untersucht. Aufgrund der geringen Anzahl der Meßstellen konnten hierbei jedoch noch keine aussagekräftigen Ergebnisse erwartet werden. Auch wurden die Stützweiten l_s (siehe Bild 9) zwischen den Auflagern des Prüfkörpers variiert.

Mit Stange B wurden unterschiedliche Einschraubtiefen bis 500 mm geprüft, unterschiedliche Prüfkörperformen mit Anordnung der Stangenlängsachse parallel und rechtwinklig zur Faser, Beanspruchung auf Zug und Druck, Einschrauben ohne und mit Leim.

Die Stangen C und D hatten unterschiedliche Durchmesser und waren aus Stahl mit größerer Festigkeit, damit sie mit höheren Kräften beansprucht werden konnten. Die Einschraubtiefe betrug 800 mm. Neben Zug- und Druckbeanspruchung sowie Anordnung parallel und rechtwinklig zur Faser wurden unterschiedliche Holzquerschnitte geprüft:

Von den Versuchskörpern CIL 1 und DIL 1 (siehe Bild 12, Anlage 10) mit 20/40 cm Querschnitt wurden einzelne Holzabschnitte abgesägt, so daß Versuchskörper mit kleinerem Querschnitt entstanden:

CIL 2	∅ 20/20 cm;	CIL 3	∅ 13/13 cm;
CIL 4	∅ 10/10 cm;	DIL 3 und DIL 4	∅ 16/16 cm;
DIL 5	∅ 10/10 cm	(siehe Bild 13).	

Für die abschließenden Ausziehversuche CIL 6 und DIL 6 mußten die Einleimlängen durch Absägen eines weiteren Holzabschnittes nach Bild 14 (Anlage 11) so weit reduziert werden, daß die erforderliche Ausziehkraft unterhalb der Fließgrenze des Stahles blieb. In Reihe CIIIL und DIIIL wurden die Bohrlochdurchmesser gleich dem Nenndurchmesser = Gewindeaußendurchmesser gewählt.

Mit den Schlüsselschrauben E und F wurden zunächst Ausziehversuche ohne Leim durchgeführt. Die Einschraubtiefe in Reihe FI mußte von 400 mm auf 300 mm verringert werden, da der Stahl zu fließen begann, bevor die Haftfestigkeit erreicht war. In den weiteren Versuchen wurden die Dehnungsverteilungen bei 750 mm Einschraubtiefe mit und ohne Leim gemessen.

Die GEWI-Stähle G und H wurden mit zwei verschiedenen Klebstoffen, Resorcinharzleim und Polyurethankleber, 500 bis 1000 mm tief eingeleimt. Dank der hohen Stahlfestigkeit konnten sie auch bei diesen großen Einleimlängen bis zur Überschreitung der Haftfestigkeit beansprucht werden.

Auf den folgenden Bildern sind einige Prüfkörper und Einzelheiten des jeweiligen Versuchsaufbaues dargestellt.

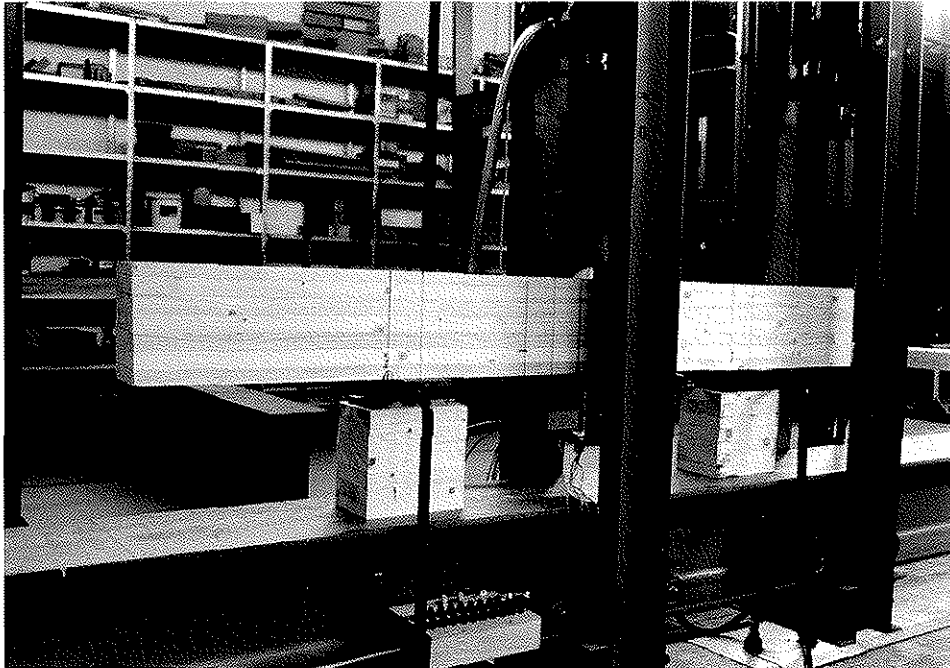


Bild 19: Versuchskörper nach Bild 9 mit Stange A

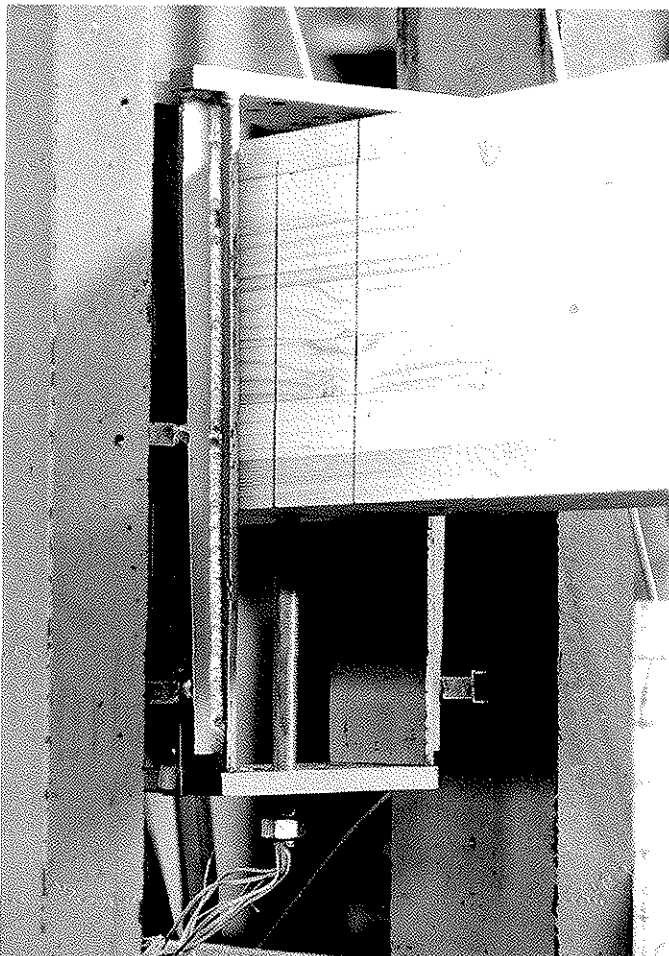


Bild 20: Detail zu Bild 19

Die Bilder 19 und 20 zeigen den Versuchskörper mit Stange A in der Prüfmaschine. Im Detail sieht man den Stahlbügel, der die Last vom Kolben der Prüfmaschine über eine Mutter in die Gewindestange überträgt.

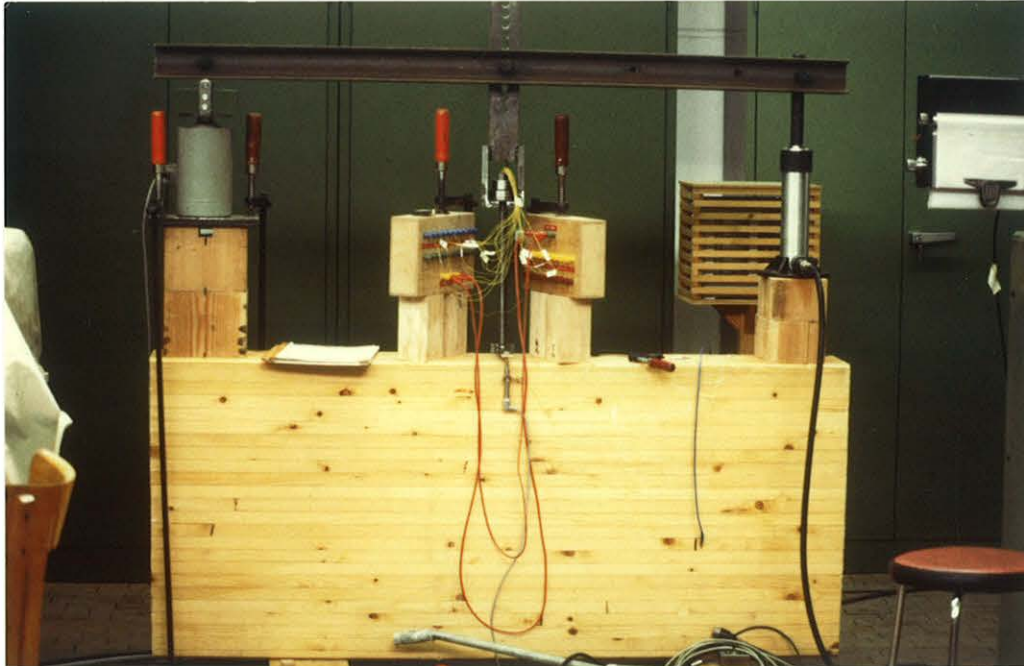


Bild 21: Versuchskörper nach Bild 11 mit Stange B

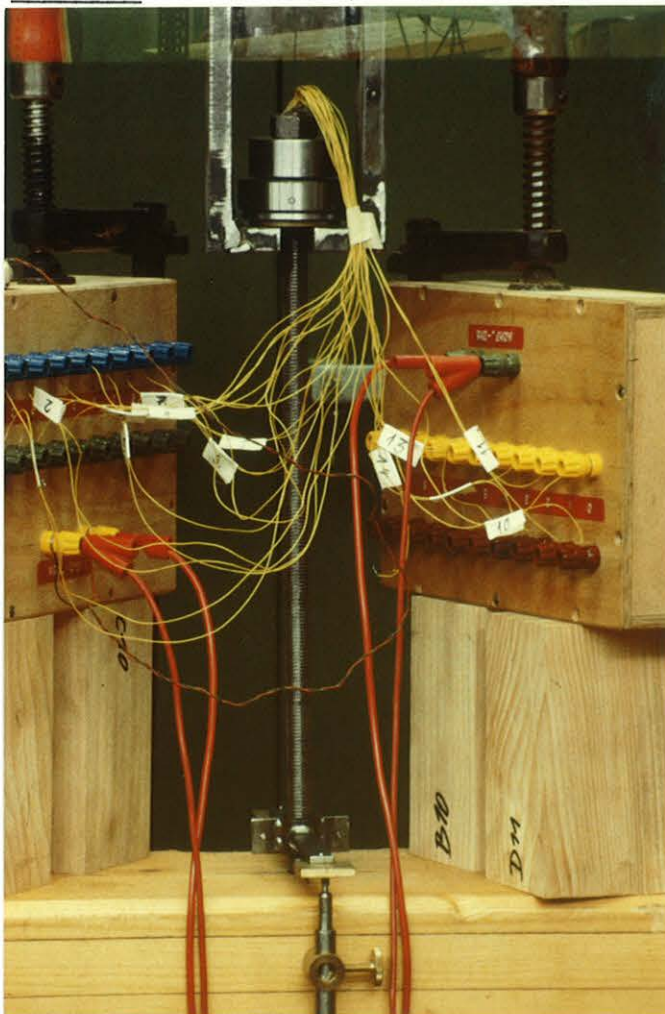
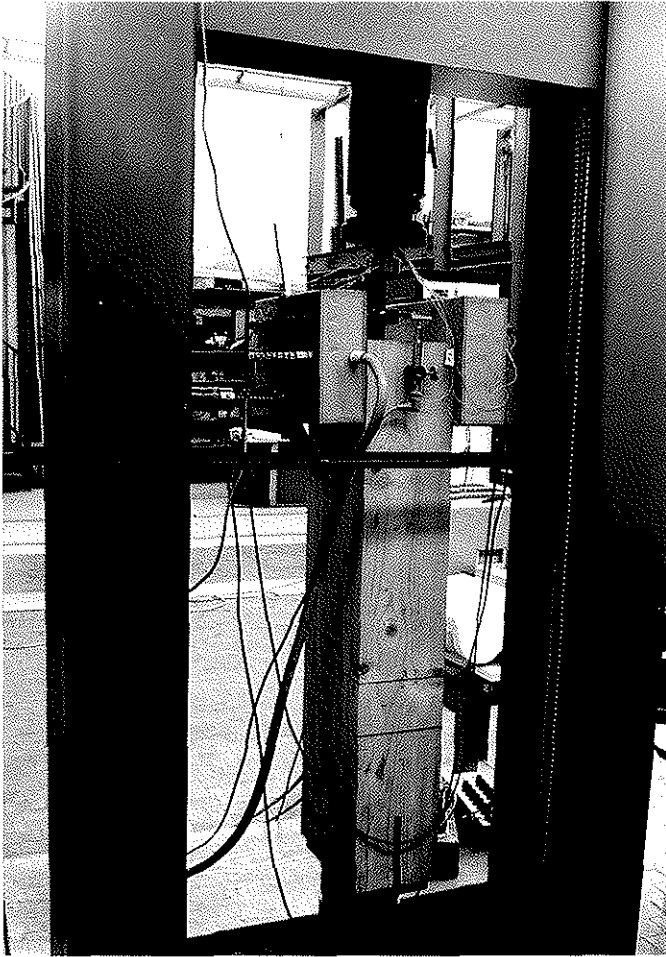


Bild 22: Detail zu Bild 21

Die Bilder 21 und 22 zeigen den Körper BII mit der Belastungsvorrichtung, wie sie prinzipiell auch für die Stangen C, D, E und F bei Anordnung rechtwinklig zur Faser verwendet wurde. Die Belastung wurde über einen hydraulischen Kolben aufgebracht und über einen Hebel in die Gewindestange eingeleitet. Die Auflagerreaktion wurde mit einer Kraftmeßdose gemessen und daraus die Zugkraft in der Stange berechnet.



Die Bilder 23 und 24 zeigen den Prüfkörper BIII in einer Universalprüfmaschine. Die Gewindestange ist parallel zur Faser angeordnet und wird auf Druck beansprucht.

Bild 23: Versuchskörper nach Bild 10 mit Stange B

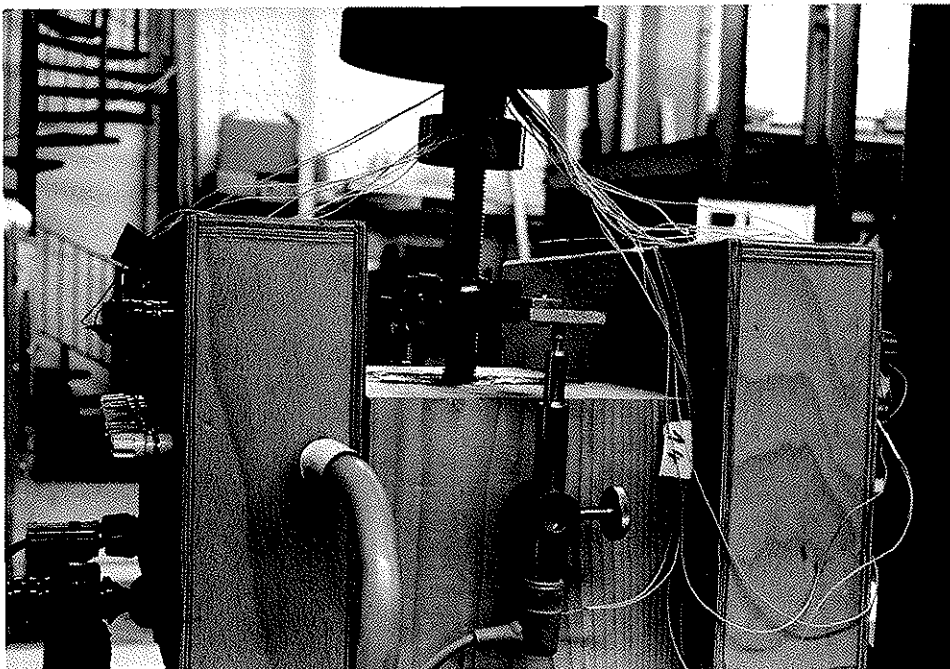


Bild 24: Detail zu Bild 23

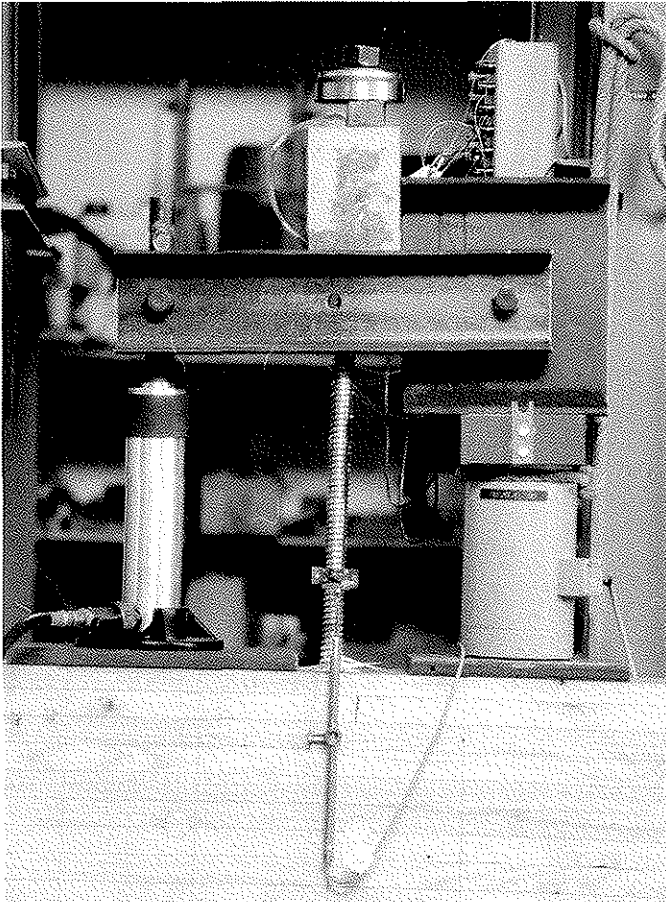


Bild 25 zeigt eine Schlüsselschraube beim Ausziehversuch. Kleine Stützweite wegen großer Ausziehungskraft.

Bild 25: Detail Versuchskörper F nach Bild 17



Bild 26: Prüfkörper E III L und F III L nach dem Ausziehversuch

In Bild 26 erkennt man eine gute Leimverteilung über die ganze Länge und keine Haftung des Resorcinharzleimes am Stahl

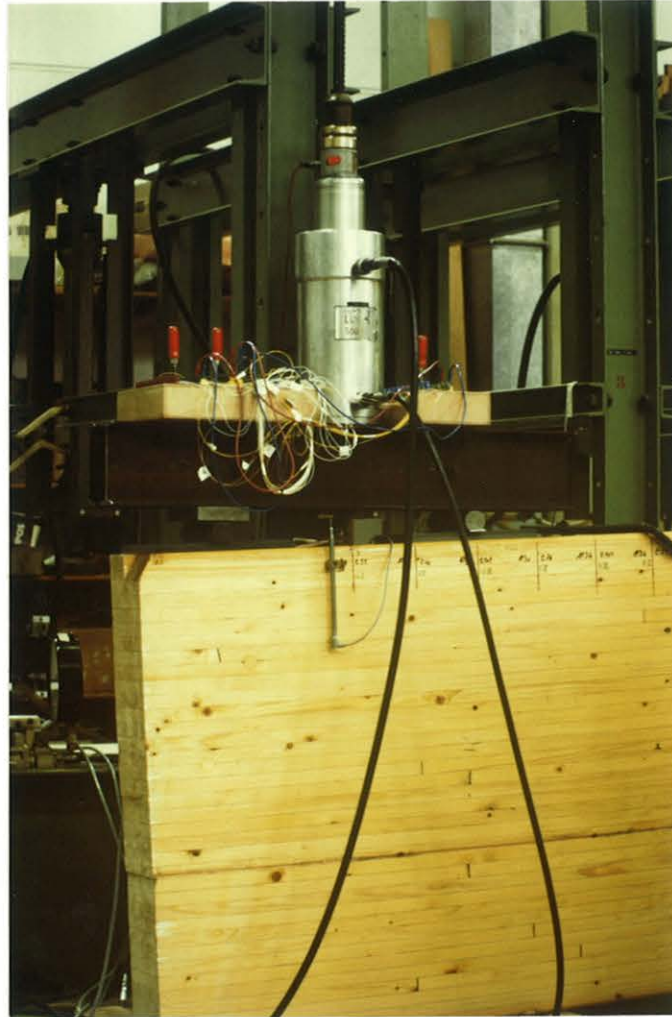


Bild 27: Versuchskörper G nach Bild 18

Für die GEWI-Stangen G und H wurden Ring-Kolben und -Meßdosen verwendet, so daß die Kraft über eine Mutter unmittelbar in die Gewindestange eingeleitet werden konnte. Die in Bild 27 erkennbare Schrägstellung des Versuchskörpers ist durch ein Verlaufen des Bohrloches begründet. Eine Korrektur erfolgte durch Unterlegen des Lastverteilungsträgers, so daß Kraft- und Achsrichtung der Stange wieder übereinstimmten.

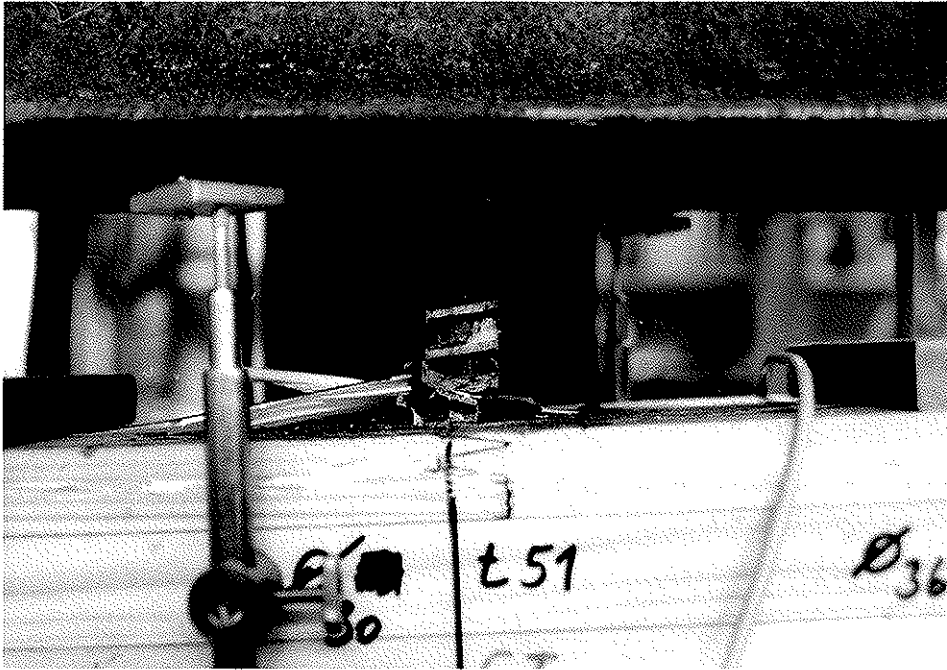


Bild 28: Herausziehen einer Stange G (Detail); Resorcinharzleim

Bild 28 zeigt die Stange G beim Herausziehen (Versuch GIL 3). Der zwischen den Gewinderippen sitzende Resorcinleim löste sich nach dem Herausziehen aus dem Holz und bröckelte vom Stahl ab.

An der herausgezogenen Stange sind deshalb nur geringe Leimreste zu erkennen (Bild 29), während der Polyurethankleber fast vollständig an der Stange haften blieb (Bild 30).



Bild 29: Mit Resorcinharz eingeleimter GEWI-Stahl nach dem Ausziehversuch



Bild 30: Mit Polyurethankleber behafteter GEWI-Stahl nach dem Ausziehversuch

6 Versuchsergebnisse und Auswertung

Während der Versuche wurden die Stahldehnungen bei unterschiedlichen Laststufen gemessen und aufgezeichnet. Die gemessenen Dehnungen wurden mit den Werten aus den Kalibrierversuchen verglichen und entsprechend deren Abweichungen von den Sollwerten korrigiert.

Der Dehnungsverlauf entlang der Gewindestangen wurde mittels Regressionsrechnung durch Polynome 4. oder 5. Grades angenähert. Durch Differenzieren konnten daraus die Haftspannungen berechnet werden (vgl. Abschnitt 4).

Die am "oberen" Ende der Gewindestange angebrachten Meßstellen lagen häufig außerhalb des Holzes und dienten aufgrund der bekannten Beanspruchung in diesem Teil des Stabes zur Kontrolle der Meßwerte. Es wurden jedoch häufig Abweichungen zwischen den gemessenen Dehnungen und den aus der angreifenden Kraft, dem Elastizitätsmodul des Stahles und dem Nettoquerschnitt berechneten Sollwerten festgestellt, was auf Streuungen der Meßgenauigkeit der Meßstreifen, die Ungenauigkeiten bei der Ausführung der Stangen und Anbringen der Meßstreifen sowie vorwiegend auf die Exzentrizitäten zurückzuführen ist, die bei der Kraftein- und -weiterleitung praktisch unvermeidlich waren. Diese Abweichungen können jedoch in Kauf genommen werden, da qualitative Vergleichsmöglichkeiten dadurch nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

Die Bilder 31 bis 33 (Anlagen 19 bis 21) zeigen den Dehnungsverlauf aus drei Versuchsreihen mit Gewindestange A bei unterschiedlichen Stützweiten zwischen den Auflagern (vgl. Bild 9, Anlage 9).

Die Schraubenkoordinate hat ihren Nullpunkt jeweils im eingeschraubten Ende der Gewindestange - die Koordinate = Einschraubtiefe bezeichnet die Stelle, an der die Stange aus dem Holz austritt und an der die angegebene Belastung noch vollständig in der Gewindestange wirksam ist.

Die vorliegenden Bilder geben einen Eindruck wieder von dem unterschiedlichen Dehnungs- und somit auch Haftspannungsverlauf trotz fast gleicher Bedingungen bei diesen Versuchsreihen. Das Divergieren der Linien in der Nähe des oberen Endes ist vermutlich auf exzentrische Krafteinleitung zurückzuführen, während die unterschiedlichen Auflagerabstände zumindest ab $l = 10$ cm lichte Weite offensichtlich keinen Einfluß auf die Dehnungsverteilung haben.

Bild 34 (Anlage 22) zeigt den Unterschied zwischen Zug- und Druckbeanspruchung der Stange A bei sonst gleichen Verhältnissen. Es ist zu erkennen, daß bei Zug die Kraft relativ gleichmäßig ins Holz geleitet wird, während sich bei Druck die Krafteinleitung mehr nach dem Stangenende verlagert.

Auffallend sind hier die großen Unterschiede der Dehnungen am belasteten Ende der Stange. Sie sind durch ausmittige Krafteinleitung zu erklären, und es kann davon ausgegangen werden, daß diese Störungen, wie auch auf Bild 31 zu erkennen, rasch abklingen.

Aufgrund der wenigen Meßstellen wurden für die Versuche mit Stange A keine Regressionsrechnungen durchgeführt, sondern die jeweiligen Meßwerte wurden in der Darstellung geradlinig verbunden.

Für die folgenden Versuche wurden die den Versuchswerten angenäherten Dehnungskurven (Bildbezeichnung: Dehnung-Einschraubtiefe) und die daraus berechneten Haftspannungverläufe (Bildbezeichnung: Schubspannung-Einschraubtiefe) ermittelt. Dabei ist zu beachten, daß besonders im Krafteinleitungsbereich, wo die Stangen aus dem Holz ragen (= rechtes Ende der Kurven), durch o.g. Meßungenauigkeiten und Exzentrizitäten sowie durch nicht immer optimale Kurvenanpassung relativ geringe Unterschiede in den Stahldehnungen zu größeren Unterschieden im Anstieg der Kurven führen können, was sich durch entsprechende Schwankungen bei den Rechenwerten der Haftspannungen bemerkbar macht.

Am unteren Stangenende (= linkes Ende, Nullpunkt der Schraubenkoordinate) wurde die Dehnung unabhängig vom angezeigten Wert jeweils zu Null gesetzt. Dadurch können sich Verfälschungen im Anstieg der Dehnungslinien und somit der Haftspannungen ergeben. Aus diesem Grunde dürfen die Kurvenverläufe an beiden Stangenenden, besonders die Beträge der dort evtl. auftretenden Spannungsspitzen nicht überbewertet werden.

Im folgenden werden immer nur einzelne Beispiele aus der Vielzahl der Versuche gezeigt.

In den Dehnungskurven sind die gemessenen Werte mit einem Stern gekennzeichnet. Da am Ende der Einschraublänge im allgemeinen kein Meßwert vorlag, wurde für diese Stelle der Wert der ersten außerhalb des Holzes gelegenen Meßstelle herangezogen.

Die einzelnen Kurven wurden aufgrund der unterschiedlichen Längen, Dehnungen und Laststufen in unterschiedlichen Maßstäben dargestellt. Die Kraft-Dehnungsbeziehungen waren jedoch für fast alle Versuche linear (mit Ausnahme des Fließ- oder Bruchzustandes), so daß eine Vergleichbarkeit trotzdem gewahrt ist.

Die Bilder 35 bis 39 (Anlagen 23 bis 27) zeigen die Dehnungen der Stange B, ohne Leim parallel zur Faser eingeschraubt. Der Verlauf bei unterschiedlichen Einschraubtiefen von 170 bis 500 mm kann - besonders bei Beachtung der vorher zitierten Einwände - als ähnlich angesehen werden. Bei Druckbeanspruchung (Bild 39) verschiebt sich der Schwerpunkt der Kraftüberleitung jedoch mehr zur Mitte der Einschraublänge. Die zugehörigen Haftspannungen sind auf den Bildern 40 bis 44 (Anlagen 28 bis 32) dargestellt.

Bei Anordnung der Stange rechtwinklig zur Holzfaserrichtung ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede gegenüber dem Fall des Einschraubens parallel zur Faser, mit Ausnahme eines etwas ausgegli-

cheneren Kurvenverlaufes, wie aus den Bildern 45 bis 47 (Anlagen 33 bis 35) bei den Dehnungen und Bildern 49 bis 51 (Anlagen 37 bis 39) bei den Haftspannungen zu erkennen ist. Bei Reihe B II 6 wurde der Stahl bei $F = 28$ kN bis zum Fließen beansprucht. Dabei traten plastische Verformungen der Stange im äußeren Bereich ($l = 350$ bis 480 mm) auf. Nach einer Entlastung auf die Laststufe 20 kN wurden Dehnungen, wie in Bild 48 (Anlage 36) dargestellt, gemessen. Die zugehörigen rechnerischen Haftspannungen (siehe Bild 52, Anlage 40) entsprechen im Bereich $l > 300$ mm daher nicht mehr den tatsächlich aufgetretenen Haftspannungen.

Die Bilder 53 bis 58 (Anlagen 41 bis 46) zeigen vergleichbare Versuche mit eingeleimten Stangen des Typs B. Der Dehnungsverlauf ist steiler, d.h. die Kräfte werden auf einer geringeren Länge abgetragen (Vergleich Bild 53 bzw. 56 mit Bild 37 bzw. 42). Durch die Verleimung ist praktisch kein Unterschied zwischen Zug- und Druckbeanspruchung zu erkennen. Lediglich bei Anordnung rechtwinklig zur Faser (Bild 55 bzw. 58) zeigt sich der Verlauf etwas ausgeglichener, erreicht jedoch nicht die Gleichförmigkeit wie ohne Leim (Bilder 47 und 51). Aus den Bildern 59 bis 62 (Anlagen 47 bis 50) ist erkennbar, daß bei einer Einleimlänge von 800 mm und Anordnung parallel zur Faser die Kraft nicht mehr über die ganze Länge, sondern der überwiegende Teil bereits im oberen Drittel übertragen wird. Der Einfluß des kleiner werdenden Querschnittes (vgl. Bild 12 und 13, Anlage 10, sowie Tabelle 2, Anlage 15) von $20/40$ cm bei Reihe C I L 1 auf $10/10$ cm bei Reihe C I L 4 ist zwar erkennbar - entsprechend der kleiner werdenden Dehnsteifigkeit verschiebt sich die Kraftüberleitung geringfügig nach "unten" -, bei den Haftspannungen auf den Bildern 63 bis 66 (Anlagen 51 bis 54) ist jedoch nur ein geringer Anstieg am Stangenende erkennbar. Bei Beanspruchung auf Druck in den Bildern 67 und 68 (Anlagen 55 und 56) ist auch hier kein signifikanter Unterschied feststellbar. Bei den Dehnungsmeßpunkten im oberen Bereich werden jedoch die Lasteinleitungsprobleme deutlich. Im Versuch C I L 5 D werden bei $F = 30$ kN bereits Deh-

nungen von ca. 2200 $\mu\text{m}/\text{m}$ gegenüber einem Sollwert von 1430 $\mu\text{m}/\text{m}$ angezeigt. Hier wirkt sich offenbar die ungewollte Ausmitte stark aus, was bei diesem Versuch bei einer Last von 50 kN (planmäßige rechnerische Spannung in der Stange 500 N/mm^2) bereits zum Ausknicken führte (Fließspannung 640 N/mm^2).

Gegenüber der parallel zur Faser angeordneten Stange (Bilder 59 und 63) ist bei der rechtwinklig zur Faser eingeleimten Stange der Spannungsverlauf etwas ausgeglichener, d.h. die Dehnungskurve ist weniger steil (Bild 69, Anlage 57) und die Haftspannung am äußeren Stangenende (Bild 70, Anlage 58) etwas geringer (Beim Vergleich ist der unterschiedliche Maßstab zu beachten).

Der Einfluß eines größeren Bohrlochdurchmessers bei Reihe C III L (Bilder 71 und 72, Anlagen 59 und 60) wirkt sich kaum auf die Dehnungen und Haftspannungen aus; für den Versuch mit dem größeren Bohrlochdurchmesser (= Gewindeaußendurchmesser) deutet sich ein geringfügig steiferes Verhalten (d.h. eine raschere Kraftabtragung im äußeren Bereich) an.

Mit Stange D wurden die gleichen Versuche wie mit Stange C durchgeführt. Dabei wurden etwa die gleichen Ergebnisse erzielt, d.h. die unterschiedlichen Stangendurchmesser haben sich nicht ausgewirkt. Im folgenden werden für einzelne Versuchsreihen mit Stange D die Dehnungslinien und die jeweils zugehörigen Haftspannungslinien zusammengestellt.

Die Bilder 73 und 74 (Anlagen 61 und 62) zeigen einen Versuch aus Reihe D I 1, Stange D ohne Leim parallel zur Faser eingeschraubt, die Bilder 75 und 76 (Anlagen 63 und 64) den gleichen Versuch mit Leim, die Bilder 77 und 78 (Anlagen 65 und 66) bei Druckbeanspruchung. Anschließend wurde der Querschnitt des Versuchskörpers von 20/40 cm auf 16/16 cm vermindert. In den Bildern 79 und 80 (Anlagen 67 und 68) sind die Diagramme für Druck, in den Bildern 81 und 82

(Anlagen 69 und 70) für Zugkräfte dargestellt. Im Versuch D I L 4.2 deutet die Verschiebung der Kurven bei der Laststufe von 100 kN nach 2 Minuten Wartezeit auf ein Lösen der Verbindung Stahl-Holz im oberen Bereich hin, was eine Verlagerung der Kraft nach innen zur Folge hat. Dies ist auch aus den Bildern 83 bis 86 (Anlagen 71 bis 74) zu erkennen, in denen Versuche mit demselben, jedoch auf 10/10 cm verjüngten Versuchskörper beschrieben sind.

Die Bilder 83 und 85 zeigen den Dehnungsverlauf für denselben Versuchskörper bei zwei Versuchen und zwei unterschiedlich hohen Laststufen. Durch den im gleichen Verhältnis geänderten Maßstab der Dehnungen werden beide Kurven praktisch deckungsgleich dargestellt, was das lineare Verhalten der Messungen bestätigt.

Die Bilder 87 und 88 (Anlagen 75 und 76) beschreiben Reihe D II L, Stange M20 mit 18 mm Bohrlochdurchmesser, rechtwinklig zur Faser eingeleimt, die Bilder 89 und 90 (Anlagen 77 und 78) den gleichen Versuch, jedoch mit 20 mm Bohrlochdurchmesser.

Die Stangen E, F, G und H waren alle nur rechtwinklig zur Holzfaser angeordnet. Mit Stange E wurde bei 300 mm Einschraubtiefe - ohne Leim - ein Ausziehversuch durchgeführt. Der Zustand vor Erreichen der Höchstlast von 70 kN ist in den Bildern 91 und 92 (Anlagen 79 und 80) dargestellt.

Die in Bild 93 (Anlage 81) eingetragenen Meßwerte für Stange E mit Holzschraubengewinde \emptyset 20 mm ohne Leim sind gut mit denen für metrische Gewinde (Reihe B II 5.2, Anlage 35 und D I 1.3, Anlage 61) zu vergleichen. Die Regressionskurven sind in diesem Fall jedoch ungenügend angenähert, so daß in Bild 94 (Anlage 82) die Haftspannungslinien vom tatsächlichen relativ ausgeglichenen Verlauf abweichen. In den Bildern 95 und 96 (Anlagen 83 und 84) folgen die Kurven für die gleiche Stange, jedoch eingeleimt. Die Ergebnisse stimmen gut mit den vergleichbaren Ergebnissen für metrisches Gewinde (Anlagen 75 bis 78) überein.

Das gleiche gilt auch für die Versuchsergebnisse mit Stange F, Holzschraubengewinde mit 27 mm Durchmesser, in den Bildern 97 bis 100 (Anlagen 85 bis 88).

Die Bilder 101 bis 103 (Anlagen 89 bis 91) zeigen den Dehnungsverlauf, die Bilder 104 bis 106 (Anlagen 92 bis 94) den Haftspannungsverlauf für Stab G bei Einleimlängen von 500 bis 1000 mm. Hier zeigt sich ein von den vorhergehenden Versuchen stark abweichender Dehnungs- und Haftspannungsverlauf: die Dehnungen nehmen linear über die Einleimlänge ab, was zu fast konstanten Haftspannungen über die gesamte Länge führt. Die Ursache ist bei der relativ dicken Leimfuge (Stabkerndurchmesser = 26,3 mm, Rippenaußendurchmesser = 29,7 mm, Bohrlochdurchmesser = 30 mm) zu vermuten, wodurch sich der Stab zwar ohne großen Widerstand einbringen läßt, dem hier verwendeten Resorcinharzleim aber der nötige Preßdruck zum Aushärten fehlt.

Dagegen zeigt sich in den Bildern 107 bis 110 (Anlagen 95 bis 98) bei Verwendung eines Polyurethanklebers bei Einschraubtiefen von 850 und 1000 mm ein deutlich steiferes Verhalten, d.h. die Kraft wird vorwiegend im äußeren Bereich übertragen, wie es auch bei den Versuchen mit metrischem und Holzschraubengewinde bei Verwendung von Resorcinharzleim mit jedoch kleineren Bohrlochdurchmessern zu beobachten war.

In den Bildern 111 bis 114 (Anlagen 99 bis 102) ist das Verhalten der mit Resorcinharzleim 500 mm tief eingeklebten Stange des Typs G im Ausziehversuche dargestellt. Der Dehnungsverlauf ist sowohl vor Erreichen der Höchstlast (Bild 111, 113), als auch nach deren Überschreitung (Bild 112, 114) fast linear, im wesentlichen ändert sich nur die Steigung der Dehnungslinien, also die Größe der Haftspannungen bzw. - nach Erreichen der Höchstlast - die Reibung.

Dies gilt auch für größere Einleimlängen, wie beispielsweise für $l = 750$ mm aus den Bildern 115 bis 118 (Anlagen 103 bis 106) erkennbar ist.

Während bei den mit Resorcinharzleim eingeklebten GEWI-Stählen die über die gesamte Länge fast konstante Haftspannung gleichmäßig mit der Belastung anstieg, bis die Haftfestigkeit von etwa 2 bis 3 N/mm² erreicht war, zeigt sich bei Verwendung von Polyurethankleber ein gänzlich anderes Verhalten:

Mit steigender Last nimmt zunächst auch die Steigung der Dehnungslinien zu, bis die Haftfestigkeit am äußeren Stangenende erreicht ist. Der Größtwert der Haftspannungen von etwa 5 bis 6 N/mm² verlagert sich dann nach innen; für die Dehnungslinien stellt sich eine maximale Steigung ein, und der Ort, an dem sie auftritt, verlagert sich mit zunehmender Last ins Holzinne. In diesem Bereich wird der überwiegende Anteil der Kraft übertragen; da der äußere Bereich jedoch nicht gänzlich versagt, sondern durch Reibung noch mitwirkt, ist eine Laststeigerung möglich, bis die maximale Steigung der Dehnungslinie fast das Ende der Stange erreicht hat, wo die Haftfestigkeit noch nicht erreicht ist.

Dieser Vorgang läßt sich in den Bildern 119 bis 122 (Anlagen 107 bis 110) bei zunehmender Belastung und Bild 123 (Anlage 111) nach Überschreiten der Höchstlast für die Dehnungen sowie auf den Bildern 124 bis 128 (Anlagen 112 bis 116) für die Haftspannungen sehr gut verfolgen.

In den Bildern 119 bis 122 ist mit zunehmender Last auch eine stetige Zunahme der Dehnungen verbunden. Die größte Steigung entsprechend einer Haftspannungsspitze von etwa 7 N/mm² (Bild 124) ist jedoch bereits bei der Laststufe 209,4 kN erreicht. Bei weiterer Laststeigerung wird die Spannungsspitze abgebaut - die Verbindung Stahl-Holz beginnt sich zu lösen -, und es stellt sich ein Haftspannungshöchstwert von 5 bis 6 N/mm² ein, der von Laststufe zu Laststufe, bis zum Erreichen der Höchstlast, in Richtung des unteren Stangenendes wandert (Bilder 125 bis 127). An den Stellen, an denen die Haftfestigkeit bereits überschritten ist, fallen die "Schubspannungen" nicht auf Null ab, sondern Reibungskräfte tragen zur weiteren Laststeigerung bei.

Die Laststufe 209,4 kN kann demnach als Beginn des Ausziehvorganges oder als Beginn einer gewissen Plastifizierung der Leimfuge angesehen werden, wie auch aus Bild 139 (Anlage 127) hervorgeht. Bild 139 zeigt das Kraft-Ausziehweg-Diagramm für den Versuch G V L 4; die Anordnung der zur Verformungsmessung angebrachten induktiven Wegaufnehmer ist in den Bildern 27 und 28 (S. 19 und 20) zu erkennen.

Der Verlauf der Kraft-Ausziehweg-Kurve ist linear bis zur Laststufe 209,4 kN, anschließend nehmen die Verformungen überproportional zu, bis die Kraft nach Überschreiten der Haftfestigkeit am Stangenende plötzlich abfällt und nur noch durch Reibung eine Restkraft übertragen werden kann.

Kurz vor Erreichen der Höchstlast, als das untere Stangenende also noch fest im Holz haftete, wurde am oberen Ende bereits eine Verschiebung von 6,5 mm (elastischer Anteil 1,5 mm) gemessen. Das bedeutet, daß sich der obere Teil bereits gelöst hatte, der Bruch also nach dem "Reißverschlußprinzip" von oben nach unten fortschritt.

Nach Überschreitung der Höchstlast ändert sich das Aussehen der Dehnungs- und Reibungskurven. Bild 123 zeigt fast gerade Dehnungslinien, entsprechend der kleiner werdenden Laststufen mit immer kleinerer Steigung, was zu dem relativ konstanten Reibungsverlauf in Bild 128 führt.

Die Bilder 129 und 130 (Anlagen 117 und 118) zeigen weitere drei ausgesuchte Laststufen: 100 kN - 200 kN und die Höchstlast 317 kN.

Die Versuche mit Stange H brachten im Prinzip die gleichen Ergebnisse wie diejenigen mit Stange G. Dies wird auf den Bildern 131 bis 138 (Anlagen 119 bis 126) für Versuch H II L 3 mit Resorcinharzleim, für die Versuche H III L 2 und H III L 3 sowie den Ausziehver-

such H III L 4 mit Polyurethankleber nochmals bestätigt. Anhand des Kurvenverlaufes ist zu erkennen, daß der oben beschriebene Ausziehvorgang im Versuch H III L 2 schon bei einer Last von etwa 200 kN einsetzte. Im eigentlichen "Ausziehversuch" H III L 4 ist der äußere Bereich bereits durch die weitere Vorbelastung im Versuch H III L 3 geschädigt und der Hauptbereich der Kraftübertragung hat sich - auch im unteren Lastbereich - nach dem Holzinneren verlagert.

7 Zusammenfassung

Eingeleimte Gewindestangen unter Axialbelastung können zur Einleitung von Zug- und Druckkräften in Holz verwendet werden, z.B. im Auflagerbereich, zum Anhängen von Lasten oder auch zur Übertragung von Stabkräften in Fachwerken. Zum anderen können sie im Holzinernen zur Aufnahme gefährlicher Querspannungen dienen, beispielsweise in Satteldachträgern und gekrümmten Trägern sowie im Bereich von Auflagerausklinkungen und Trägerdurchbrüchen.

Ziel dieser Arbeit war die Beschreibung und Überprüfung geeigneter Einleimmethoden sowie die Entwicklung eines Meßverfahrens zur Ermittlung des Haftspannungsverlaufes, um daraus auf die Wirkungsweise von eingeleimten Gewindestangen schließen zu können.

Es können Einleimmethoden mit drei unterschiedlichen Gewindestangen empfohlen werden:

Bei Verwendung von Gewindestangen nach DIN 975, Ausgabe September 1986, mit metrischem Gewinde kann auf die früher vorgeschlagene Leimentlastungsnut verzichtet werden, wenn die Bohrung im Holz mit dem Gewindeaußendurchmesser ausgeführt wird. Die Stäbe lassen sich bei gerader Bohrung relativ leicht einbringen. Das letzte Stück muß allerdings eingeschraubt werden, damit eine vollständige Leimverteilung zwischen den Gewindegängen erreicht wird.

Die zweite Möglichkeit ist die Verwendung von Stangen mit dem Gewinde von Sechskant-Holzschrauben nach DIN 571, sog. "Schlüsselschrauben", für die das Holz mit dem Mittel aus Kern- und Außendurchmesser vorgebohrt wird. Das Eindrehen kann mit Hilfe eines Schlagschraubers zügig durchgeführt werden, und dank des tiefen Gewindes ist auch bei unplanmäßig ungenügender Leimverteilung durch die mechanische Verzahnung mit dem Holz eine gute Haftung zu erreichen.

Bei Verwendung von Betonrippenstäben muß unbedingt mit dem äußeren Durchmesser vorgebohrt werden. Stähle mit Gewinderippen, sog. "GEWI-Stähle" sind vorzuziehen, da durch ein abschließendes Eindrehen im Gewindedrehsinn eine ausreichende Leimverteilung sichergestellt werden kann.

Für die Versuche zur Ermittlung des Haftspannungsverlaufes kamen zwei Kleber zur Anwendung:

1. Resorcinharzleim Kauresin 440
Hersteller: BASF, 6700 Ludwigshafen
2. Polyurethankleber Plastic-Mastic 573.8
Hersteller: Klebchemie M.G. Becker GmbH & Co. KG,
7504 Weingarten

In einzelnen Ausziehversuchen wurden auch die Haftfestigkeiten ermittelt (siehe Tabelle 1). Dabei ergaben sich für die einzelnen Gewindearten nachfolgend zusammengestellte, über die gesamte Einschraub- bzw. Einleimlänge l_E gemittelte Haftfestigkeiten:

Tabelle 3: Zusammenstellung der Haftfestigkeiten

Art der Stange	Kleber	Einleim- bzw. Einschraublänge l_E (mm)	mittlere Haftfestigkeit (N/mm ²)
metrisches Gewinde	ohne	90 bis 200	0,6 bis 4,5
	Resorcin	100 bis 300	4,8 bis 6,0
Schlüssel-Schraube	ohne	100 bis 300	3,7 bis 5,1
	Resorcin	86 bis 88	6,1
GEWI-Stahl	Resorcin	500 bis 1000	2,3 bis 2,8
	Polyurethan	850 bis 1000	3,7 bis 4,0

Die Ermittlung des Haftspannungsverlaufes erfolgte über Dehnungsmessungen entlang der Einleim- bzw. Einschraublänge der Stangen mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen. Dazu wurden Längsnute in die Stangen eingefräst und darin die Dehnungsmeßstreifen eingeklebt. Die derartig präparierten Stangen wurden in die vorgesehenen Versuchskörper eingeschraubt bzw. eingeklebt und stufenweise durch Zug- oder Druckkräfte belastet. Die Längsdehnungen in den Gewindestangen wurden bei jeder Laststufe gemessen und aufgezeichnet. Daraus wurde der Dehnungsverlauf mittels einer Regressionsrechnung durch Polynome angenähert. Aus der Gradienten dieser Dehnungskurven wurde der jeweilige Haftspannungsverlauf berechnet.

Aus einer Vielzahl von Versuchen mit verschiedenen Versuchsparametern sind im wesentlichen die nachfolgend beschriebenen Schlußfolgerungen zu ziehen:

- Werden die Stangen ohne Leim in enge Bohrlöcher eingeschraubt, so stellt sich grundsätzlich eine gleichmäßigere Kraftabtragung über die Einschraubtiefe ein, als bei eingeleimten Stangen, die ein steiferes Verhalten zeigen, so daß der größere Teil der zu übertragenden Kraft im "äußeren" Bereich, d.h. kurz nach Eintritt der Stange in das Holz, übertragen wird.
- Der Unterschied bei der Kraftübertragung zwischen Anordnung parallel und rechtwinklig zur Holzfaserrichtung ist durch die unterschiedliche Dehnsteifigkeit des Holzes zu erklären. Ein entsprechend dem kleineren Elastizitätsmodul "weicherer" Verhalten rechtwinklig zur Faserrichtung des Holzes führt zu einer gleichmäßigeren Kraftübertragung bei Anordnung der Stange rechtwinklig zur Faserrichtung.
Werden Normalkräfte (Zug oder Druck) über die Stange in das Holz eingeleitet, die auch im Holz als Normalkräfte weitergeleitet werden, dann entstehen am Anfang und am Ende der Stangen Haft-

spannungsspitzen, die sich bei in Faserrichtung eingebrachten Stangen wegen der größeren Dehnsteifigkeit des Holzes in Faser- richtung deutlicher ausprägen. Bei großen Einleimlängen wirkt der mittlere Teil dann kaum noch bei der Kraftübertragung mit, da sich in diesem Bereich im Stahl und im Holz gleichgroße Dehnungen einstellen. Aus den Versuchen ging hervor, daß für diese Fälle, also in Faserrichtung, eine gewisse "Grenzlänge" bei etwa dem 40-fachen des Durchmessers erreicht ist.

- Der Einfluß unterschiedlicher Holzquerschnitte bei Zugkörpern mit faserparallel eingeleimten Gewindestangen machte sich nur unwesentlich bemerkbar. Mit kleiner werdender Dehnsteifigkeit des Holzquerschnittes verlagerten sich die Haftspannungen geringfügig vom Anfang der Stange ins Holzinne.
- Zwischen Zug- und Druckbeanspruchung der eingeleimten Stangen war kein grundsätzlicher Unterschied im Spannungsverlauf zu erkennen. Lediglich im Lasteinleitungsbereich machten sich versuchsbedingte Exzentrizitäten bei Druckbeanspruchung deutlicher bemerkbar als bei Zug.
- Bei unterschiedlichen Einleim- bzw. Einschraubtiefen zeigte sich grundsätzlich ein untereinander ähnlicher Dehnungs- und somit auch Haftspannungsverlauf. Erst ab Einleimlängen von etwa 500 bis 800 mm stellte sich heraus, daß nicht mehr die gesamte Länge an der Kraftübertragung beteiligt ist, sondern sich die Haftspannungen auf den oder die äußeren Bereiche konzentrieren.
- Die unterschiedlichen Durchmesser der Stangen mit metrischem oder Holzschraubengewinde sowie die Variation der Bohrlochdurchmesser zwischen kleiner und gleich dem Gewindeaußendurchmesser hatten keinen signifikanten Einfluß auf den Spannungsverlauf.

- Es wurde festgestellt, daß Stangen mit metrischem Gewinde und Holzschraubengewinde bei ordnungsgemäßem Einleimen vergleichbare Haftspannungsverläufe aufweisen. Werden die Stangen jedoch nicht eingeleimt sondern nur ohne Leim eingedreht, dann kann für metrische Gewinde, bedingt durch Ausführungsungenauigkeiten, eine ausreichende Haftfestigkeit nicht mehr garantiert werden, während für Holzschraubengewinde dank der tieferen Verzahnung mit dem Holz auch ohne Leim ein relativ steifes Verhalten und damit eine Mindesthaftfestigkeit erwartet werden kann. Dieser Verzahnungseffekt des Holzschraubengewindes im umgebenden Holz gleicht daher auch bei einer Einleimung der Schlüsselschrauben eine ungenügend gleichmäßige Leimverteilung über die gesamte Einleimlänge im wesentlichen wieder aus.
- Mit den verwendeten GEWI-Stählen wurden aufgrund ihrer hohen Festigkeit und bedingt durch die abweichende Geometrie des Profils neue Erfahrungen gemacht. Dank ihrer hohen Festigkeit konnten die Stäbe selbst bei Einleimlängen von 1000 mm bis zur Überschreitung der Haftfestigkeit beansprucht werden. Hierbei wurde ein deutlicher Unterschied im Verhalten des Resorcinharzleimes und des Polyurethanklebers festgestellt. Bei Verwendung von Resorcinharzleim stellten sich bei den GEWI-Stählen über die gesamte Länge nahezu konstante Haftspannungen ein, die bei Laststeigerung bis zur Höchstlast gleichmäßig anstiegen. Der Bruch erfolgte dann gleichzeitig auf der ganzen Länge. Die Haftfestigkeiten lagen zwischen 2,3 und 2,8 N/mm².

Bei Verwendung des Polyurethanklebers ergab sich ein steiferes Verhalten mit einer Haftspannungsspitze im äußeren Bereich. Bei Laststeigerung stieg diese Spitze an, bis ein Höchstwert erreicht war. Dann erfolgte eine Kraftumlagerung nach dem Holzinneren und die Stange begann nach dem "Reißverschlußprinzip" von außen her sich vom Holz zu lösen. Die Spannungsspitze von ca. 5 bis 6 N/mm²

wanderte dabei auf das Stabende zu, und da im äußeren Bereich noch Reibungskräfte aktiviert wurden, war noch eine Laststeigerung möglich, bis auch am Stangenende die Haftfestigkeit erreicht war. Hierbei ergaben sich auf die Gesamtlänge bezogene mittlere Haftfestigkeiten von 3,7 bis 4,0 N/mm².

Obwohl eine Vielzahl von Versuchen durchgeführt wurde bleiben noch weitere Fragen offen. In einem zweiten Teil dieser Forschungsreihe, der Anfang 1987 begonnen wurde, werden die Einflüsse unterschiedlicher Klimabeanspruchungen sowie die Auswirkung von Langzeitbeanspruchungen auf den Haftspannungsverlauf untersucht.

In einem dritten Teil sollten daran anschließend mit den erlangten Kenntnissen praxisnahe Trägerformen, wie gekrümmte Träger, Satteldachträger oder Auflagerausklinkungen in die Untersuchungen einbezogen werden, da die Kräfteinleitungen in solchen Fällen sich von denen der bisherigen Untersuchungen wesentlich unterscheiden. Die Erfahrungen mit der entwickelten Meßmethode können dabei auf die Versuchsdurchführungen übertragen werden.

8 Schrifttum

- | 1| Riberholt, H.: Eingeleimte Gewindestangen. Afdelingen for Baerende Konstruktioner, Danmarks tekniske Højskole. Rapport Nr. R 99, 1978 (Deutsche Fassung, Januar 1979).

- | 2| Möhler, K. und K. Hemmer: Eingeleimte Gewindestangen. Holzbau-Statik-Aktuell, Folge 6, Mai 1981.

- | 3| Möhler, K. und R. Lautenschläger: Großflächige Queranschlüsse bei Brettschichtholz. Forschungsbericht Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH), 1978.

- | 4| Möhler, K. und W. Siebert: Erhöhung der Querkzugfestigkeit in gefährdeten Bereichen. Forschungsbericht Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH), 1983.

- | 5| Moers, F.: Anschluß mit eingeleimten Gewindestählen. bauen mit holz, 4/1981.

- | 6| Hintermann, M. und R. Schär: Prüfung von "Rampa-Muffen." Schweizer Holzbau, 4/1982.

- | 7| Scherberger, M. und L. Widmann: Sanierung von Ausklinkungen. bauen mit holz, 11/1984.

- | 8| Rug, W.: Höherveredlung von Holzkonstruktionen durch Anwendung neuer Erkenntnisse der Grundlagenforschung. Bauplanung-Bautechnik, 2/1986.

- | 9 | Riberholt, H.: Glued Bolts in Glulam. Afdelingen for Baerende Konstruktioner, Danmarks tekniske Højskole. Serie R, No. 210, 1986.

- |10| Möhler, K. und H.-L. Mistler: Untersuchungen über den Einfluß von Ausklinkungen im Auflagerbereich von Holzbiegeträgern auf die Tragfähigkeit. Forschungsbericht Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH), 1978.

- |11| Krabbe, E. und H. Neuhaus: Entwicklung von konstruktiven Maßnahmen zur Verhinderung von Schadensfällen durch Querspannungen bei verleimten Brett-schichtträgern. Forschungsbericht Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, 1979.

- |12| Gopu, V.K.A.: Repaired Pitch-Cambered Glulam Beams. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. (ASCE) Vol. 107, No. ST 7, July, 1981.

- |13| Möhler, K. und R. Freiseis: Erhöhung der Querdruckfestigkeit der Auflagerungen von Vollholz- und Brett-schichtholzbauteilen durch zusätzliche Kon-struktionsmaßnahmen. Forschungsbericht Lehr-stuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruk-tionen, Universität Karlsruhe (TH), 1982/83.

- |14| Zakić, B.D.: Repair and Testing of Long-Span Glued Laminated Beams. Holzforschung und Holzverwertung, 6/1983.

- |15| Kavaja, J. und V. Penttala: Reinforcement of glue-laminated wooden beams. Wood, 1/1984.

- |16| American Institute of Timber Construction: Timber Construction Manual, 2. edition, 1974.

- |17| Blumer, H., E. Gehri und U. Keller: Zur Bemessung von gekrümmten Satteldachträgern aus Brettschichtholz. SAH Bulletin 1979, 7/1.

- |18| Vincent, T.A. und V.K.A. Gopu: Rational design of radial reinforcement in pitch-cambered glulam beams. Forest Products Journal Vol. 35, No. 1, 1985.

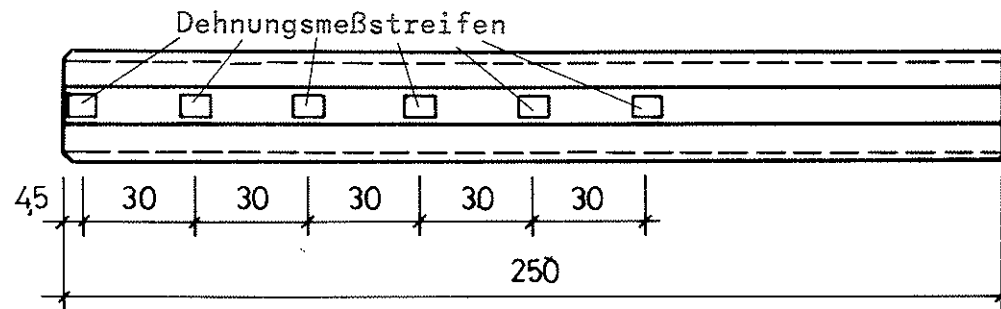
- |19| Informationsdienst Holz: Konstruktionsbeispiele, Berechnungsverfahren Teil 5, Bericht der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der DGfH, 1981.

- |20| Dunkel, Harry: Joining glue-laminated wood to reinforced concrete using glued steel screws. Wood, 1/1984.

- |21| Lackner, R.: Auflagerverstärkungen an Brettschichtholzträgern. Holzforschung und Holzverwertung, 4/1980 (Teil I), 5/1981 (Teil II), 1/1982 (Teil III).

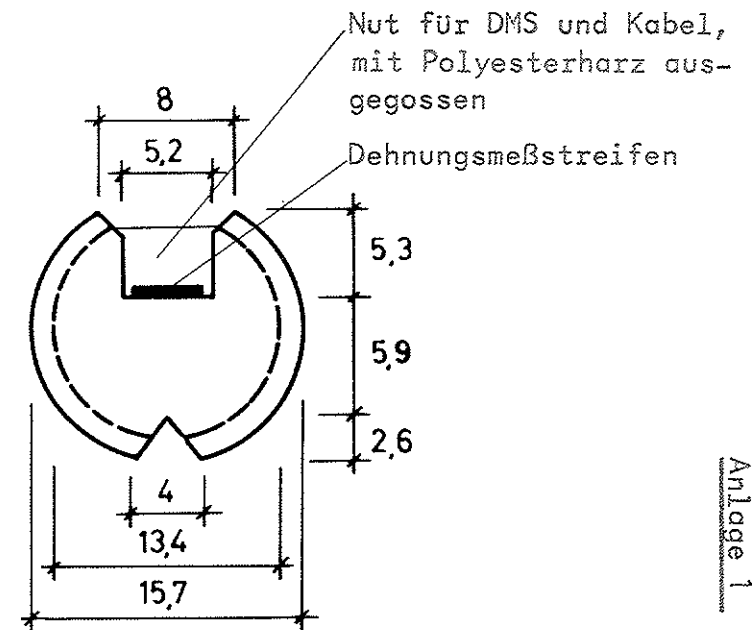
- |22| Amstutz, E.: Über das Zusammenwirken von Bewehrung und Beton in Stahlbetonbauwerken. Der Bauingenieur, 10/1955.

- |23| Eisenbiegler, W.: Das Verbundverhalten druckbeanspruchter Betonrippenstähle im Beton. Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 1975.



Maße in mm

Bild 1 : Stange A
 Metrisches Gewinde M 16
 Stahl 4.6
 Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 113 \text{ mm}^2$



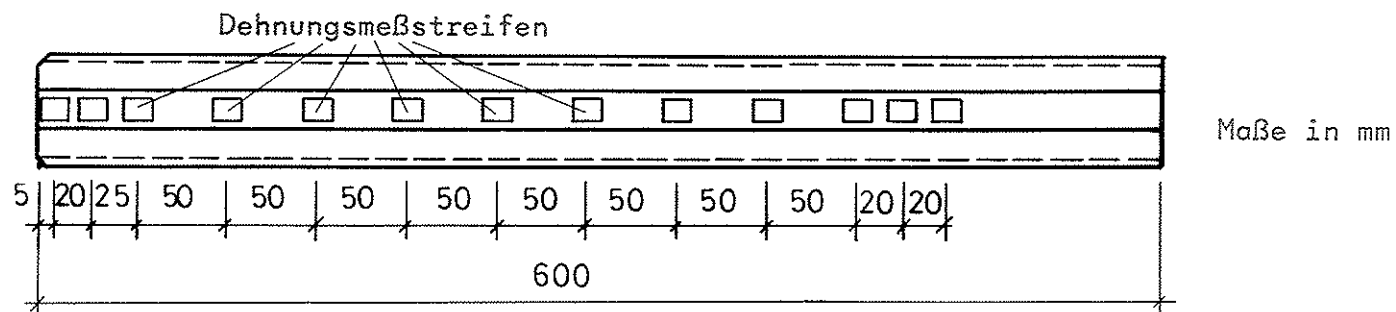


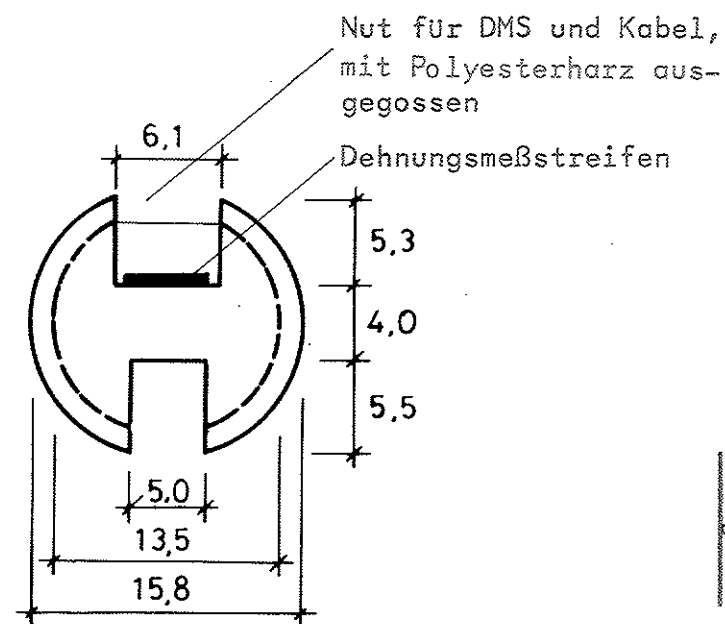
Bild 2 : Stange B

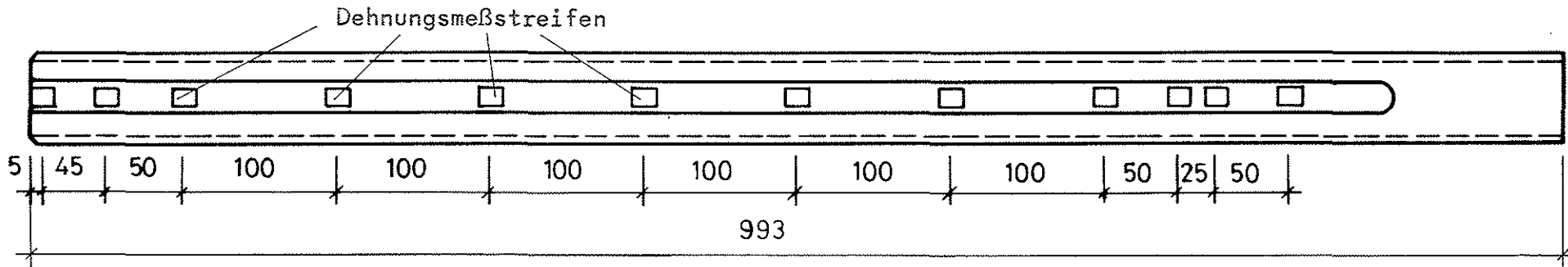
Metrisches Gewinde M 16

Zugfestigkeit: 435 N/mm^2

Streckgrenze: 260 N/mm^2

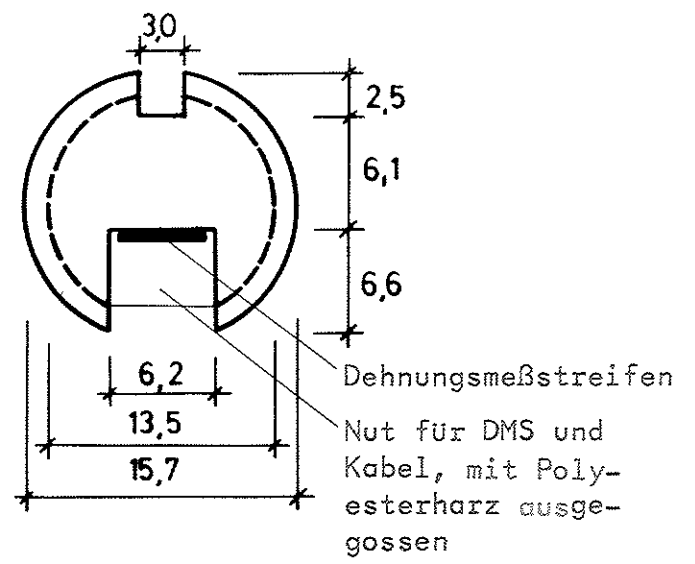
Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 93 \text{ mm}^2$



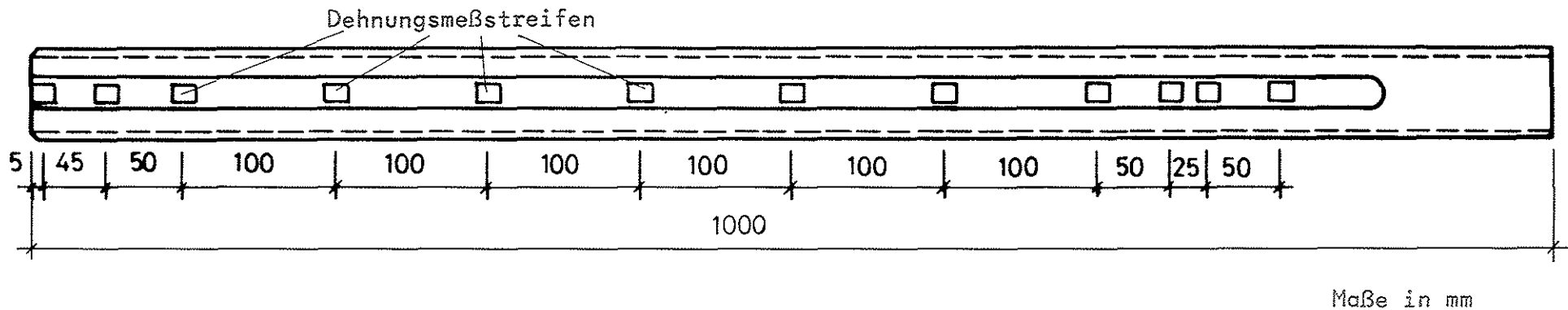


Maße in mm

Bild 3: Stange C
 Metrisches Gewinde M 16
 Stahl 8.8
 Vickershärte HV 10: 296
 Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 100 \text{ mm}^2$

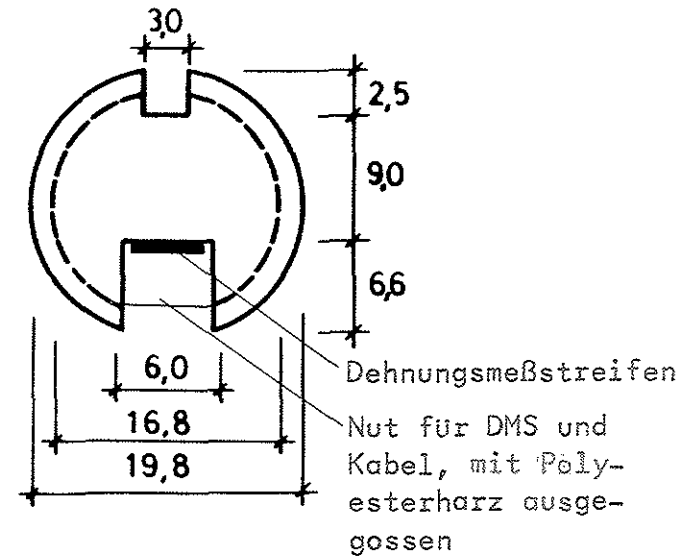


Anlage 3



Maße in mm

Bild 4 : Stange D
 Metrisches Gewinde M 20
 Stahl 8.8
 Vickershärte HV 10: 310
 Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 180 \text{ mm}^2$



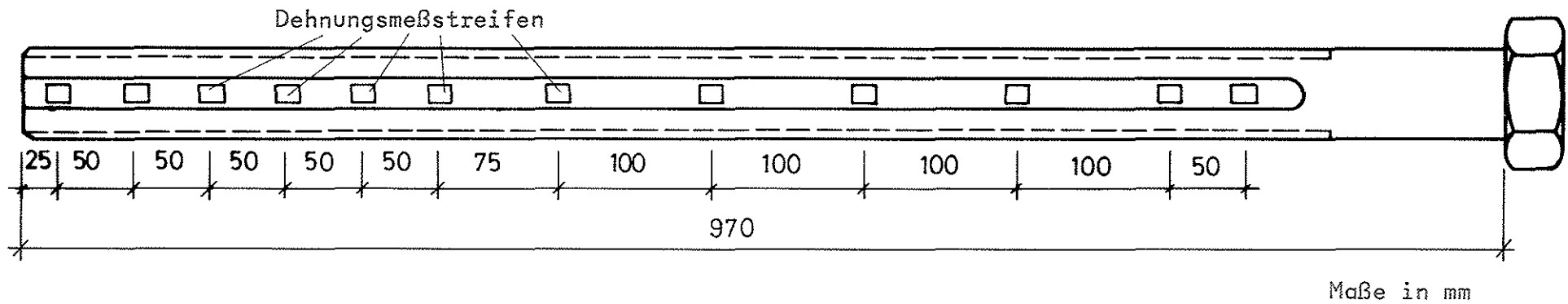
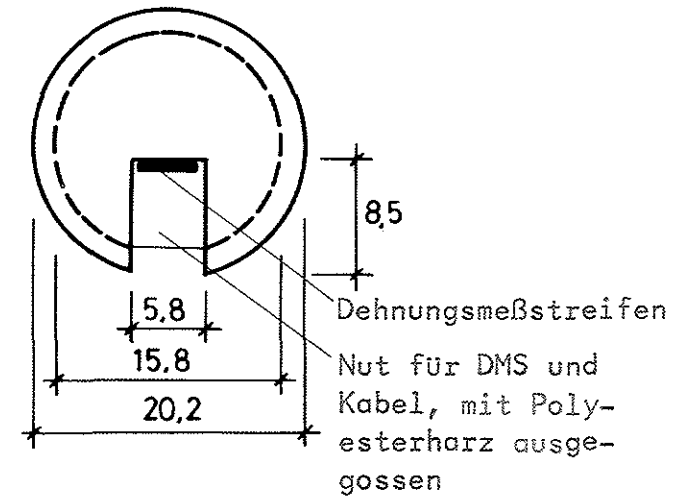


Bild 5 : Stange E

Schlüsselschraube $\varnothing 20$ mm

Streckgrenze: 470 - 500 N/mm²

Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 157 \text{ mm}^2$



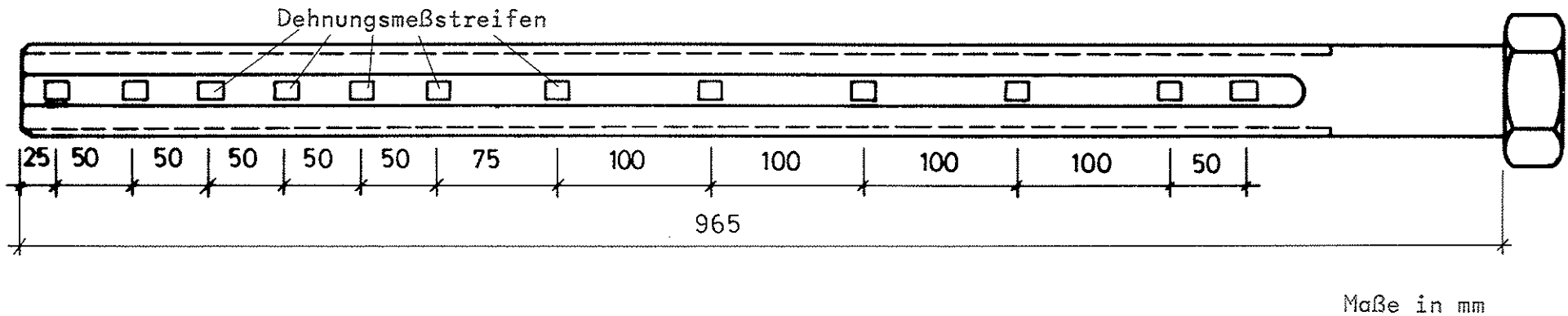
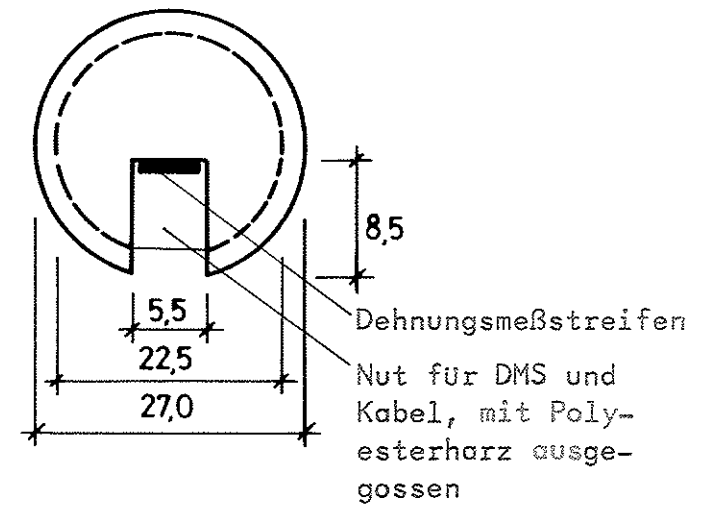


Bild 6 : Stange F

Schlüsselschraube $\varnothing 27 \text{ mm}$

Streckgrenze: $360 - 400 \text{ N/mm}^2$

Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 362 \text{ mm}^2$



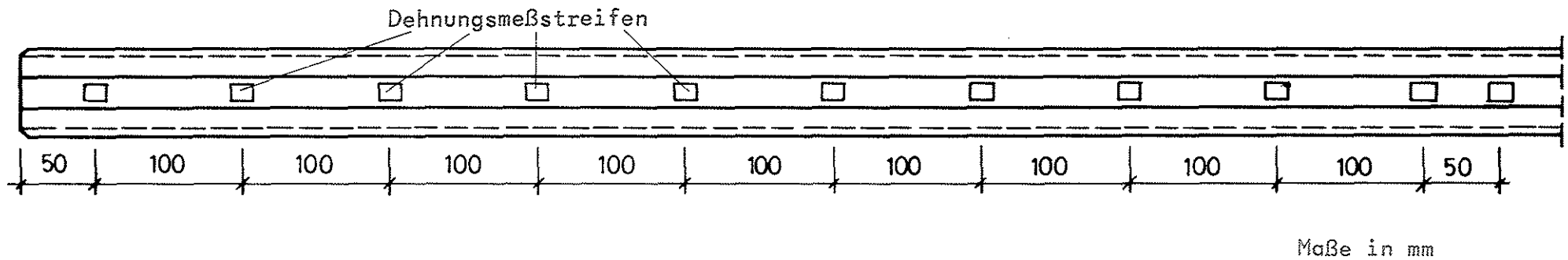
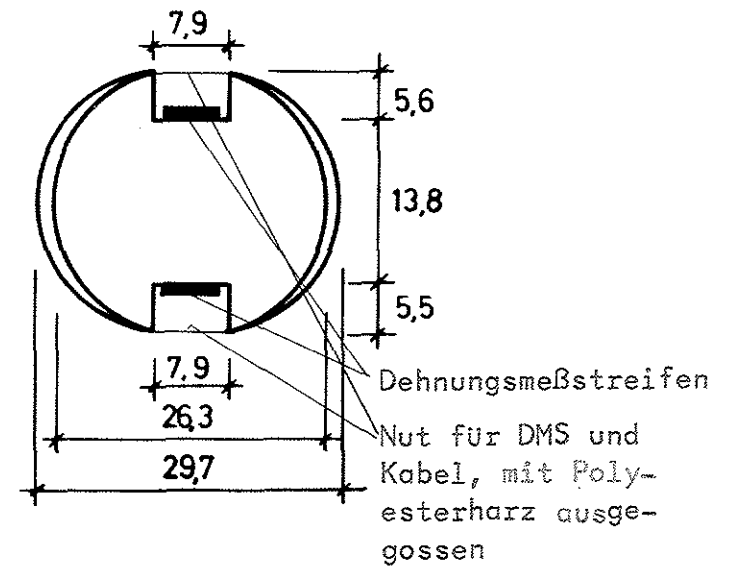


Bild 7 : Stange G
 GEWI - Stahl 1080/1230
 Nenndurchmesser: 26,5 mm
 Vickershärte HV 10: 353
 Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 450 \text{ mm}^2$



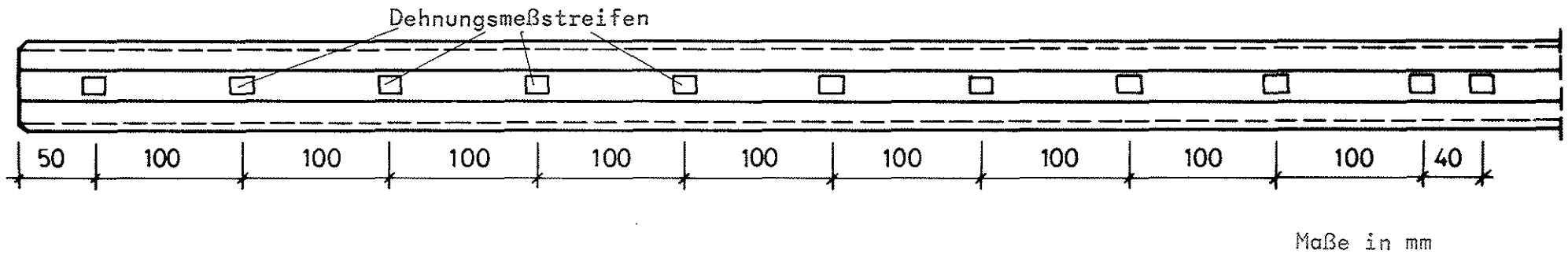
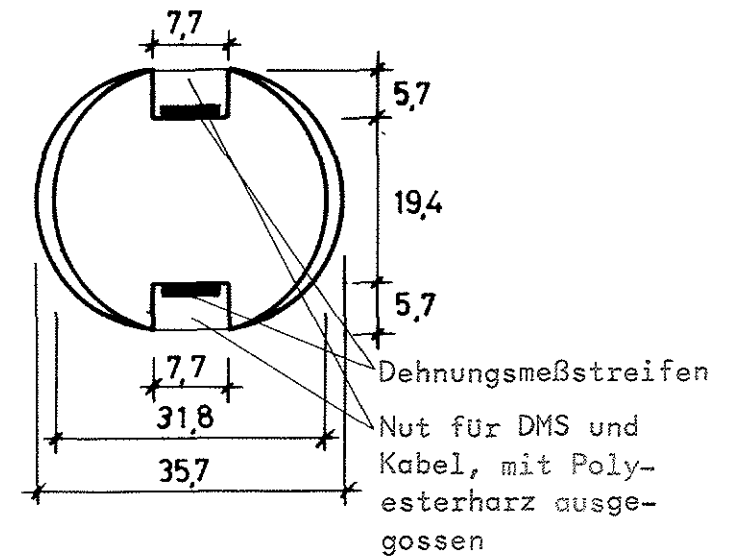


Bild 8 : Stange H
 GEWI - Stahl 1080/1230
 Nenndurchmesser: 32,0 mm
 Vickershärte HV 10: 347
 Nettoquerschnittsfläche: $A_N = 700 \text{ mm}^2$



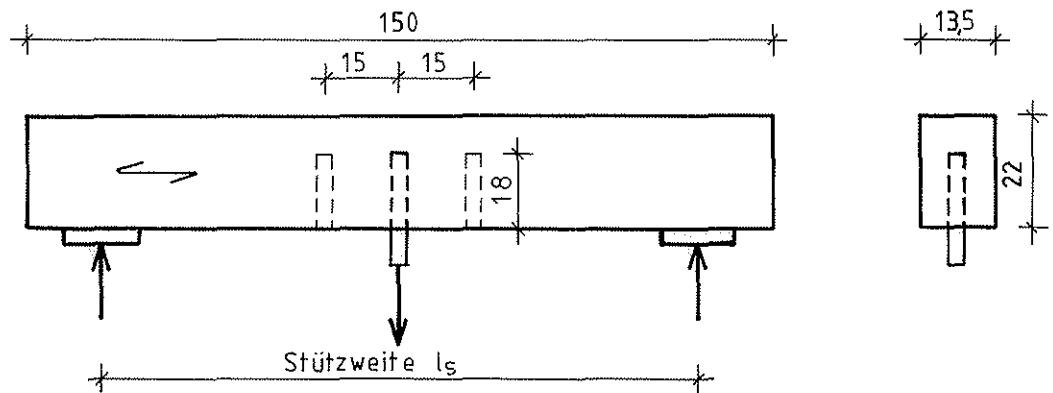


Bild 9
Versuchskörper Reihe A

Maße in cm

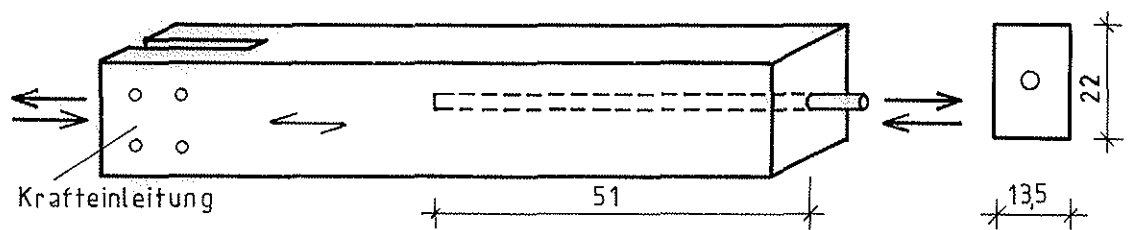


Bild 10
Versuchskörper Reihe B I und B III

Maße in cm

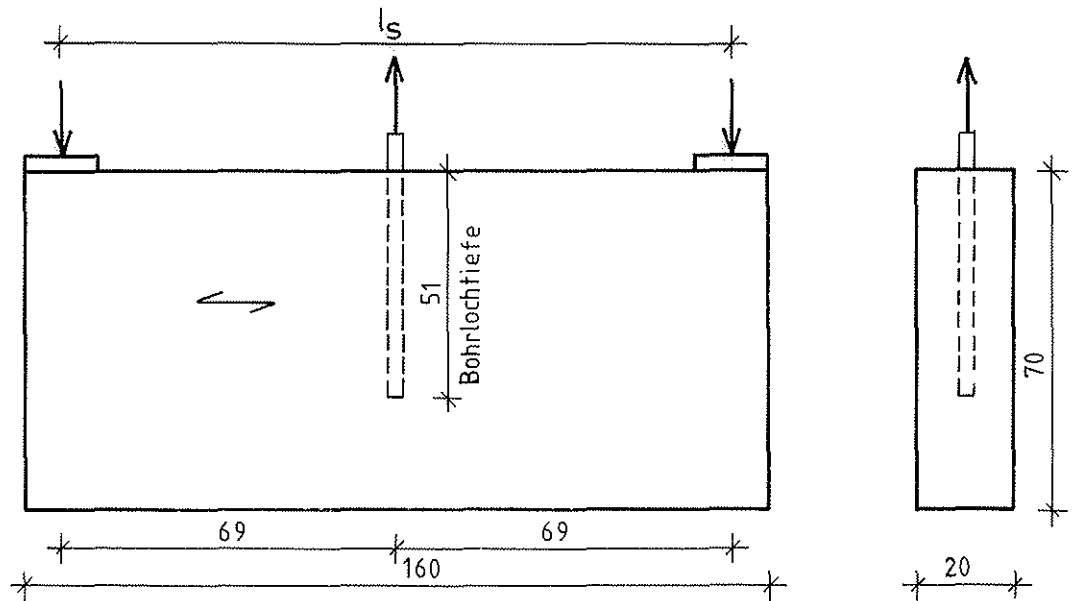


Bild 11

Versuchskörper Reihe B II und B IV

Maße in cm

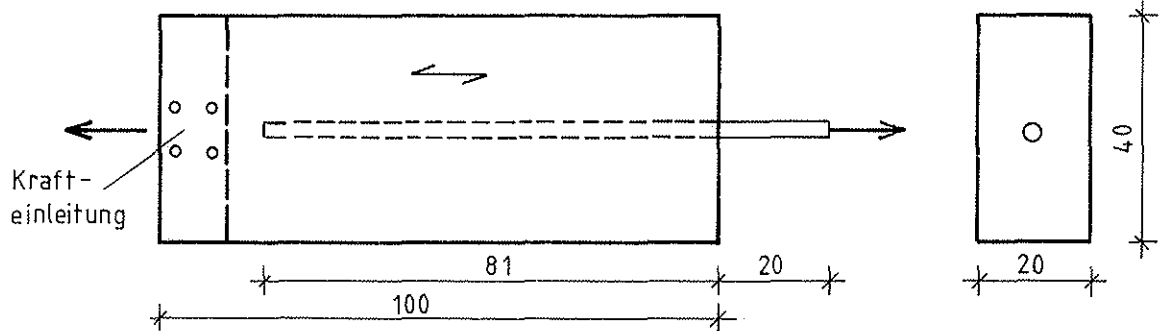


Bild 12

Versuchskörper Reihe C I und D I

Maße in cm

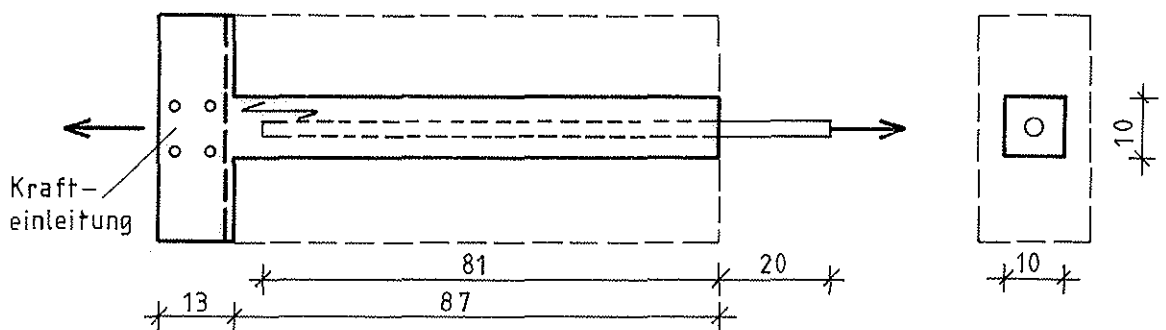


Bild 13

Versuchskörper Reihe C I L 4 und D I L 5

Maße in cm

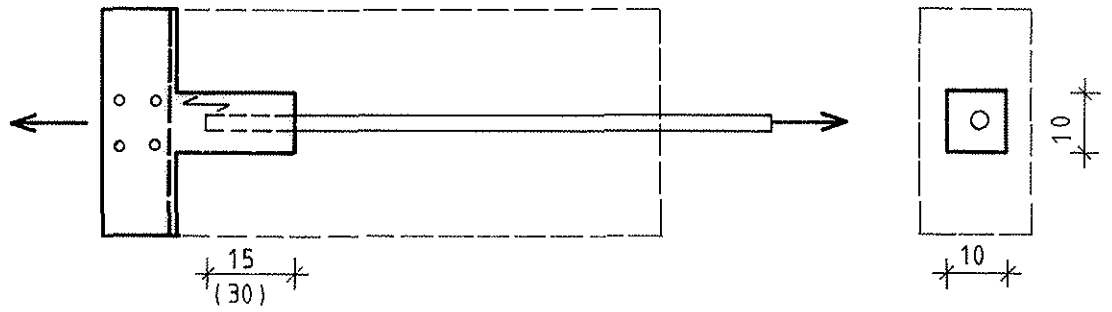


Bild 14

Versuchskörper Reihe C I L 6
(D I L 6)

Maße in cm

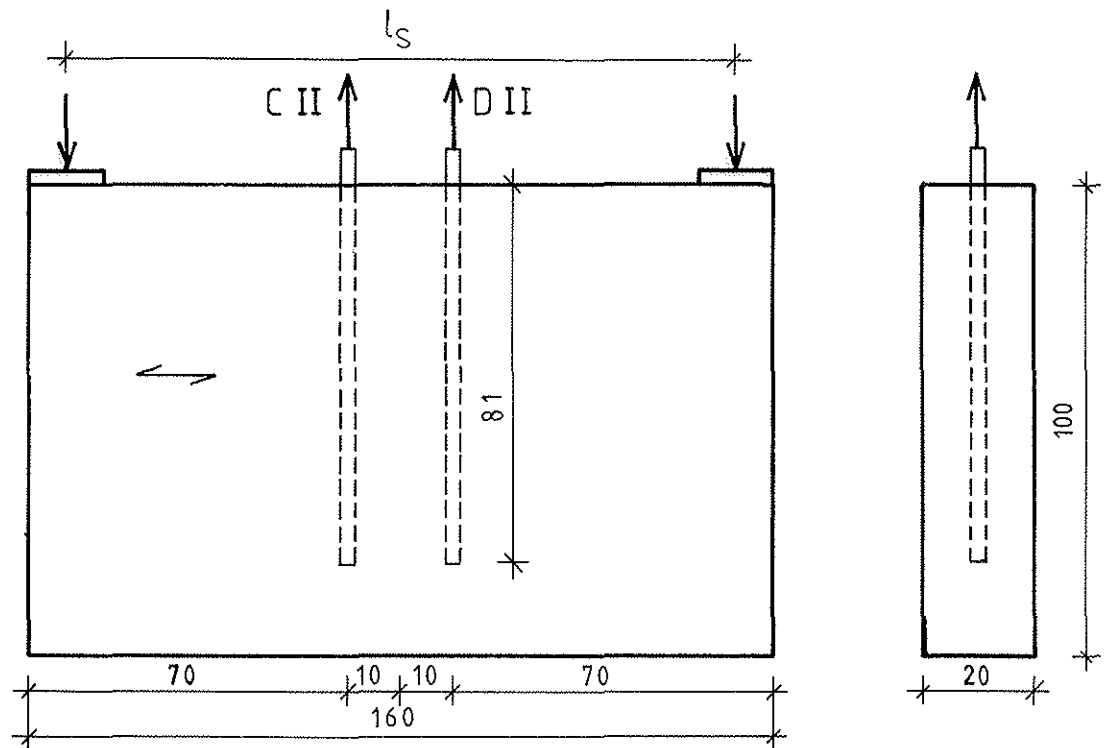


Bild 15

Versuchskörper Reihe C II und D II

Maße in cm

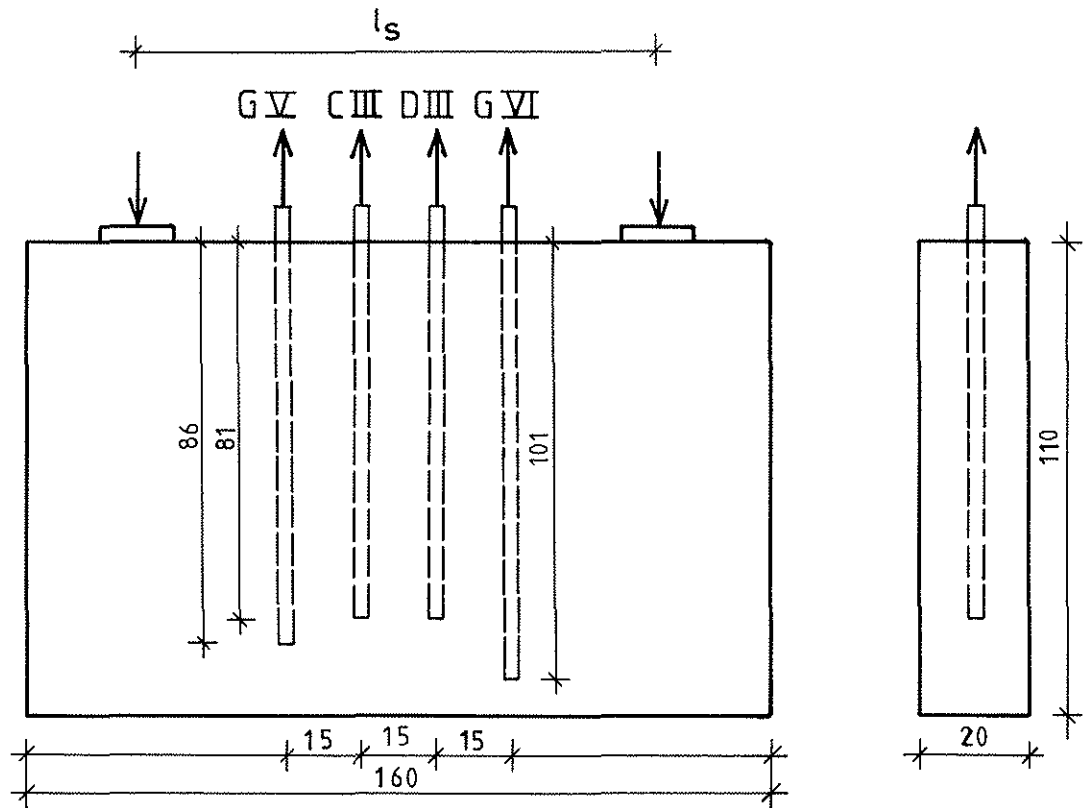


Bild 16

Versuchskörper Reihe C III, D III und G V, G VI

Maße in cm

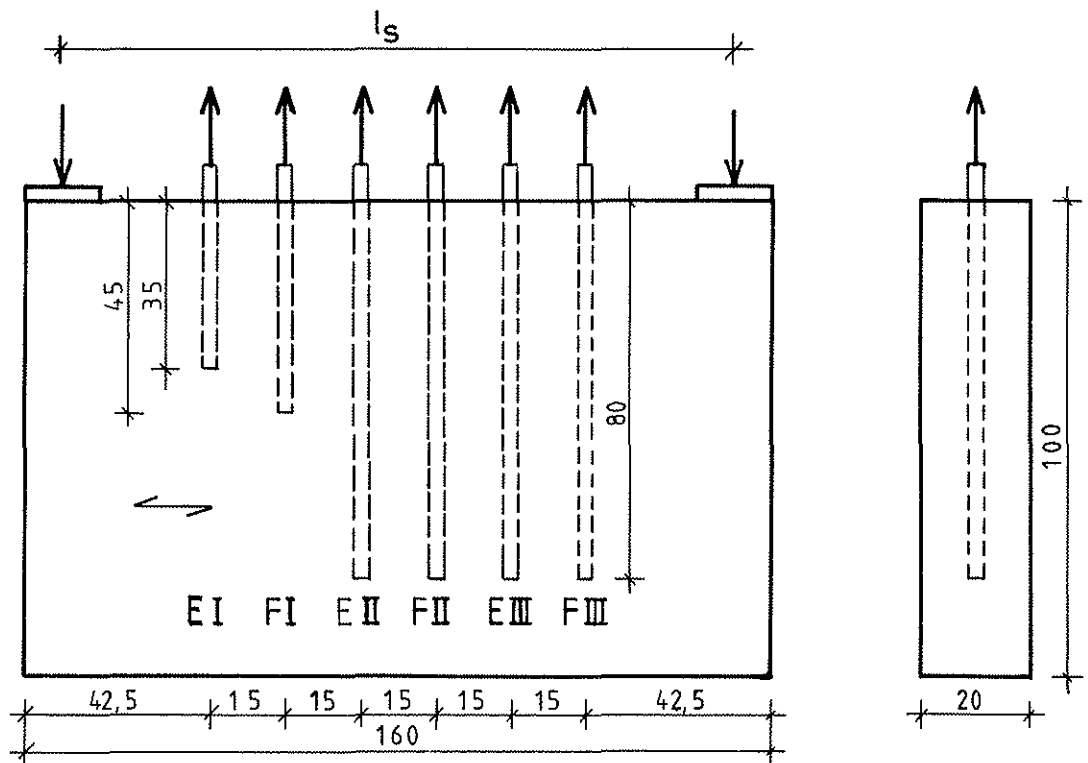


Bild 17

Versuchskörper Reihe E und F

Maße in cm

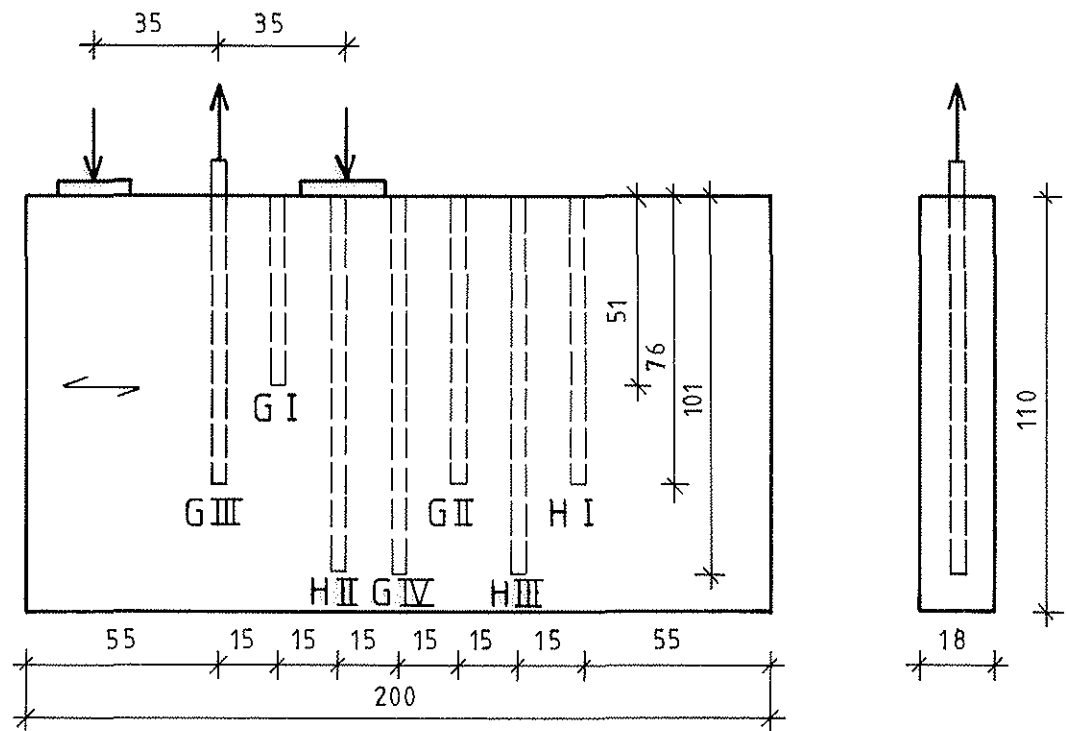


Bild 18

Versuchskörper Reihe G und H

Maße in cm

Tabelle 2: Versuchsübersicht

Reihe	Stange 1)	Bohr- Ø mm	Ein- schraub- tiefe mm	Rich- tung zur Faser	Bela- stung F kN	Kleber 2)	Bemerkungen
A 0.1	M 16	-	-	-	10	-	Kalibrieren der DMS
A 0.2	M 16	-	-	-	15	-	Kalibrieren der DMS
A 0.3	M 16	-	-	-	15	-	Kalibrieren der DMS
A I 1.1	M 16	15	50	⊥	3	-	Stützweite l = 100 cm
A I 1.2	M 16	15	50	⊥	3	-	Stützweite l = 100 cm
A I 2.1	M 16	15	80	⊥	4,5	-	Stützweite l = 100 cm
A I 2.2	M 16	15	80	⊥	4,5	-	Stützweite l = 100 cm
A I 2.3	M 16	15	80	⊥	4,5	-	Stützweite l = 100 cm
A I 3.1	M 16	15	110	⊥	6	-	Stützweite l = 100 cm
A I 3.2	M 16	15	110	⊥	6	-	Stützweite l = 100 cm
A I 4	M 16	15	140	⊥	7,4	-	l = 100 cm
A I 5	M 16	15	140	⊥	7,4	-	l = 50 cm
A I 6	M 16	15	140	⊥	7,4	-	l = 10 cm lichte Weite zwischen den Auflagerplatten
A I 7	M 16	15	140	⊥	7,4	-	l = 3,6 cm lichte Weite
A II 1	M 16	15	50	⊥	4,4	-	l = 100 cm
A II 2	M 16	15	80	⊥	5	-	l = 100 cm
A II 3	M 16	15	110	⊥	5,9	-	l = 100 cm
A II 4	M 16	15	140	⊥	7,4	-	l = 100 cm
A II 5	M 16	15	140	⊥	7,5	-	l = 50 cm
A II 6	M 16	15	140	⊥	7,5	-	l = 10 cm lichte Weite
A II 7	M 16	15	140	⊥	7,5	-	l = 3,6 cm lichte Weite
A II 8.1	M 16	15	170	⊥	8,8	-	l = 100 cm
A II 8.2	M 16	15	170	⊥	8,9	-	l = 100 cm
A II 9	M 16	15	170	⊥	8,8	-	l = 50 cm
A II 10.1	M 16	15	170	⊥	8,9	-	l = 10 cm lichte Weite
A II 10.2	M 16	15	170	⊥	8,9	-	l = 10 cm lichte Weite
A II 11	M 16	15	170	⊥	5,9	-	l = 50 cm
A III 1.1	M 16	15	140	⊥	7,5	-	} Ablesemodus variiert
A III 1.2	M 16	15	140	⊥	7,5	-	
A III 1.3	M 16	15	140	⊥	-	-	
A III 1.4	M 16	15	140	⊥	-	-	
A III 1.5	M 16	15	140	⊥	-	-	
A III 1.6	M 16	15	140	⊥	-	-	
A III 2.1	M 16	15	170	⊥	9	-	
A III 2.2	M 16	15	170	⊥	-	-	
A III 2.3	M 16	15	170	⊥	-	-	
A III 2.4	M 16	15	170	⊥	9	-	
A III 3.1 D	M 16	15	170	⊥	9,4	-	Druck
A III 3.2 D	M 16	15	170	⊥	9	-	Druck
A III 3.3 D	M 16	15	170	⊥	9	-	Druck
A III 4	M 16	15	170	⊥	27	-	Ausziehversuch
A 0.4	M 16	-	-	-	10	-	Kalibrierung
A IV L 1.1	M 16	15	140	⊥	9	R	
A IV L 1.2	M 16	15	140	⊥	7,5	R	
A IV L 2	M 16	15	140	⊥	36,2	R	Ausziehversuch

1) M = metrisches Gewinde, S = Schlüsselschrauben, G = GEWI-Stahl

2) R = Resorcin, PU = Polyurethan

Tabelle 2: (Fortsetzung)

Reihe	Stange 1)	Bohr- Ø mm	Ein- schraub- tiefe mm	Rich- tung zur Faser	Bela- stung F kN	Kleber 2)	Bemerkungen
B 0 1	M 16	-	-	-	10	-	
B 0 2	M 16	-	-	-	14,8	-	
B 0 3	M 16	-	-	-	14,9	-	
B I 1.1	M 16	15	170		9,9	-	
B I 1.2	M 16	15	170		11	-	
B I 1.3	M 16	15	170		9,75	-	
B I 2	M 16	15	220		9,9	-	
B I 3.1	M 16	15	320		14,9	-	
B I 3.2	M 16	15	320		15,1	-	
B I 4.1	M 16	15	420		18,8	-	
B I 4.2	M 16	15	420		19,8	-	
B I 5.1	M 16	15	480		19,9	-	
B I 5.2	M 16	15	480		19,9	-	
B I 6	M 16	15	500		19,9	-	
B I 7 D	M 16	15	500		14,9	-	Druck
B I 8 D	M 16	15	480		15,0	-	Druck
B II 1.1	M 16	15	170	⊥	10	-	
B II 1.2	M 16	15	170	⊥	10	-	
B II 1.3	M 16	15	170	⊥	10	-	
B II 2.1	M 16	15	220	⊥	10	-	
B II 2.2	M 16	15	220	⊥	10	-	
B II 2.3	M 16	15	220	⊥	10	-	
B II 2.4	M 16	15	220	⊥	10	-	
B II 3.1	M 16	15	320	⊥	15	-	
B II 3.2	M 16	15	320	⊥	15	-	
B II 3.3	M 16	15	320	⊥	15	-	
B II 3.4	M 16	15	320	⊥	15	-	
B II 4.1	M 16	15	420	⊥	20	-	
B II 4.2	M 16	15	420	⊥	20	-	
B II 4.3	M 16	15	420	⊥	20	-	
B II 4.4	M 16	15	420	⊥	20	-	
B II 5.1	M 16	15	480	⊥	20	-	
B II 5.2	M 16	15	480	⊥	20	-	
B II 5.3	M 16	15	480	⊥	20	-	
B II 6	M 16	15	480	⊥	28	-	Fließen
B II 7	M 16	15	480	⊥	20	-	
B III L 1.1	M 16	15	480		20	R	
B III L 1.2	M 16	15	480		20	R	
B III L 1.3	M 16	15	480		20	R	
B III L 1.4	M 16	15	480		29	R	
B III L 1.5	M 16	15	480		30	R	
B III L 2.1 D	M 16	15	480		14,9	R	Druck
B III L 2.2 D	M 16	15	480		19,7	R	Druck
B III L 2.3 D	M 16	15	480		20,1	R	Druck
B IV L 1.1	M 16	15	480	⊥	30	R	
B IV L 1.2	M 16	15	480	⊥	30	R	
B IV L 1.3	M 16	15	480	⊥	30	R	
B IV L 2	M 16	15	480	⊥	40,5	R	Stange gerissen

1) M = metrisches Gewinde, S = Schlüsselschraube, G = GEWI-Stahl

2) R = Resorcin, PU = Polyuretan

Tabelle 2: (Fortsetzung)

Reihe	Stange 1)	Bohr- Ø mm	Ein- schraub- tiefe mm	Rich- tung zur Faser	Bela- stung F kN	Kleber 2)	Bemerkungen
C 0 1	M 16	-	-	-	25	-	
C 0 2	M 16	-	-	-	25	-	
C 0 3	M 16	-	-	-	25	-	
D 0 1	M 20	-	-	-	50	-	
D 0 2	M 20	-	-	-	50	-	
D 0 3	M 20	-	-	-	50	-	
C I 1.1	M 16	15	800		25	-	Stange ausgezogen (Bohrloch zu groß)
C I 1.2	M 16	15	800		17	-	
D I 1.1	M 20	18	800		50	-	
D I 1.2	M 20	18	800		50	-	
D I 1.3	M 20	18	800		58	-	Einspannung versagt
C I L 1.1	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 20/40 cm
C I L 1.2	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 20/40 cm
C I L 1.3	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 20/40 cm
C I L 1.4	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 20/40 cm
C I L 2.1	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 20/20 cm
C I L 2.2	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 20/20 cm
C I L 3.1	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 13/13 cm
C I L 3.2	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 13/13 cm
C I L 4.1	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
C I L 4.2	M 16	15	800		35	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
C I L 4.3	M 16	15	800		50	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
C I L 5 D	M 16	15	800		50	R	Druck, Ausknicken nach 1/2 min
C I L 6	M 16	15	150		36	R	Ausziehversuche
D I L 1.1	M 20	18	800		50	R	Querschnitt \varnothing 20/40 cm
D I L 1.2	M 20	18	800		50	R	Querschnitt \varnothing 20/40 cm
D I L 1.3	M 20	18	800		89	R	Einspannung versagt
D I L 2.1 D	M 20	18	800		50	R	Druck
D I L 2.2.0	M 20	18	800		50	R	Druck
D I L 2.3 D	M 20	18	800		50	R	Druck
D I L 3.1 D	M 20	18	800		50	R	Druck, Querschnitt \varnothing 16/16 cm
D I L 3.2 D	M 20	18	800		50	R	Druck, Querschnitt \varnothing 16/16 cm
D I L 3.3 D	M 20	18	800		50	R	Druck, Querschnitt \varnothing 16/16 cm
D I L 4.1	M 20	18	800		50	R	Querschnitt \varnothing 16/16 cm
D I L 4.2	M 20	18	800		100	R	Querschnitt \varnothing 16/16 cm
D I L 5.1	M 20	18	800		50	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
D I L 5.2	M 20	18	800		50	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
D I L 5.3	M 20	18	800		100	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
D I L 6.1	M 20	18	300		100	R	Querschnitt \varnothing 10/10 cm
D I L 6.2	M 20	18	300		98,6	R	Ausziehversuch
C 0 4	M 16	-	-	-	25	-	
C 0 5	M 16	-	-	-	25	-	
C 0 6	M 16	-	-	-	50	-	
D 0 4	M 20	-	-	-	50	-	
D 0 5	M 20	-	-	-	100	-	
D 0 6	M 20	-	-	-	100	-	

1) M = metrisches Gewinde, S = Schlüsselschraube, G = GEWI-Stahl

2) R = Resorcin, PU = Polyurethan

Tabelle 2: (Fortsetzung)

Reihe	Stange 1)	Bohr- Ø mm	Ein- schraub- tiefe mm	Rich- tung zur Faser	Bela- stung F kN	Kleber 2)	Bemerkungen
C II L 1.1	M 16	15	800	⊥	50	R	
C II L 1.2	M 16	15	800	⊥	50	R	
C II L 1.3	M 16	15	800	⊥	50	R	
C II L 1.4	M 16	15	800	⊥	50	R	
D II L 1.1	M 20	18	800	⊥	100	R	
D II L 1.2	M 20	18	800	⊥	40	R	
D II L 1.3	M 20	18	800	⊥	100	R	
D II L 1.4	M 20	18	800	⊥	100	R	
D II L 1.5	M 20	18	800	⊥	40	R	
C 0 7	M 16	-	-	-	50	-	
C 0 8	M 16	-	-	-	50	-	
C 0 9	M 16	-	-	-	50	-	
D 0 7	M 20	-	-	-	80	-	
D 0 8	M 20	-	-	-	100	-	
D 0 9	M 20	-	-	-	100	-	
C III L 1.1	M 16	16	800	⊥	50	R	gut einzuleimen
C III L 1.2	M 16	16	800	⊥	50	R	
C III L 1.3	M 16	16	800	⊥	50	R	
C III L 1.4	M 16	16	800	⊥	50	R	
D III L 1.1	M 20	20	800	⊥	80	R	gut einzuleimen
D III L 1.2	M 20	20	800	⊥	100	R	
D III L 1.3	M 20	20	800	⊥	100	R	
D III L 1.4	M 20	20	800	⊥	100	R	
E 0 1	S 20	-	-	-	50	-	
F 0 1	S 27	-	-	-	50	-	
F 0 2	S 27	-	-	-	50	-	
F 0 3	S 27	-	-	-	100	-	
F 0 4	S 27	-	-	-	100	-	
F 0 5	S 27	-	-	-	100	-	
E I 1.1	S 20	18	300	⊥	50	-	
E I 1.2	S 20	18	300	⊥	50	-	
E I 1.3	S 20	18	300	⊥	70	-	Ausziehversuch
F I 1.1	S 27	24	400	⊥	80	-	
F I 1.2	S 27	24	400	⊥	80	-	
F I 1.3	S 27	24	400	⊥	145	-	Stahl fließt
F I 2.1	S 27	24	350	⊥	60	-	
F I 2.2	S 27	24	350	⊥	140	-	
F I 3.1	S 27	24	300	⊥	80	-	
F I 3.2	S 27	24	300	⊥	130	-	Ausziehversuch
E II 1.1	S 20	18	750	⊥	80	-	Stahl beginnt zu fließen
E II 1.2	S 20	18	750	⊥	75	-	
E II 1.3	S 20	18	750	⊥	75	-	
E II 1.4	S 20	18	750	⊥	75	-	
F II 1.1	S 27	24	750	⊥	130	-	
F II 1.2	S 27	24	750	⊥	130	-	
F II 1.3	S 27	24	750	⊥	130	-	

1) M = metrisches Gewinde, S = Schlüsselschraube, G = GEWI-Stahl

2) R = Resorcin, PU = Polyurethan

Tabelle 2: (Fortsetzung)

Reihe	Stange 1)	Bohr- Ø mm	Ein- schraub- tiefe mm	Rich- tung zur Faser	Bela- stung F kN	Kleber 2)	Bemerkungen
E III L 1.1	S 20	18	750	⊥	75	R	
E III L 1.2	S 20	18	750	⊥	75	R	
E III L 1.3	S 20	18	750	⊥	75	R	
E III L 1.4	S 20	18	750	⊥	75	R	
F III L 1.1	S 27	24	750	⊥	130	R	
F III L 1.2	S 27	24	750	⊥	130	R	
F III L 1.3	S 27	24	750	⊥	130	R	
F III L 1.4	S 27	24	750	⊥	130	R	
G 0 1	G 26,5	-	-	-	200	-	
G 0 2	G 26,5	-	-	-	200	-	
G 0 3	G 26,5	-	-	-	200	-	
G 0 4	G 26,5	-	-	-	200	-	
G I L 1	G 26,5	30	500	⊥	70	R	
G I L 2	G 26,5	30	500	⊥	100	R	
G I L 3	G 26,5	30	500	⊥	130	R	Ausziehversuch
G II L 1	G 26,5	30	750	⊥	70	R	
G II L 2	G 26,5	30	750	⊥	100	R	
G II L 3	G 26,5	30	750	⊥	100	R	Ausziehversuch, Leim alt
G III L 1	G 26,5	30	750	⊥	70	R	
G III L 2	G 26,5	30	750	⊥	100	R	
G III L 3	G 26,5	30	750	⊥	130	R	
G III L 4	G 26,5	30	750	⊥	166	R	Ausziehversuch
G IV L 1	G 26,5	30	1000	⊥	100	R	
G IV L 2	G 26,5	30	1000	⊥	130	R	
G IV L 3	G 26,5	30	1000	⊥	160	R	
G IV L 4	G 26,5	30	1000	⊥	200	R	
G IV L 5	G 26,5	30	1000	⊥	217	R	Ausziehversuch
G V L 1	G 26,5	30	850	⊥	100	PU	
G V L 2	G 26,5	30	850	⊥	150	PU	
G V L 3	G 26,5	30	850	⊥	200	PU	
G V L 4	G 26,5	20	850	⊥	317	PU	Ausziehversuch
G VI L 1	G 26,5	30	1000	⊥	100	PU	
G VI L 2	G 26,5	30	1000	⊥	200	PU	
G VI L 3	G 26,5	30	1000	⊥	300	PU	
G VI L 4	G 26,5	30	1000	⊥	350	PU	Ausziehversuch
H 0 1	G 32	-	-	-	200	-	
H 0 2	G 32	-	-	-	300	-	
H 0 3	G 32	-	-	-	300	-	
H 0 4	G 32	-	-	-	360	-	
H I L 1	G 32	36	750	⊥	100	R	
H I L 2	G 32	36	750	⊥	180	R	
H I L 3	G 32	36	750	⊥	230	R	Ausziehversuch
H II L 1	G 32	36	1000	⊥	100	R	
H II L 2	G 32	36	1000	⊥	180	R	
H II L 3	G 32	36	1000	⊥	260	R	
H II L 4	G 32	36	1000	⊥	319	R	Ausziehversuch
H III L 1	G 32	36	850	⊥	100	PU	
H III L 2	G 32	36	850	⊥	200	PU	
H III L 3	G 32	36	850	⊥	300	PU	
H III L 4	G 32	36	850	⊥	389	PU	Ausziehversuch

1) M = metrisches Gewinde, S = Schlüsselschraube, G = GEWI-Stahl

2) R = Resorcin, PU = Polyurethan

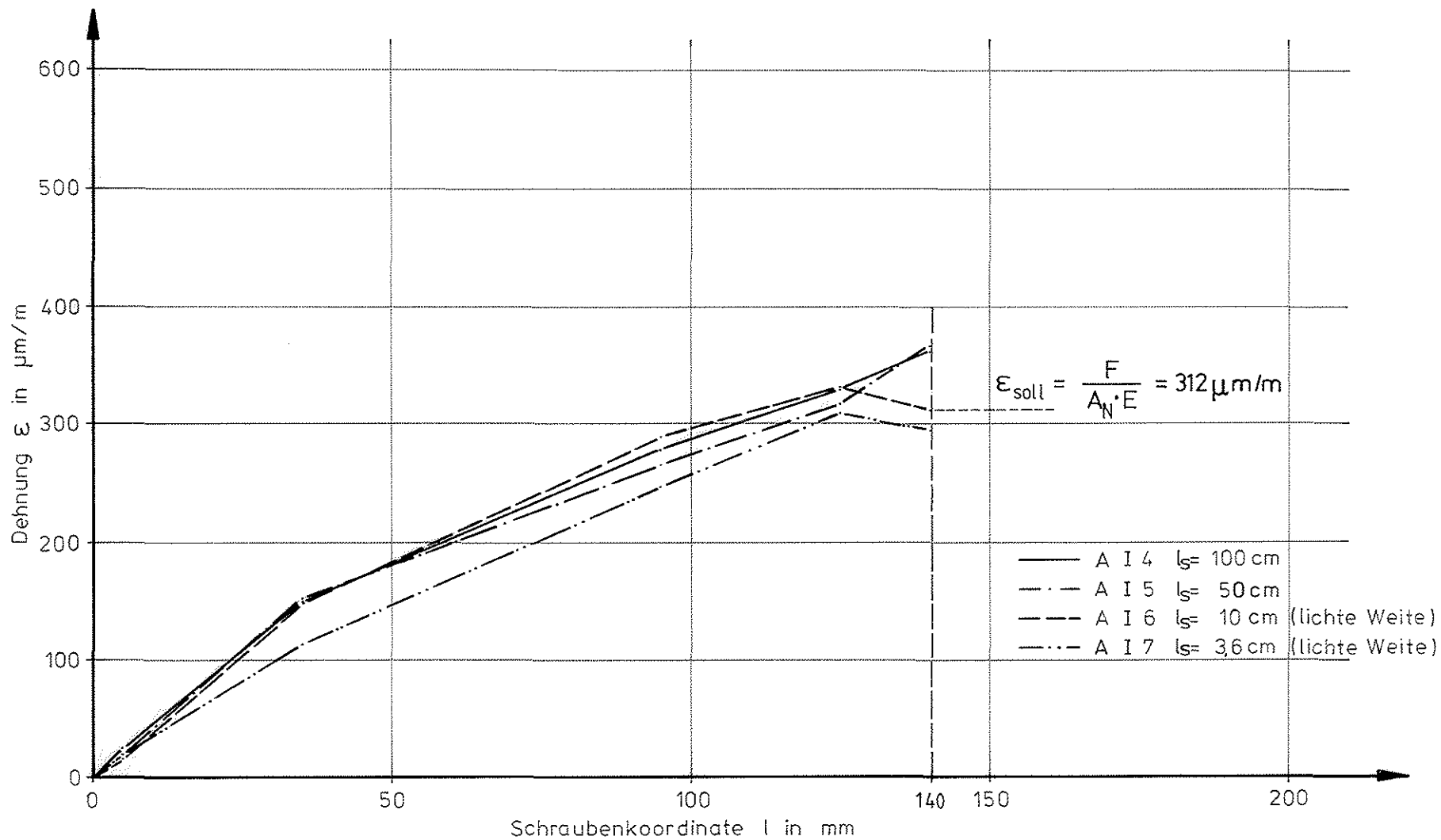


Bild 31 Dehnung - Einschraubtiefe

Reihe: A I 4 bis 7
 Gewindestange M16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 140 mm
 Laststufe: $F = 7,4 \text{ kN}$

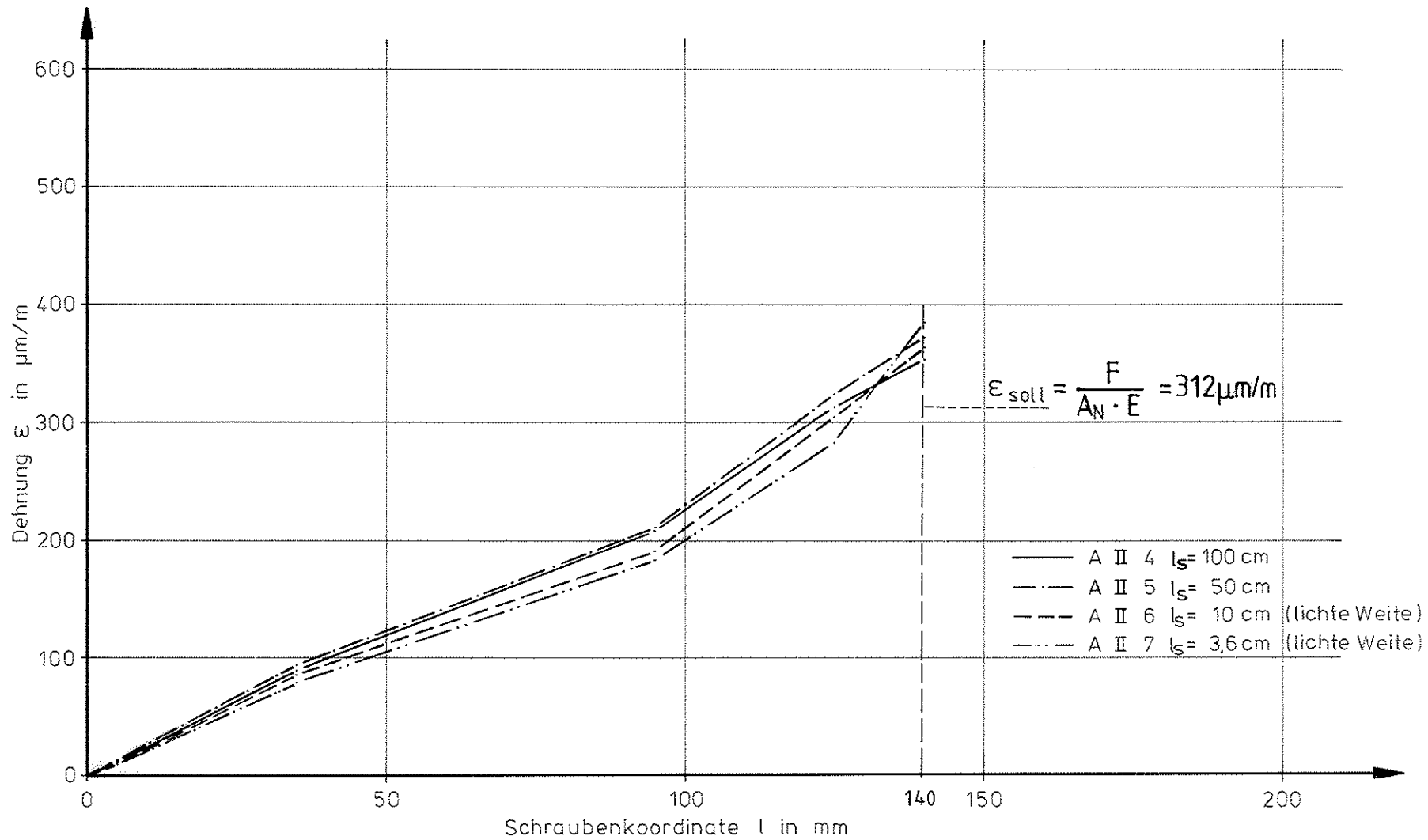


Bild 32

Dehnung - Einschraubtiefe

Reihe : A II 4 bis 7
 Gewindestange M16 ohne Leim

Einschraubtiefe : 140 mm
 Laststufe : $F = 7,4$ kN

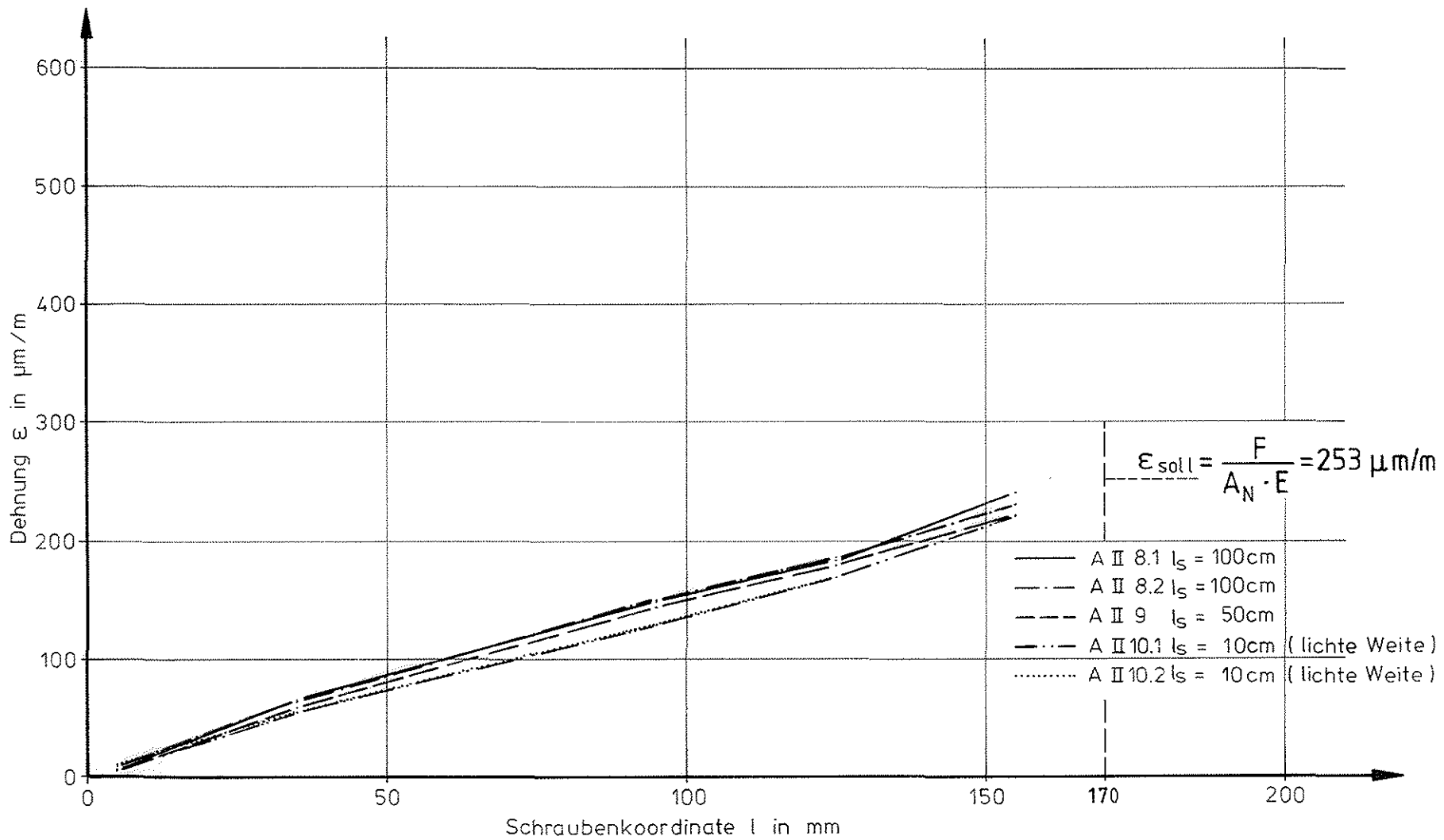


Bild 33

Dehnung - Einschraubtiefe

Reihe: A II 8 bis 10
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 170 mm
 Laststufe: $F = 6,0 \text{ kN}$

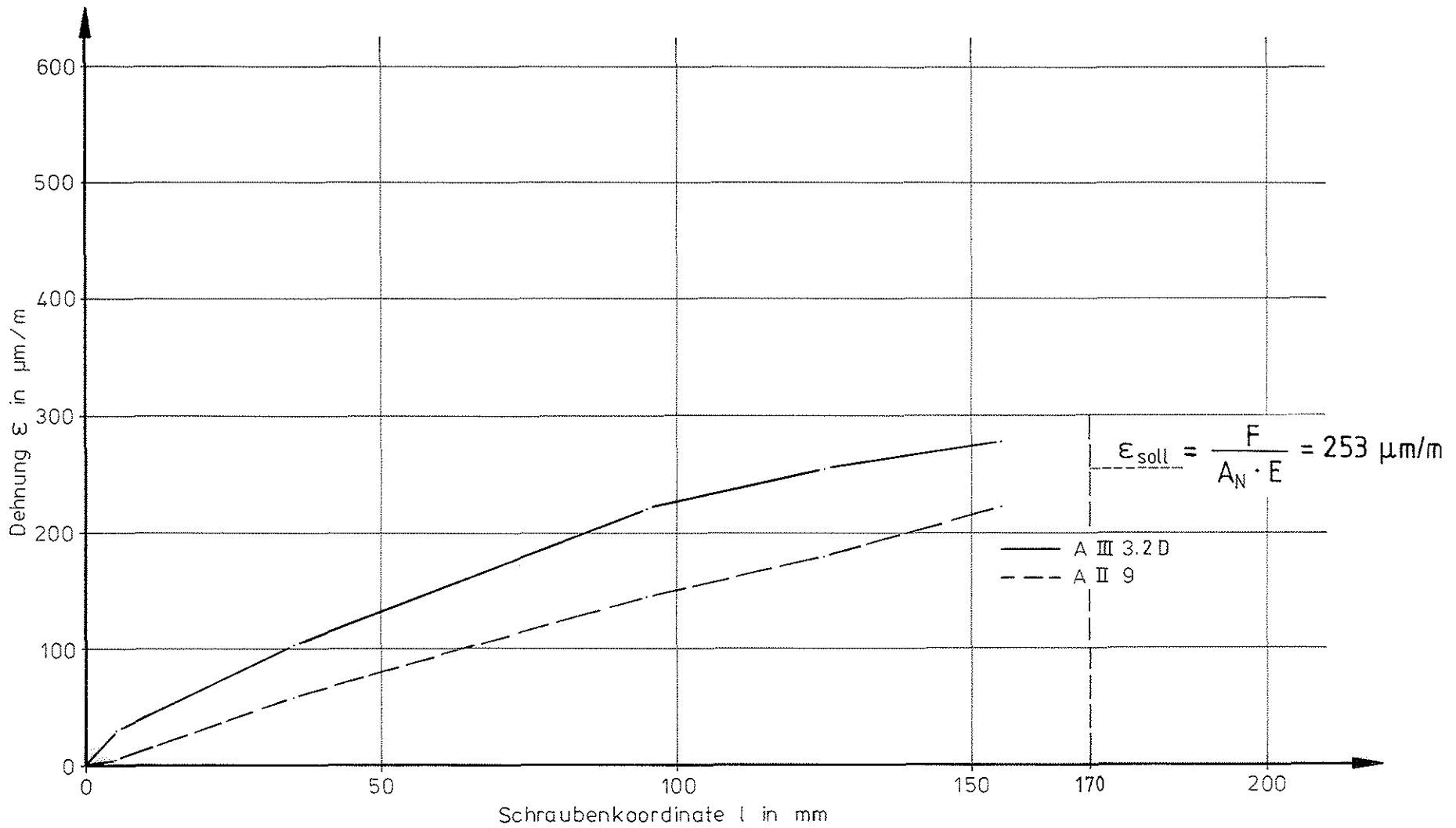


Bild 34

Dehnung - Einschraubtiefe

Reihe: A II 9 und A III 3.2 D
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 170 mm
 Laststufe: $F = 6,0$ kN

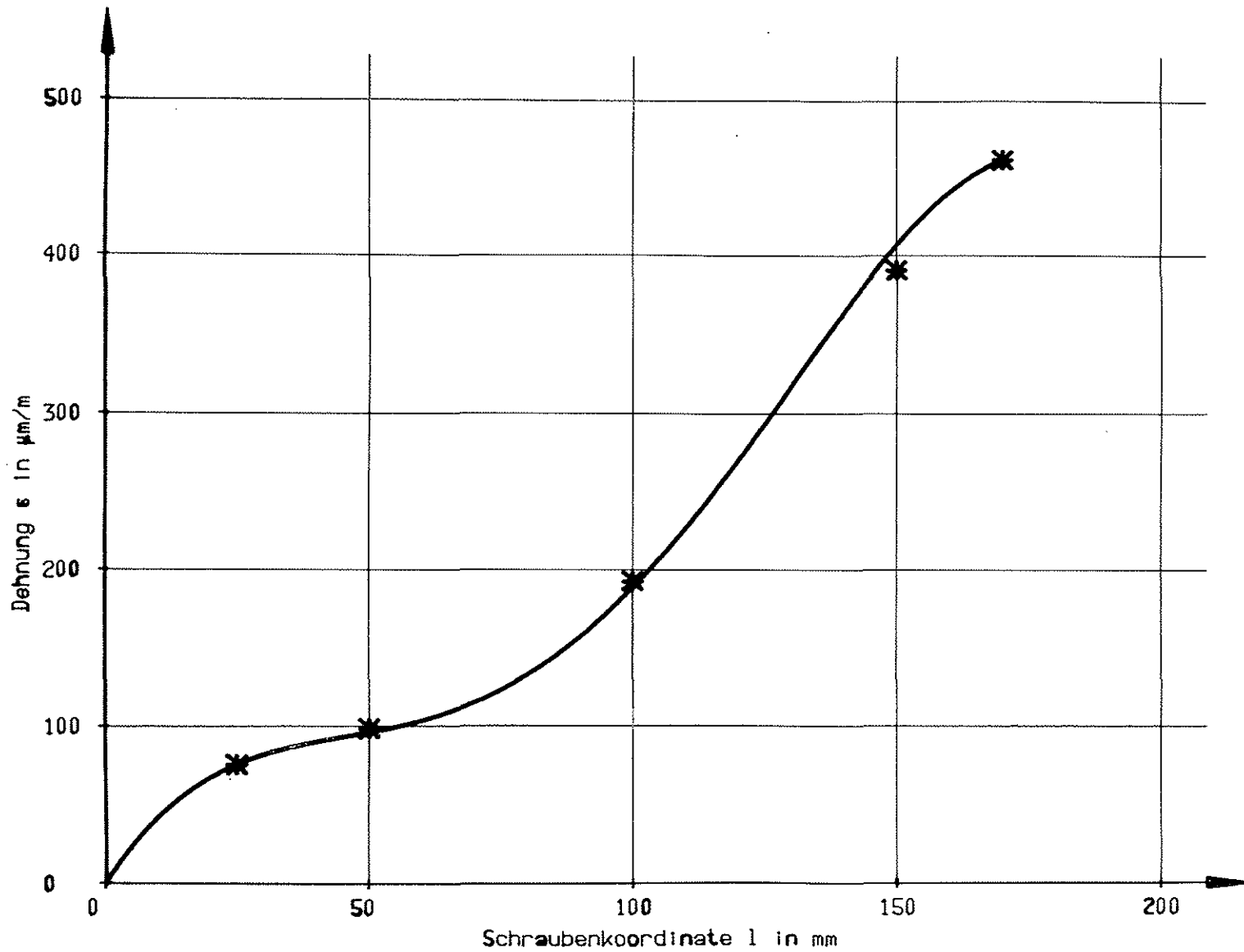


BILD 35 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 1.2

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 170 mm

Laststufe: 10.0 kN

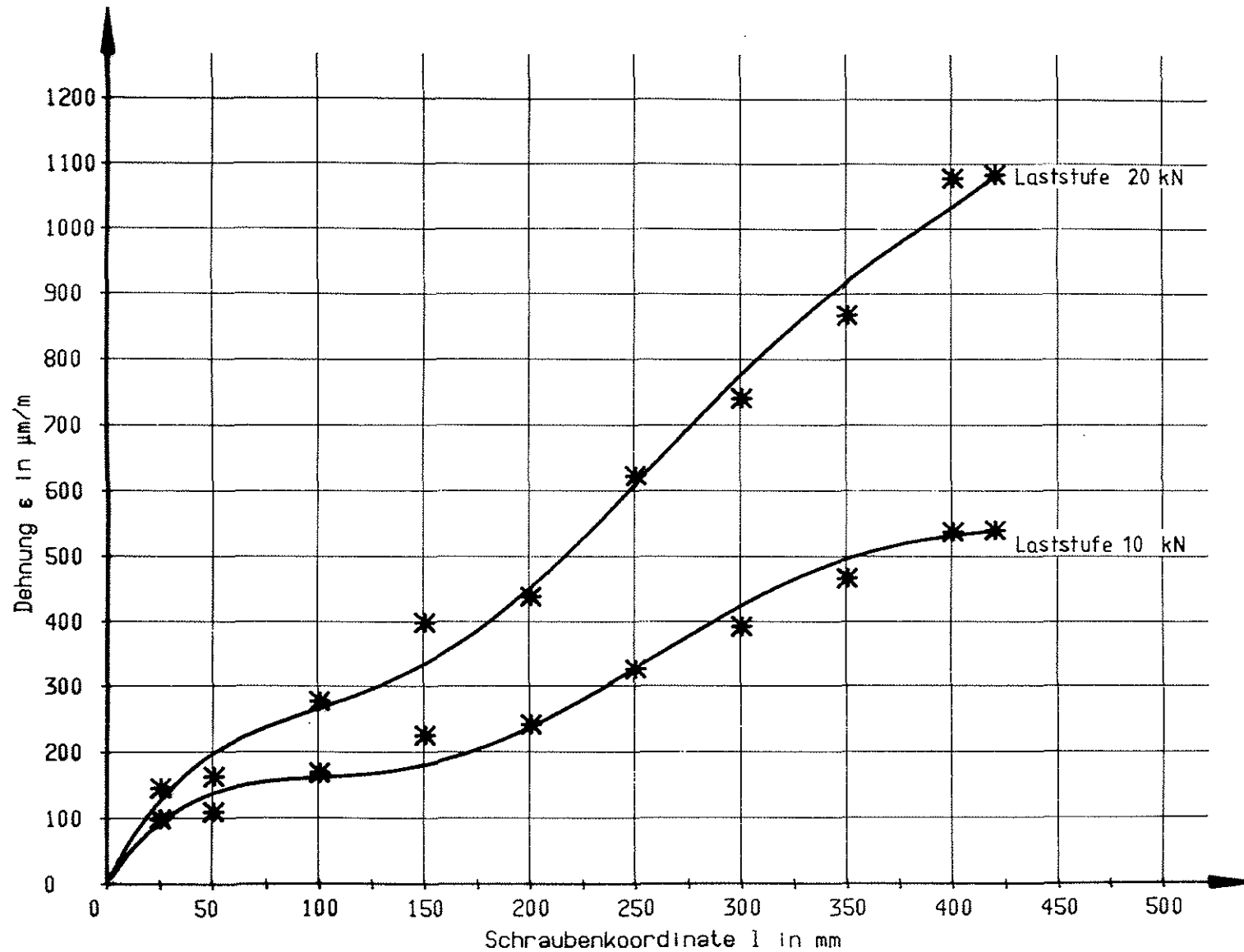


BILD 36 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 4.2
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 420 mm
 Laststufe: 10 - 20 kN

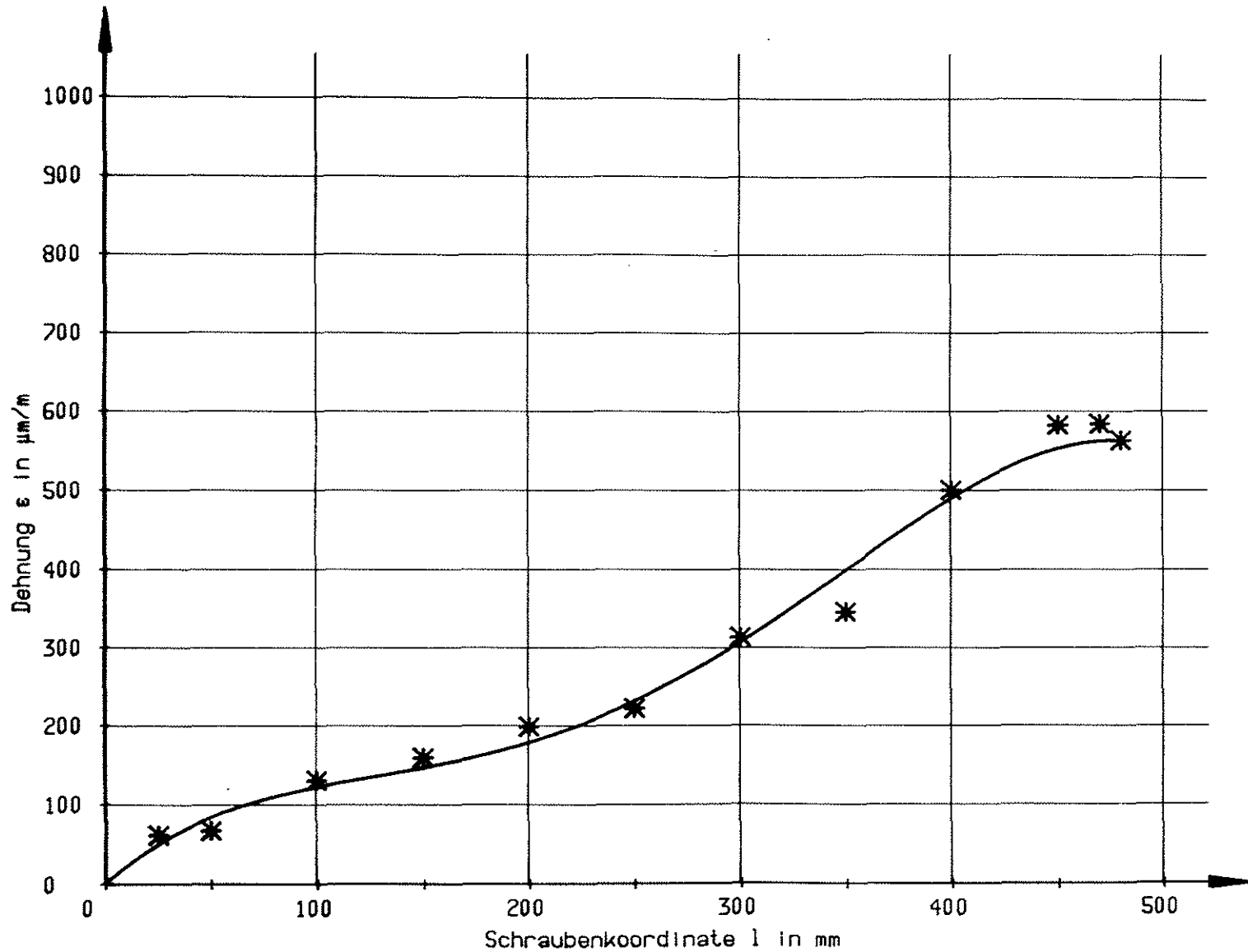


BILD 37 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 5.1

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 10 kN

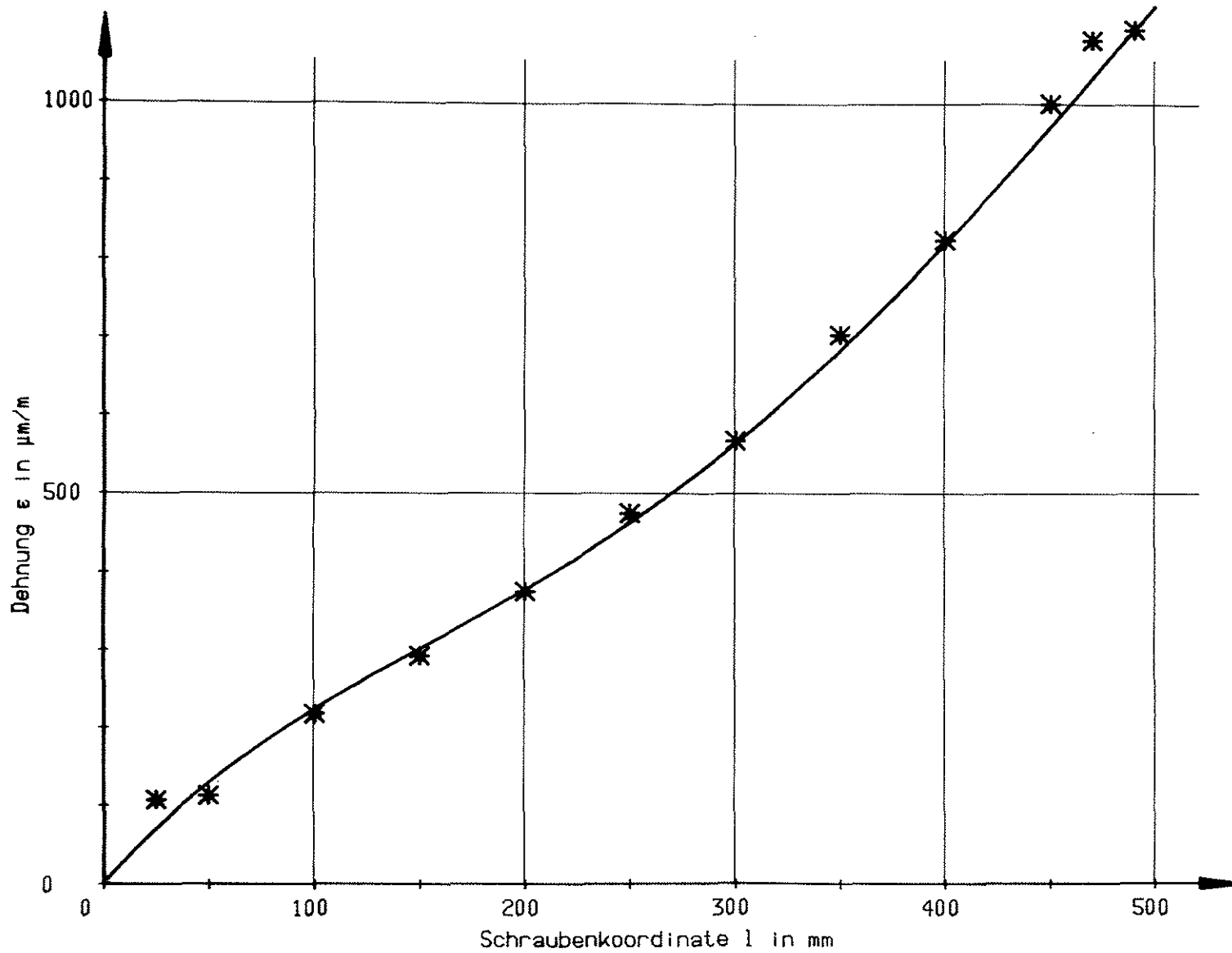


BILD 38 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 6

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 500 mm

Laststufe: 20 kN

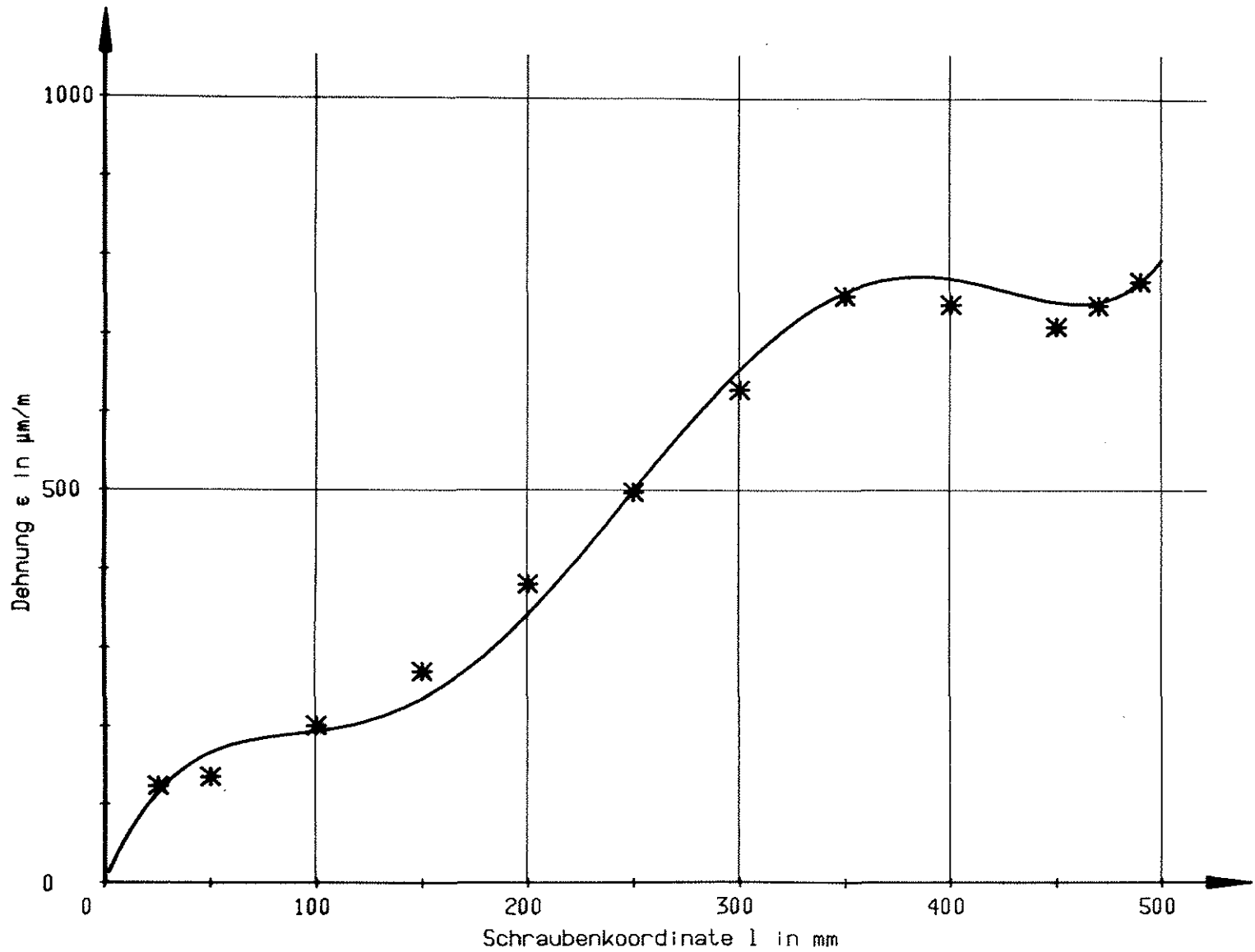


BILD 39 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 7 D
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 15 kN

ANLAGE 27

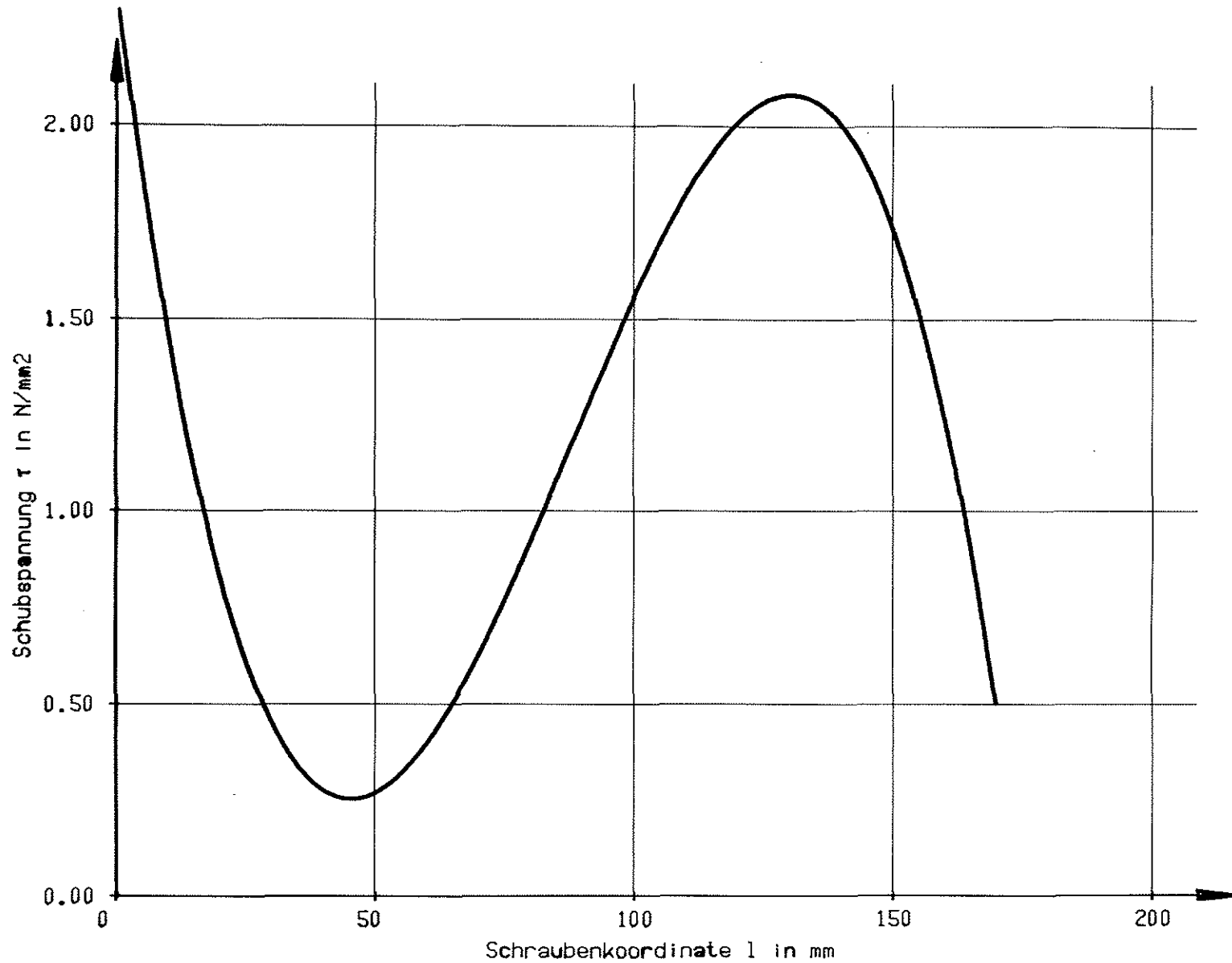


BILD 40 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 1.2
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 170 mm
 Laststufe: 10.0 kN

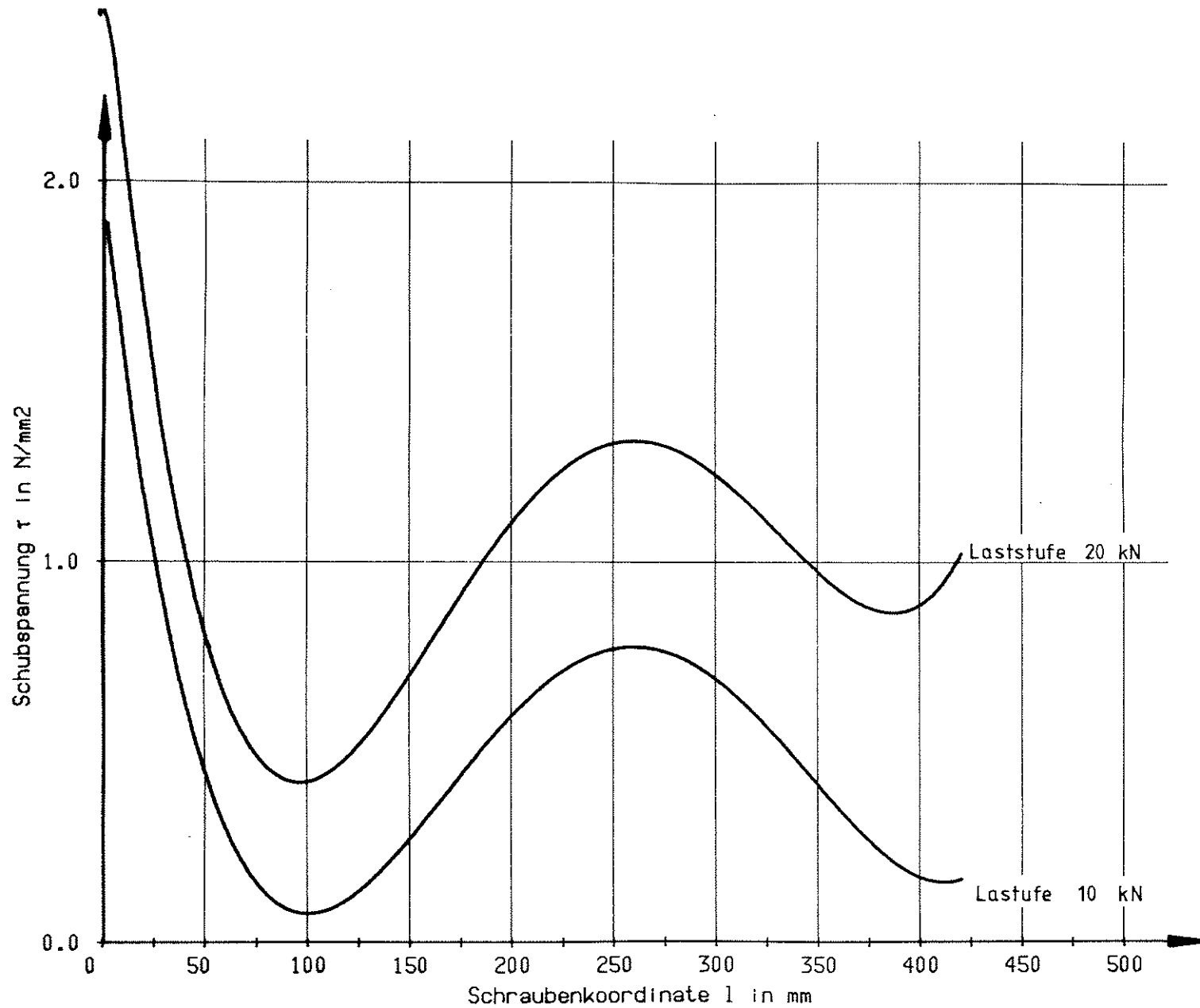


BILD 41 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 4.2
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 420 mm
 Laststufe: 10 - 20 kN

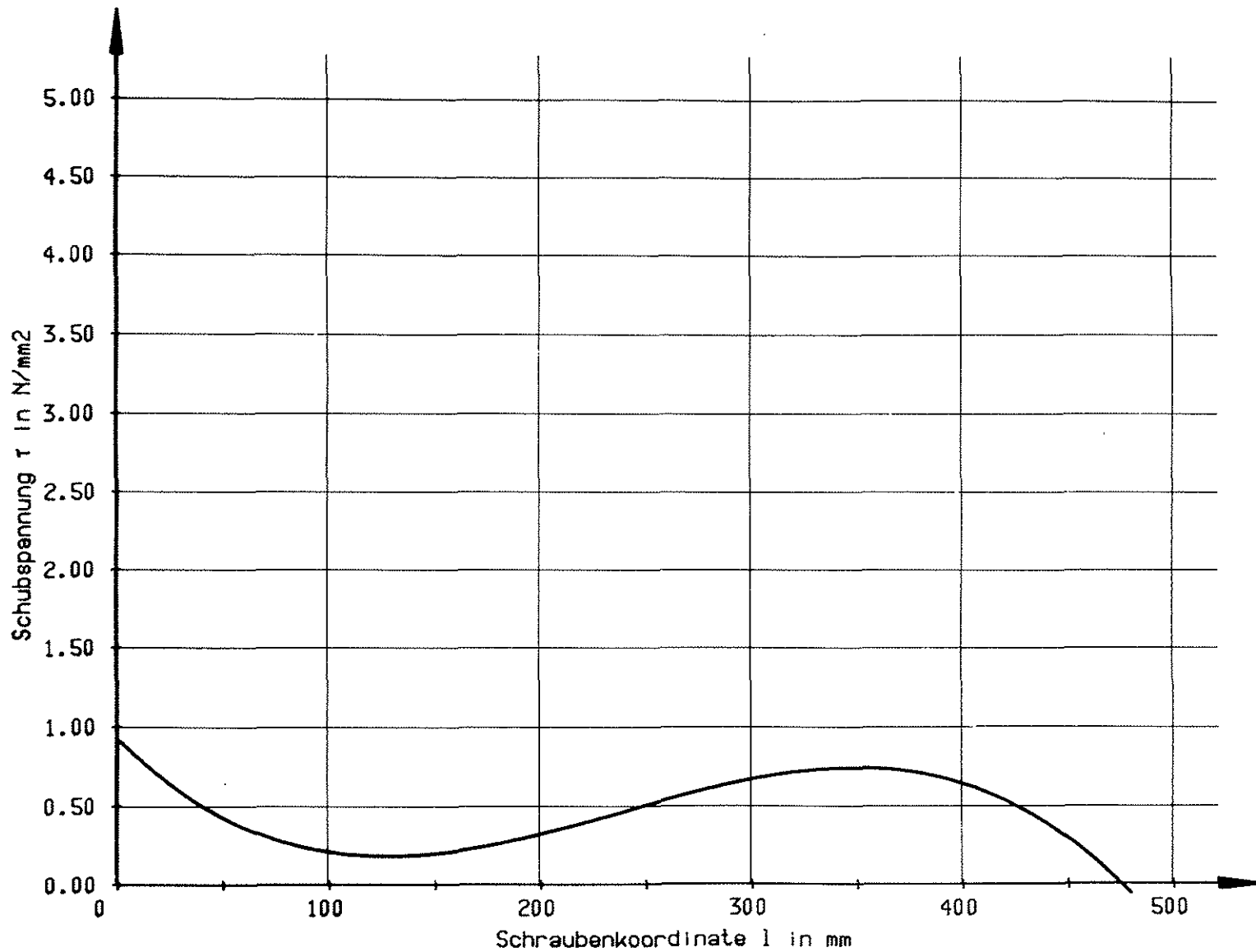


BILD 42 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 5.1

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 10 kN

ANLAGE 30

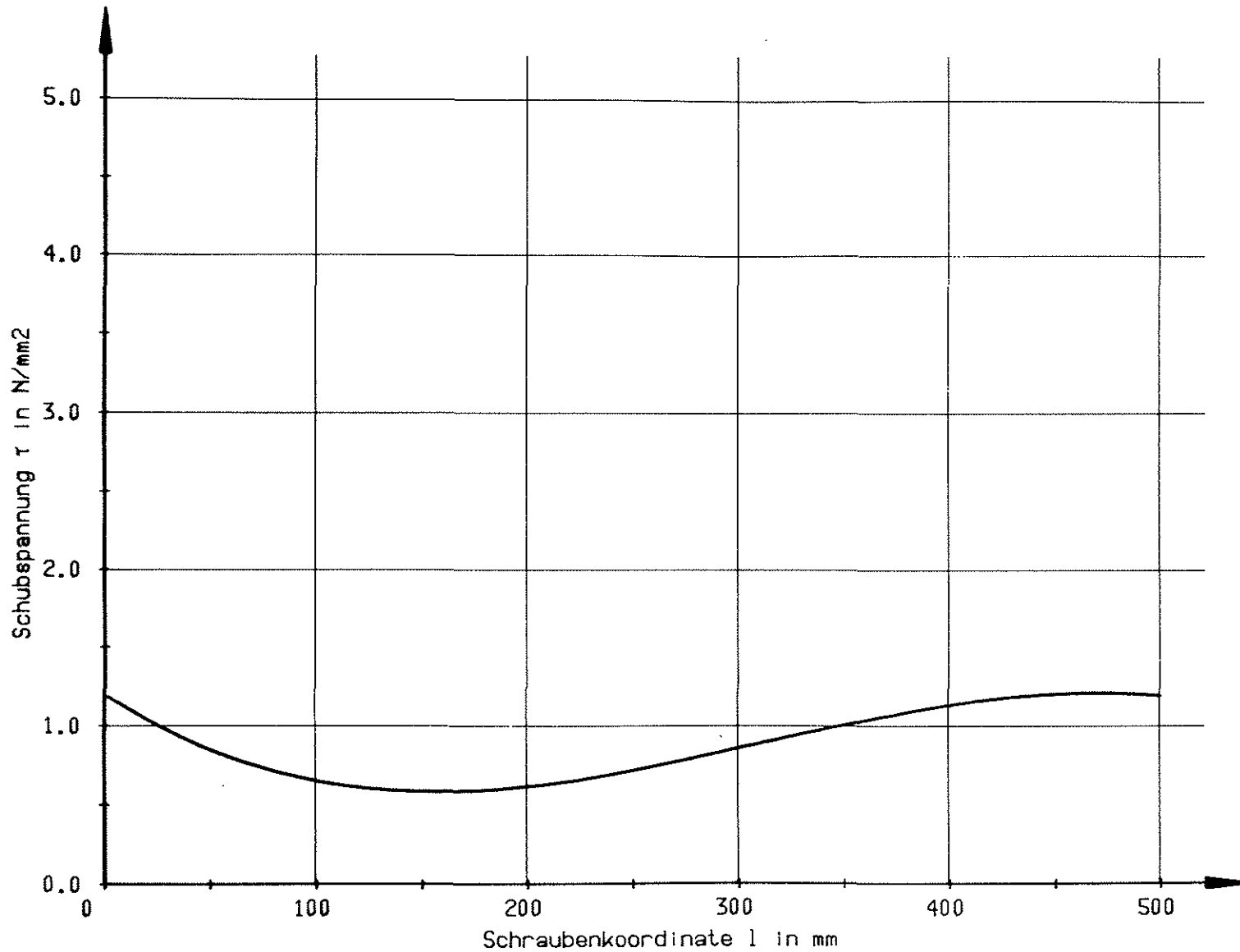


BILD 43 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 6
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 20 kN

ANLAGE 31

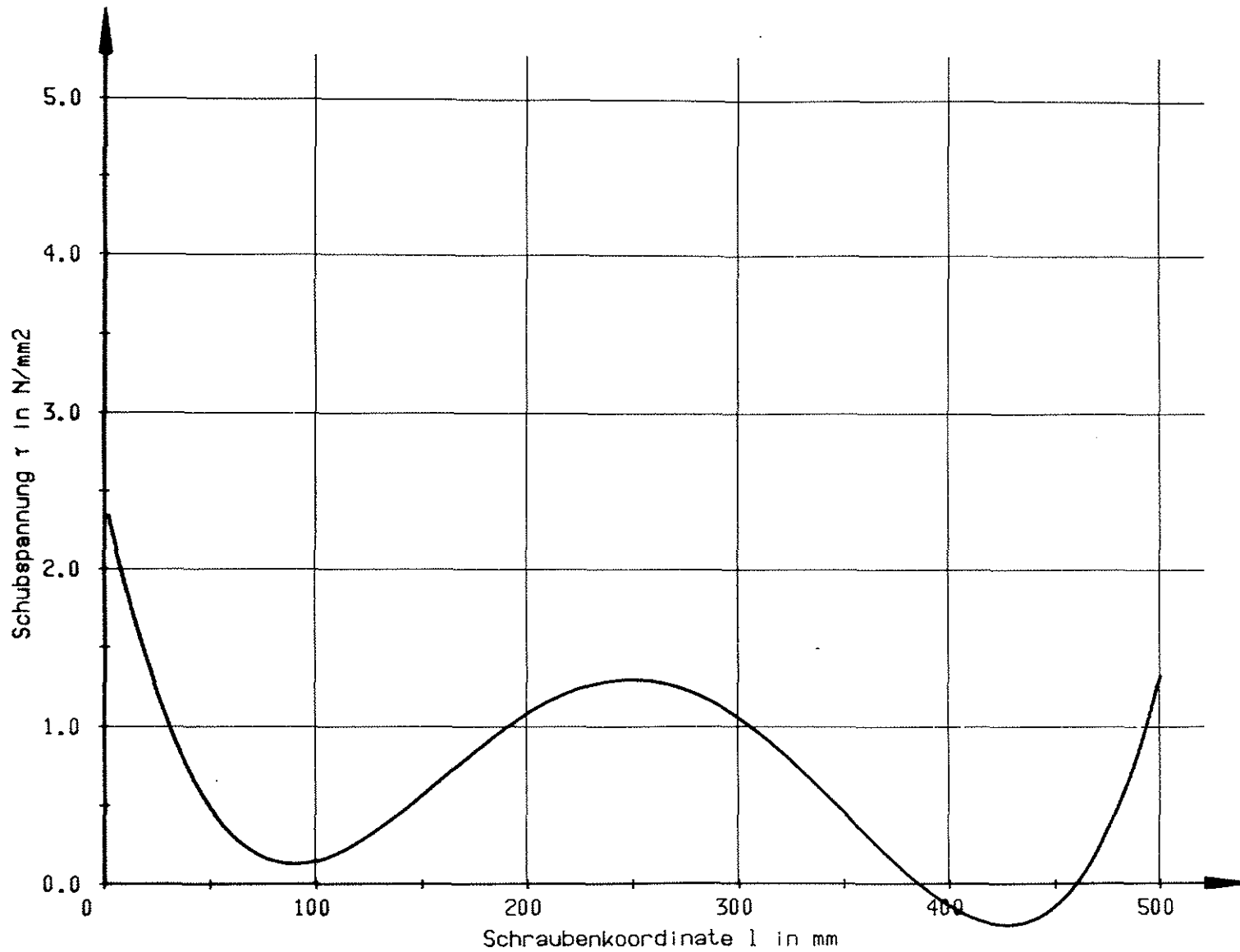


BILD 44 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B I 7 D
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 15 kN

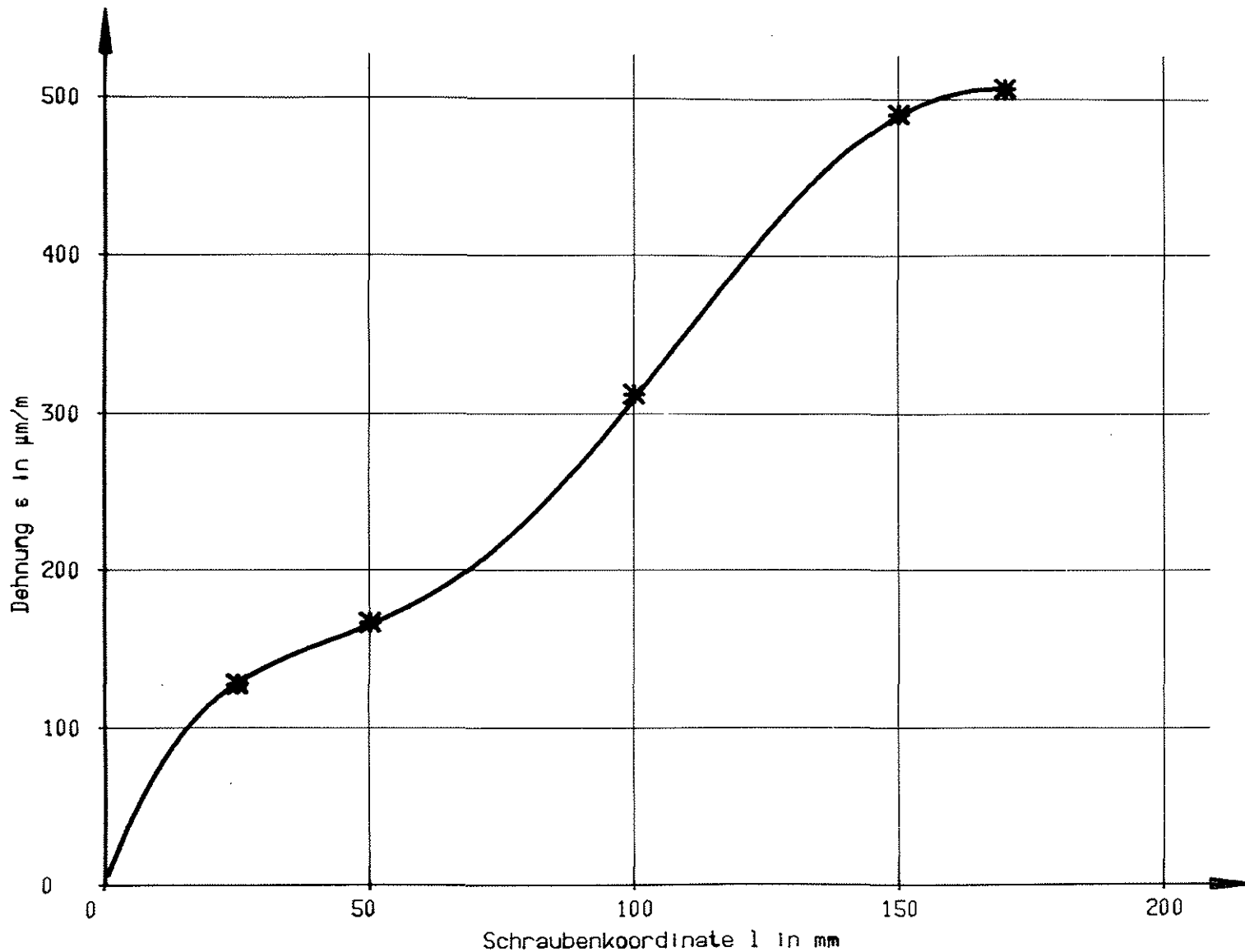


BILD 45 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 1.1
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 170 mm
 Laststufe: 10.0 kN

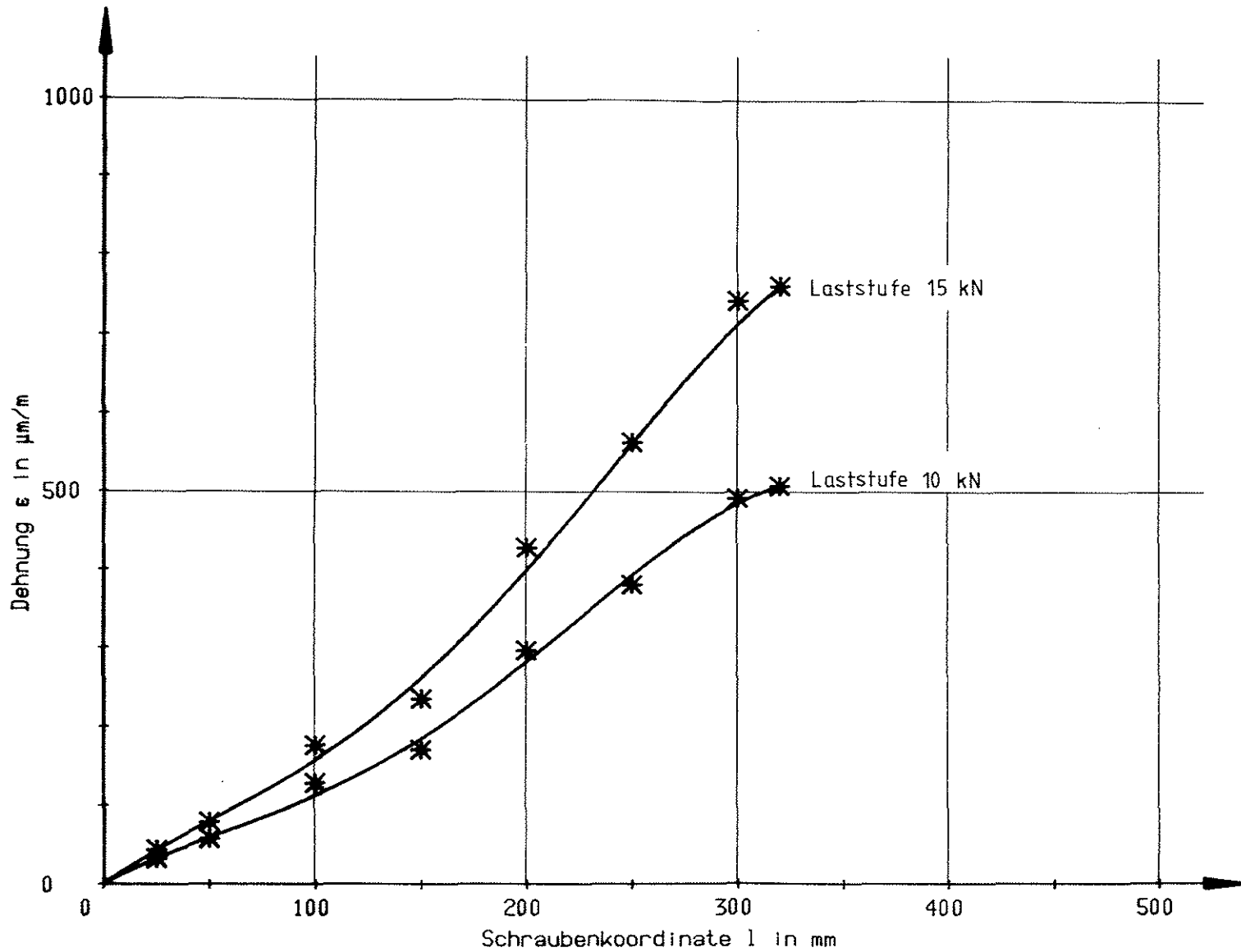


BILD 46 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 3.4
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 320 mm
 Laststufe: 10-15 kN

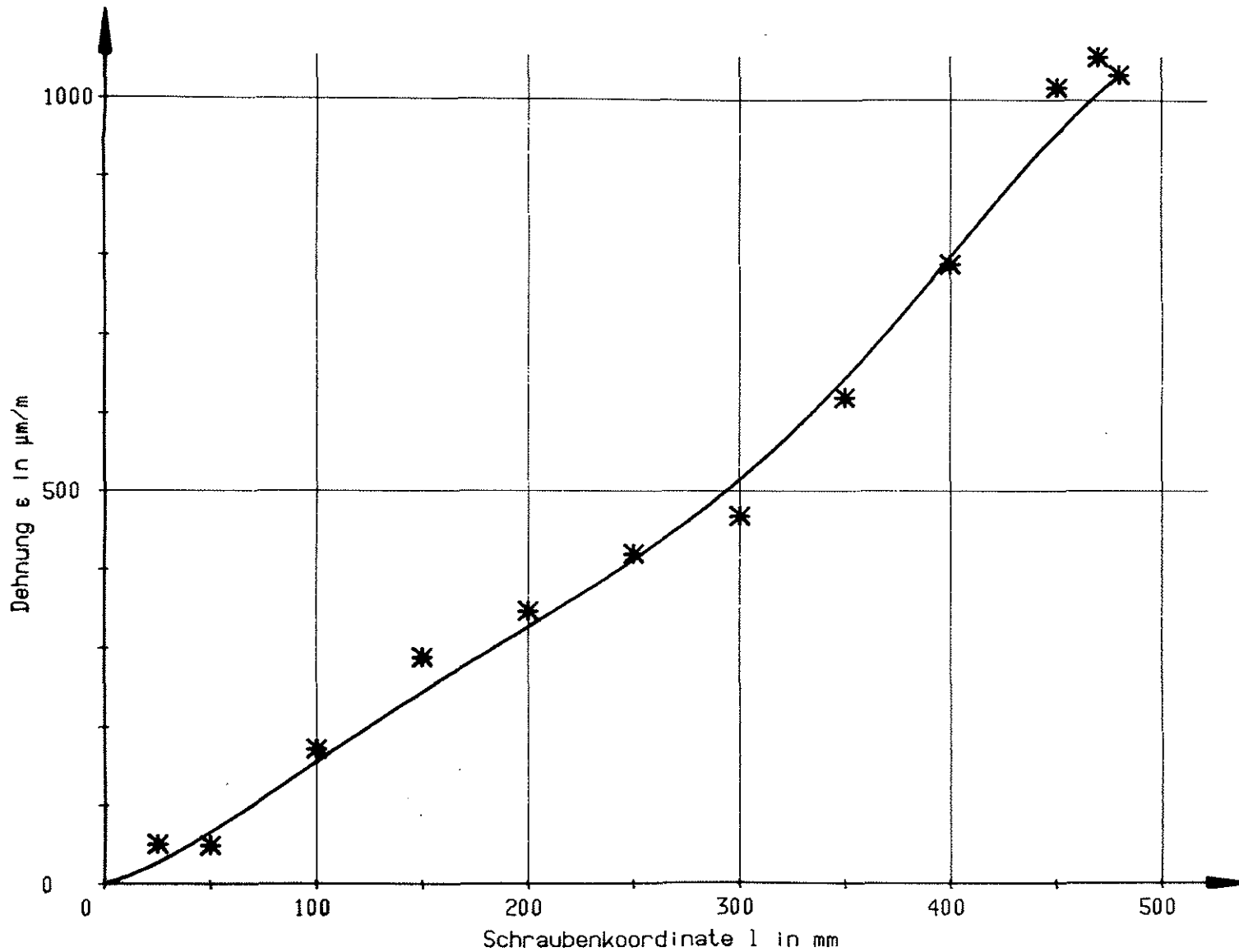


BILD 47 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 5.2

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 20 kN

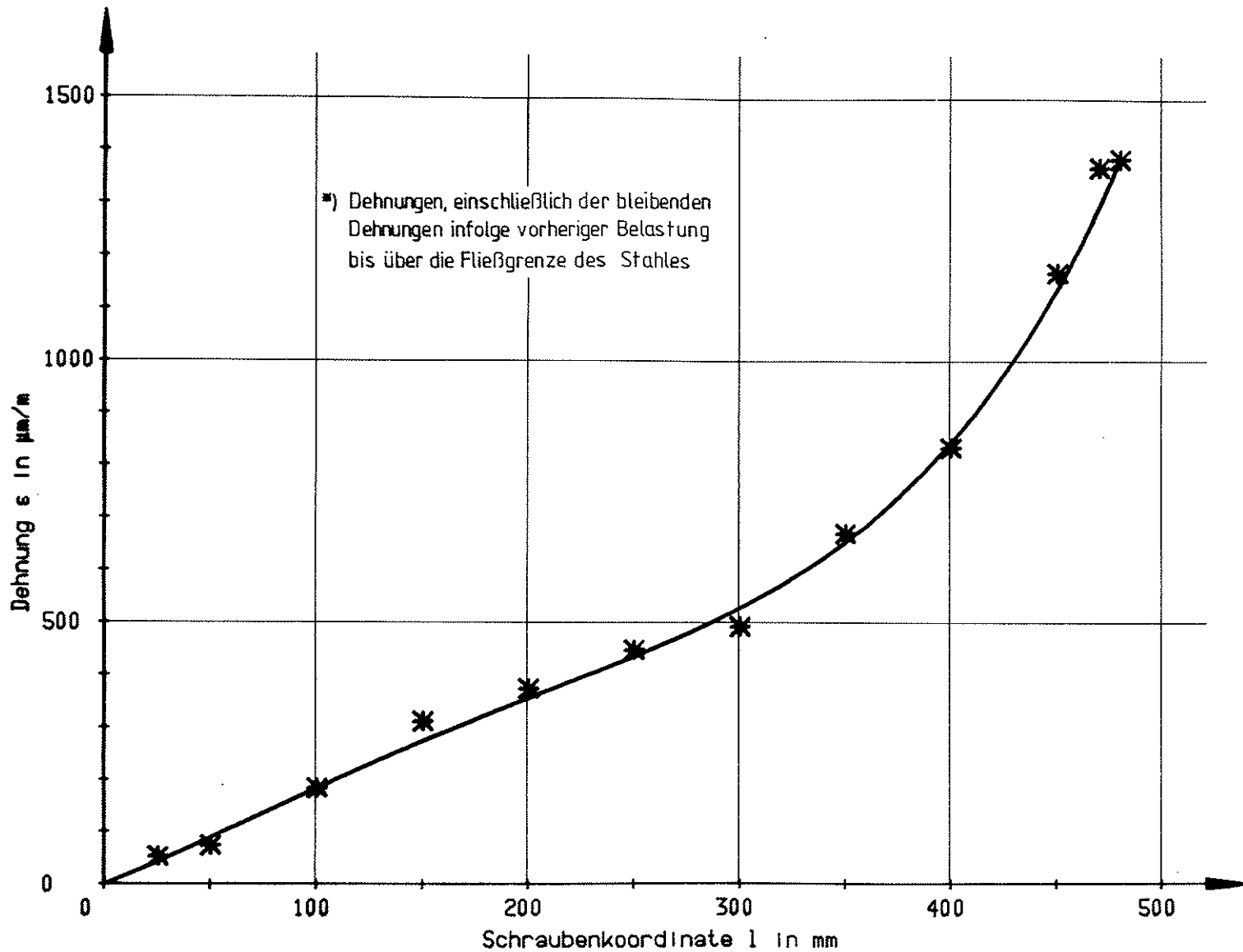


BILD 48 DEHNUNG^{*)} - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 6

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 20 kN

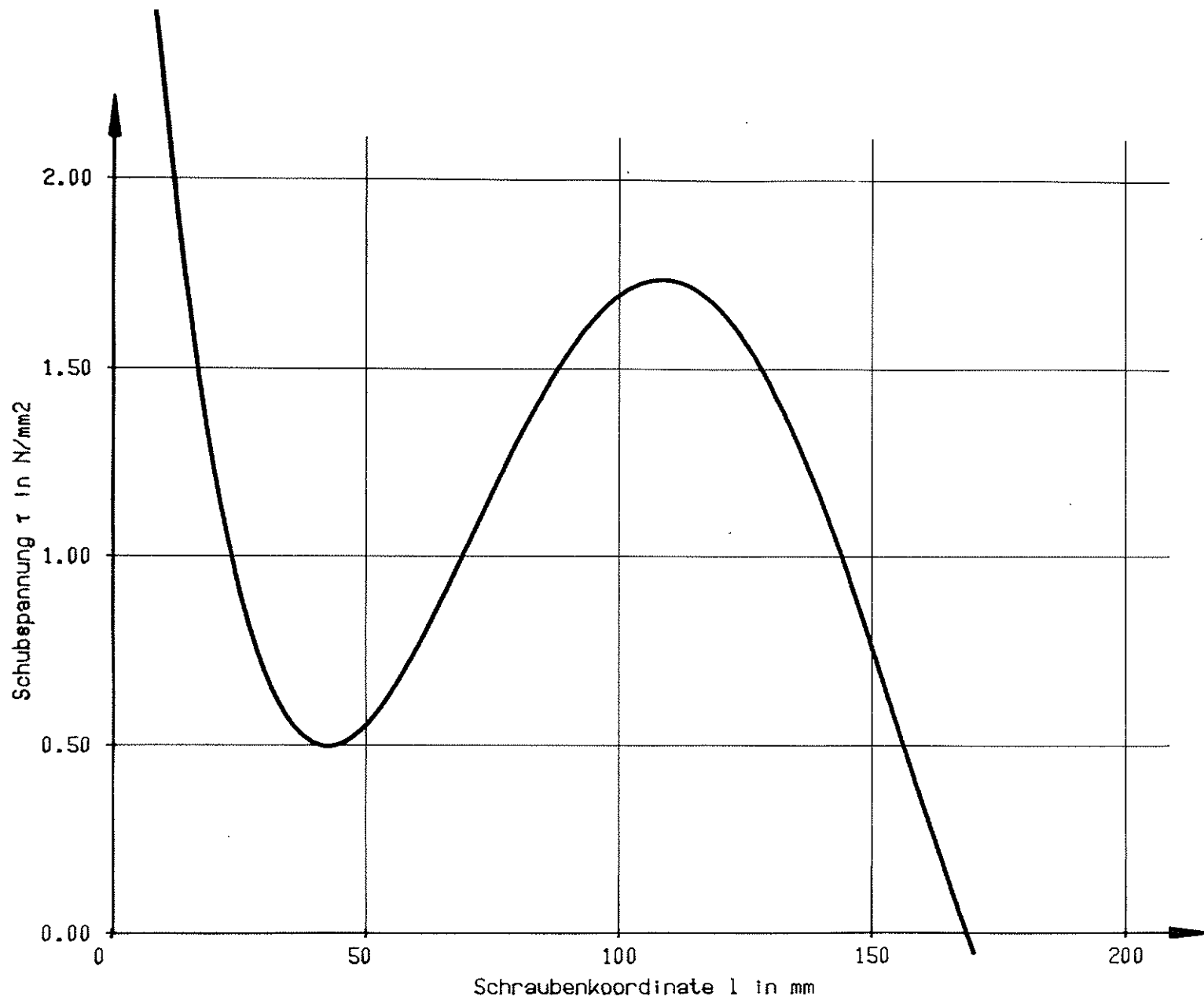


BILD 49 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 1.1

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 170 mm

Laststufe: 10.0 kN

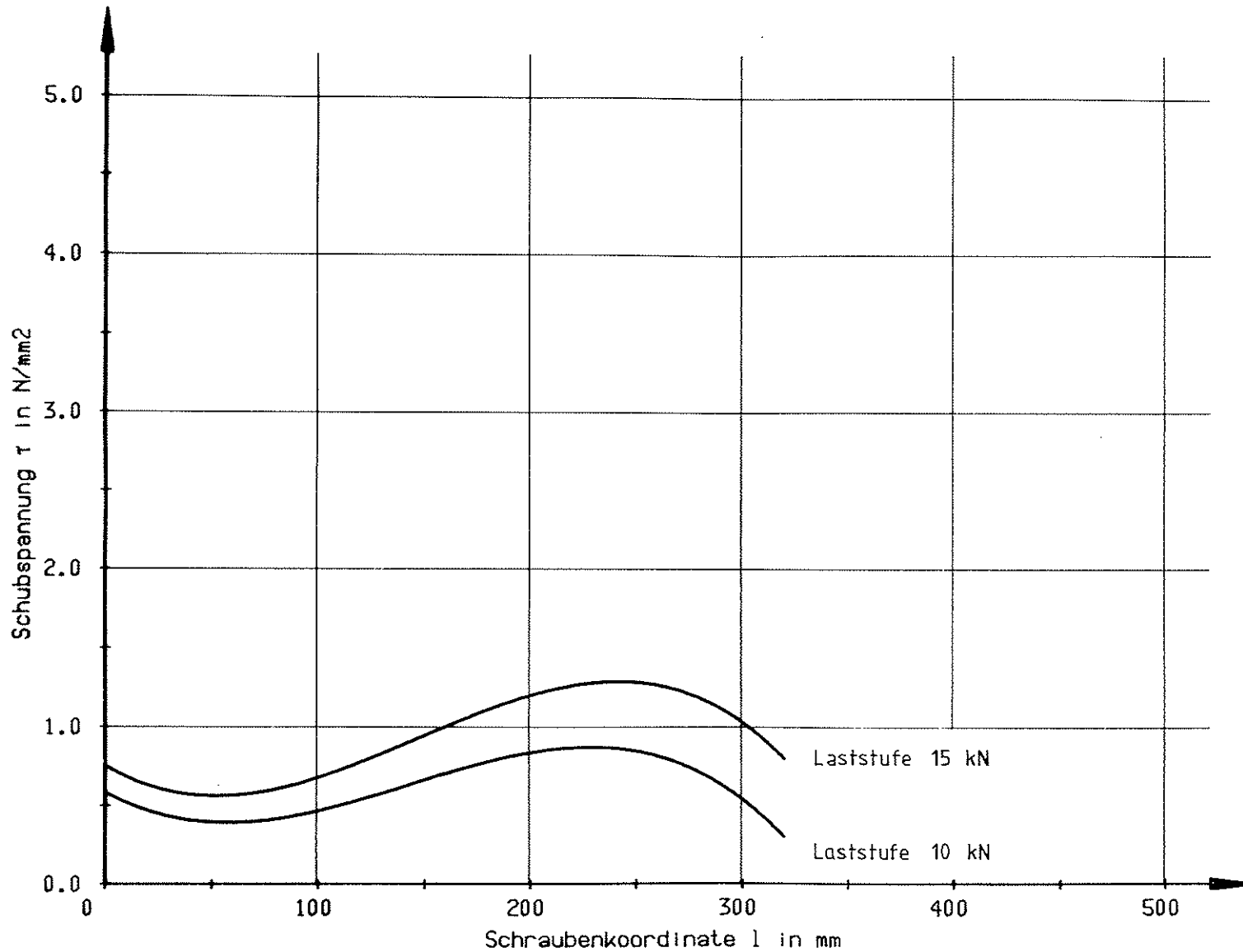


BILD 50 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 3.4
 Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 320 mm
 Laststufe: 10 - 15 kN

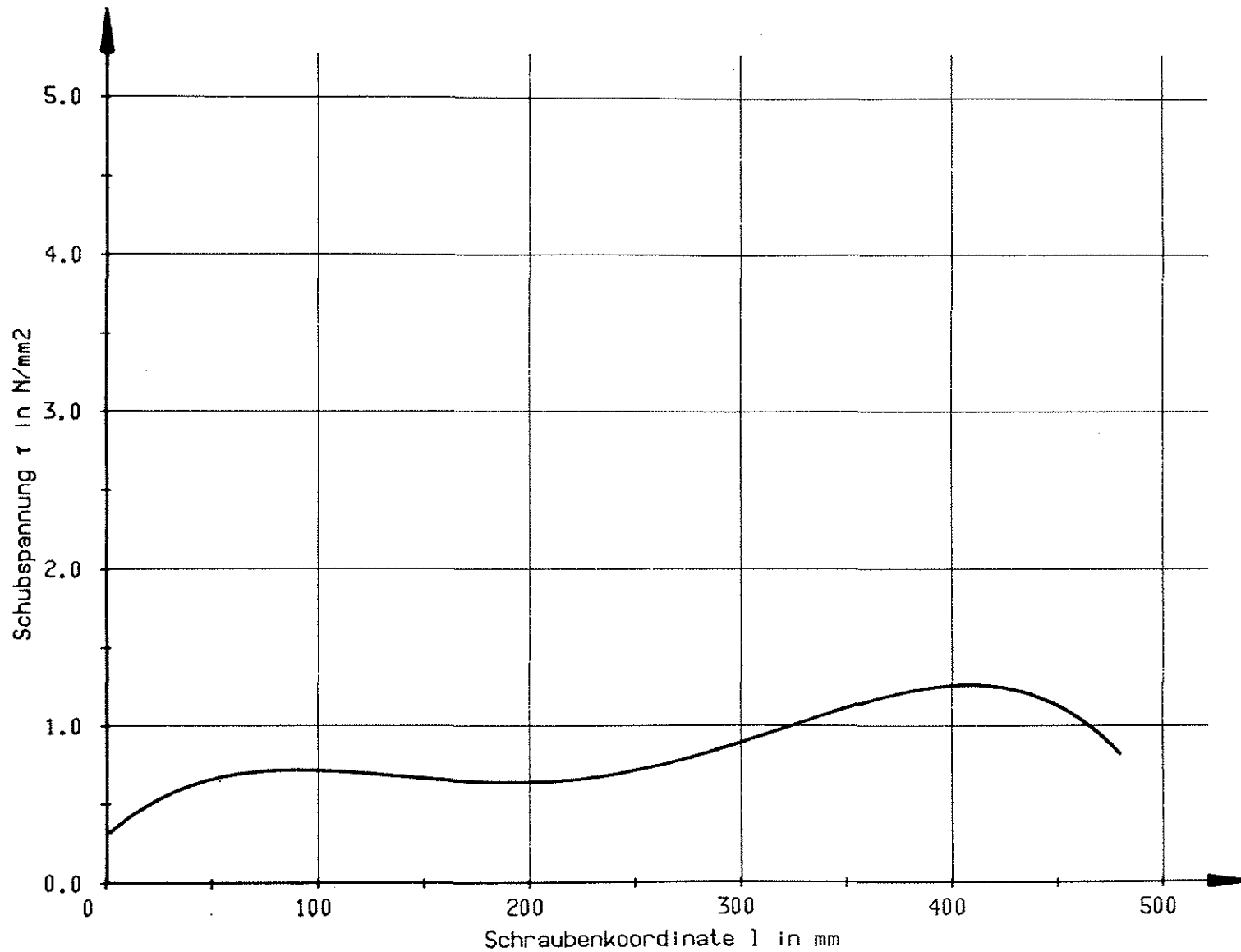


BILD 51 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 5.2

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 20 kN

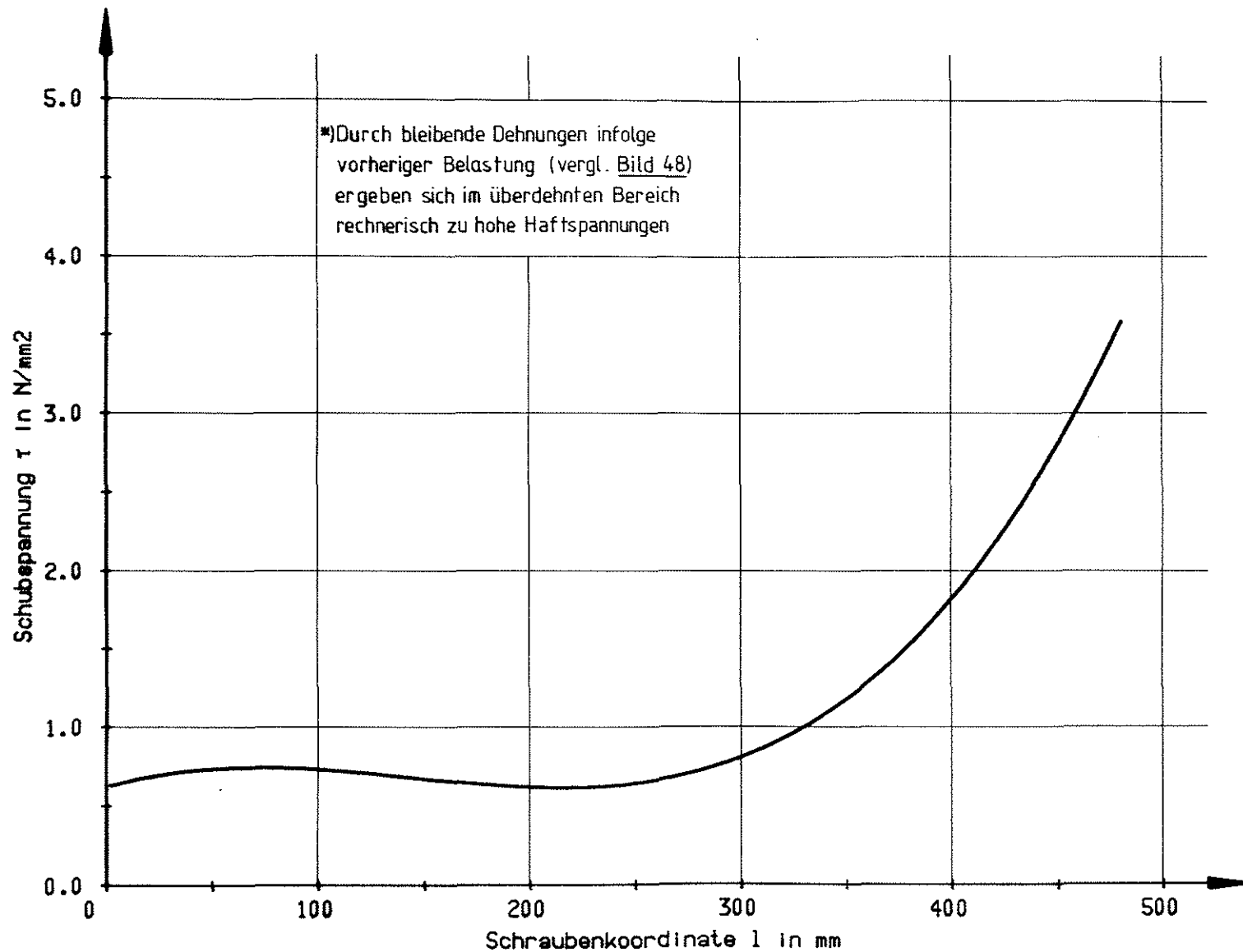


BILD 52 SCHUBSPANNUNG^{*)} - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B II 6

Gewindestange M 16 ohne Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 20 kN

ANLAGE 40

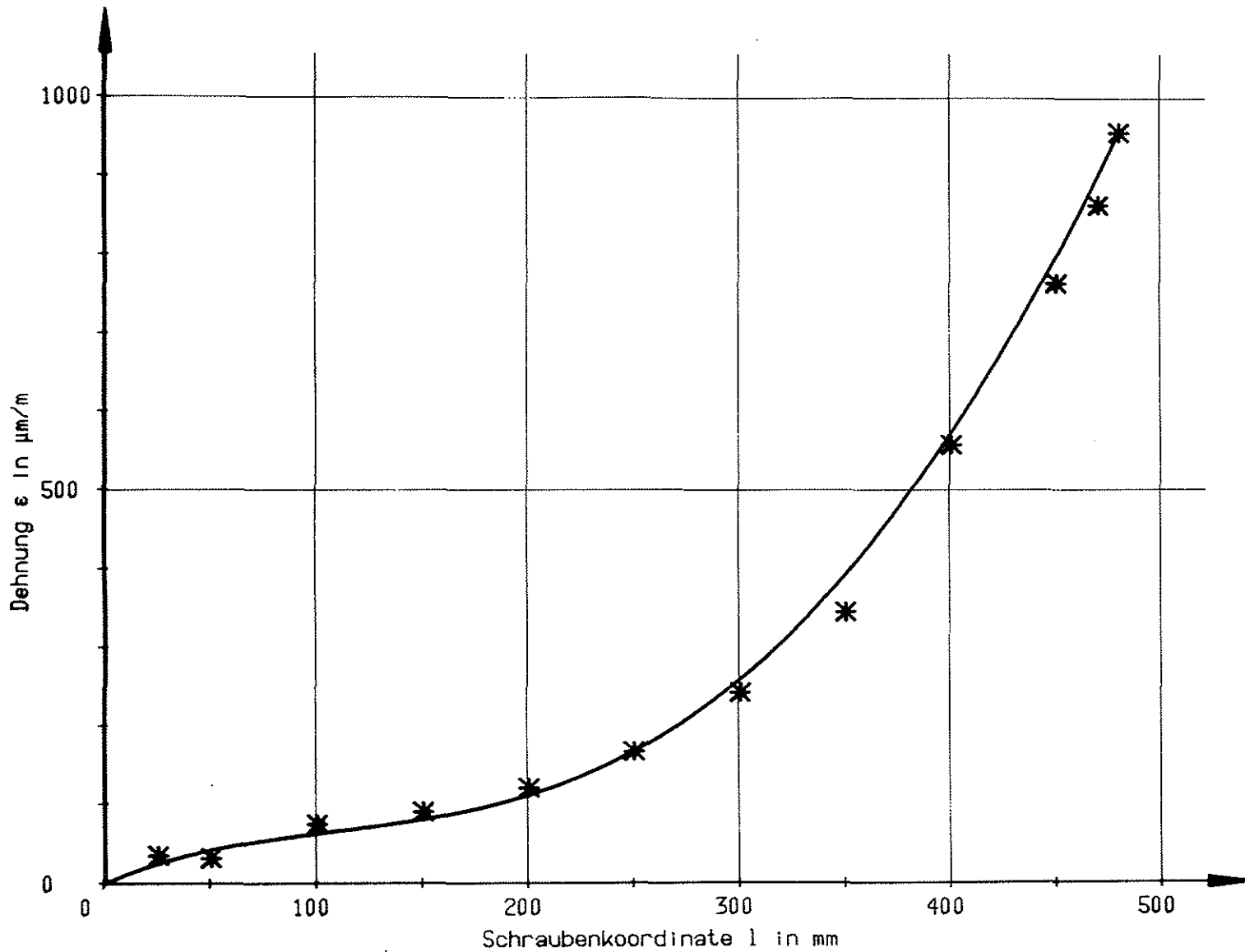


BILD 53 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B III L 1.2

Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 480 mm

Laststufe: 20 kN

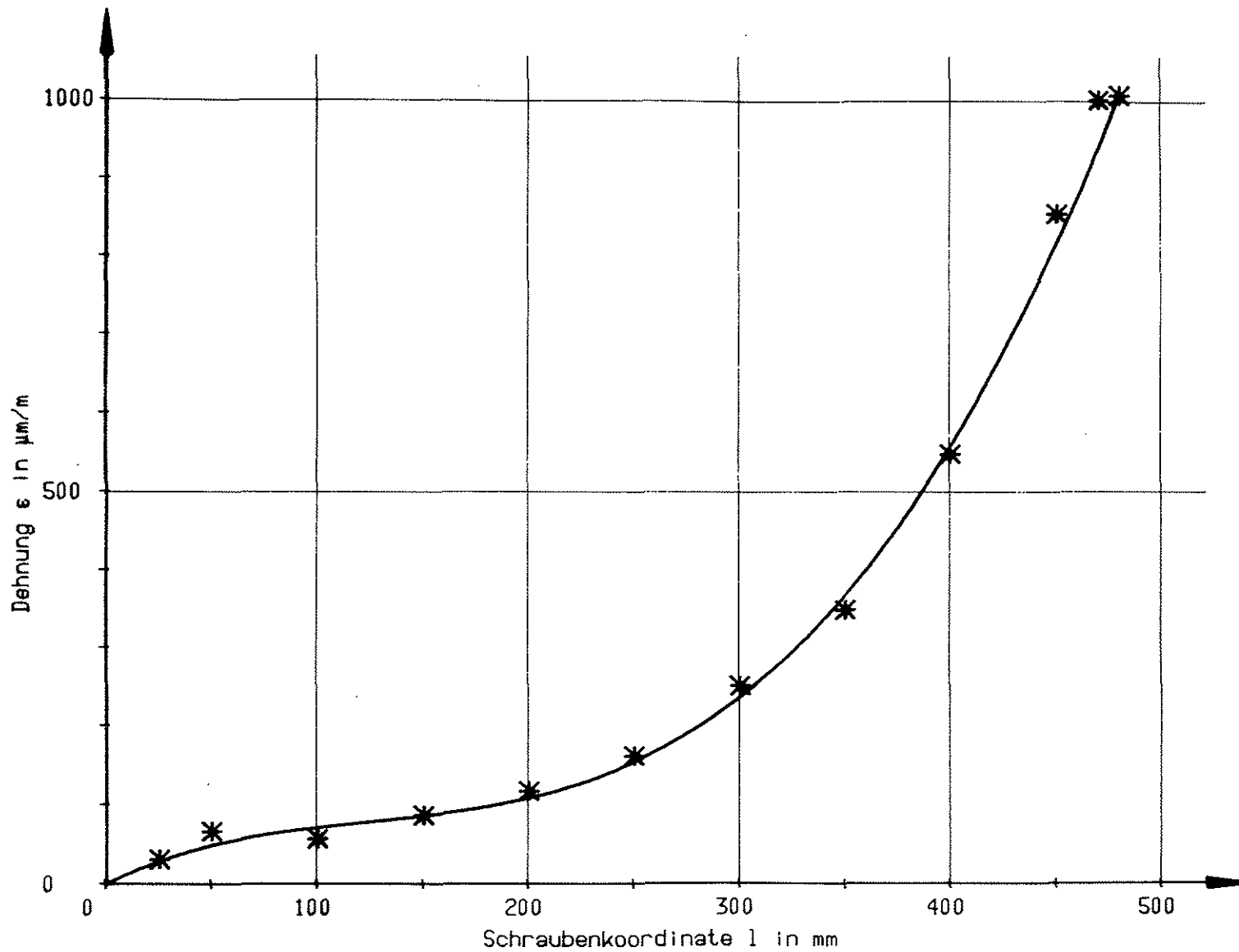


BILD 54 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B III L 2.2 D
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 480 mm
 Laststufe: 20 kN

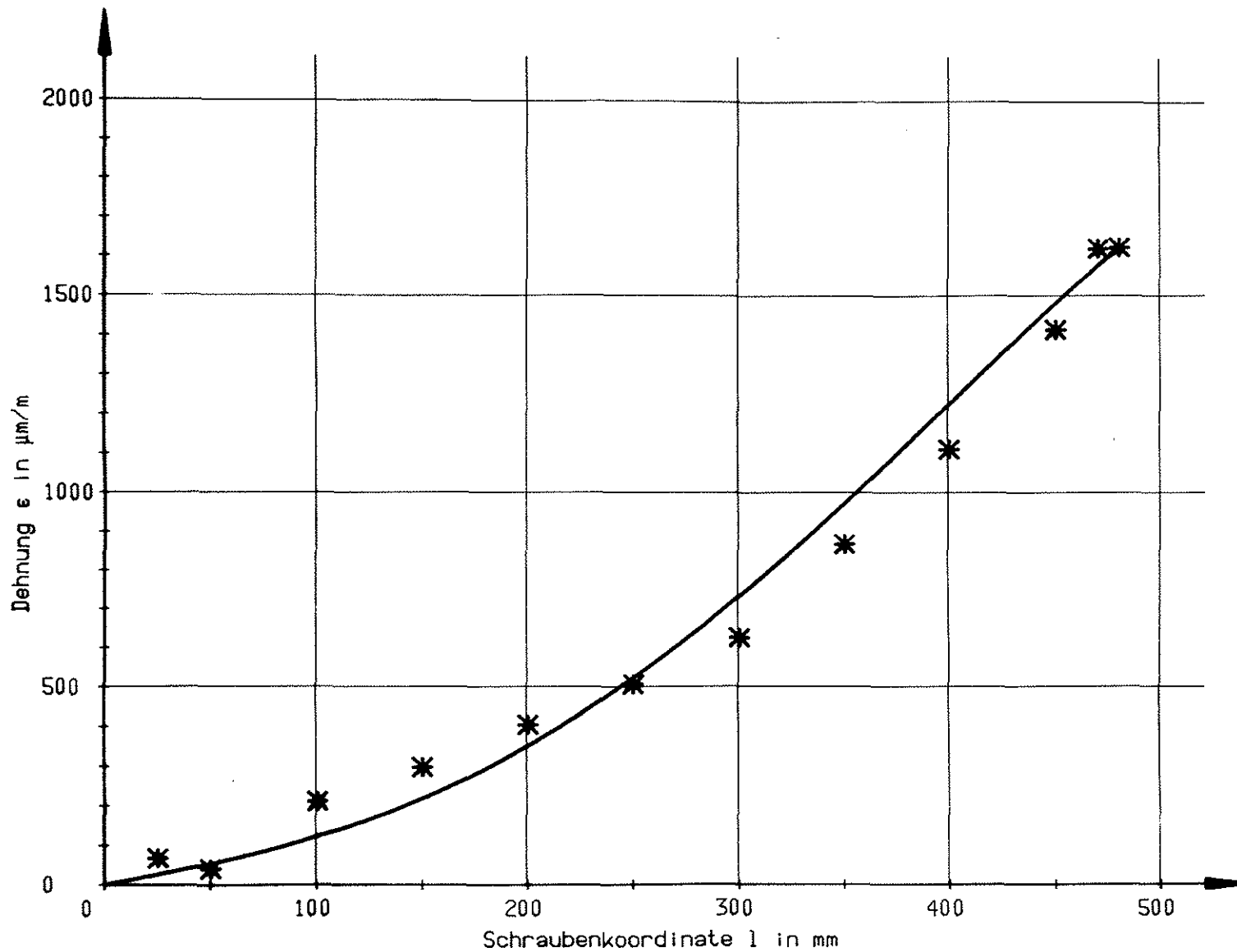


BILD 55 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B IV L 1.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 480 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 43

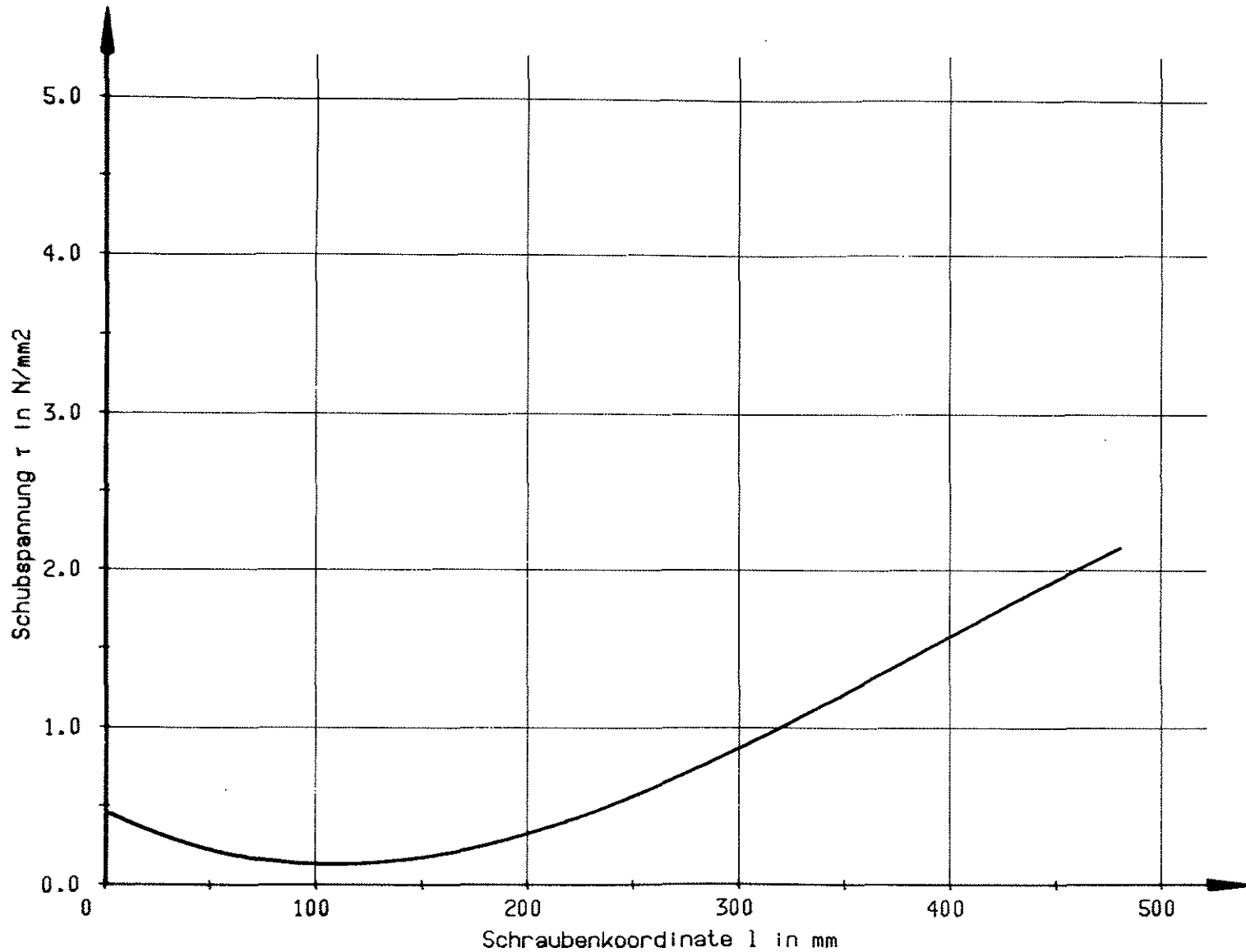


BILD 56 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B III L 1.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 480 mm
 Laststufe: 20 kN

ANLAGE 44

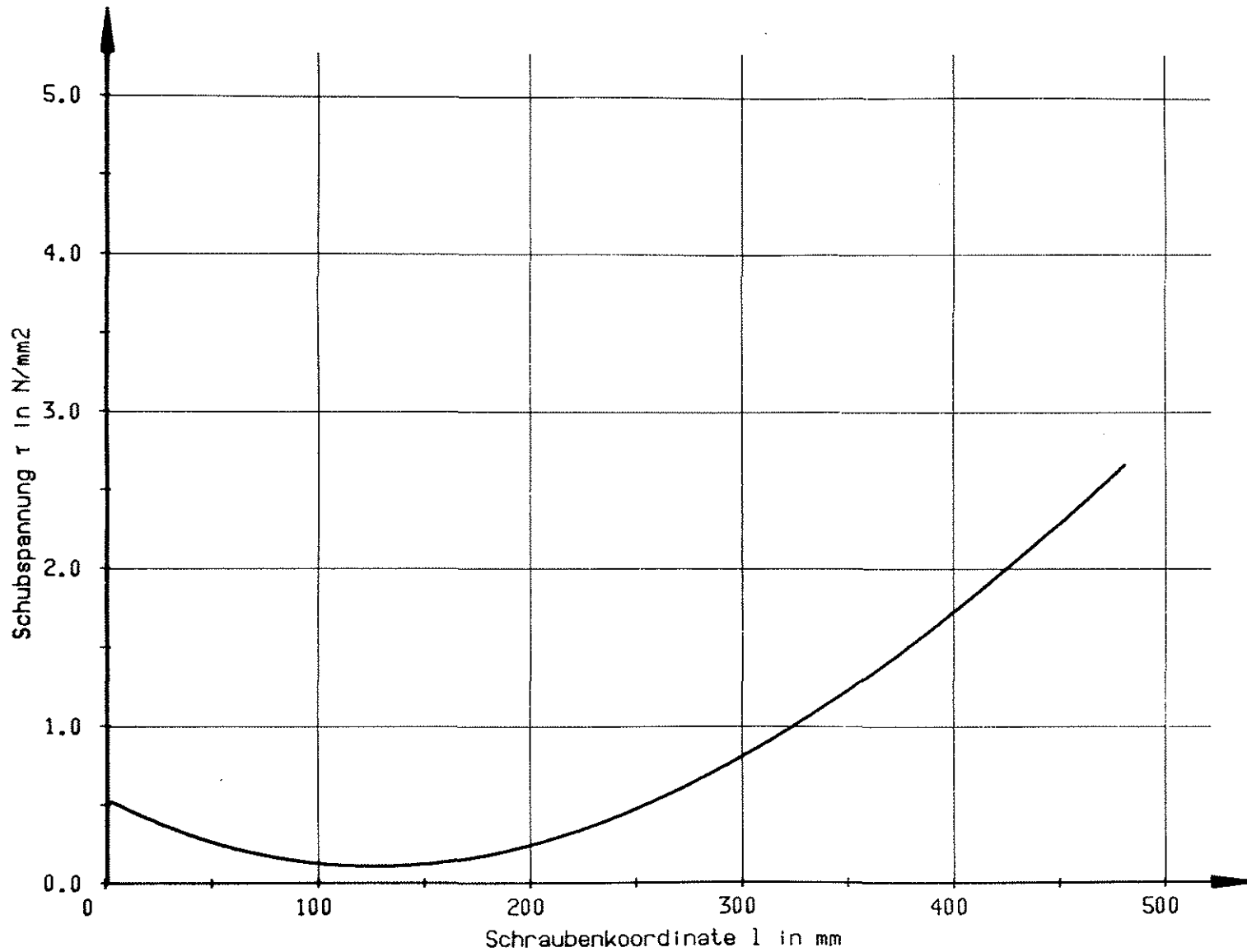


BILD 57 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B III L 2.2 D
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 480 mm
 Laststufe: 20 kN

ANLAGE 4.5

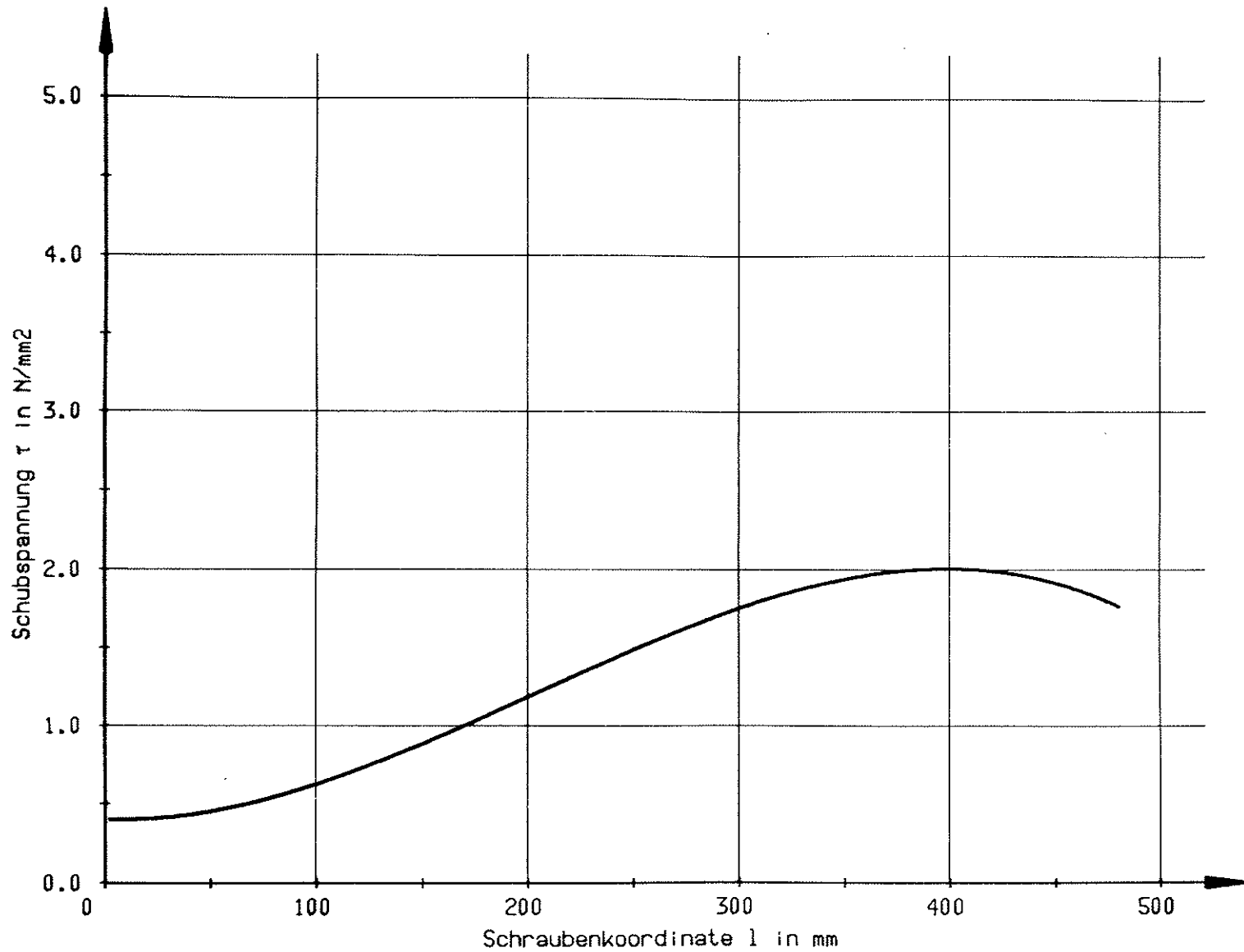


BILD 58 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: B IV L 1.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 480 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 46

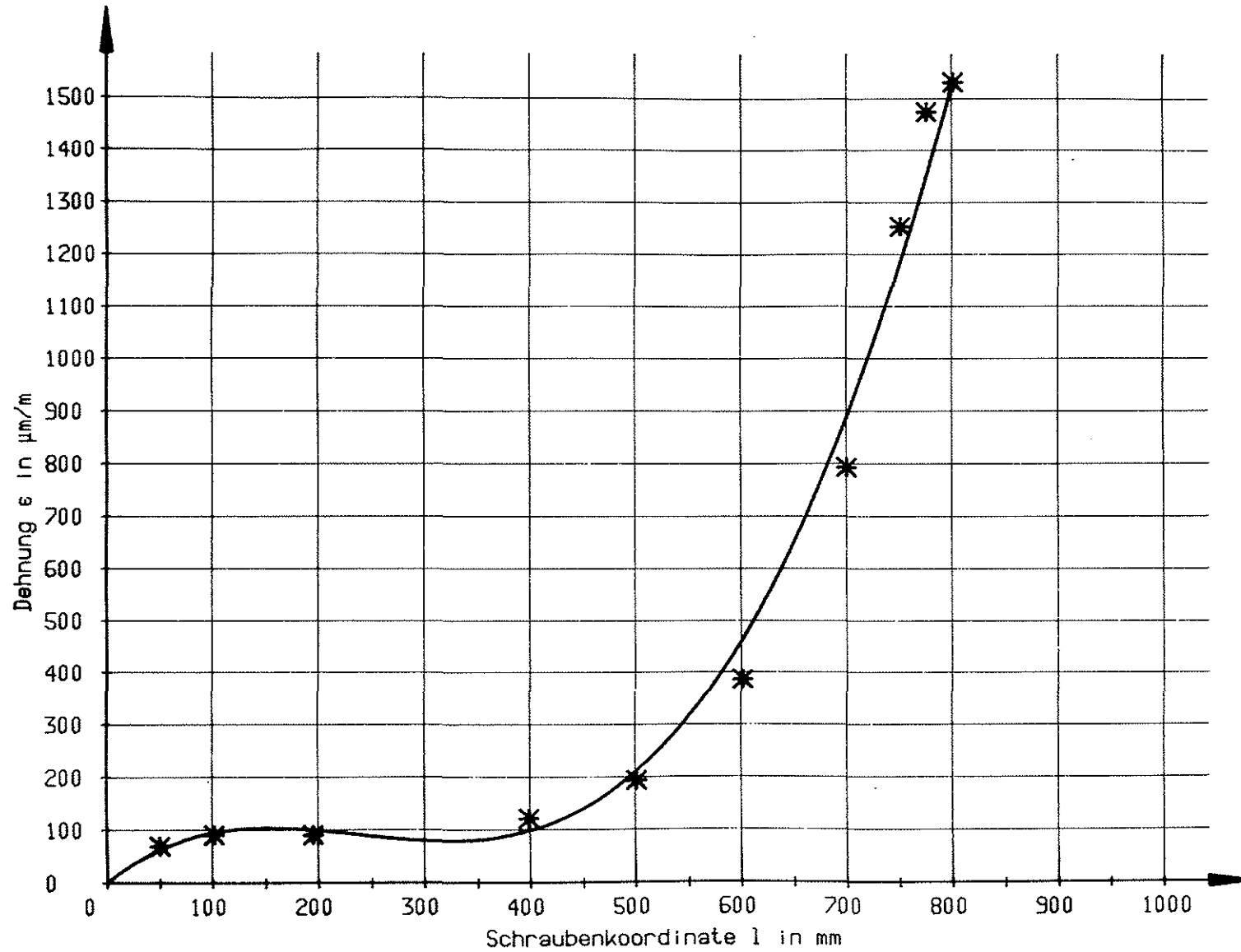


BILD 59 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 1.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 47

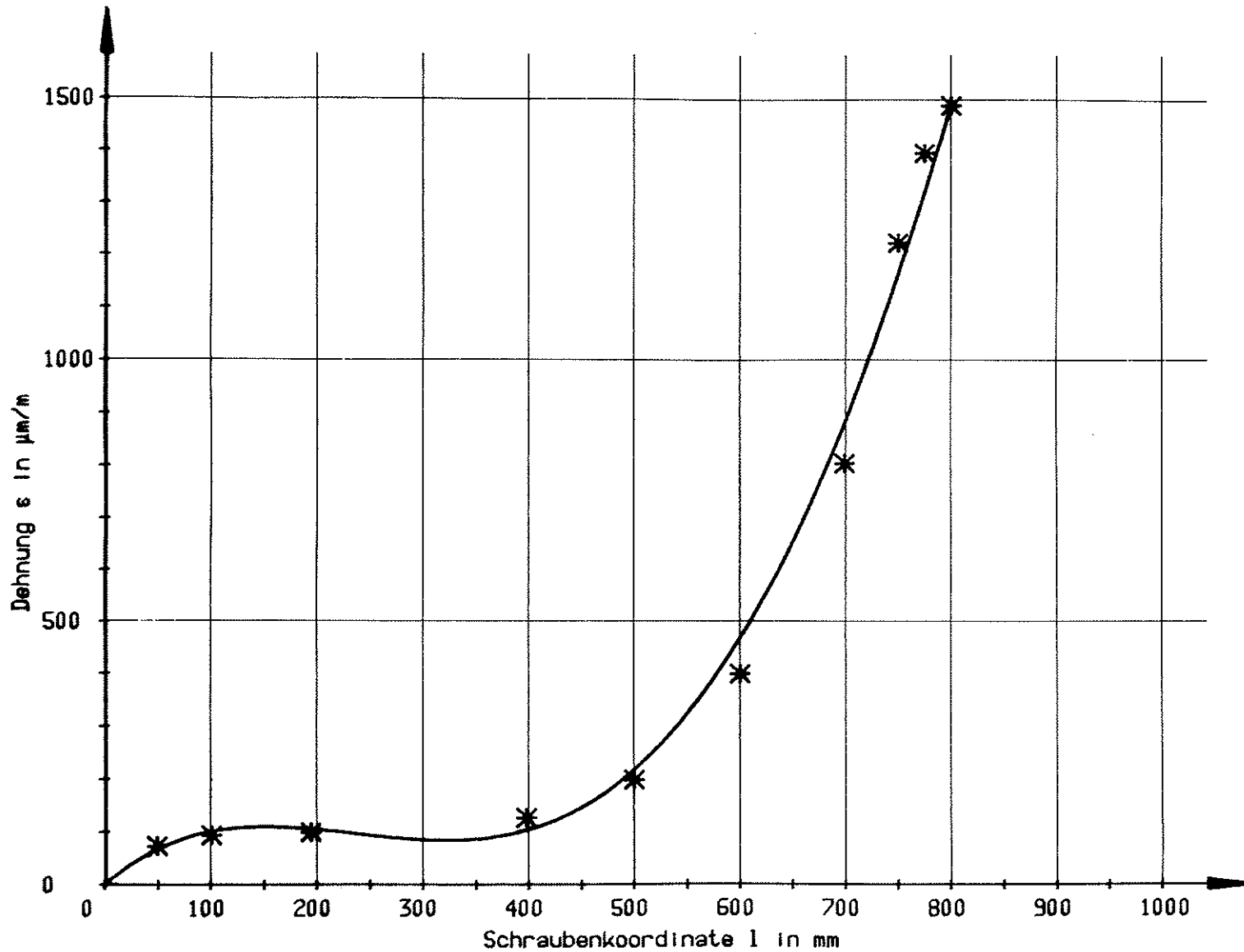


BILD 60 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 2.1
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 48

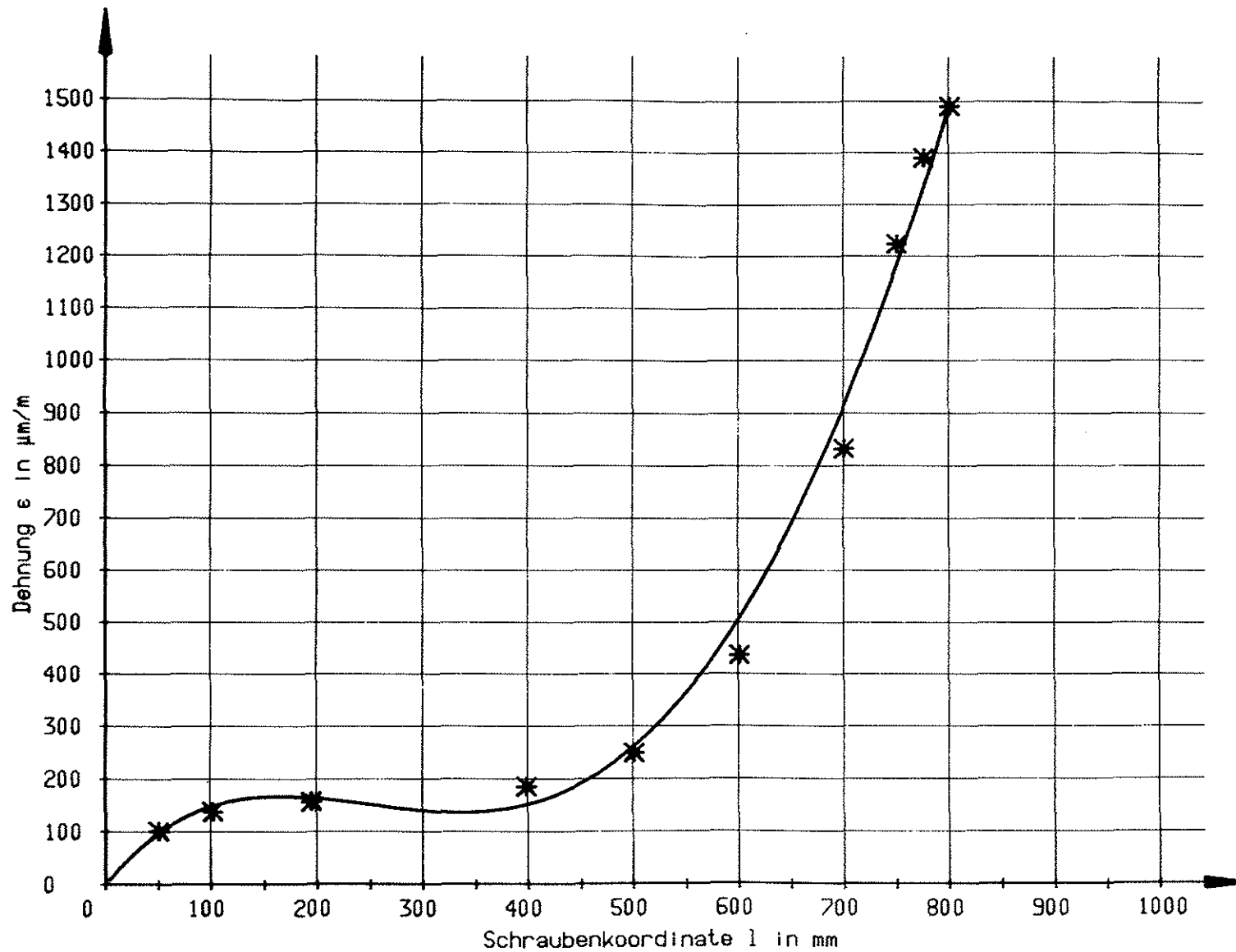


BILD 61 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 3.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 49

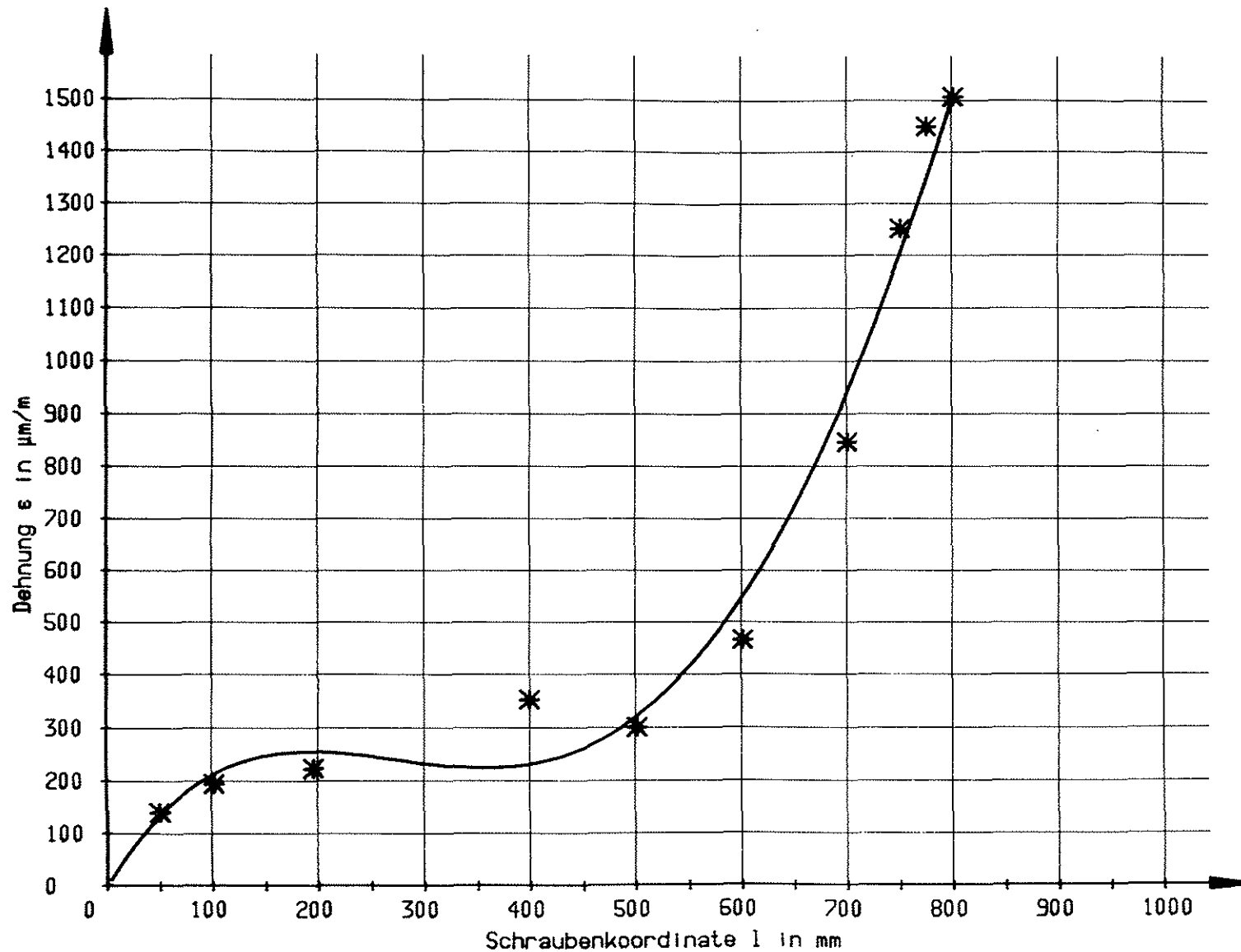


BILD 62 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I-L 4.2

Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 30 kN

ANLAGE 50

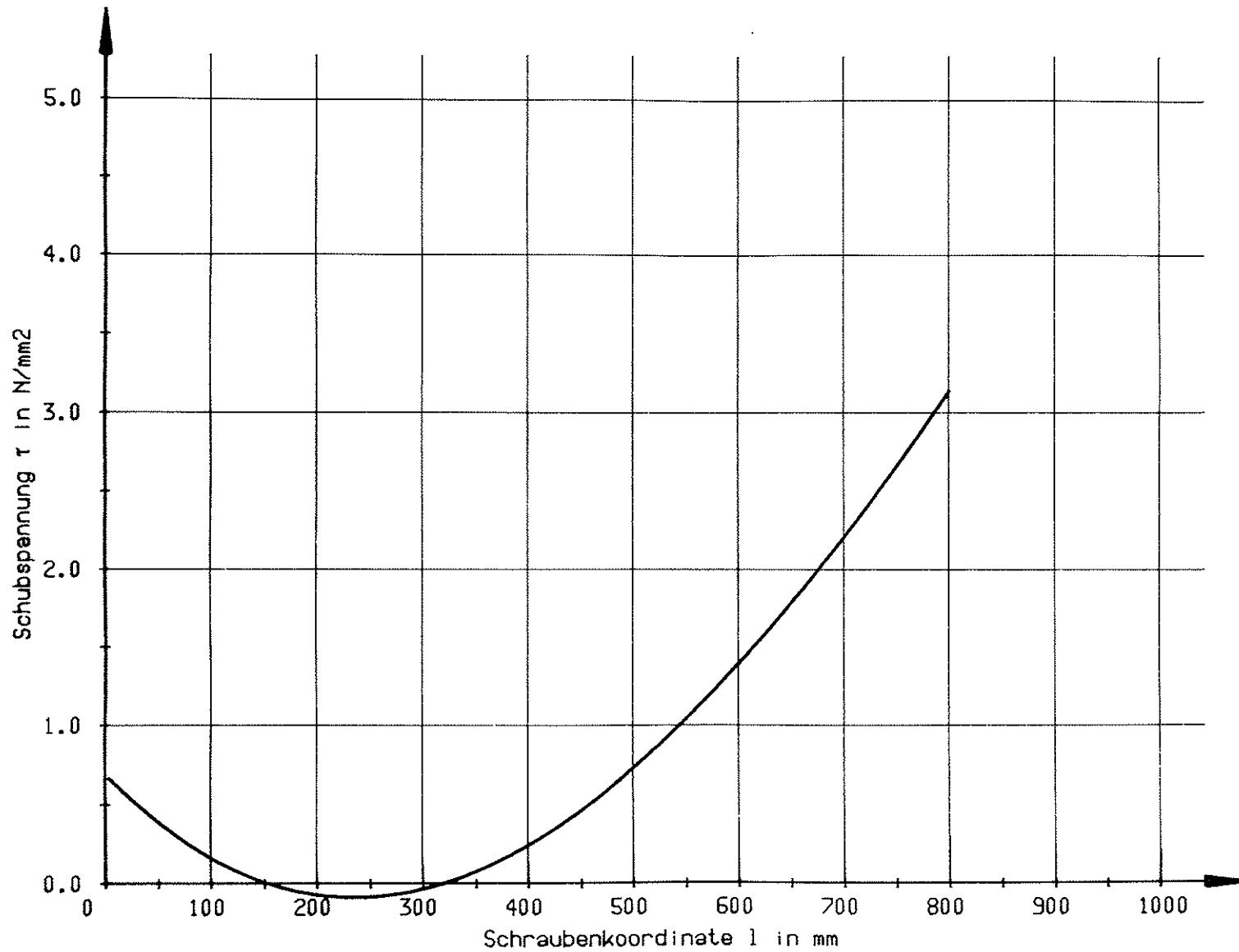


BILD 63 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 1.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

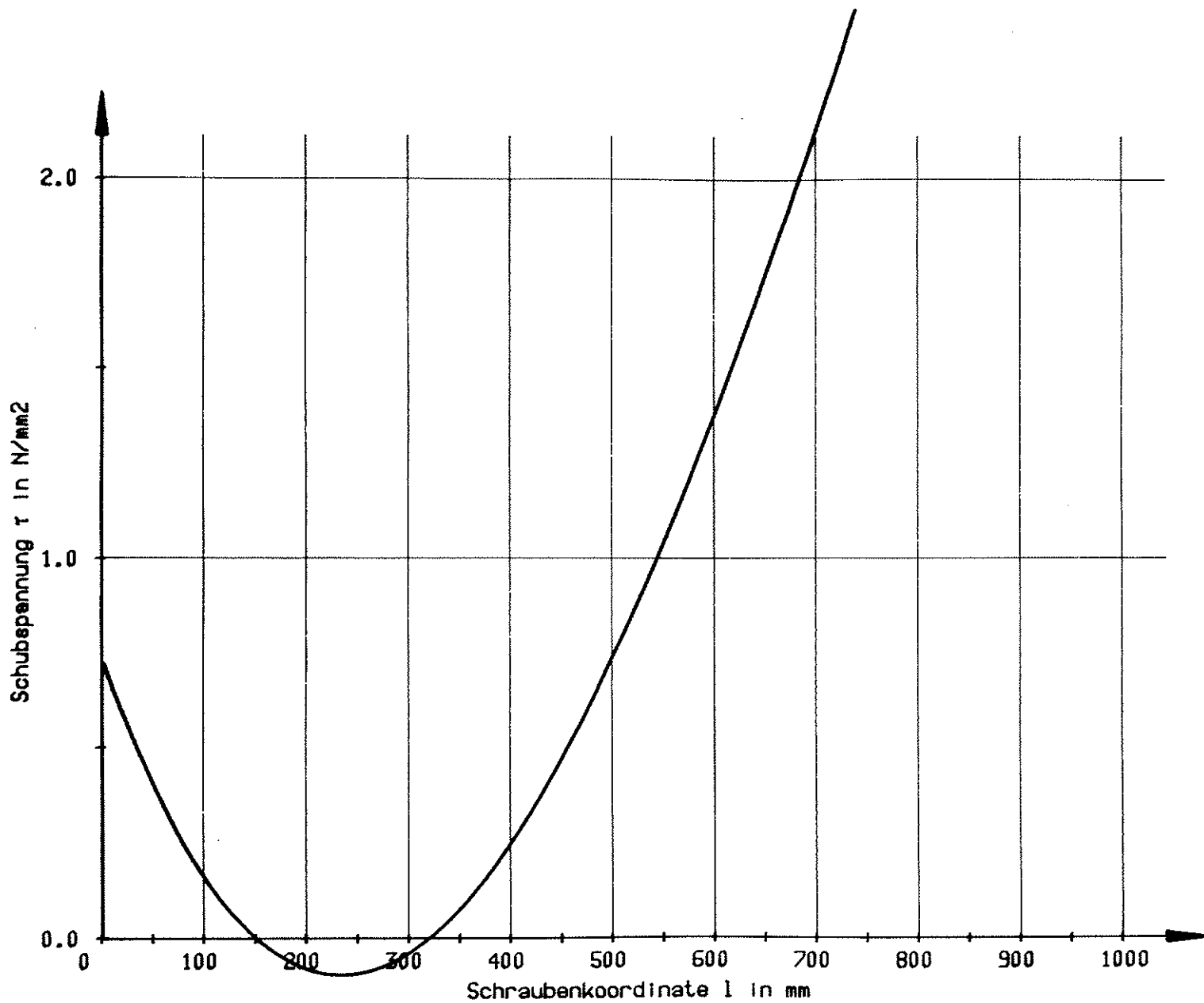


BILD 64 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 2.1
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 52

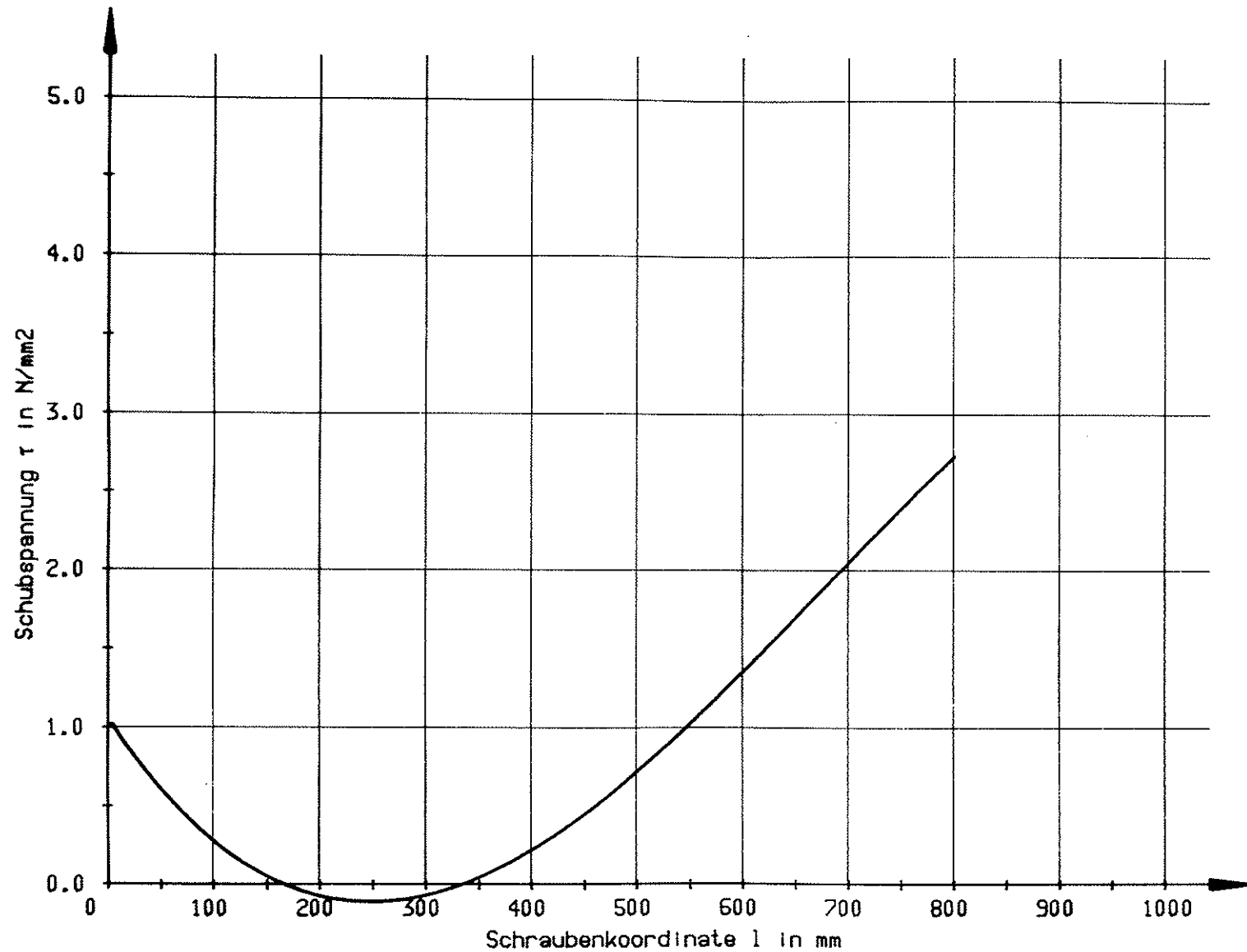


BILD 65 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 3.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

ANLAGE 53

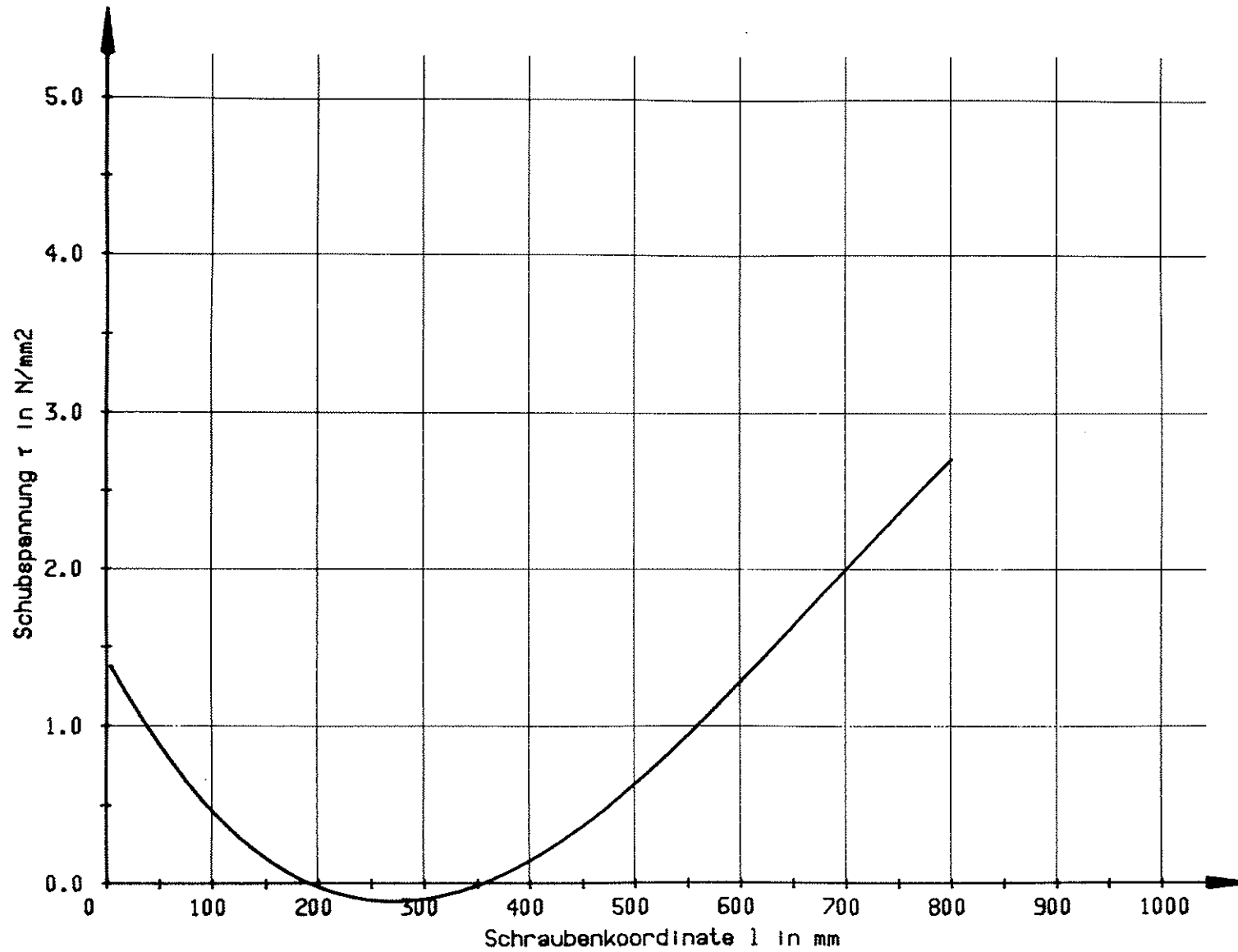


BILD 66 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 4.2
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 30 kN

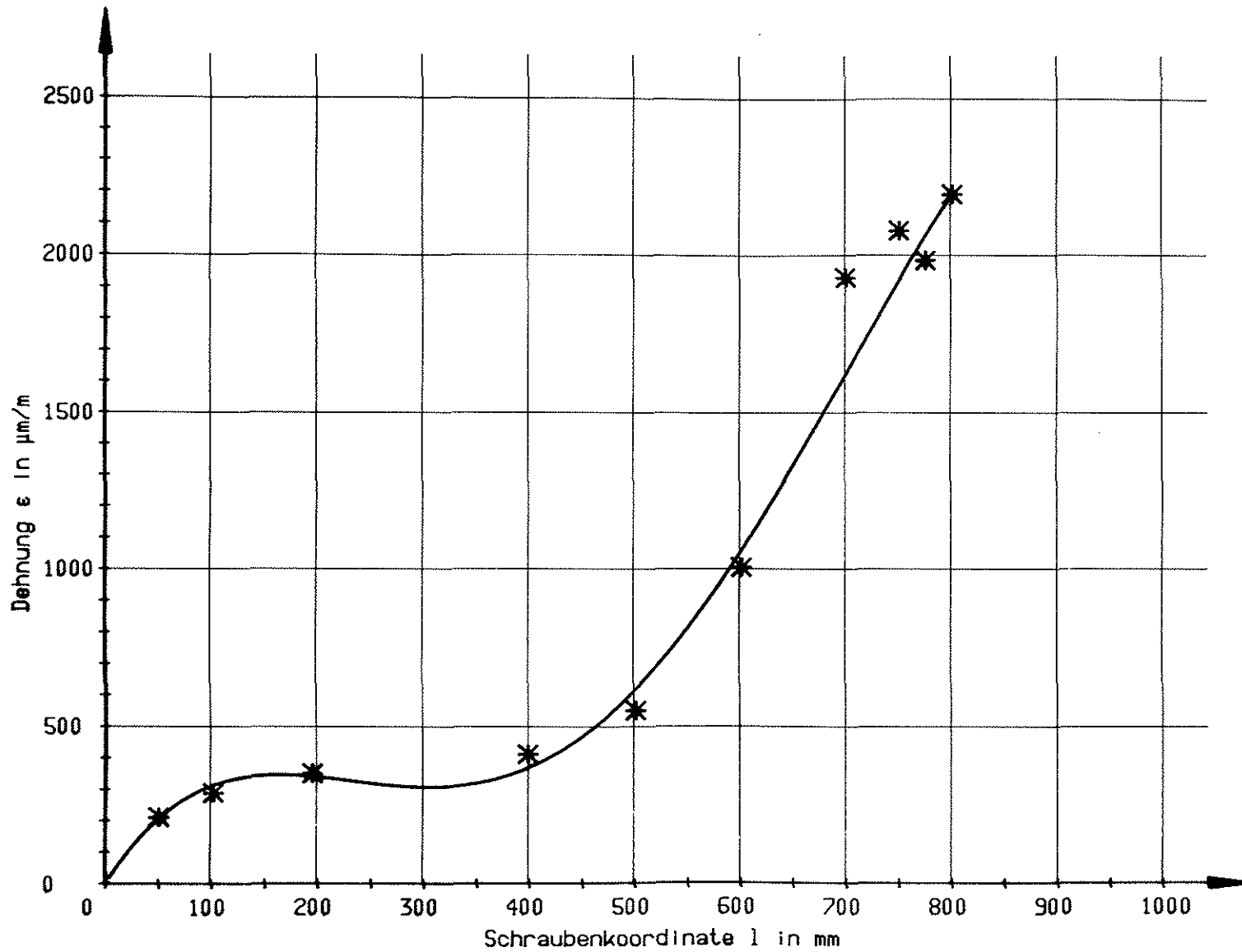


BILD 67 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 5 D
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

ANLAGE 55

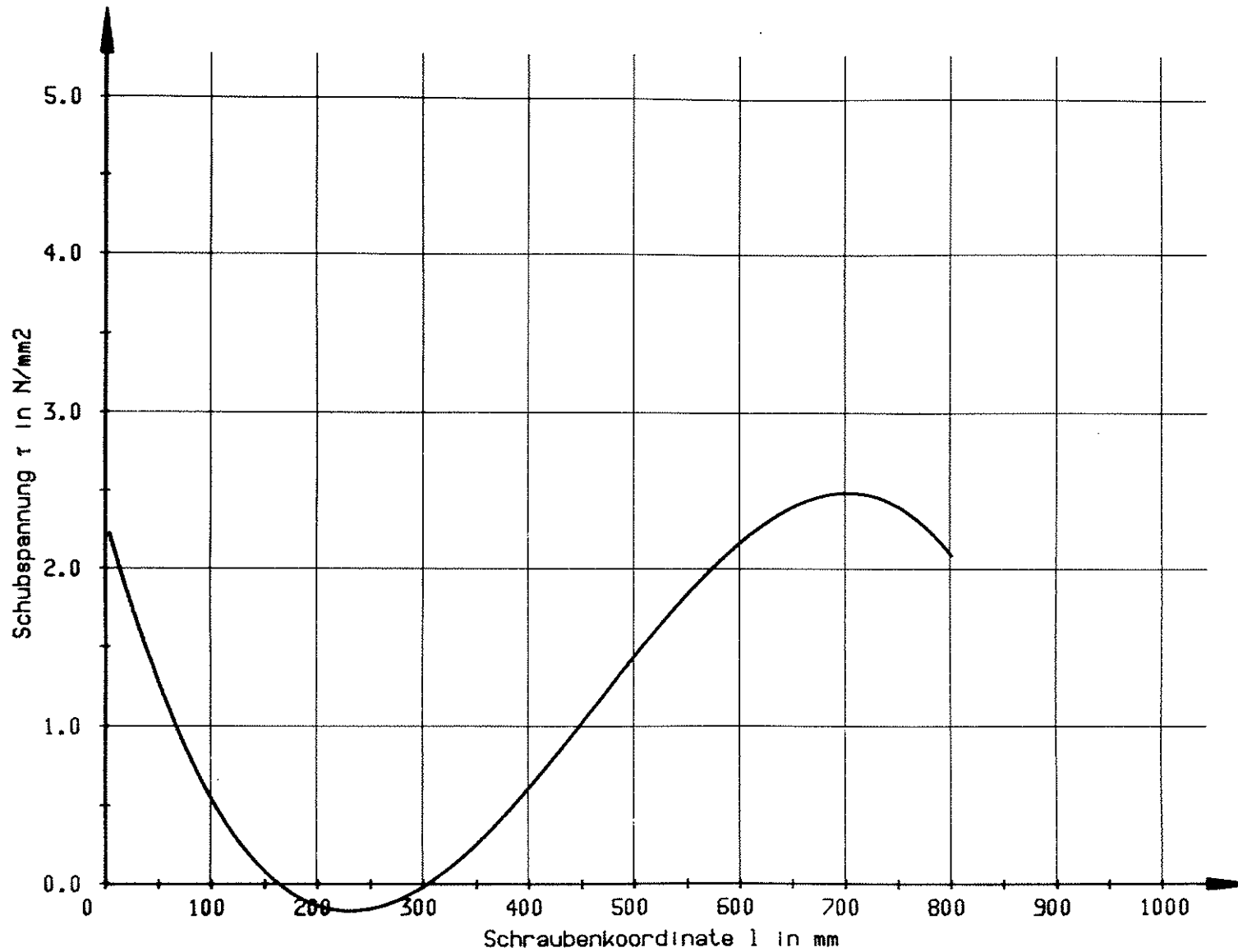


BILD 68 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C I L 5 D
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

ANLAGE 56

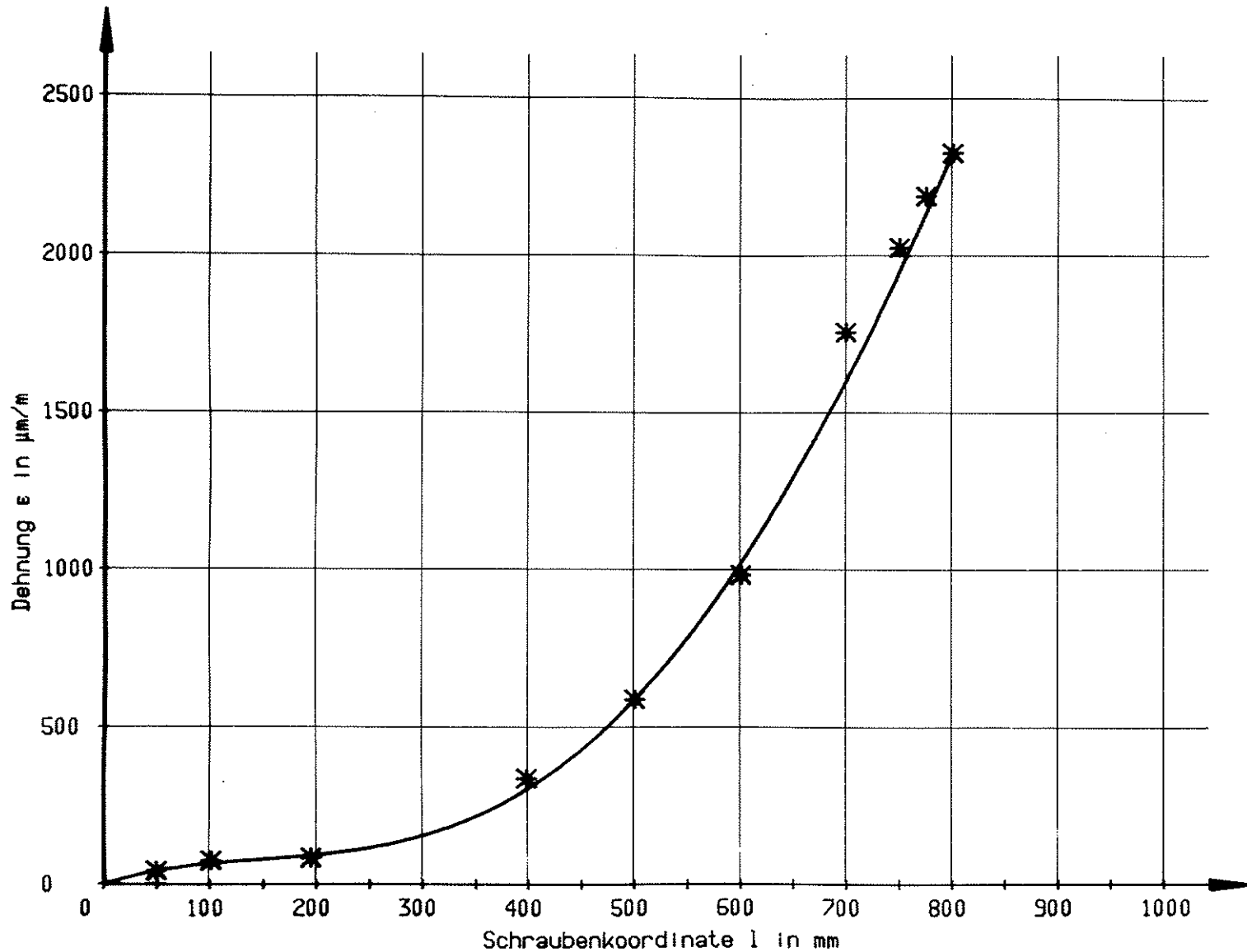


BILD 69 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C II L 1.1
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

ANLAGE 57

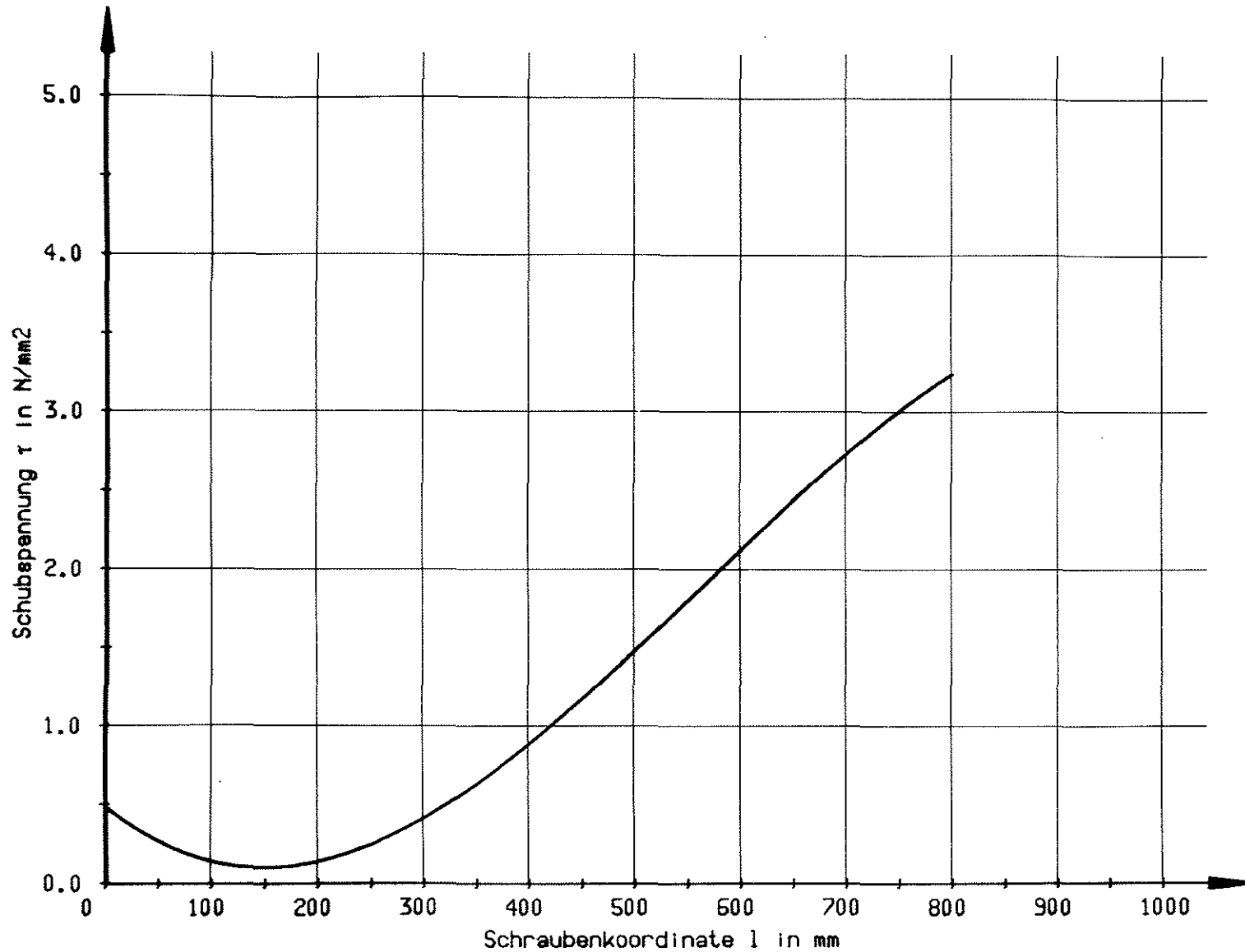


BILD 70 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C II L 1.1
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

ANLAGE 58

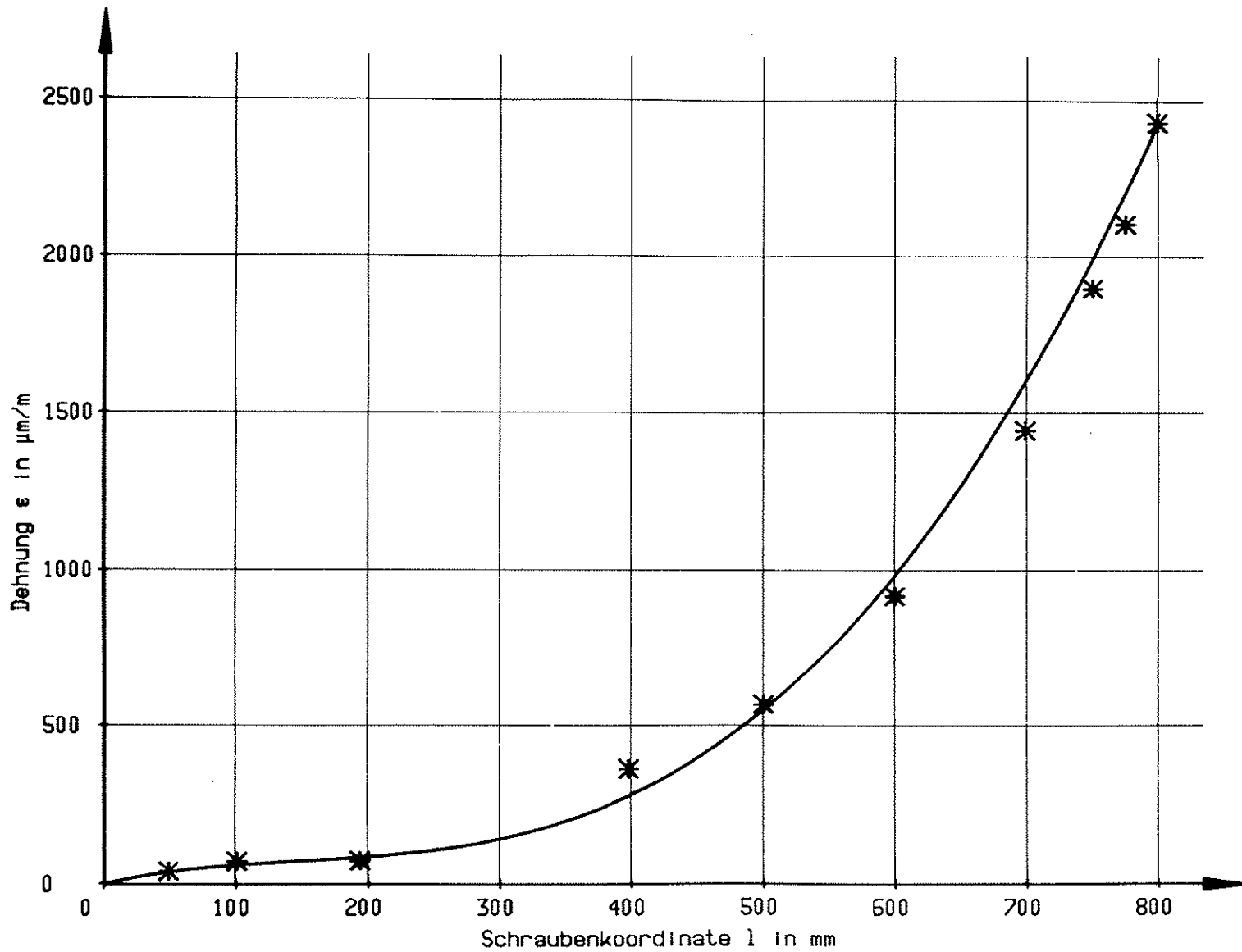


BILD 71 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C III L 1.1

Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 50.0 kN

ANLAGE 59

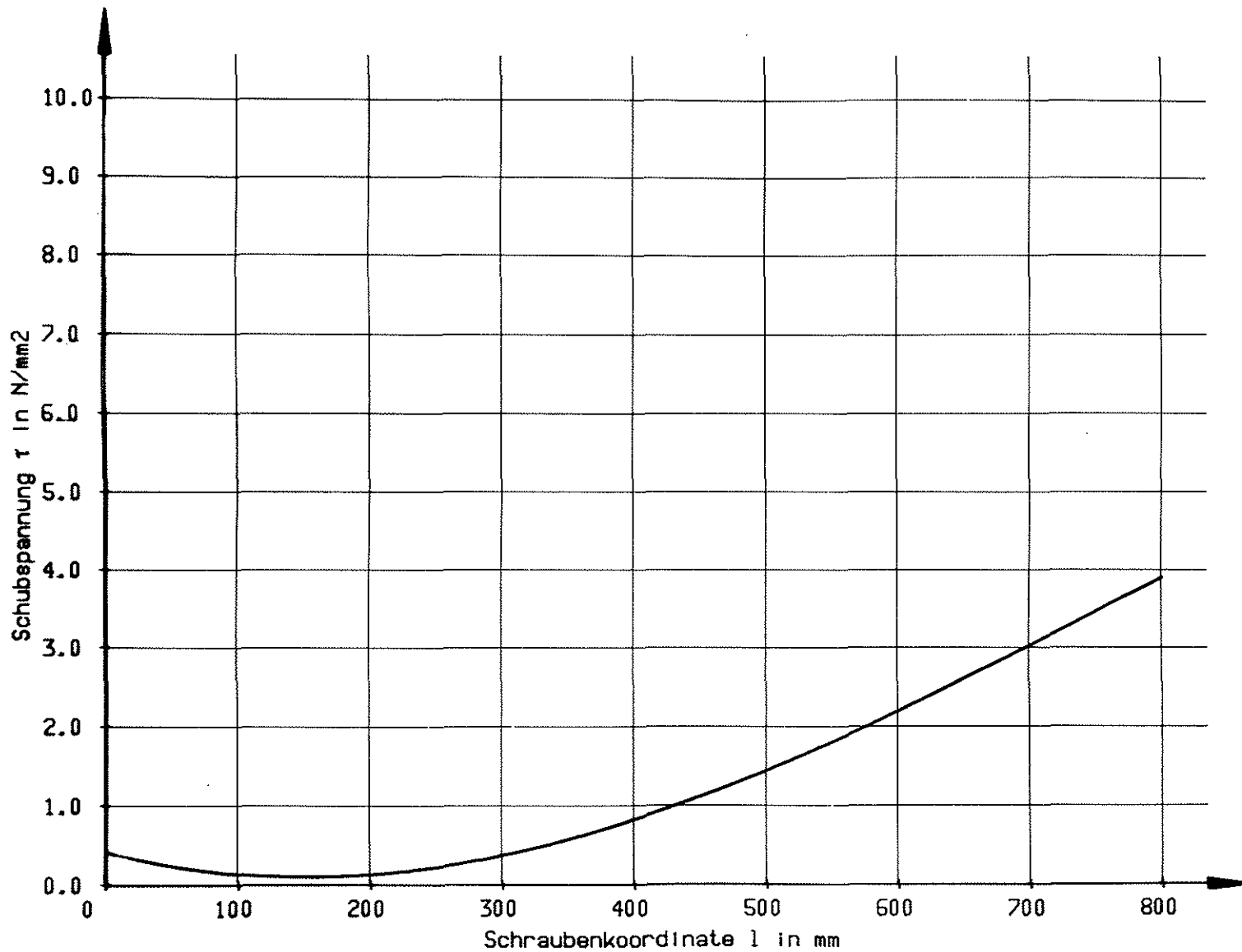


BILD 72 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: C III L 1.1
 Gewindestange M 16 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50.0 kN

ANLAGE 60

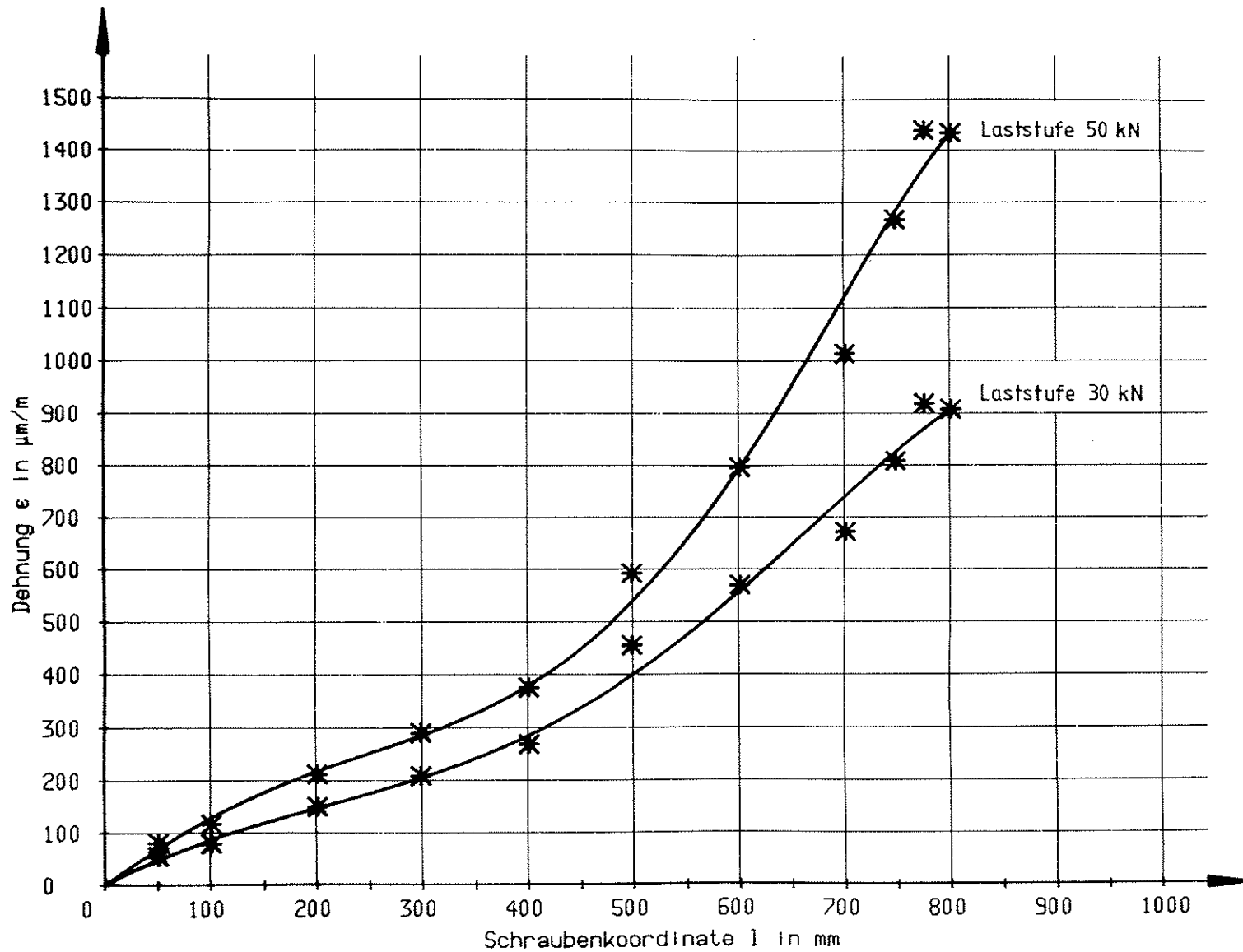


BILD 73 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I 1.3

Gewindestange M 20 ohne Leim

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 30 - 50 kN

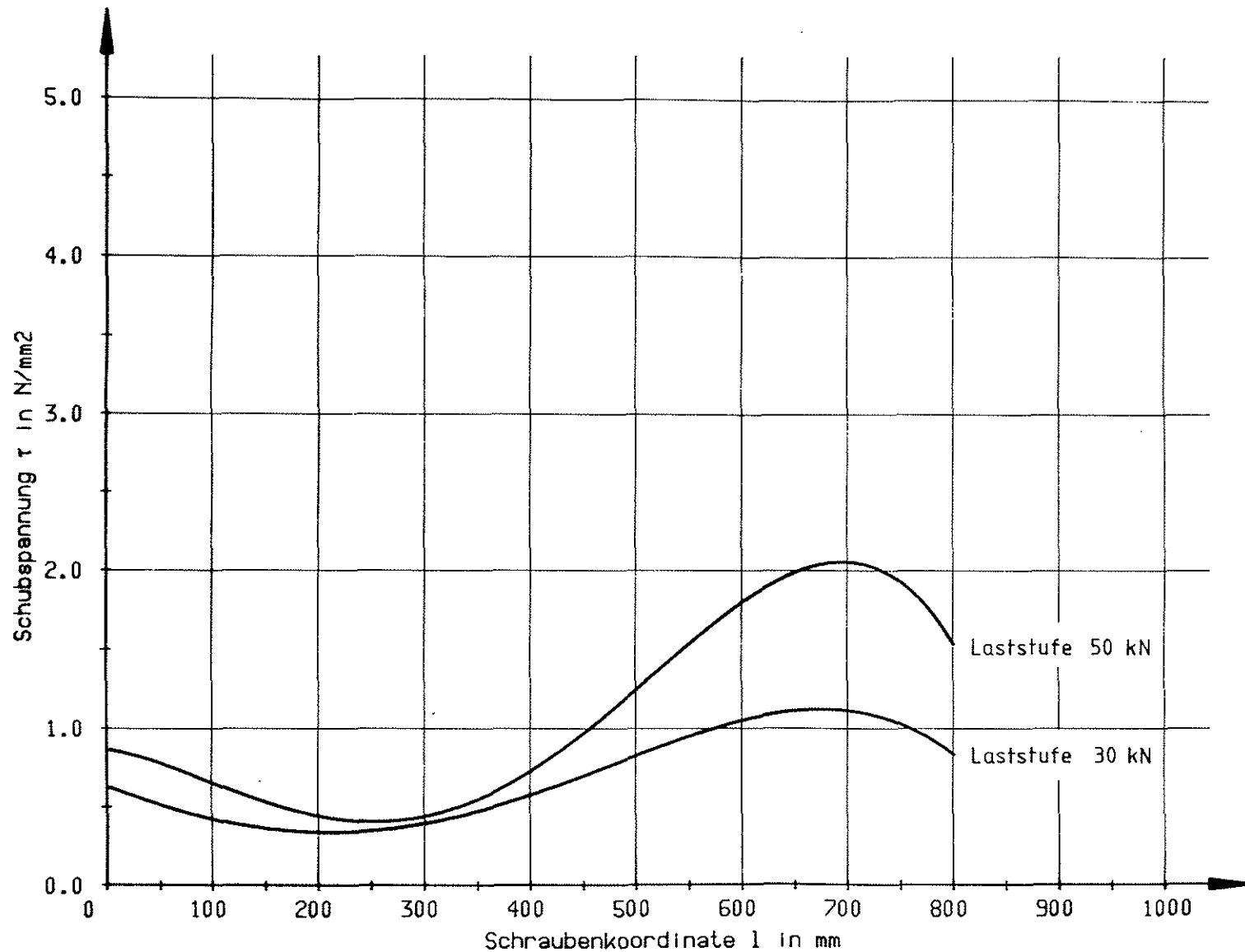


BILD 74 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I 1.3

Gewindestange M 20 ohne Leim

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 30-50 kN

ANLAGE 62

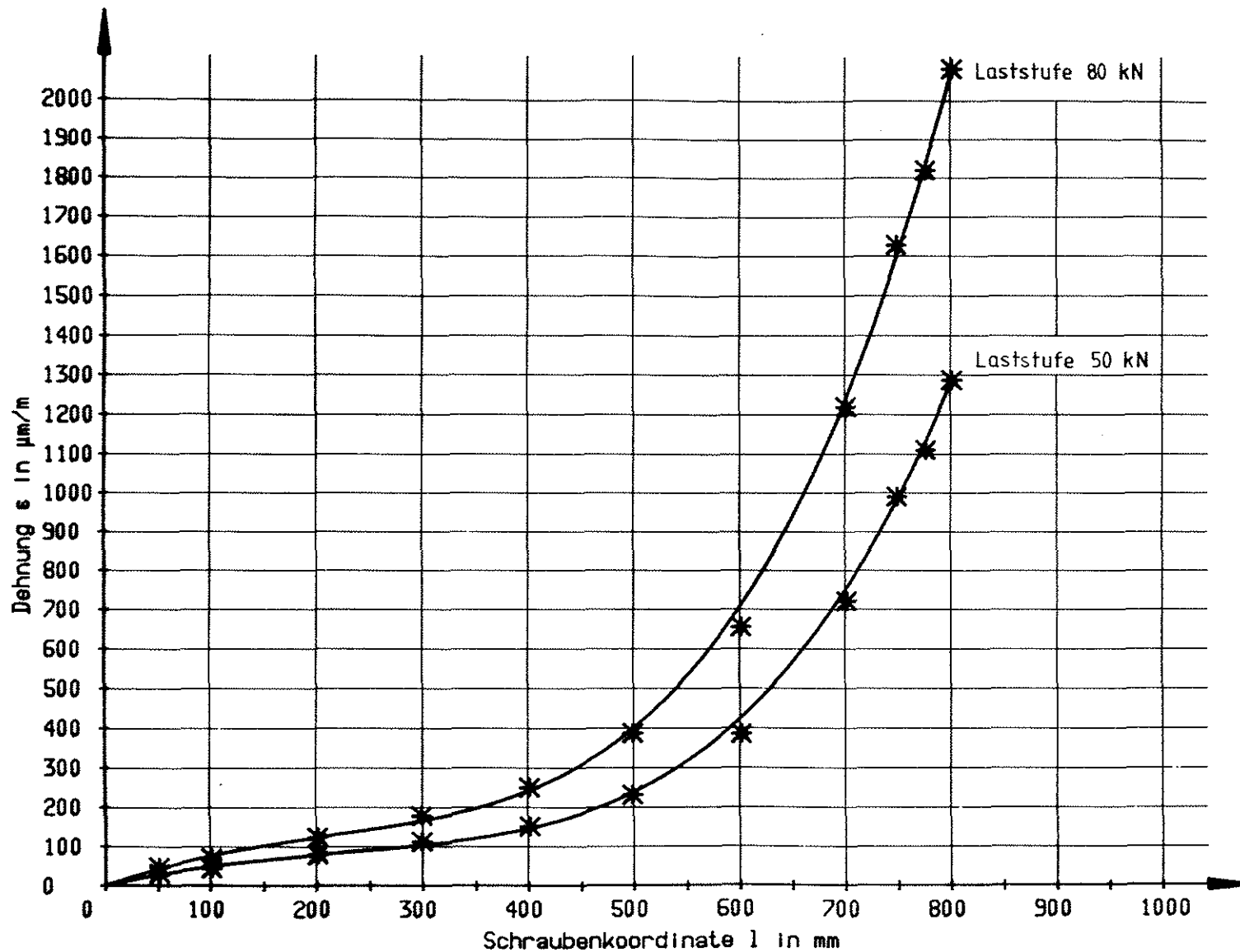


BILD 75 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 1.3

Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 50 - 80 kN

ANLAGE 63

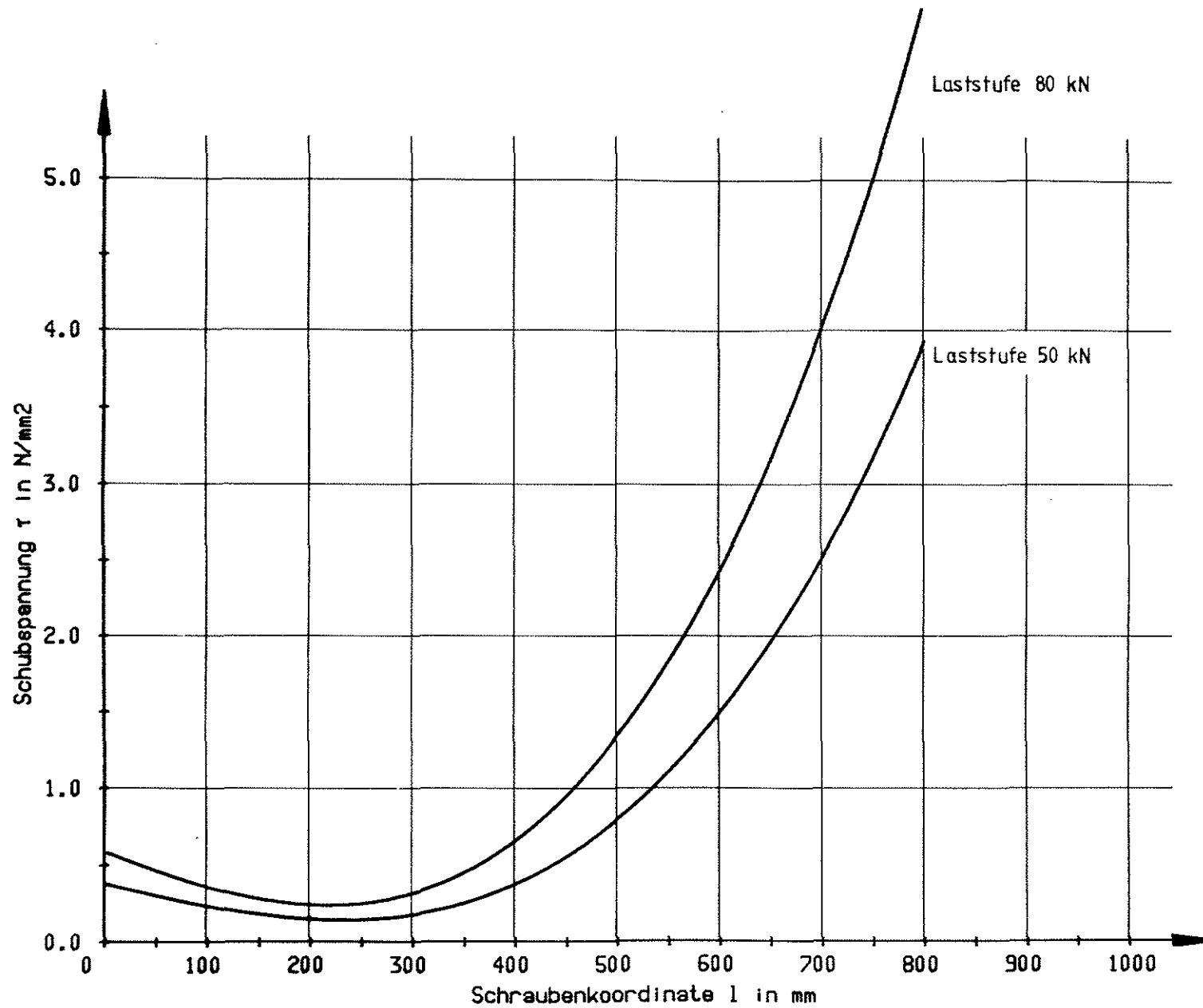


BILD 76 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 1.3
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 - 80 kN

ANLAGE 64

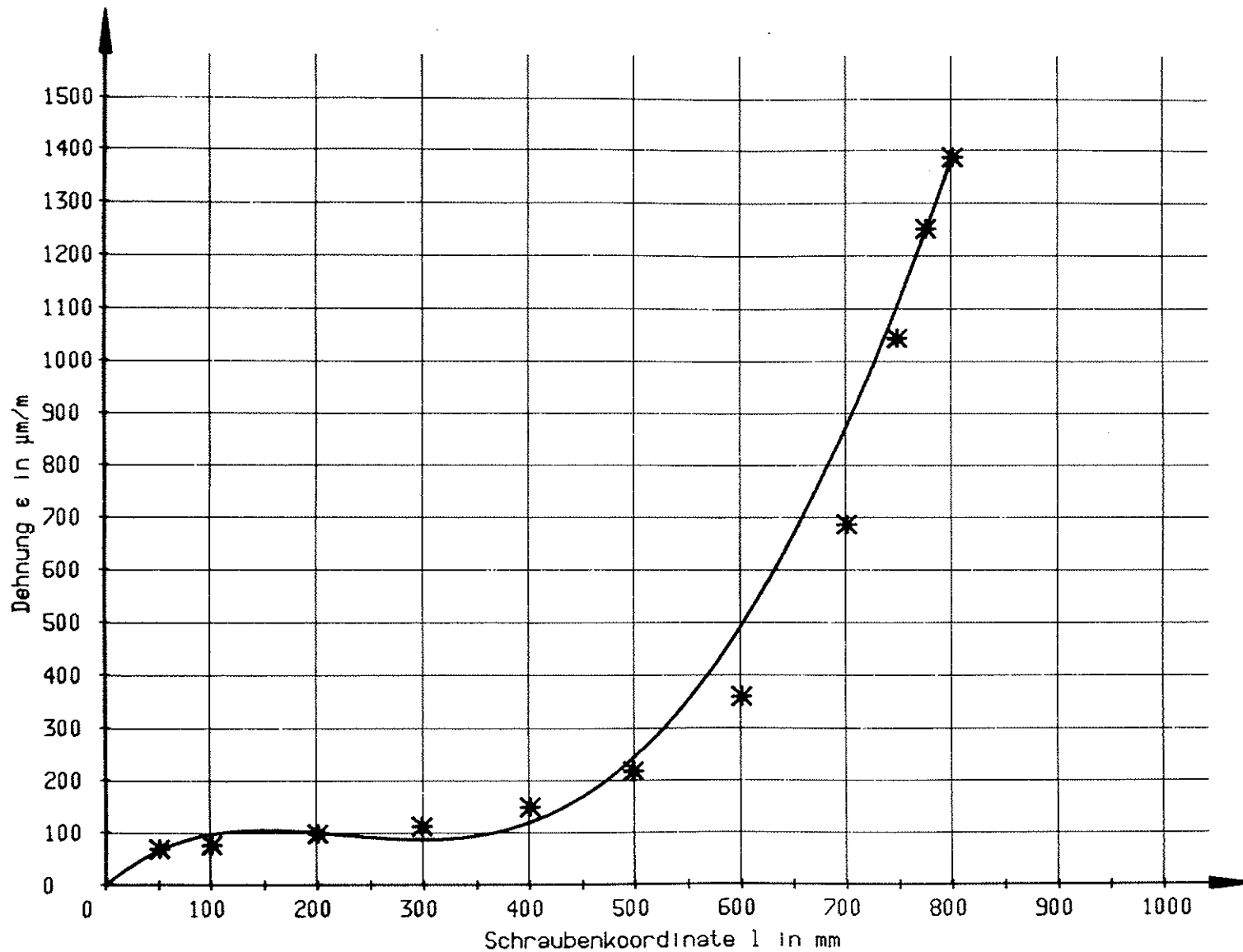


BILD 77 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 2.2 D
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

ANLAGE 65

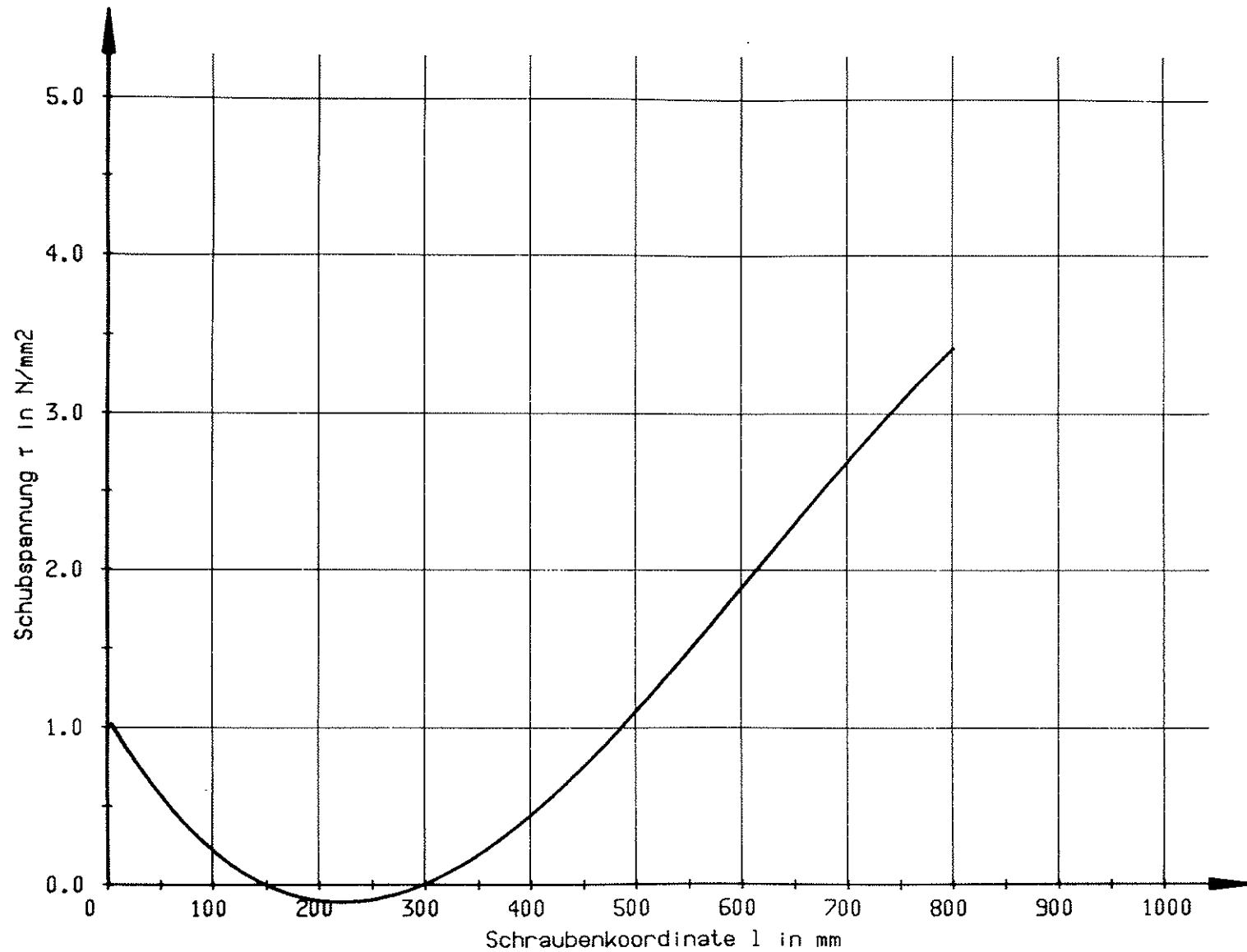


BILD 78 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 2.2 D
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

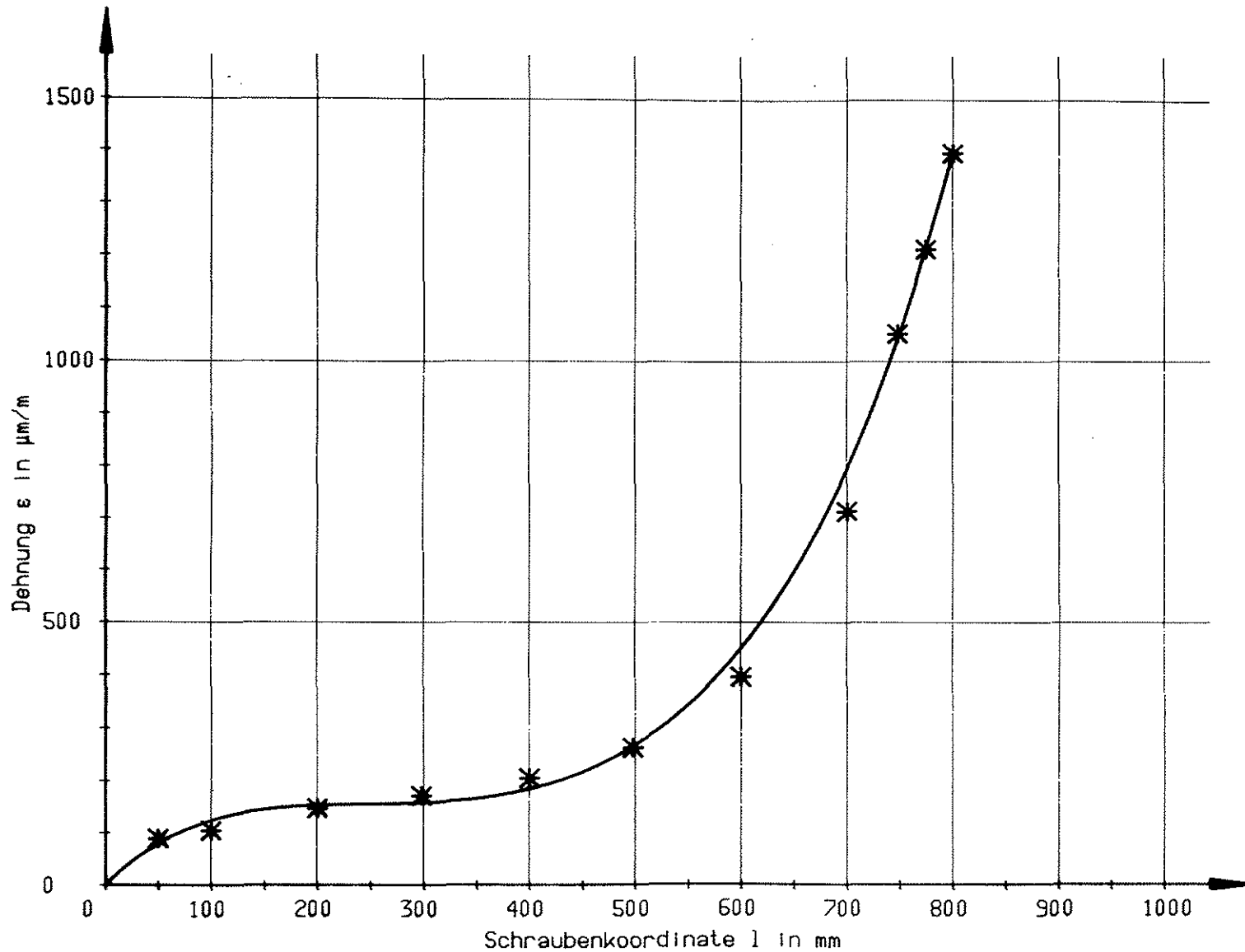


BILD 79 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 3.3 D
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

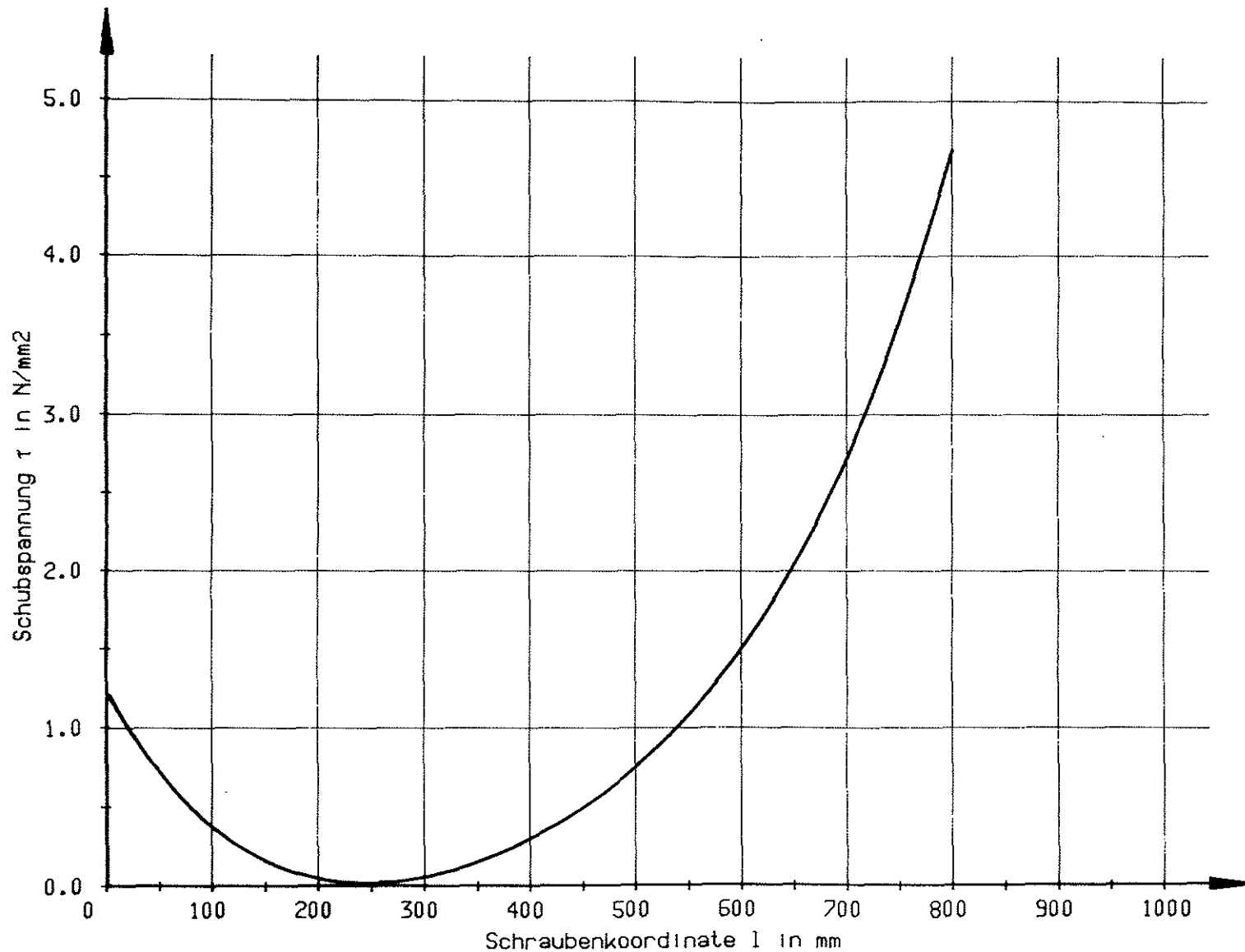


BILD 80 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 3.3 D
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

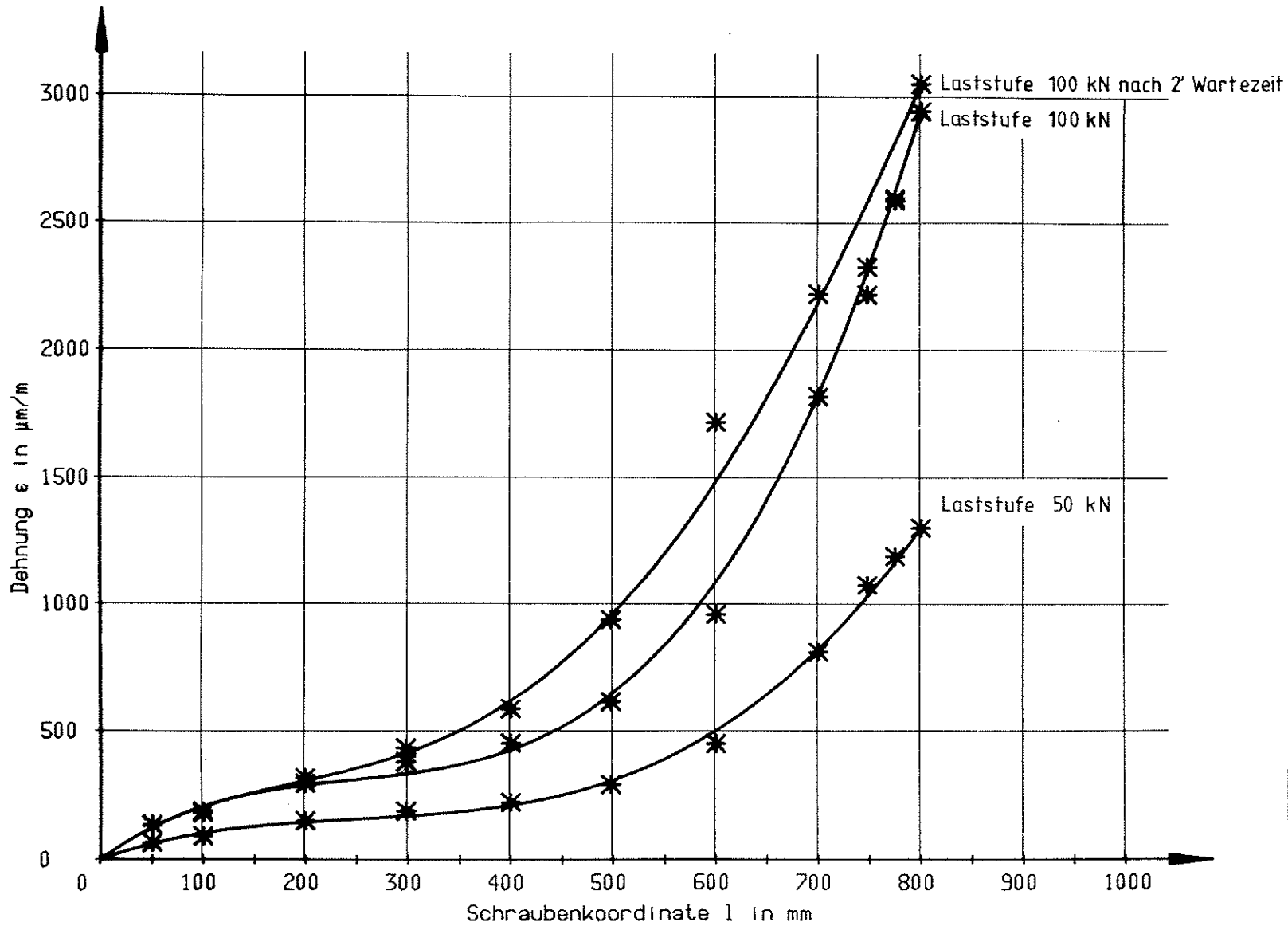


BILD 81 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

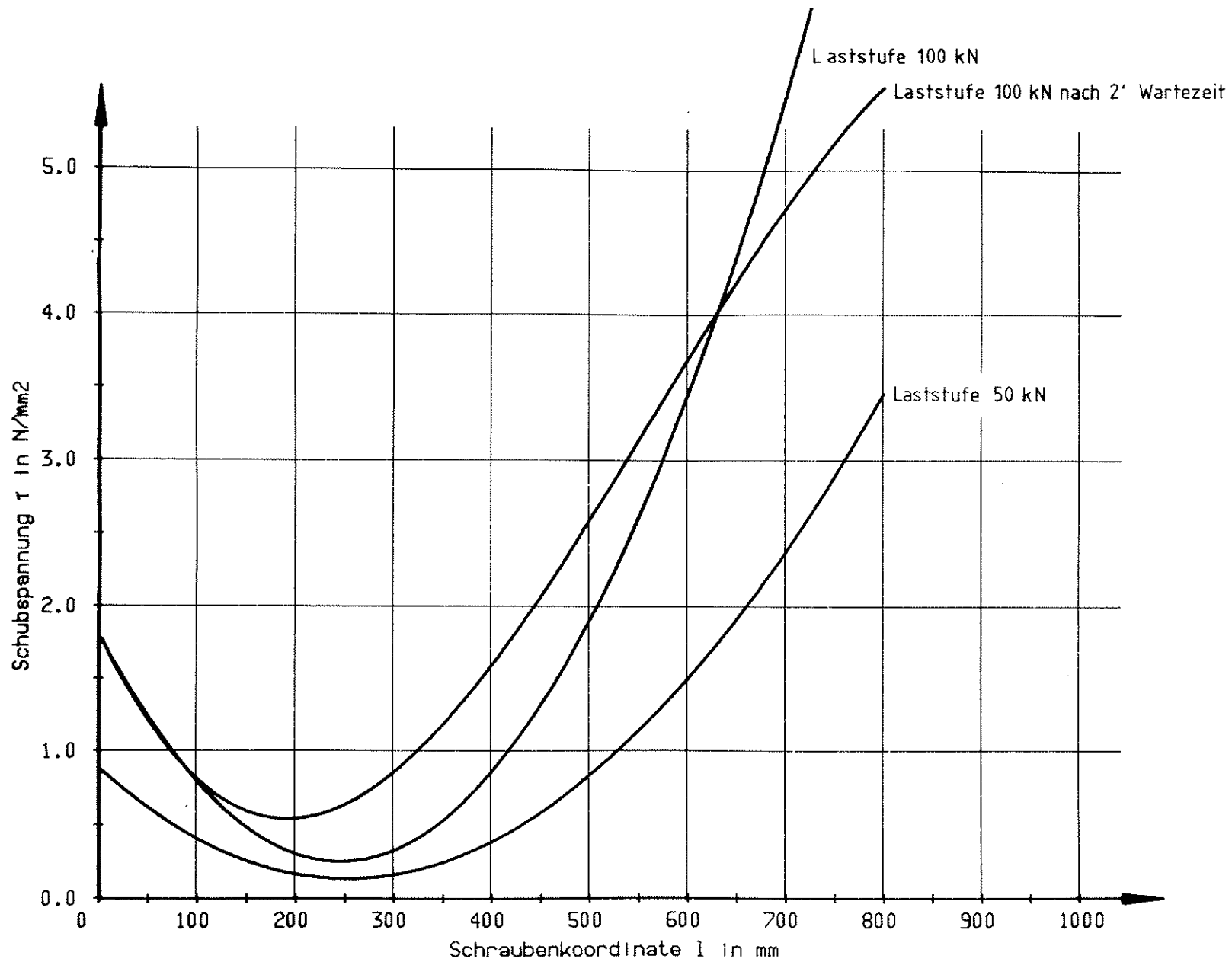
REIHE: D I L 4.2

Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 50 - 100 kN

ANLAGE 69



ANLAGE 70

BILD 82 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 4.2
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 - 100 kN

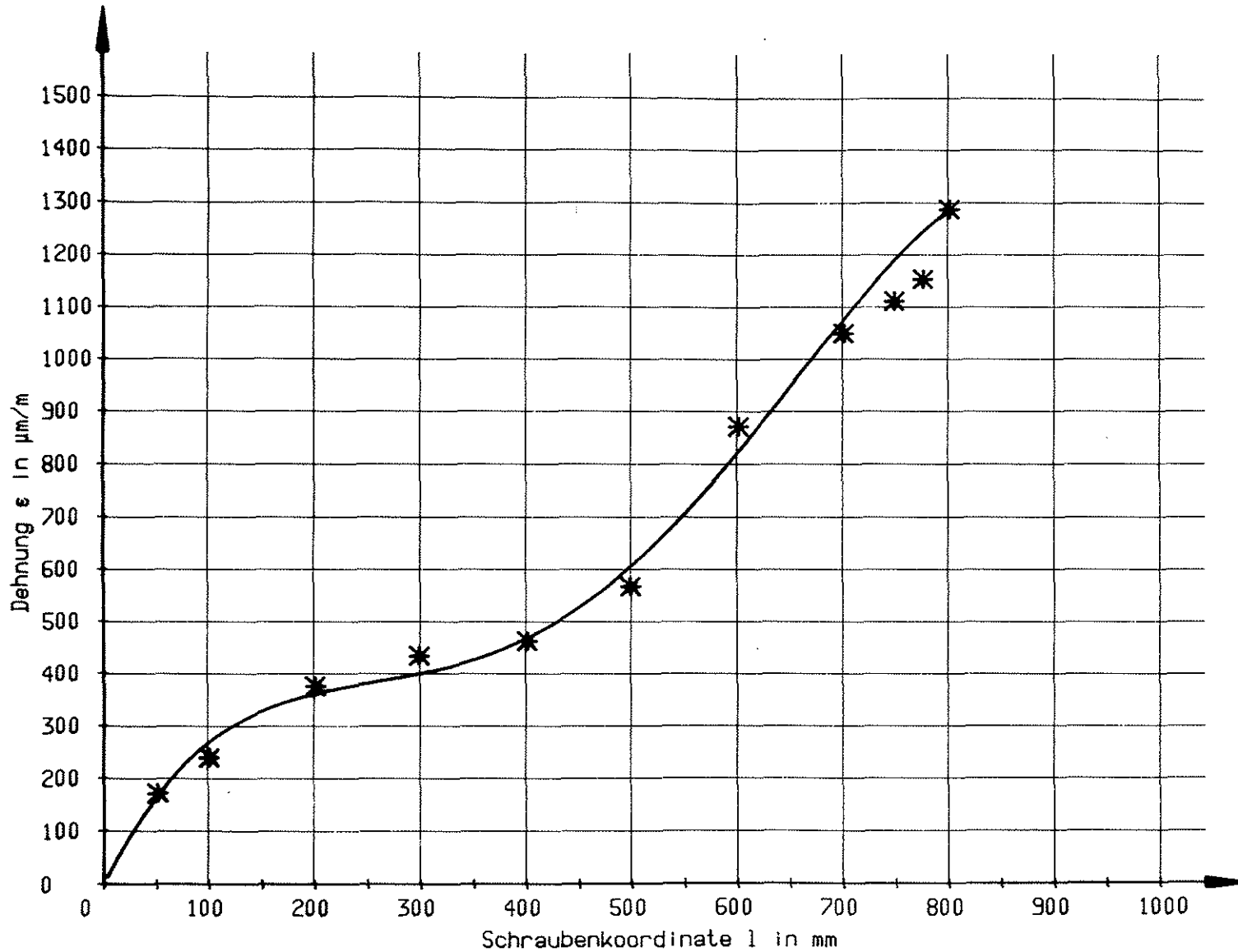


BILD 83 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: DIL 5.1
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

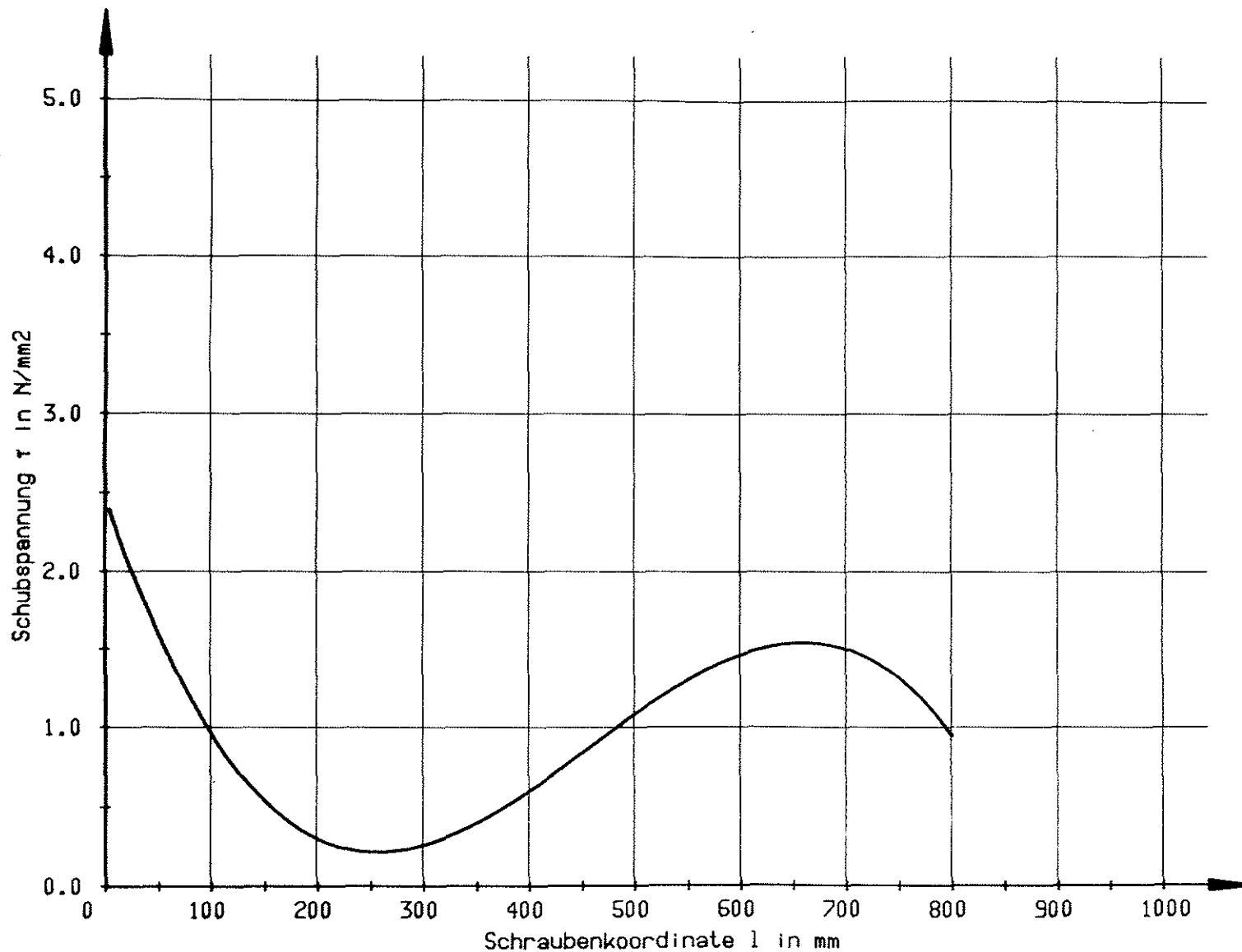


BILD 84 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: DIL 5.1
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 kN

ANLAGE 72

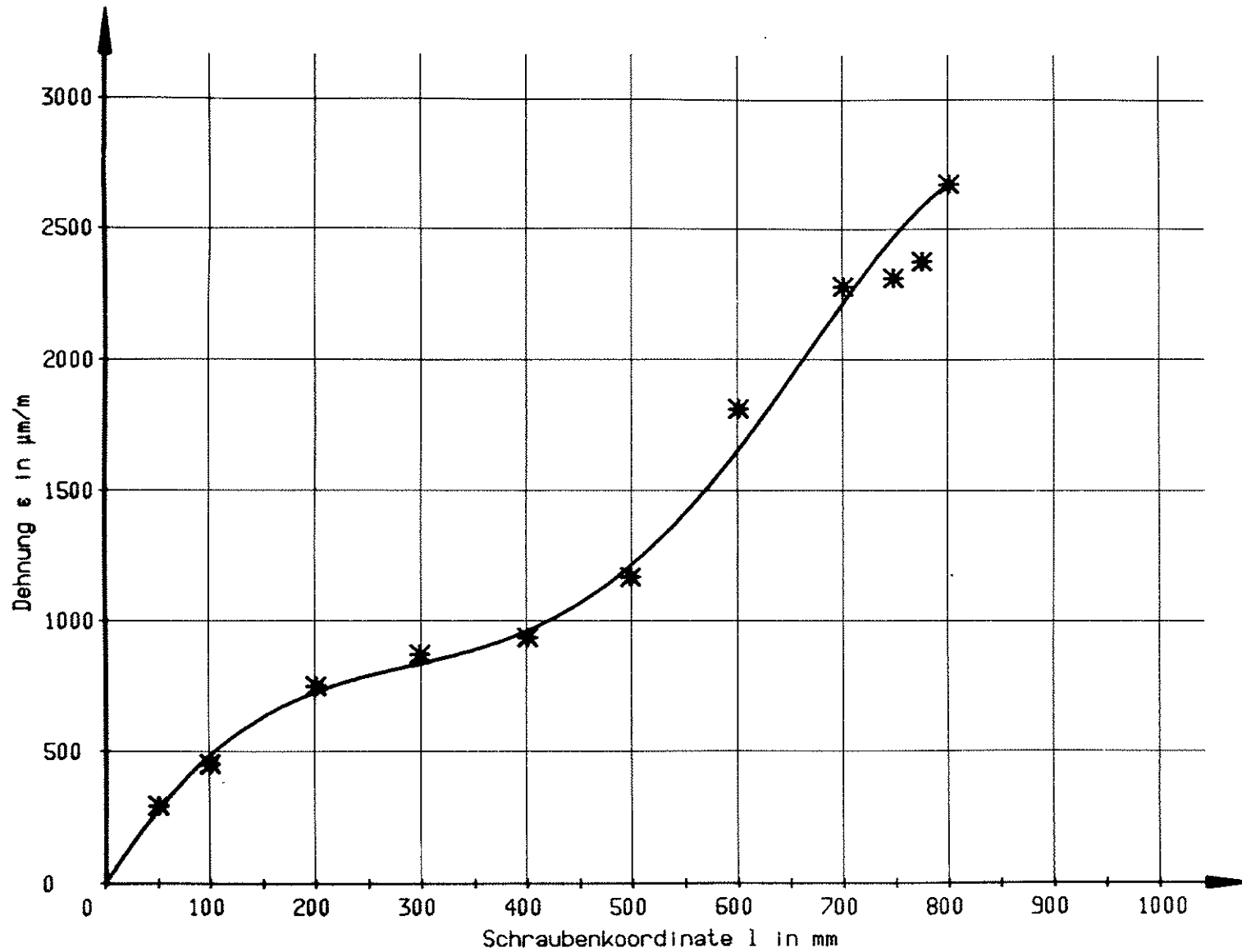


BILD 85 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 5.3
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 100 kN

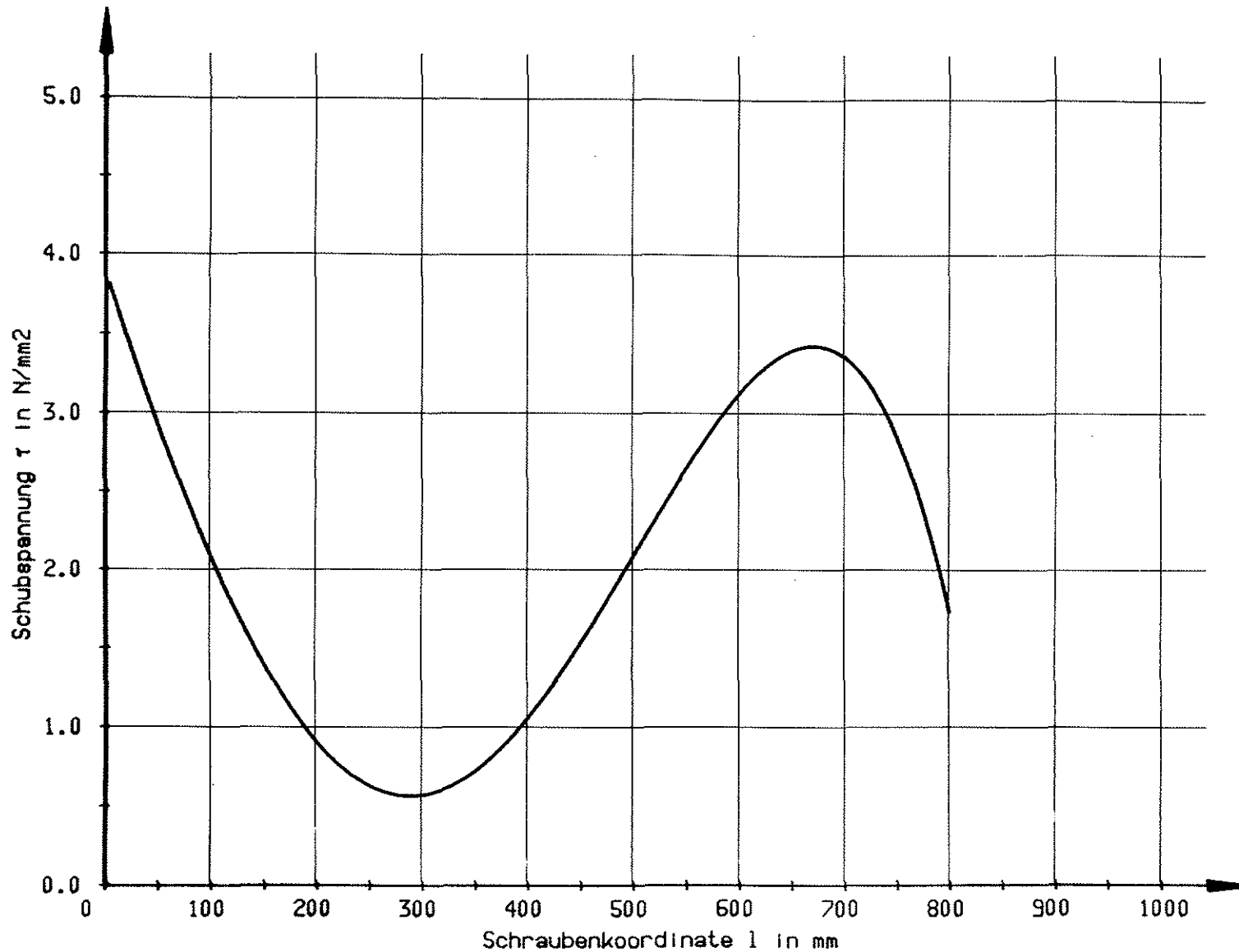


BILD 86 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D I L 5.3
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 100 kN

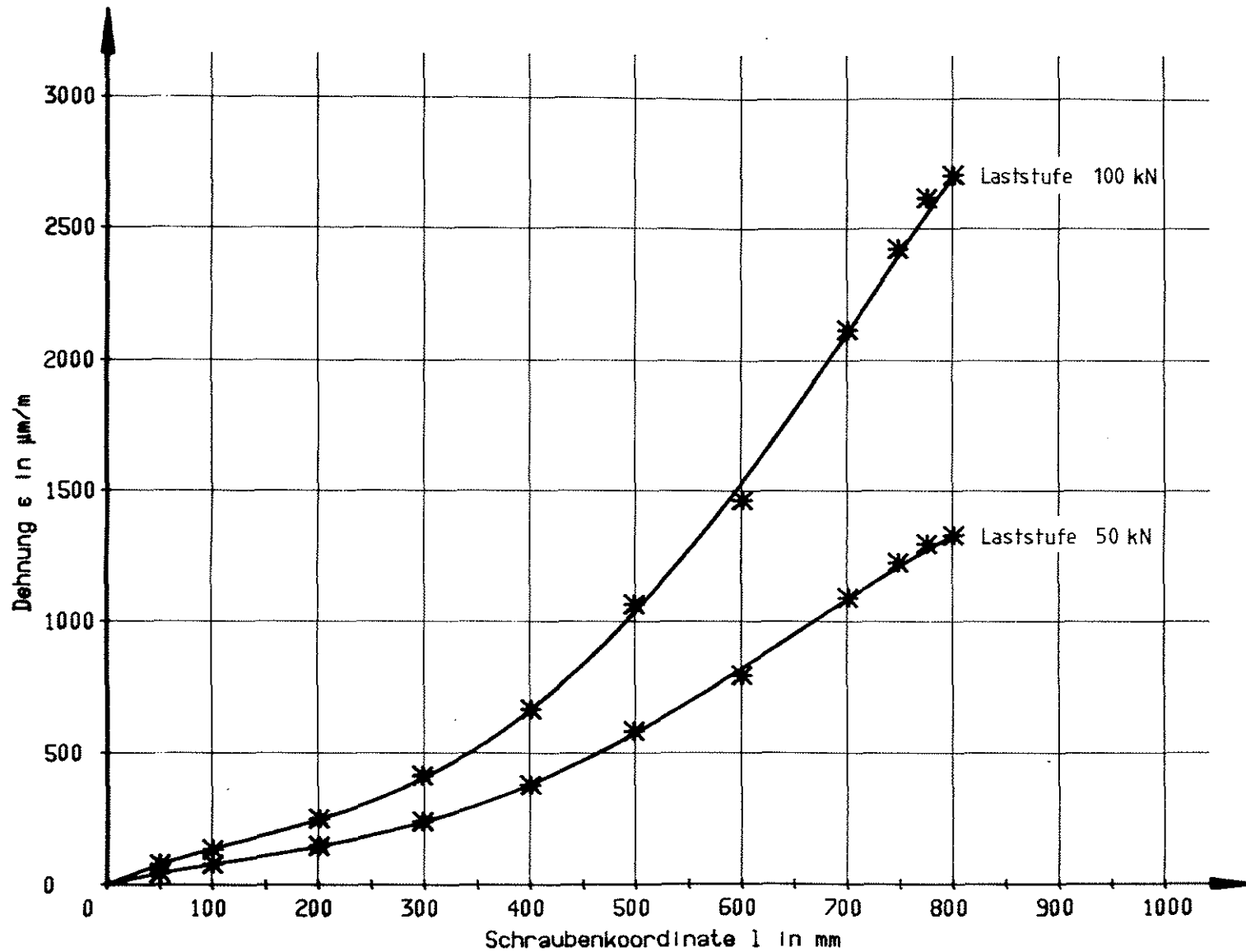


BILD 87 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D II L 1.3
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 - 100 kN

ANLAGE 75

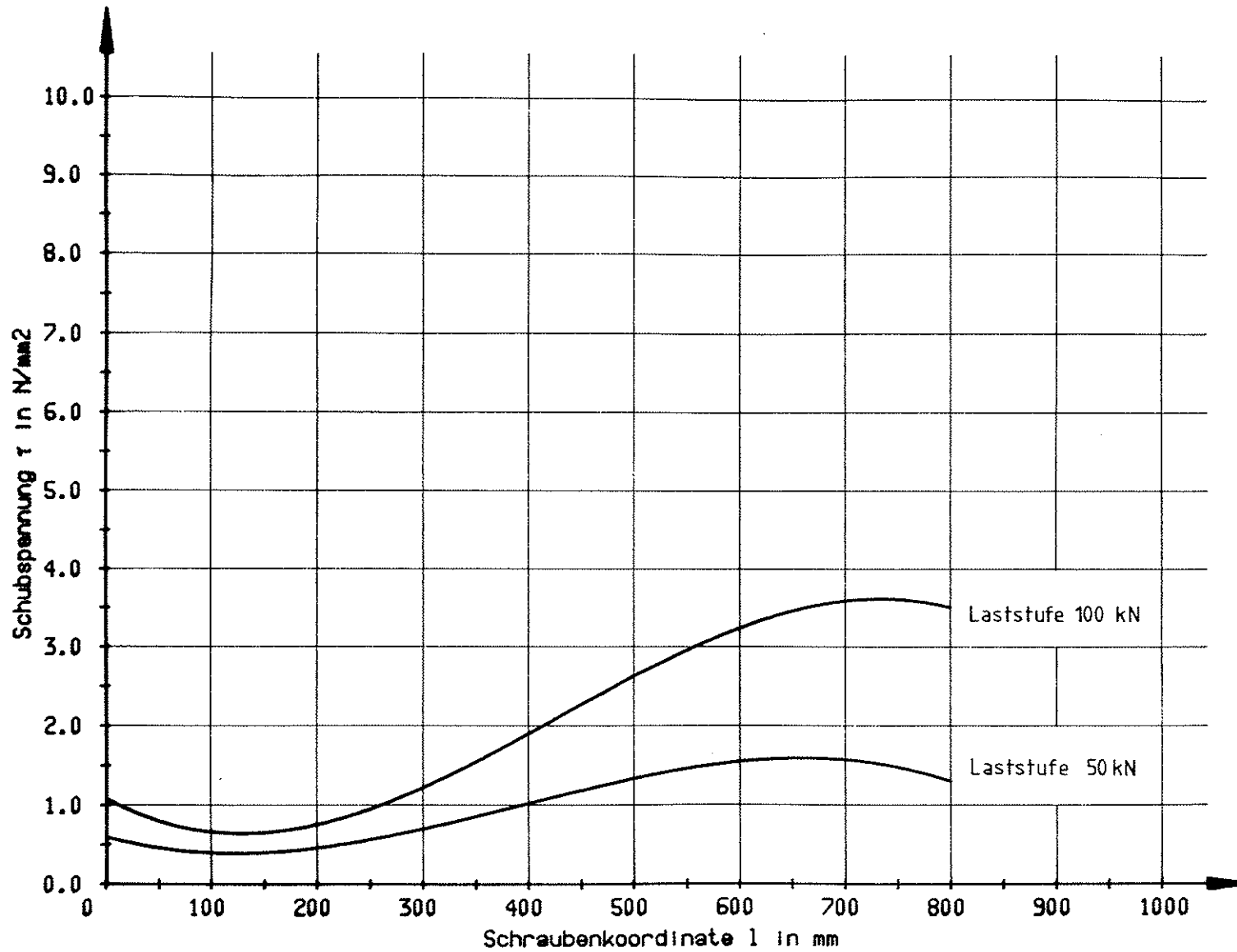
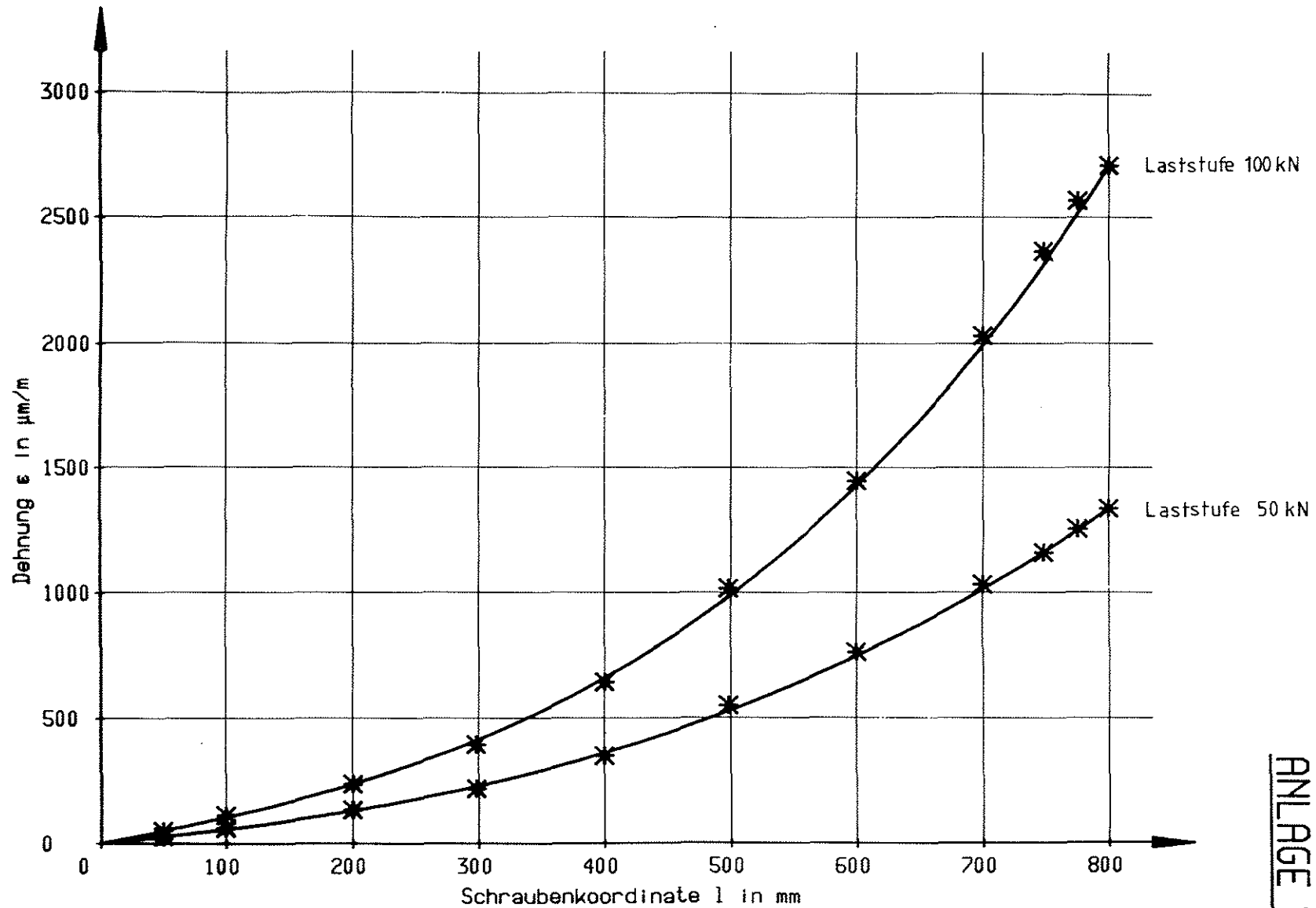


BILD 88 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D II L 1.3
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 - 100 kN

ANLAGE 76

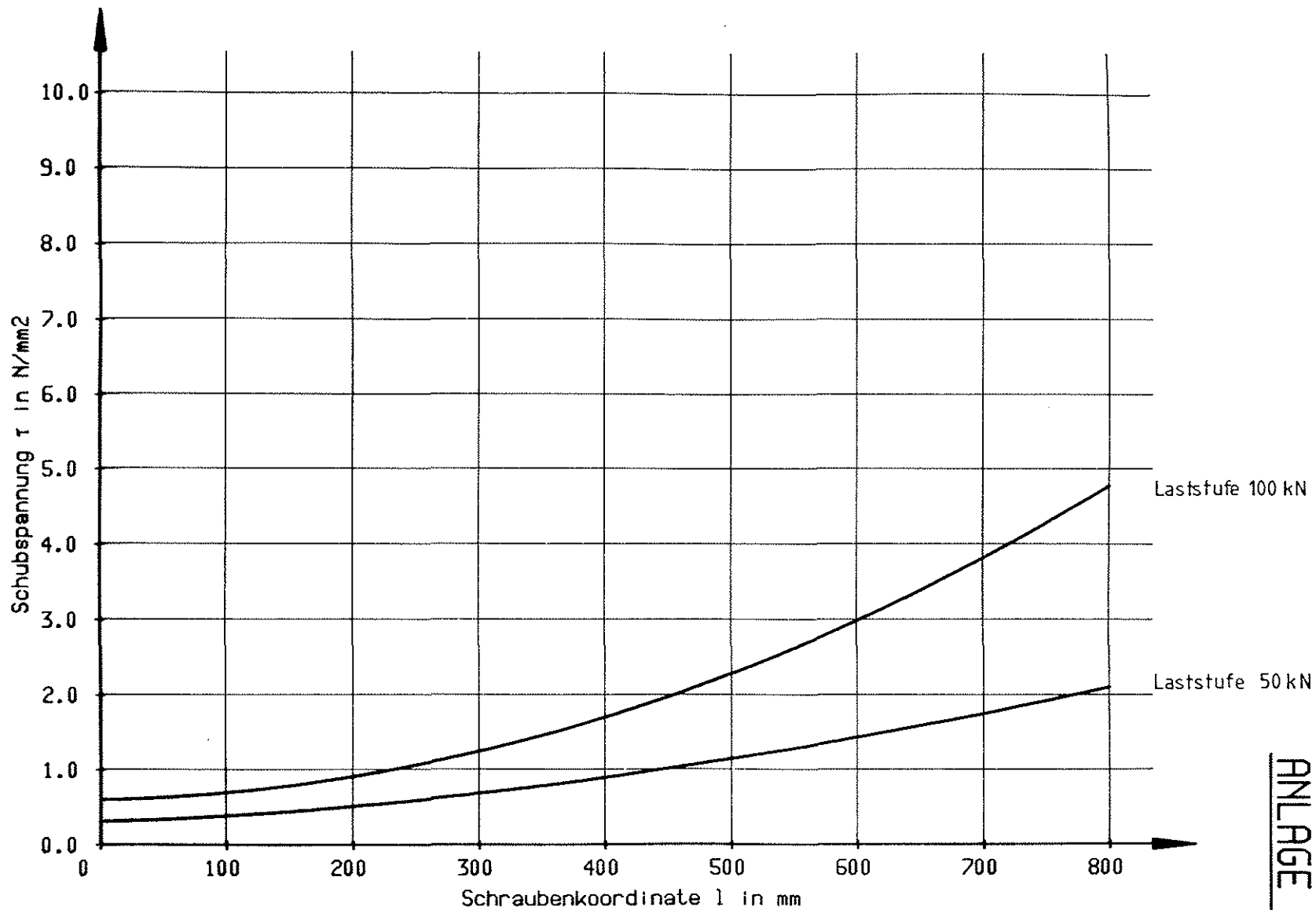


ANLAGE 77

BILD 89 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D III L 1.4
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 100 kN



ANLAGE 78

BILD 90 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: D III L 1.4
 Gewindestange M 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 800 mm
 Laststufe: 50 - 100 kN

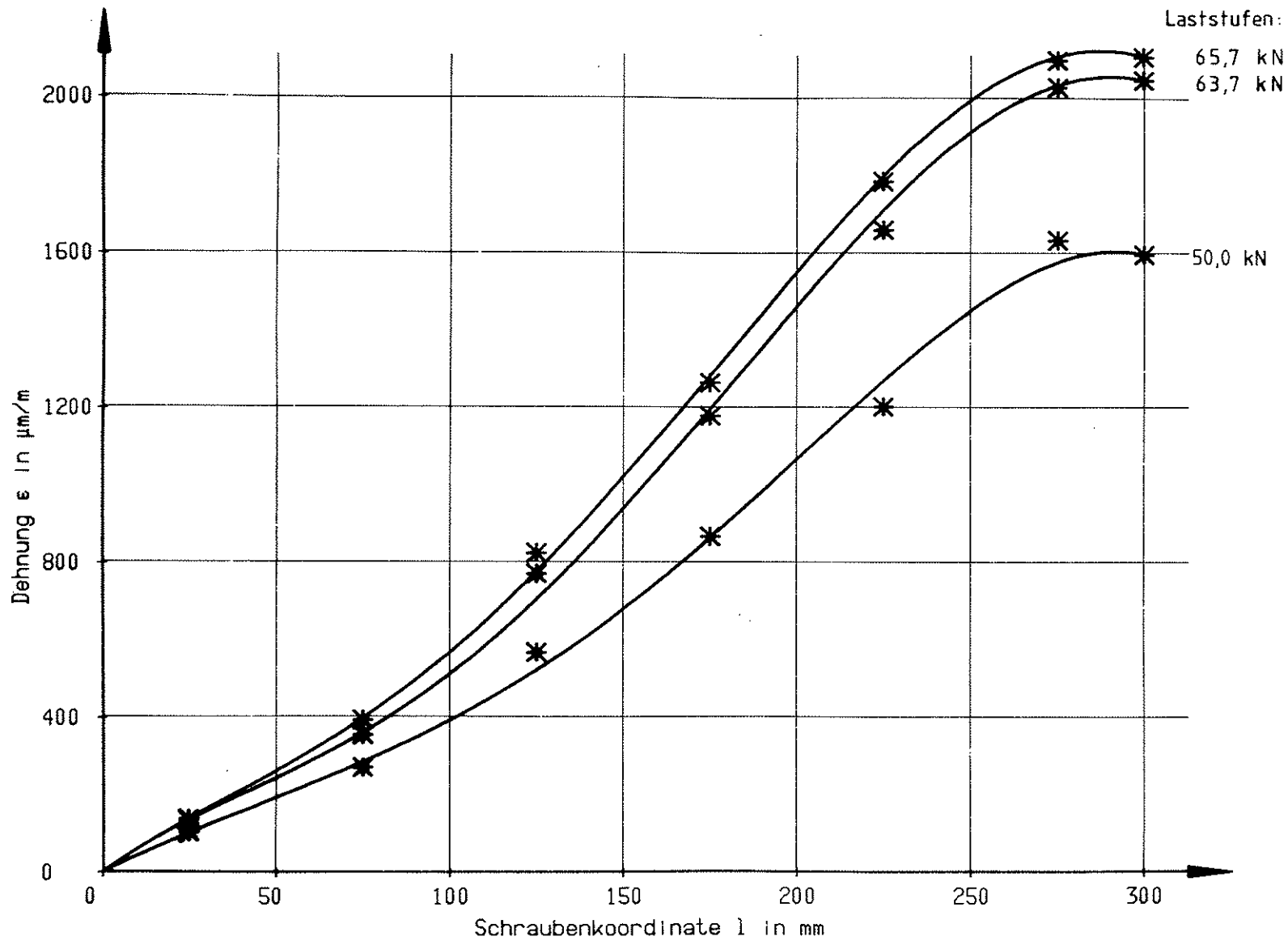


BILD 91 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

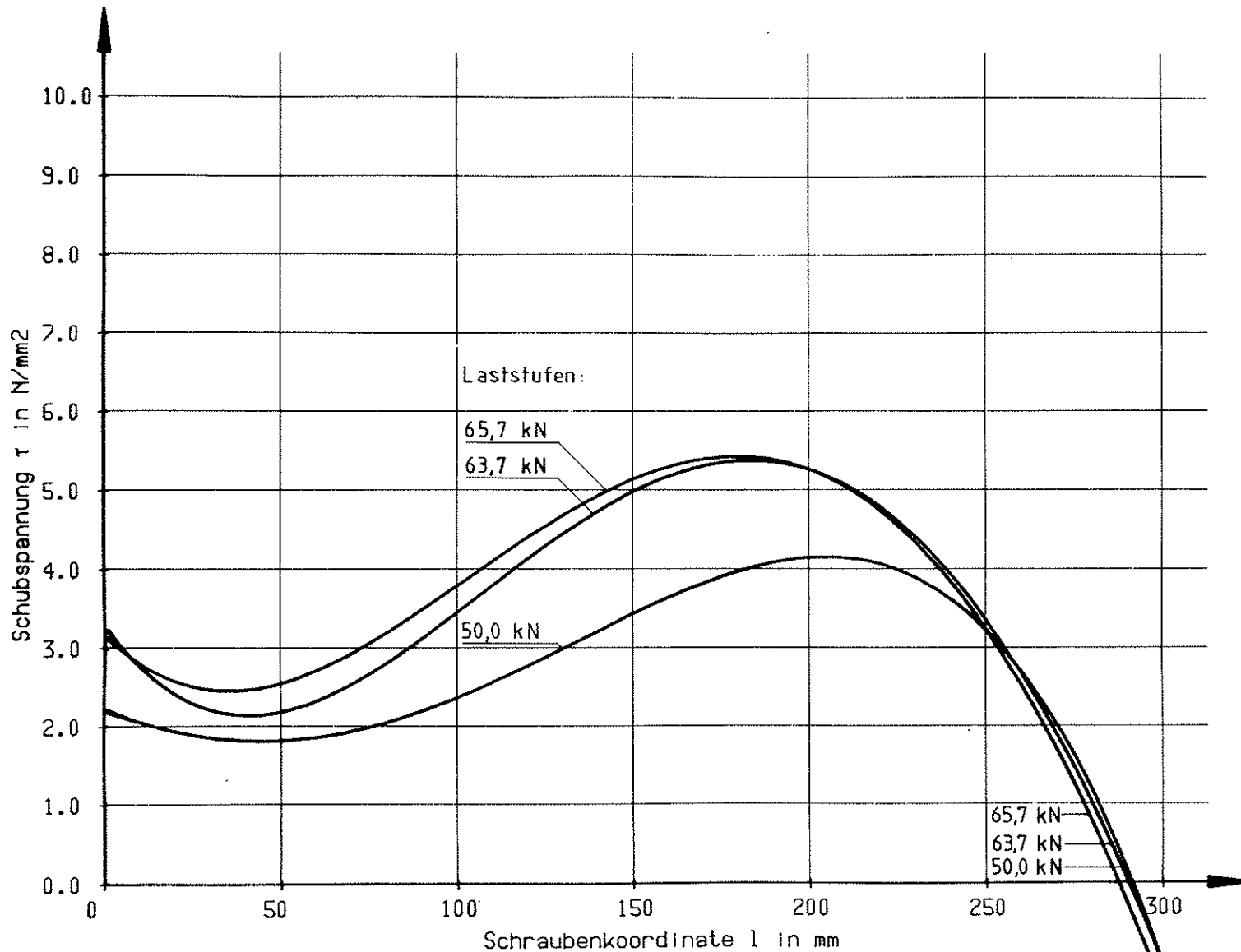
REIHE: E I 1.3

Gewindestange \varnothing 20 ohne Leim

Einschraubtiefe: 300 mm

Laststufe: 50,0-63,7-65,7 kN

ANLAGE 79



ANLAGE 80

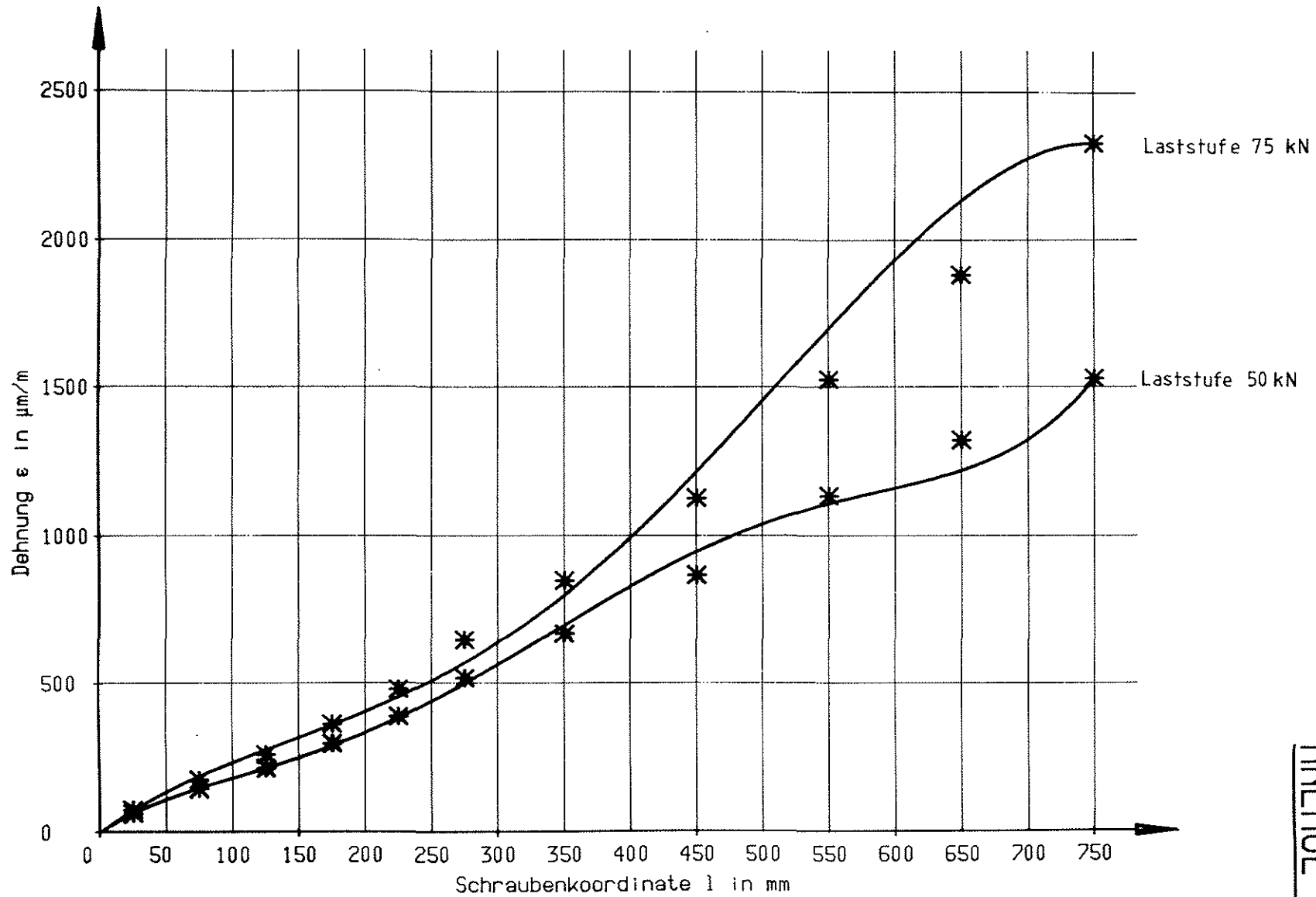
BILD 92 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: E I 1.3

Gewindestange Ø 20 ohne Leim

Einschraubtiefe: 300 mm

Laststufe: 50,0-63,7- 65,7 kN



ANLAGE 81

BILD 93 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: E II 1.3
 Gewindestange $\varnothing 20$ ohne Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 50-75 kN

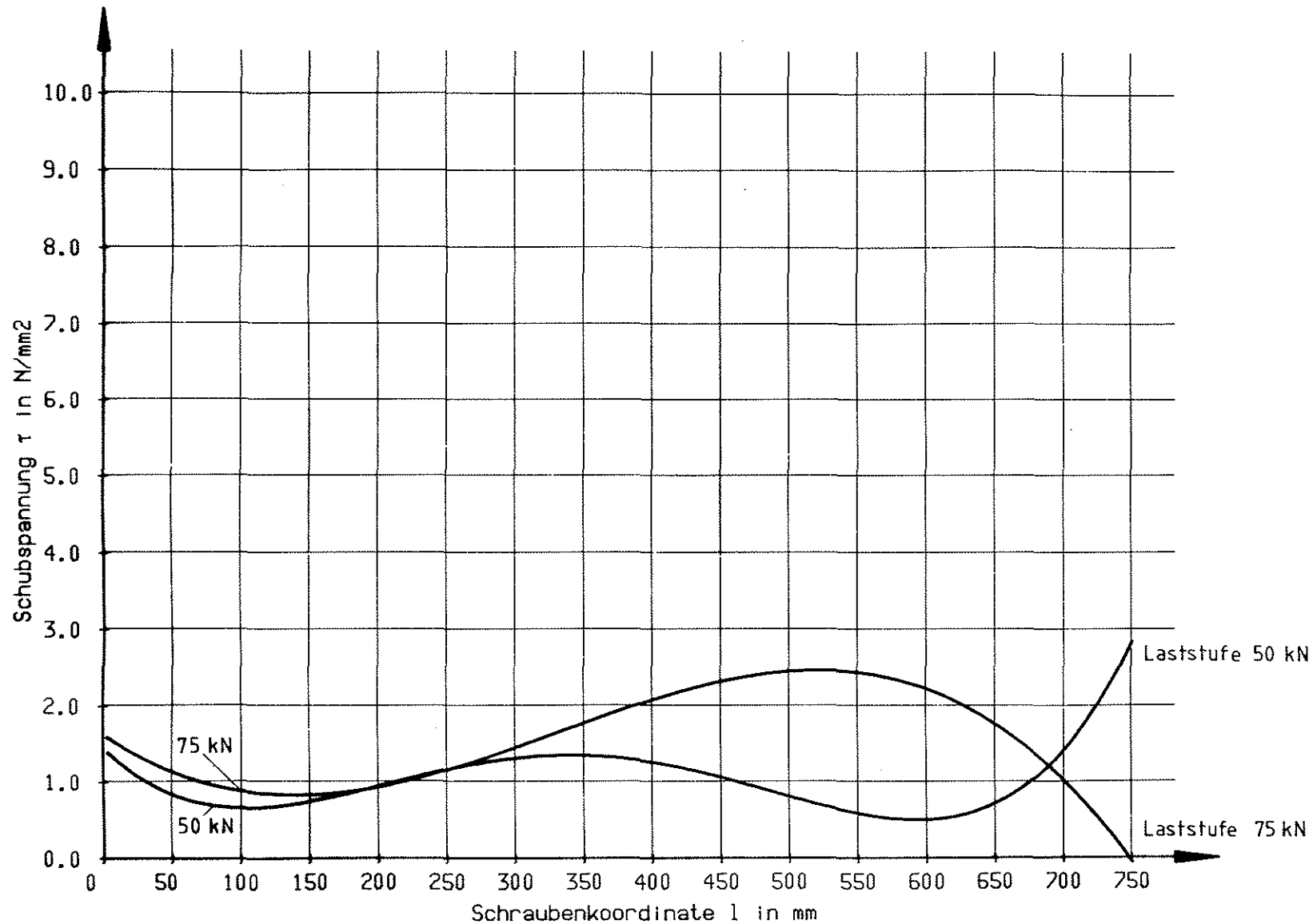


BILD 94 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: E II 1.3
 Gewindestange $\varnothing 20$ ohne Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 50-75 kN

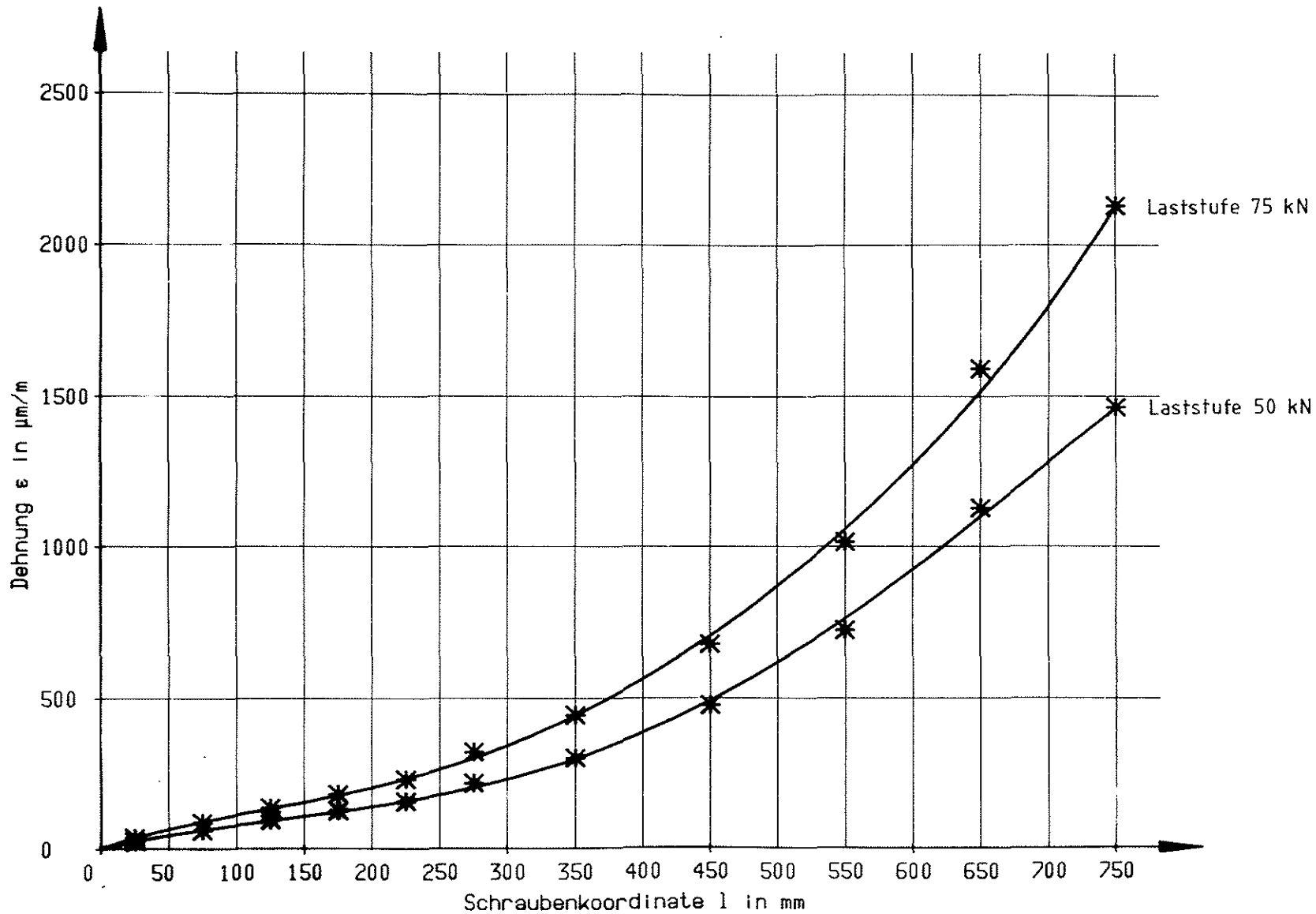
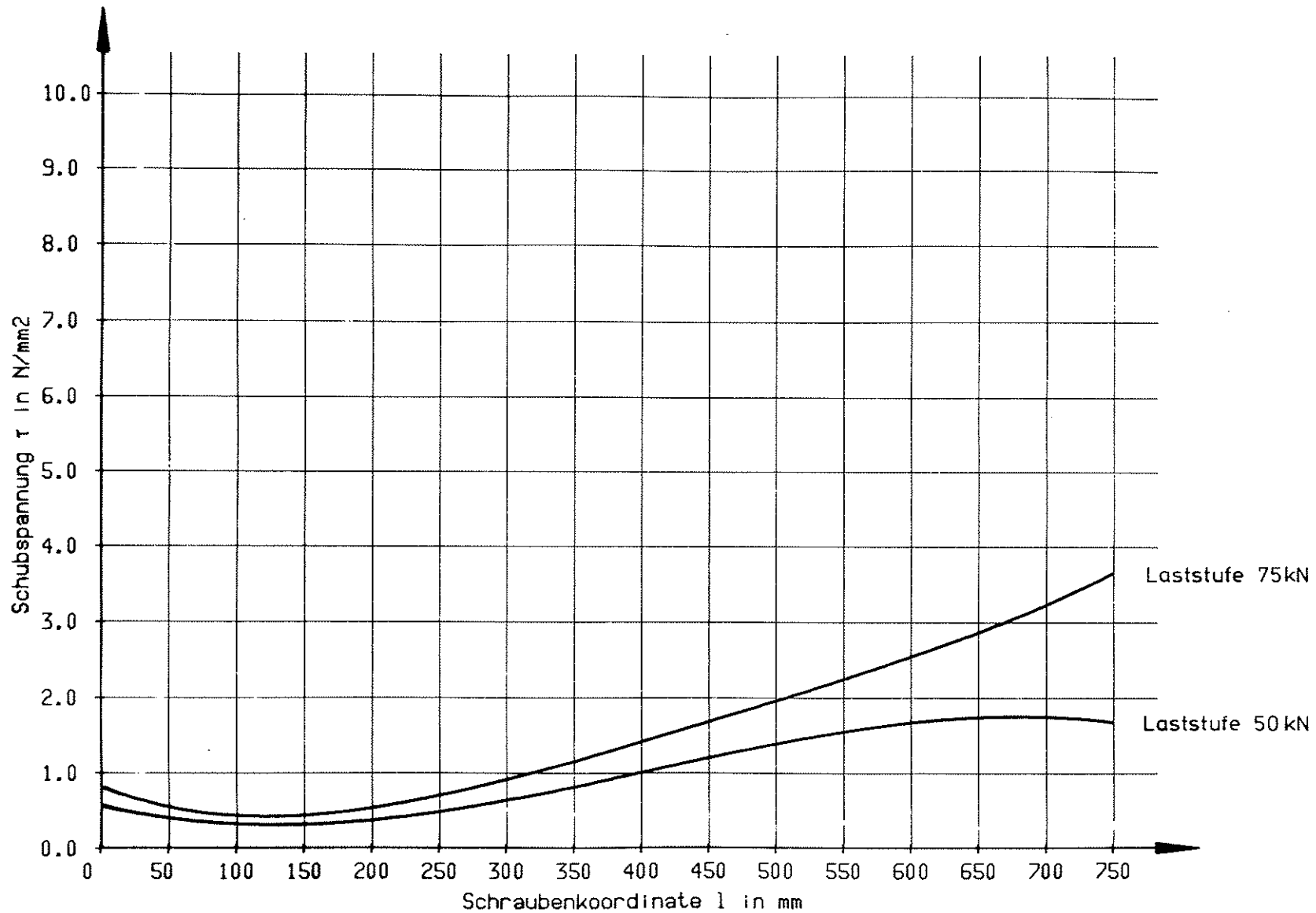


BILD 95 **DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: E III L 1.1
 Gewindestange Ø 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 50 - 75 kN

ANLAGE 83

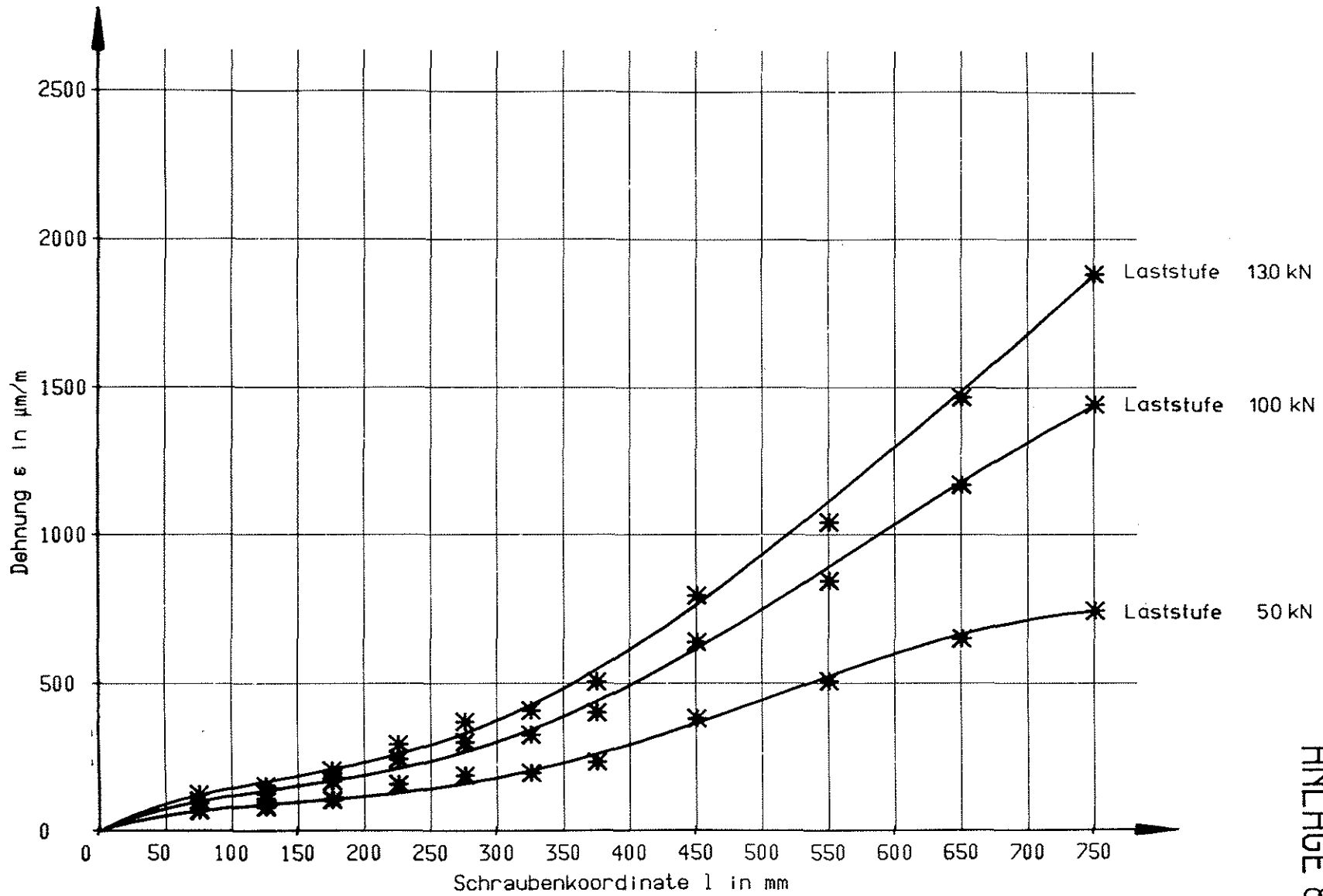


ANLAGE 84

BILD 96 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: E III L 1.2
 Gewindestange \varnothing 20 mit Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 50 - 75 kN

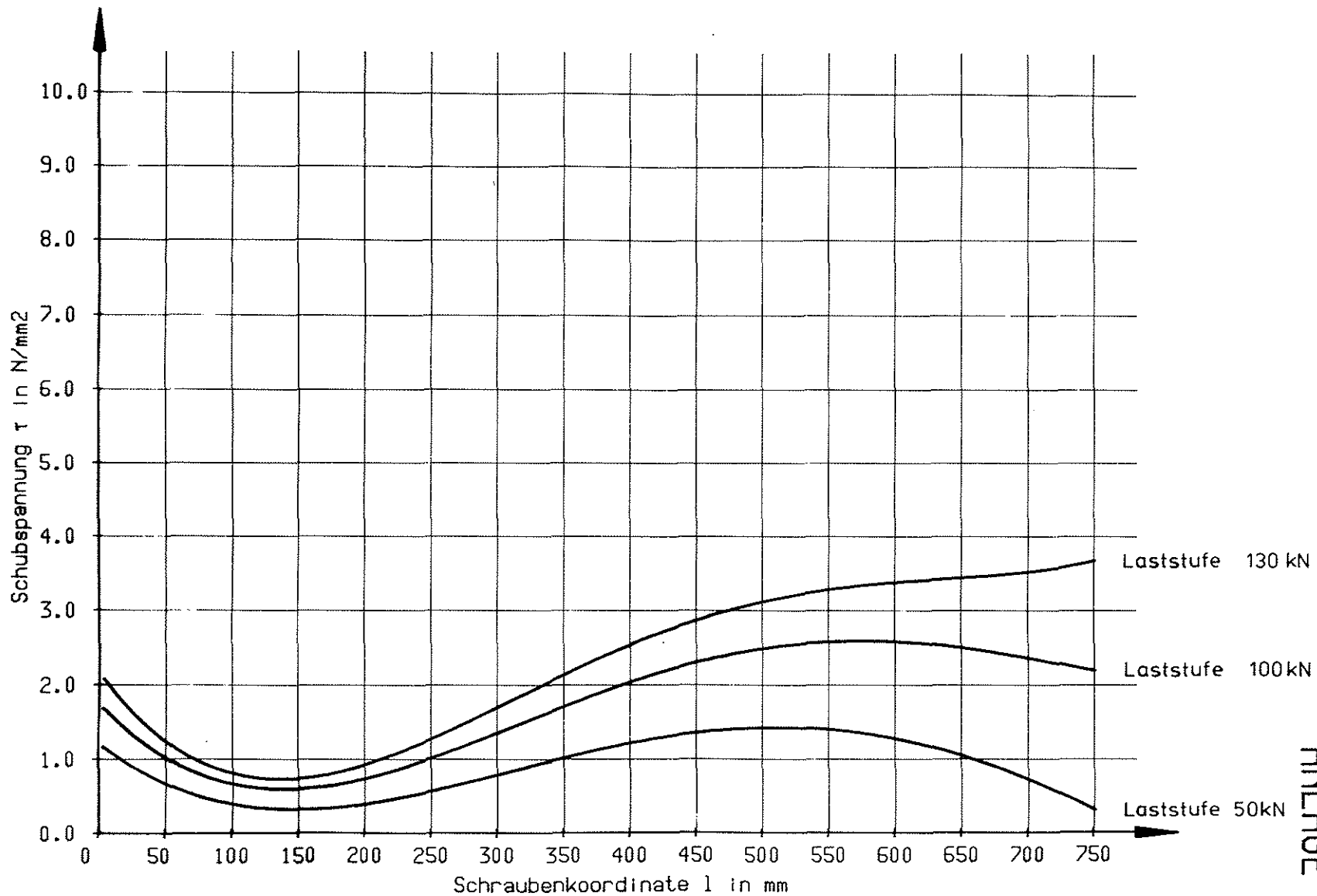


ANLAGE 85

BILD 97 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: F II 1.3
 Gewindestange \varnothing 27 ohne Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 50 - 100 - 130 kN



ANLAGE 86

BILD 98 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: F II 1.3
 Gewindestange \varnothing 27 ohne Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 50-100-130 kN

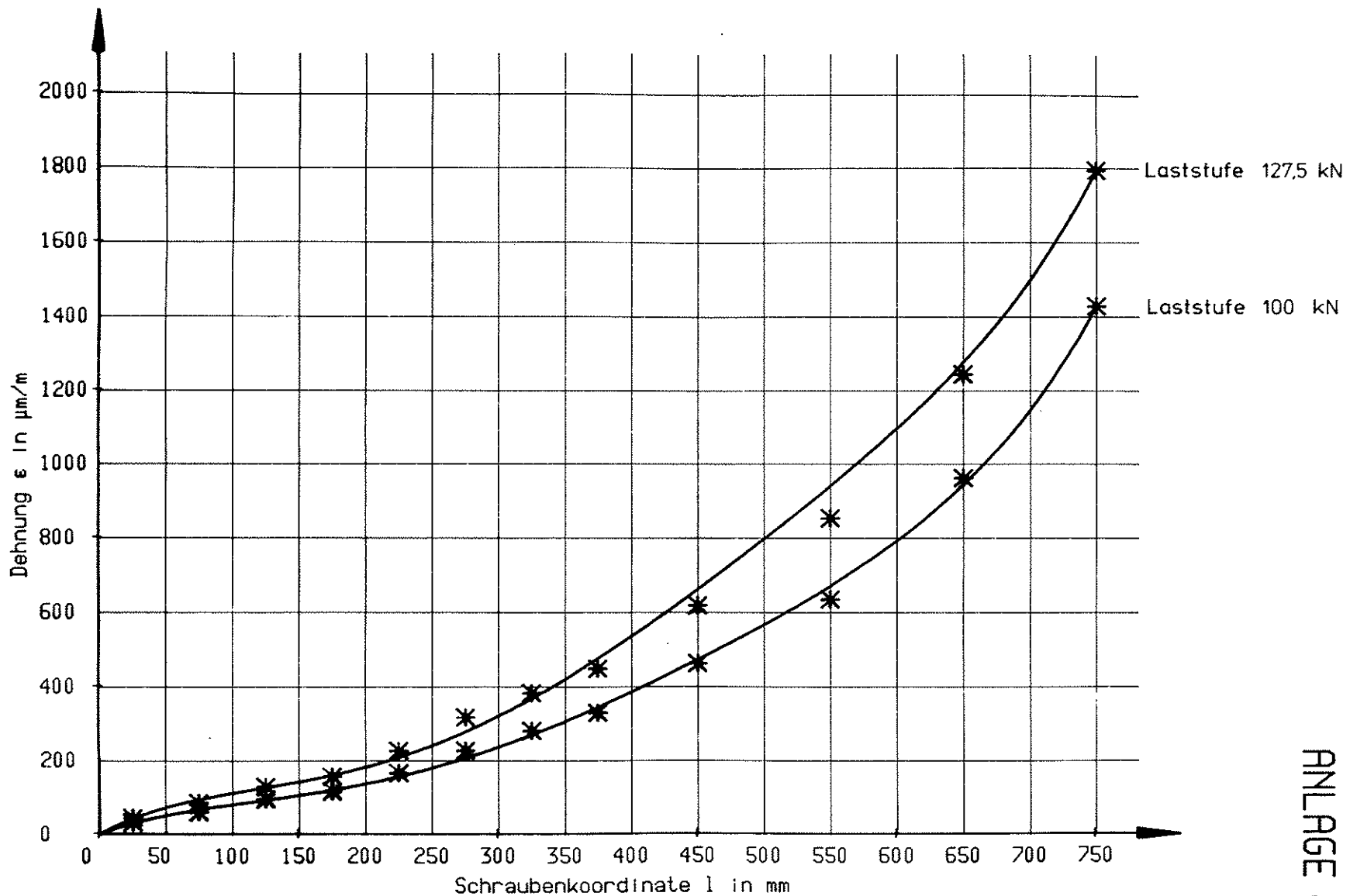


BILD 99 **DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: F III L 1.1
 Gewindestange $\varnothing 27$ mit Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 100 - 127,5 kN

ANLAGE 87

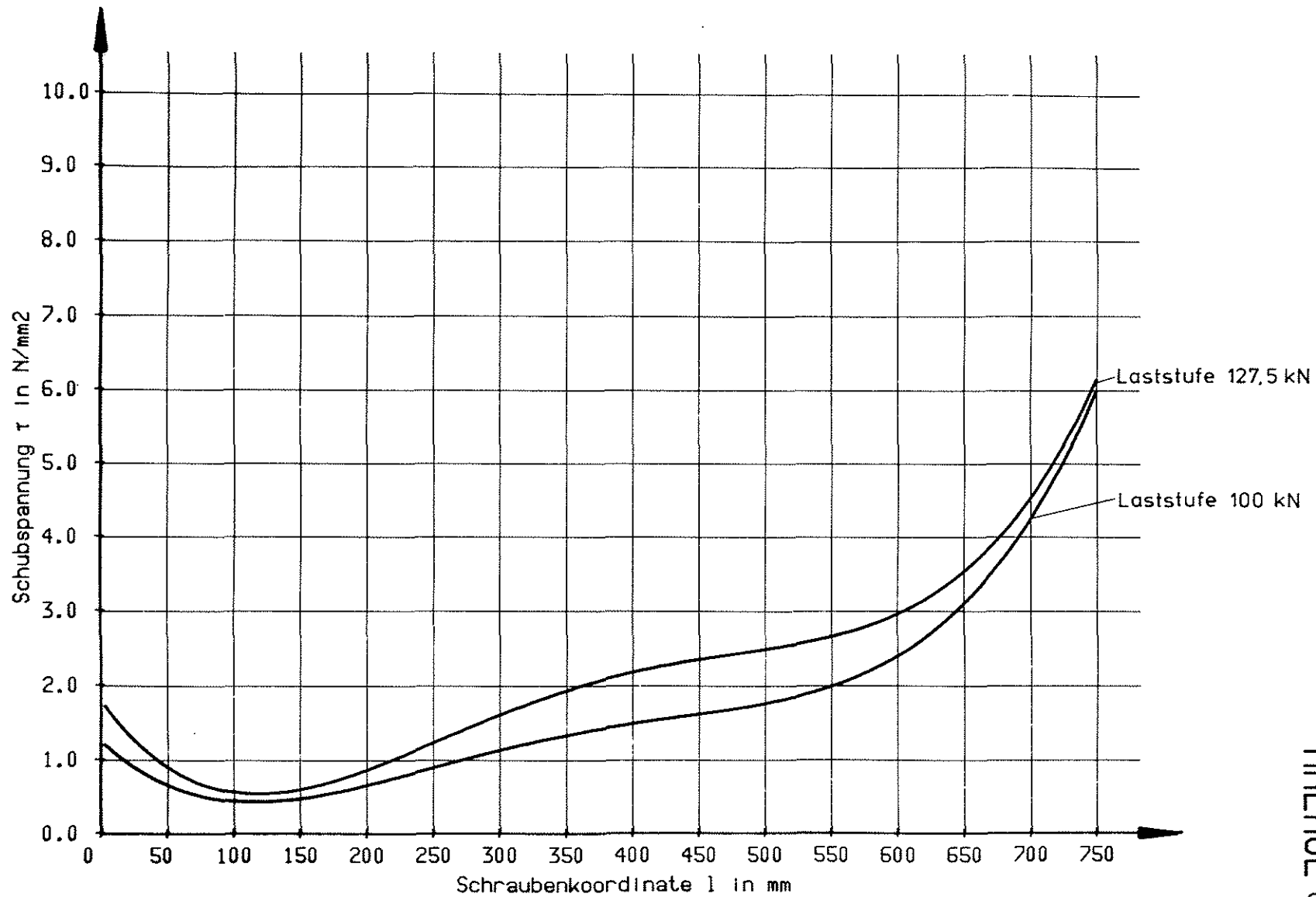


BILD 100 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: F III L 1.1
 Gewindestange ϕ 27 mit Leim

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 100-127,5 kN

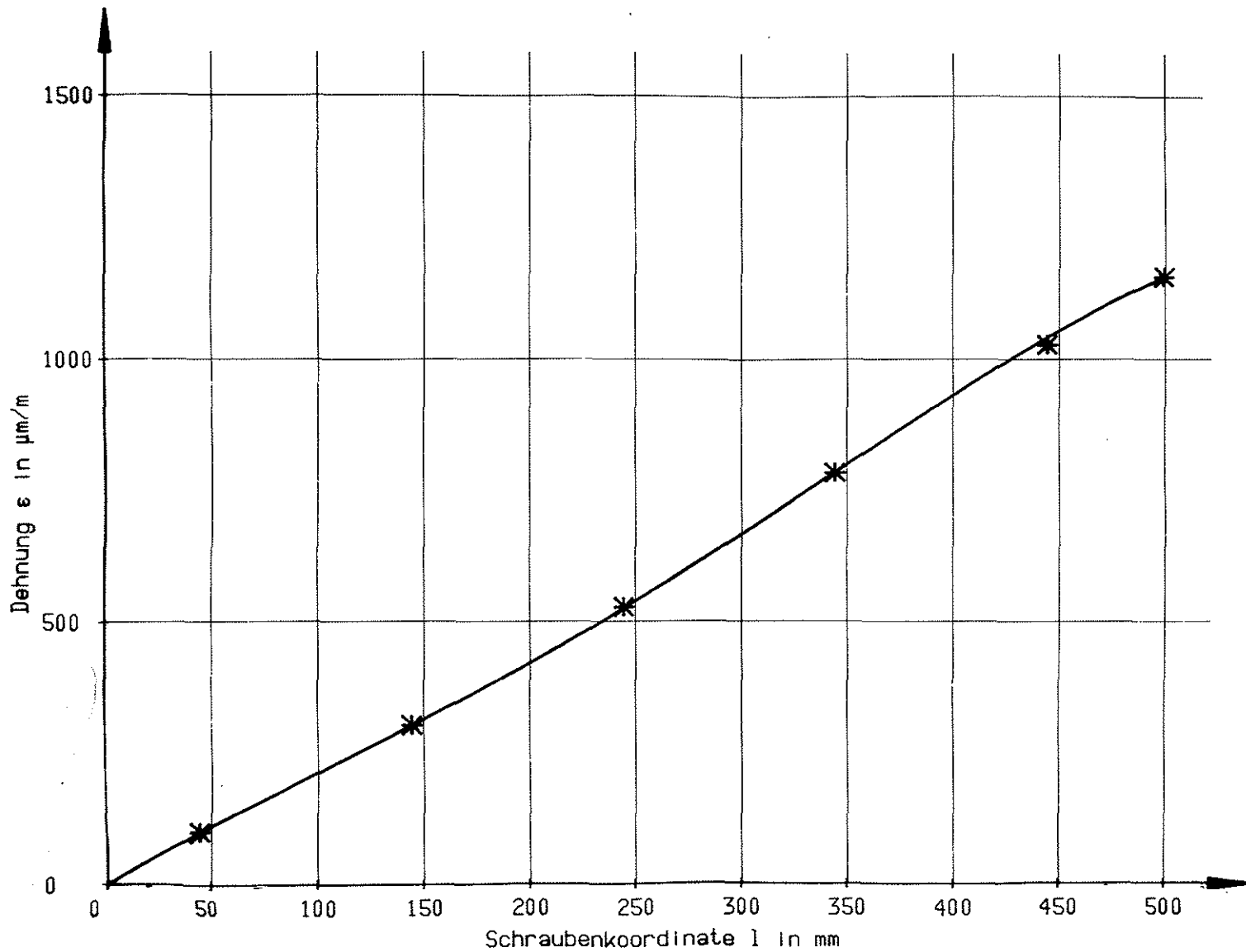


BILD 101 **DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G I L 2
 GEWI

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 100.0 kN

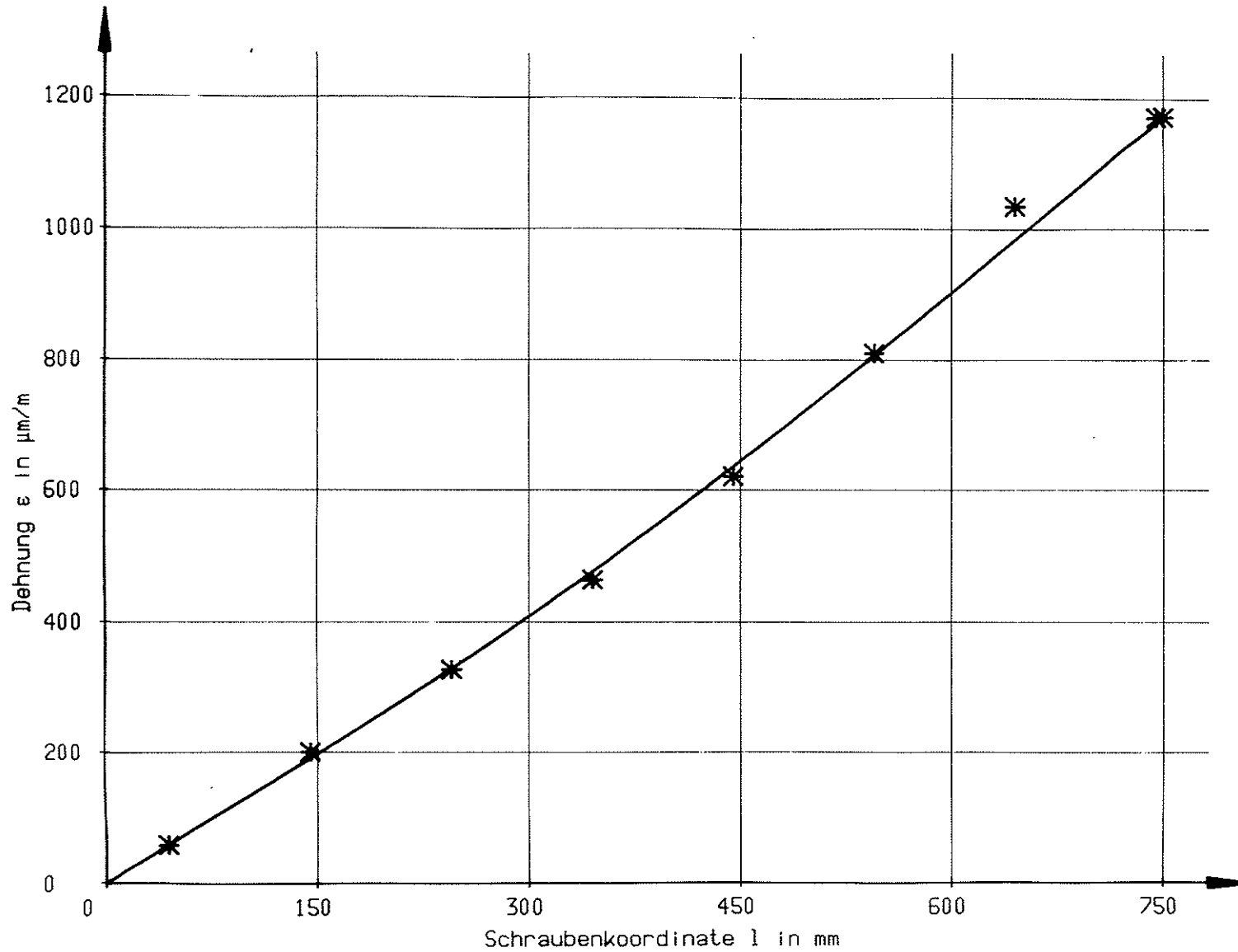


BILD 102

DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G III L 2

GEWI

Einschraubtiefe: 750 mm

Laststufe: 100.4 kN

ANLAGE 90

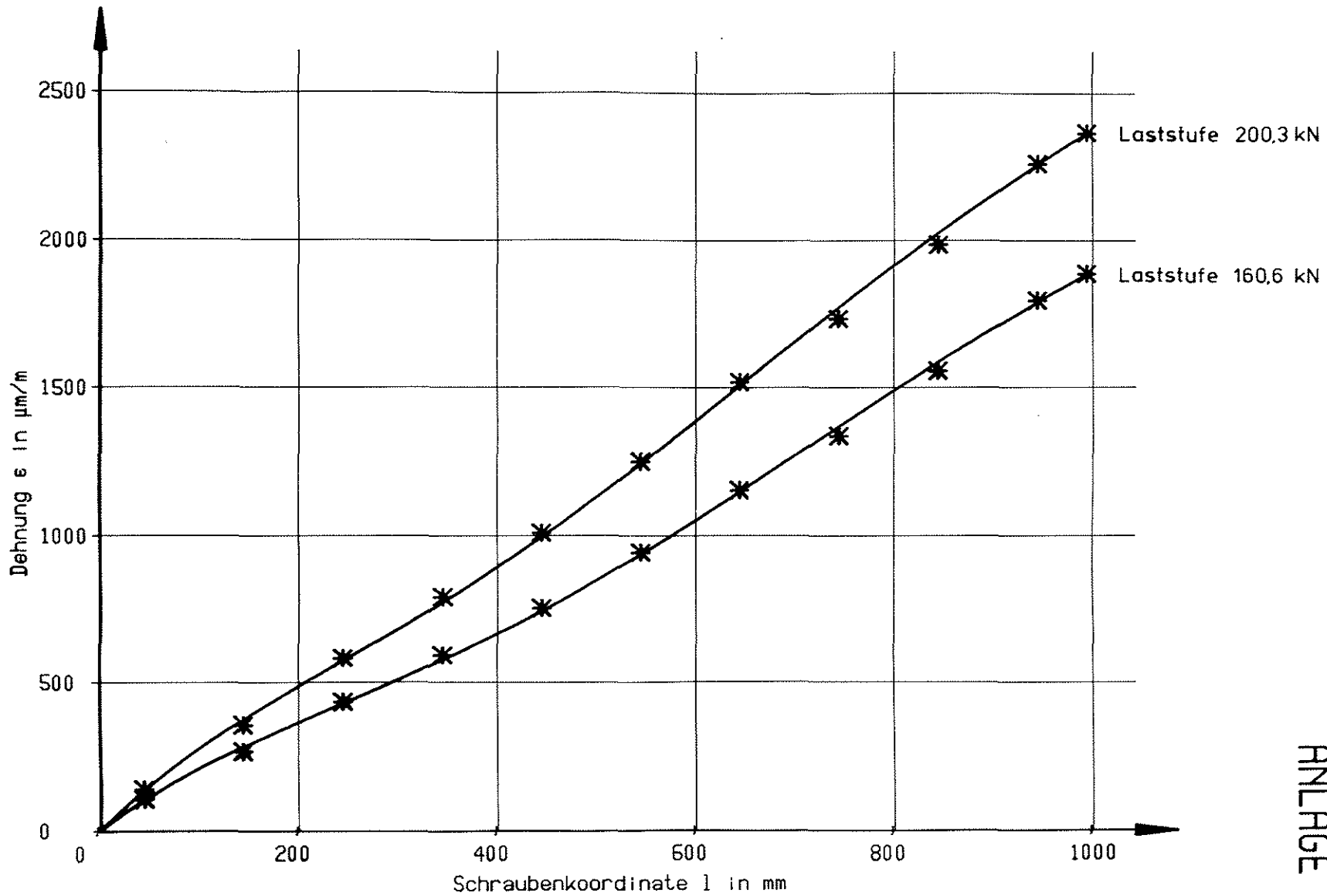


BILD 103 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G IV L 4
 GEWI - Stahl ϕ 26,5

Einschraubtiefe: 1000 mm
 Laststufe: 160,6 - 200,3 kN

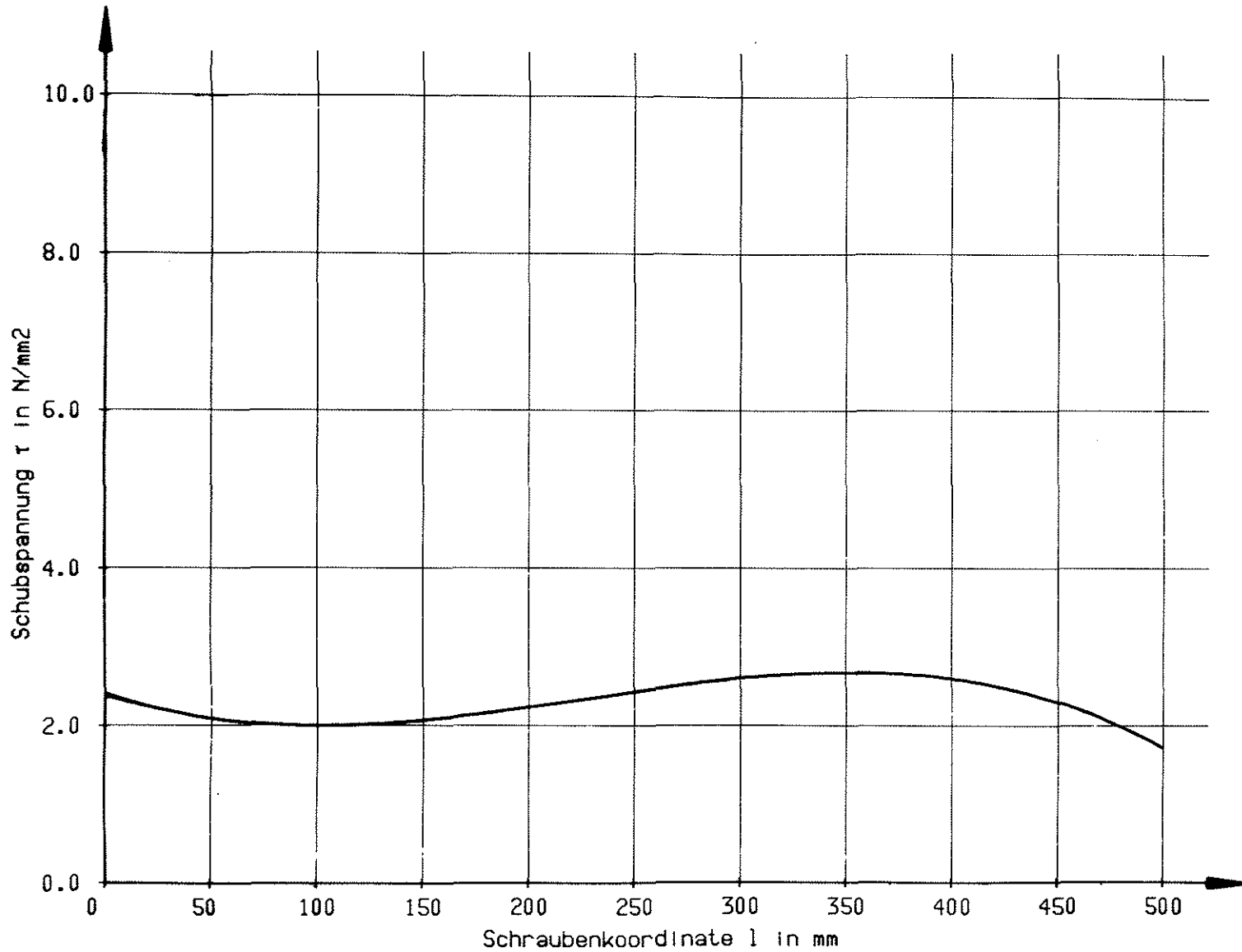


BILD 104 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G I L 2
 GEWI

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 100.0 kN

ANLAGE 92

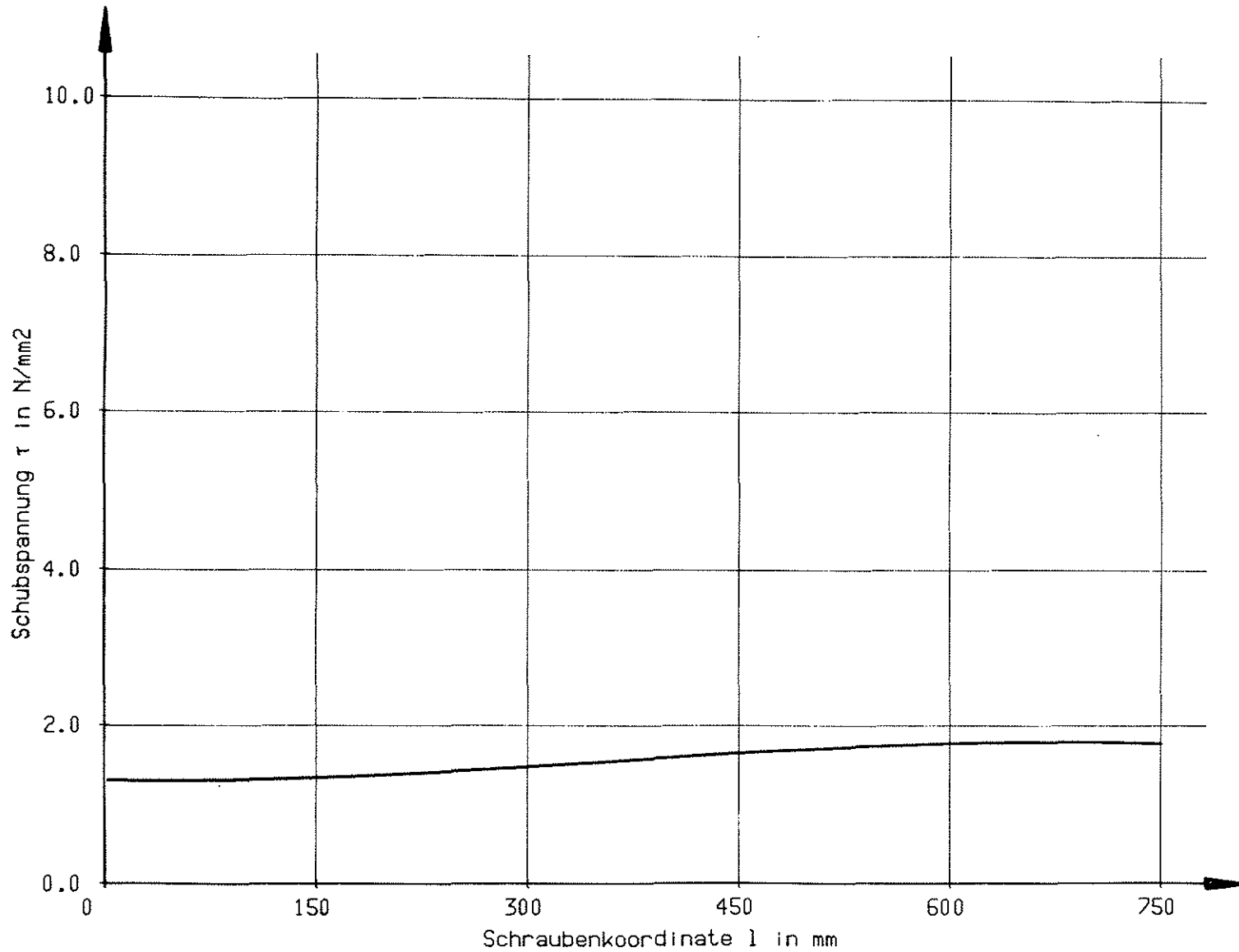
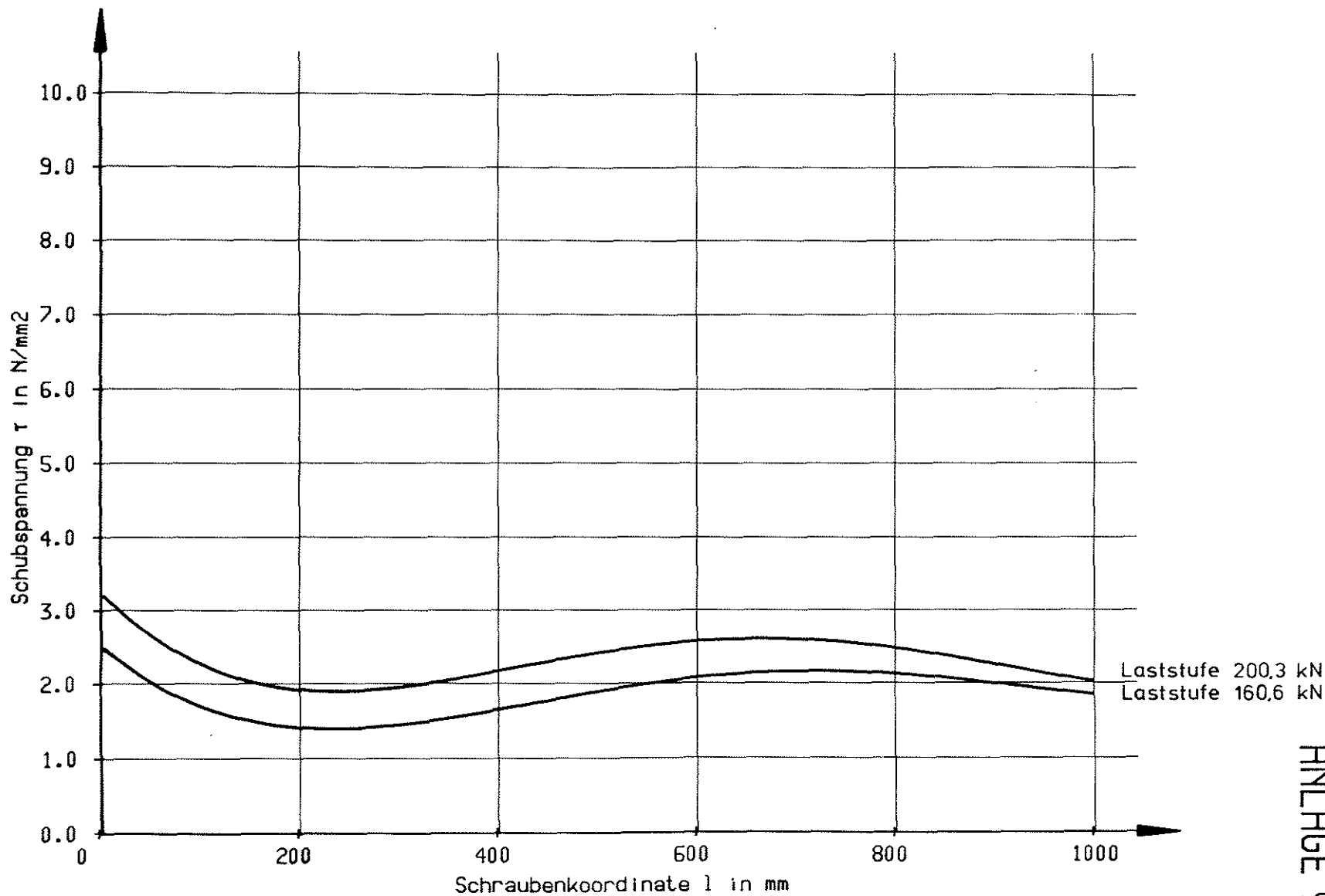


BILD 105 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G III L 2
 GEWI

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 100.4 kN

ANLAGE 93

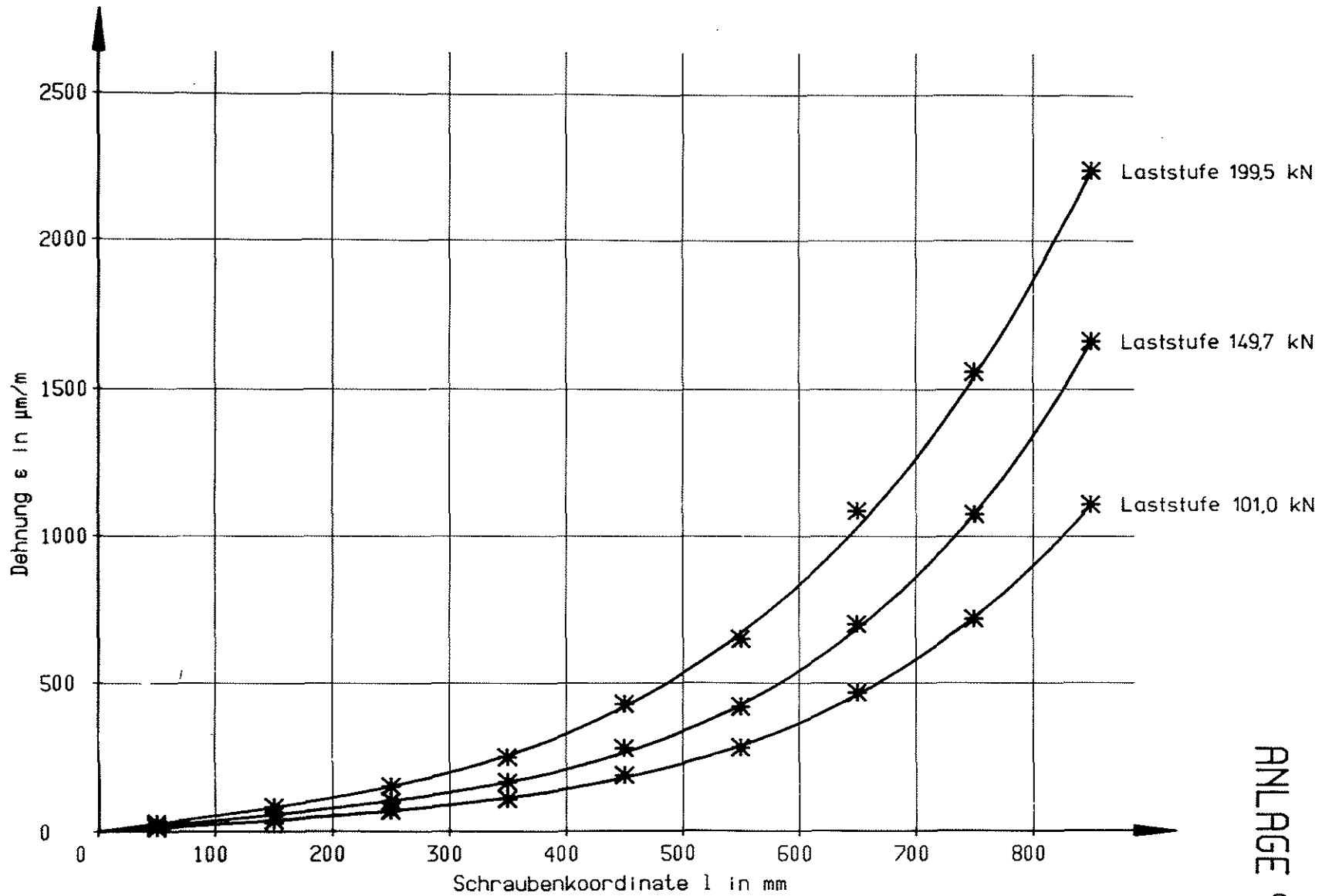


ANLAGE 94

BILD 106 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G IV L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 1000 mm
 Laststufe: 160,6 - 200,3 kN



ANLAGE 95

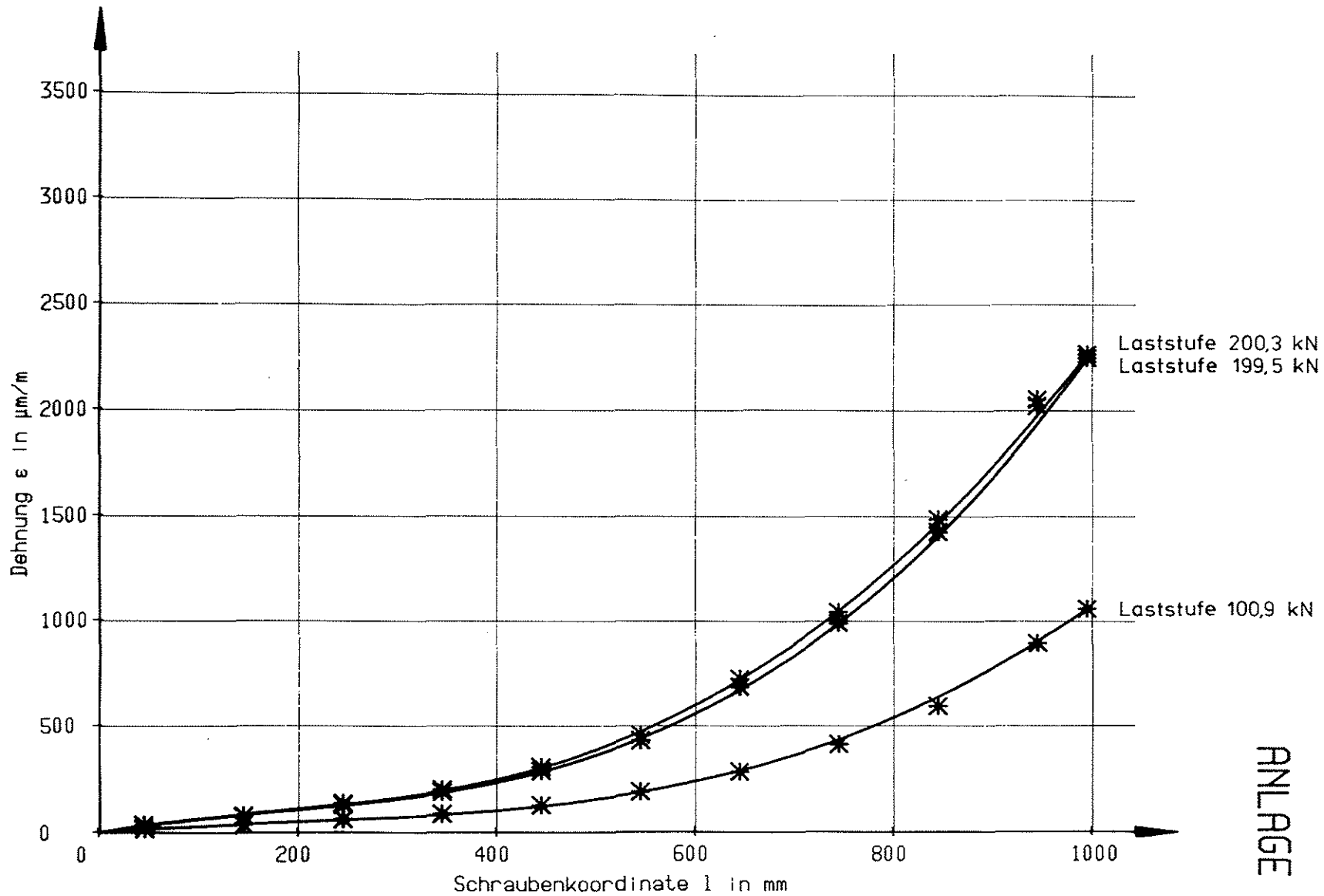
BILD 107 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 3

Einschraubtiefe: 850 mm

GEWI - Stahl Ø 26,5

Laststufe: 101,0 - 149,7 - 199,5 kN

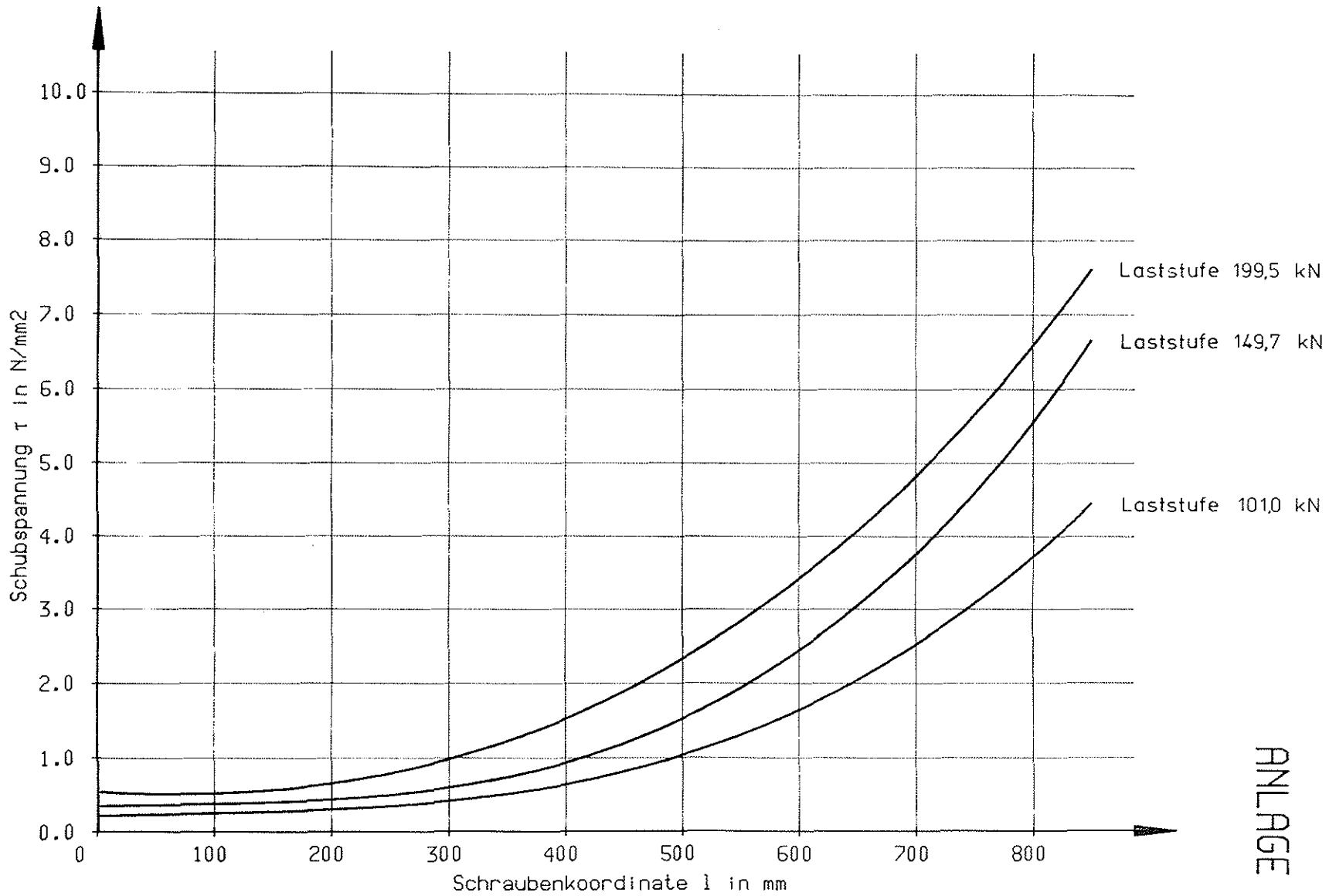


ANLAGE 96

BILD 108 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G VIL 2
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 1000 mm
 Laststufe: 100,9 - 199,5 - 200,3 kN



ANLAGE 97

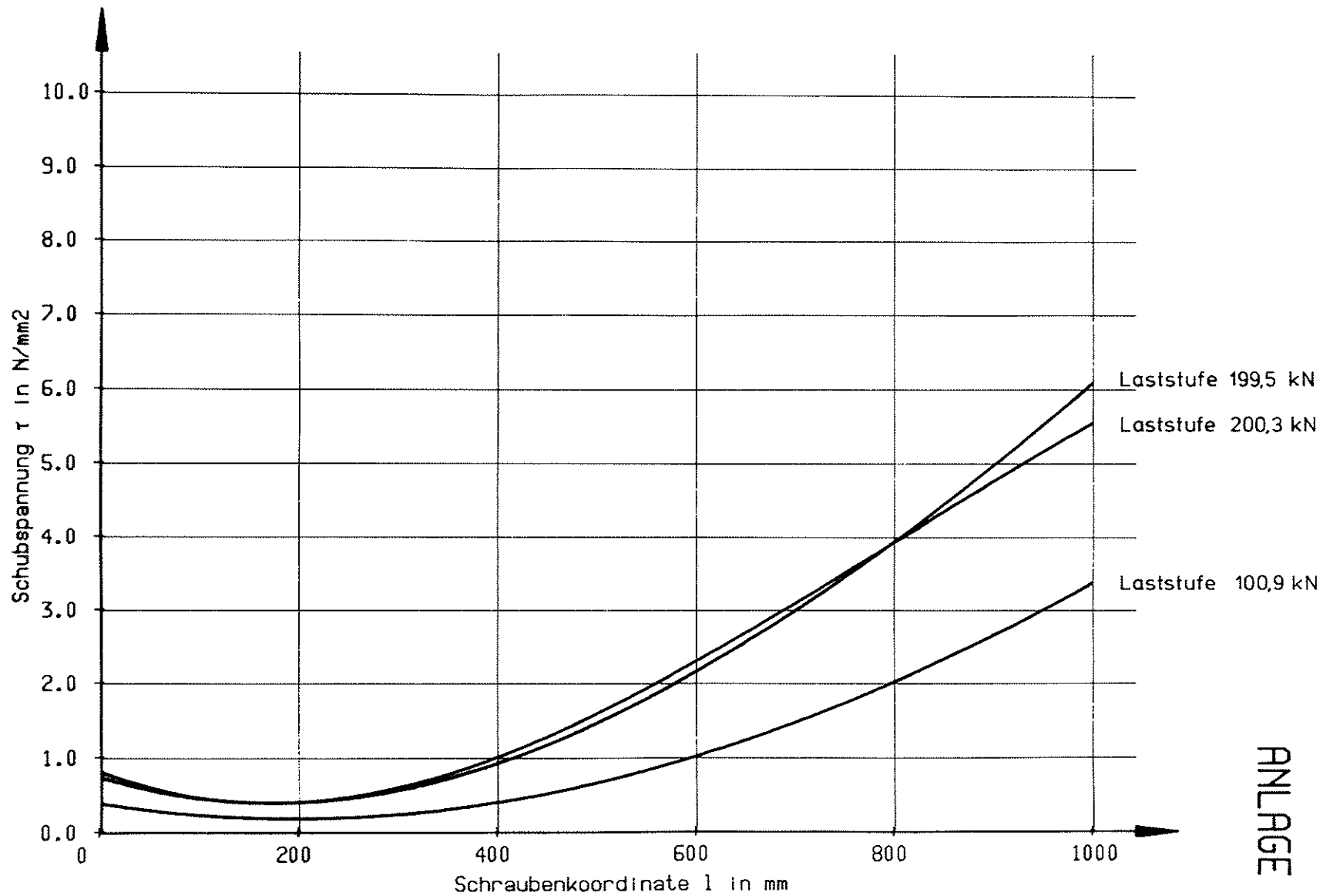
BILD 109 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 3

GEWI -Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm

Laststufe: 101,0 - 149,7 - 199,5 kN



ANLAGE 98

BILD 110 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G VII 2
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 1000 mm
 Laststufe: 100,9 - 199,5 - 200,3 kN

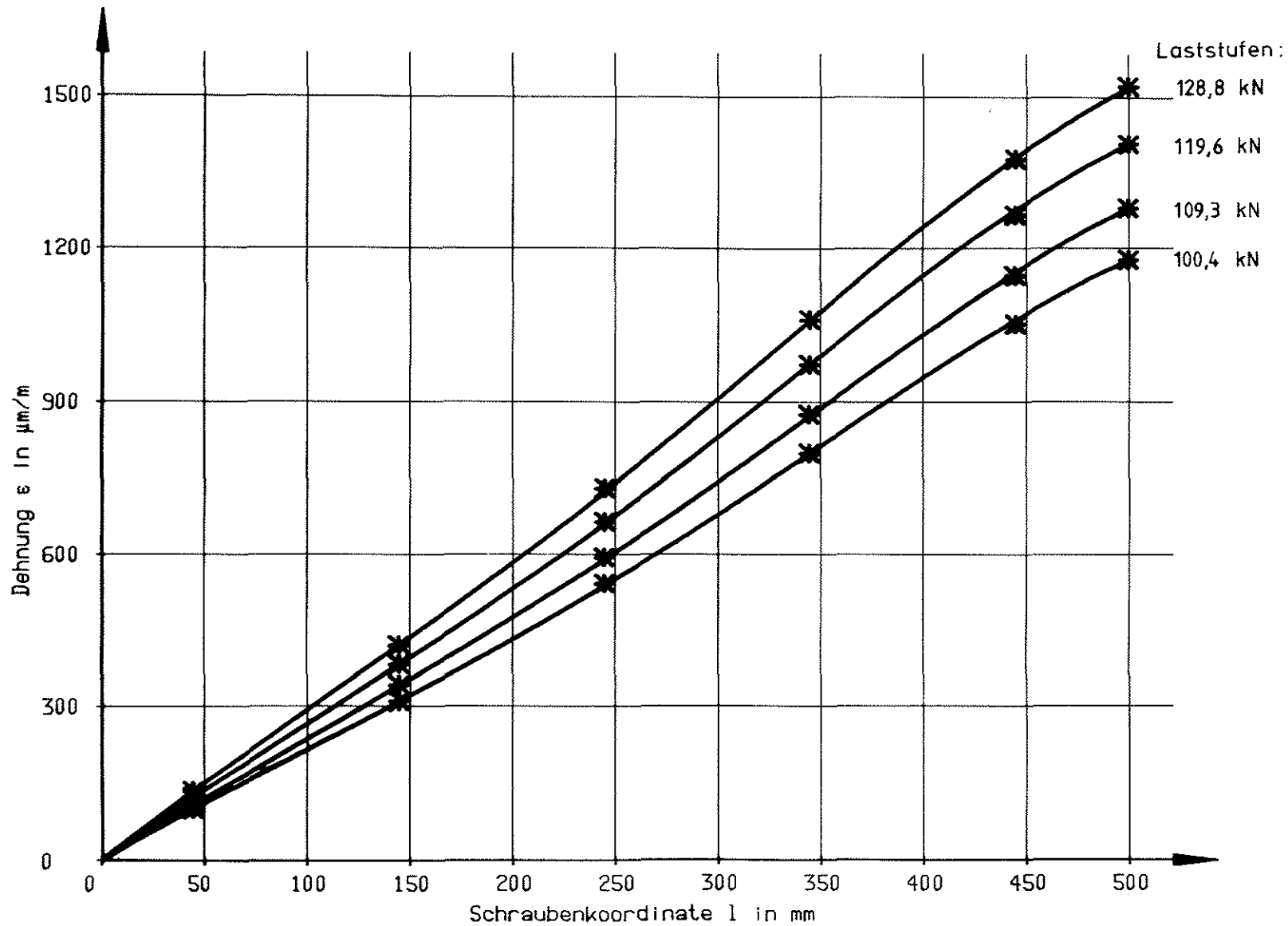
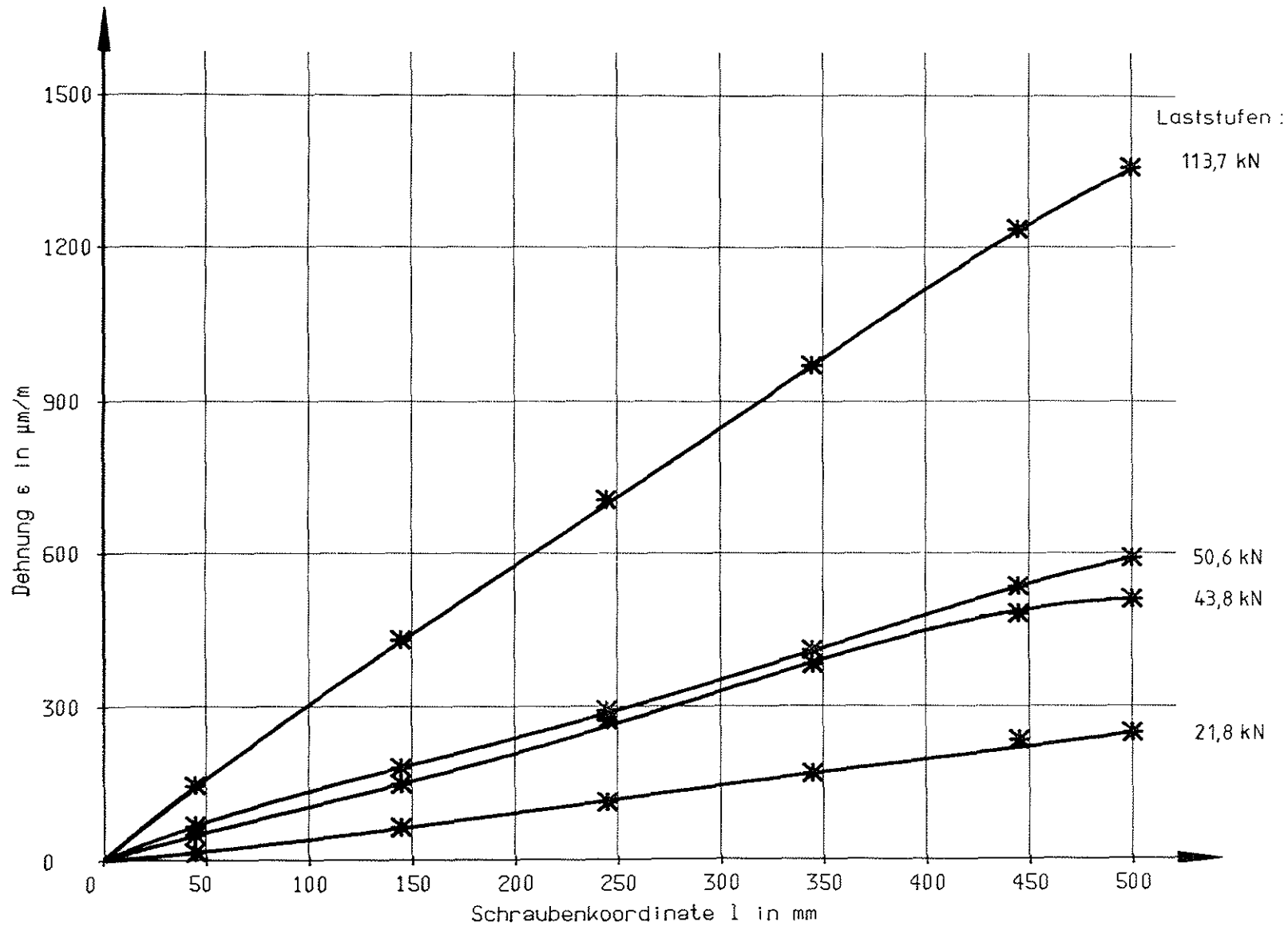


BILD 111 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G I L 3
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 100,4 - 109,3 - 119,6 - 128,8 kN

ANLAGE 99



ANLAGE 100

BILD 112 **DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G I L 3

GEWI - Stahl Ø 26,5

Einschraubtiefe: 500 mm

Laststufe: 113,7 - 50,6 - 43,8 - 21,8 kN

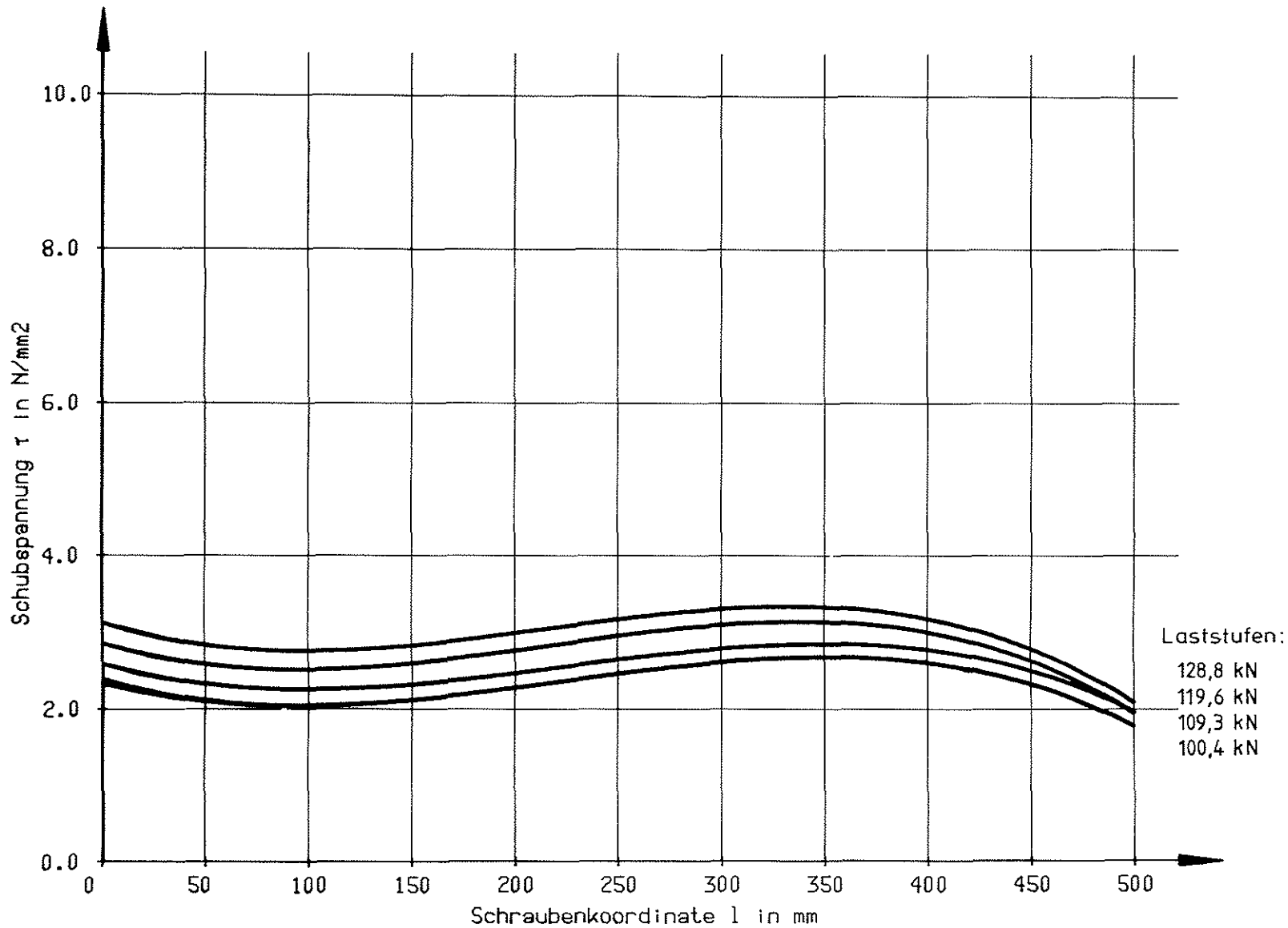


BILD 113 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

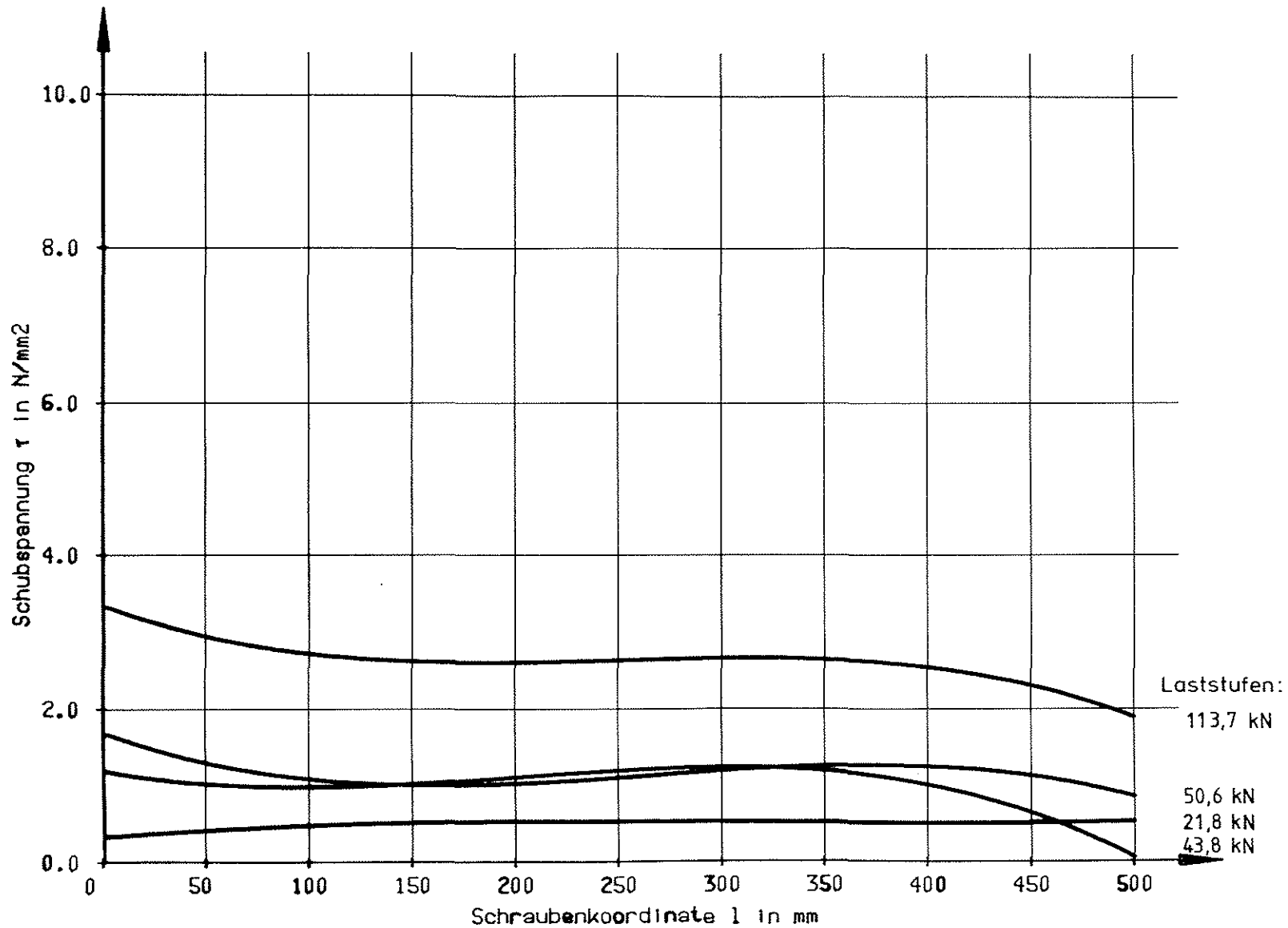
REIHE: G I L 3

GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 500 mm

Laststufe: 100,4 - 109,3 - 119,6 - 128,8 kN

ANLAGE 101



ANLAGE 102

BILD 114 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G I L 3
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 500 mm
 Laststufe: 113,7 - 50,6 - 43,8 - 21,8 kN

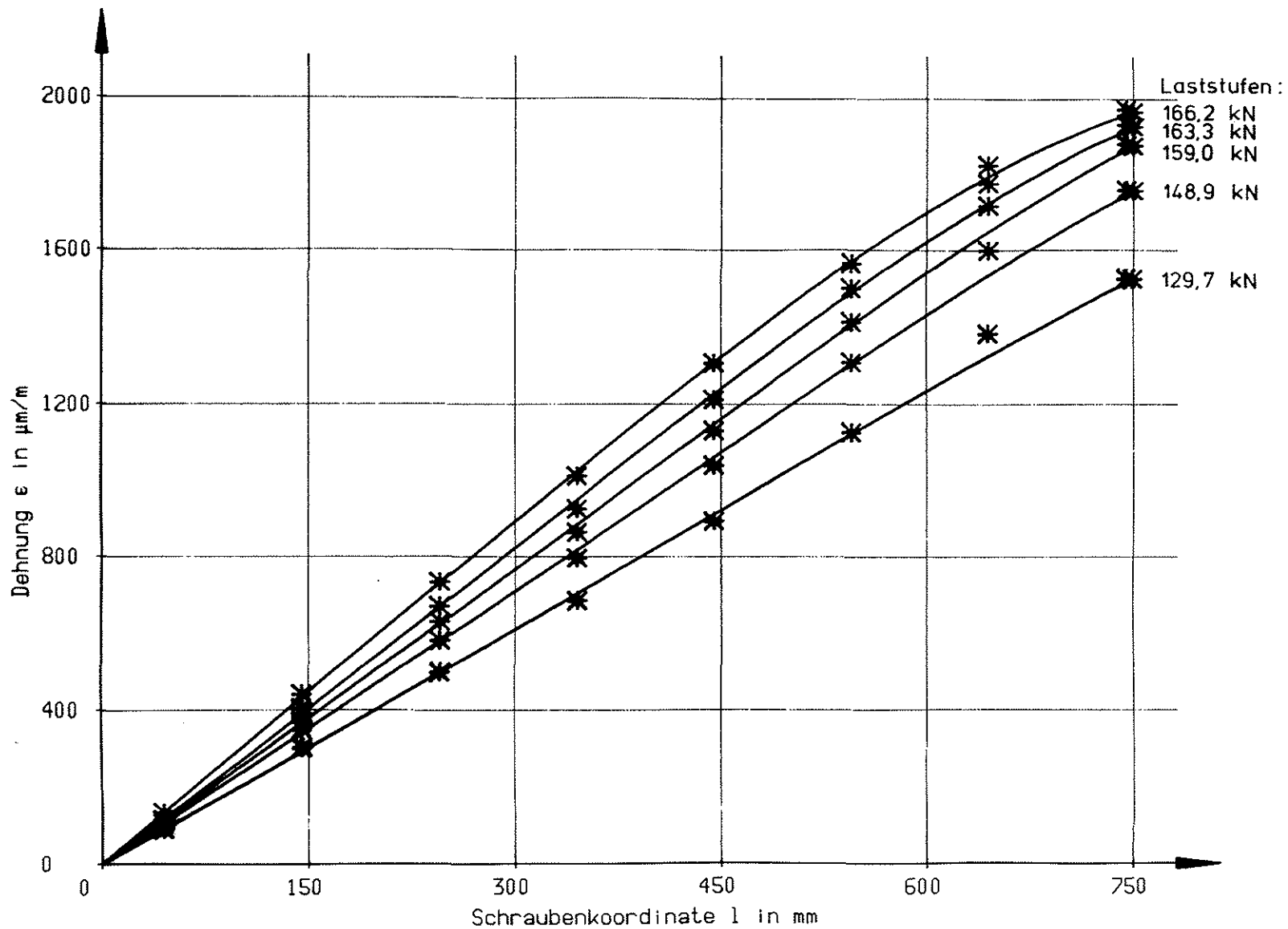


BILD 115 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G III L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 129,7 - 148,9 - 159,0 - 163,3 - 166,2 kN

ANLAGE 103

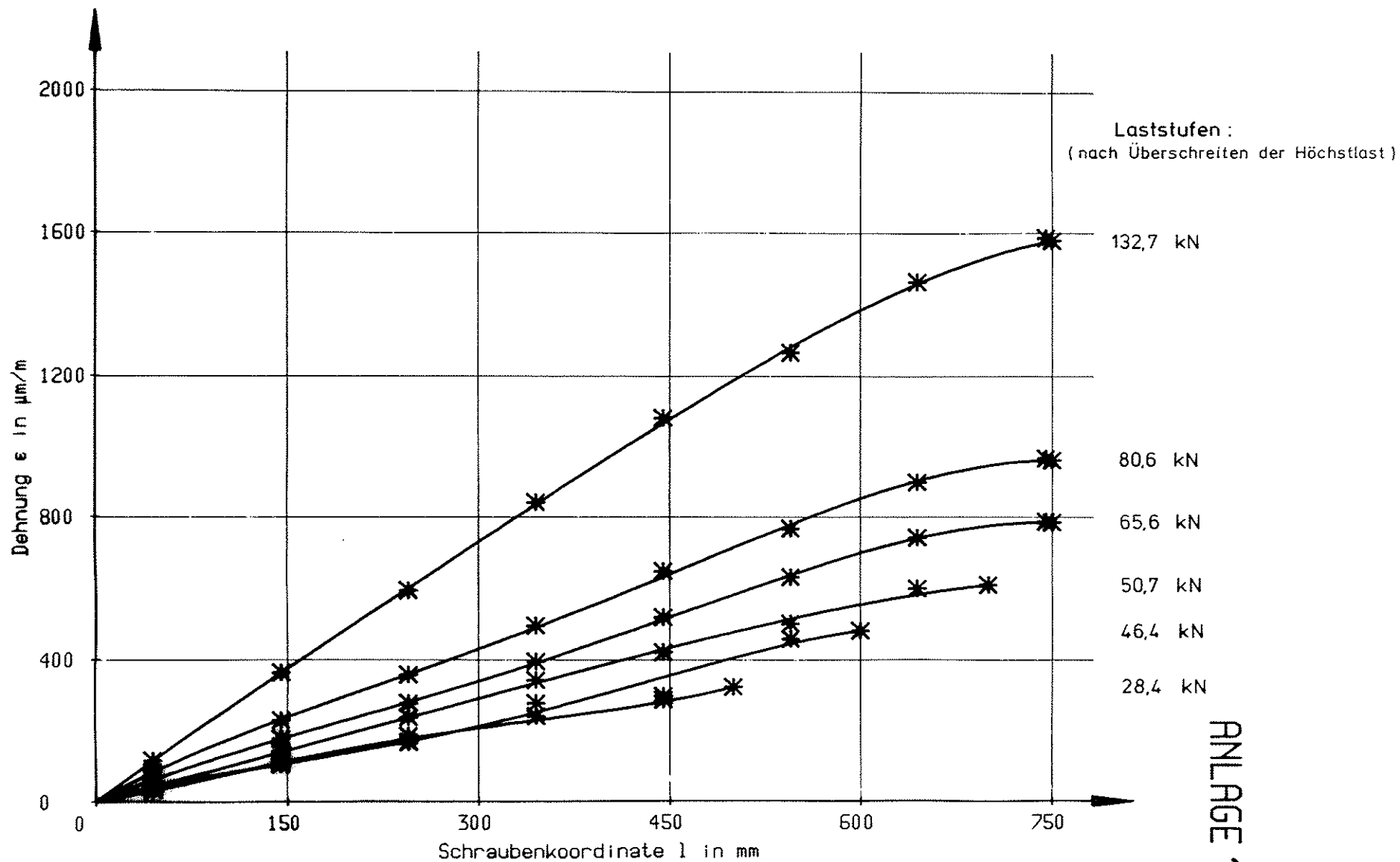
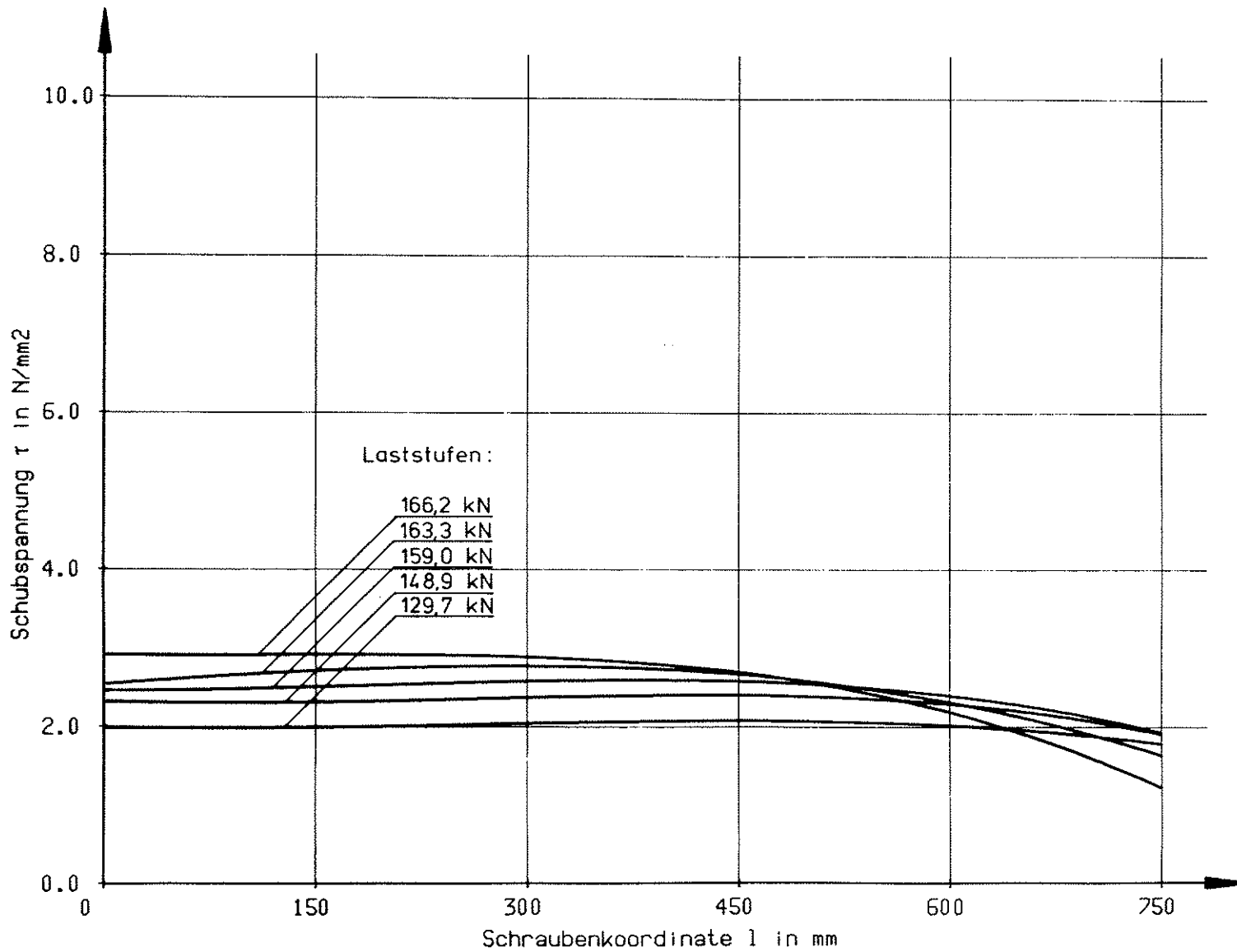


BILD 116 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G III L 4
GEWI-Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 750 mm
Laststufe: 132,7-80,6-65,6-50,7-46,4-28,4 kN

ANLAGE 104

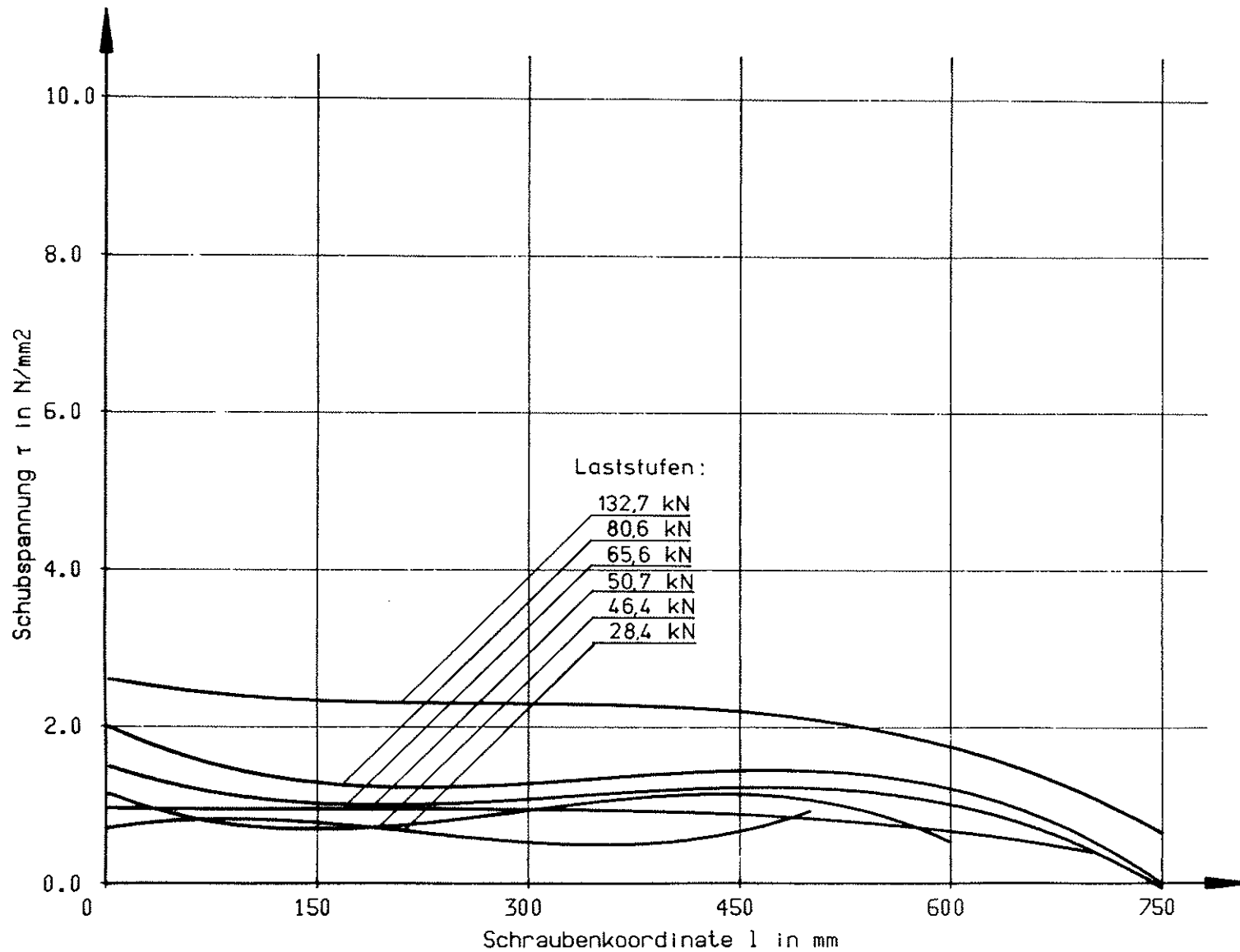


ANLAGE 105

BILD 117 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G III L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 129,7 - 148,9 - 159,0 - 163,3 - 166,2 kN



ANLAGE 106

BILD 118 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G III L 4
 GEWI-Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 750 mm
 Laststufe: 132,7 - 80,6 - 65,6 - 50,7 - 46,4 - 28,4 kN

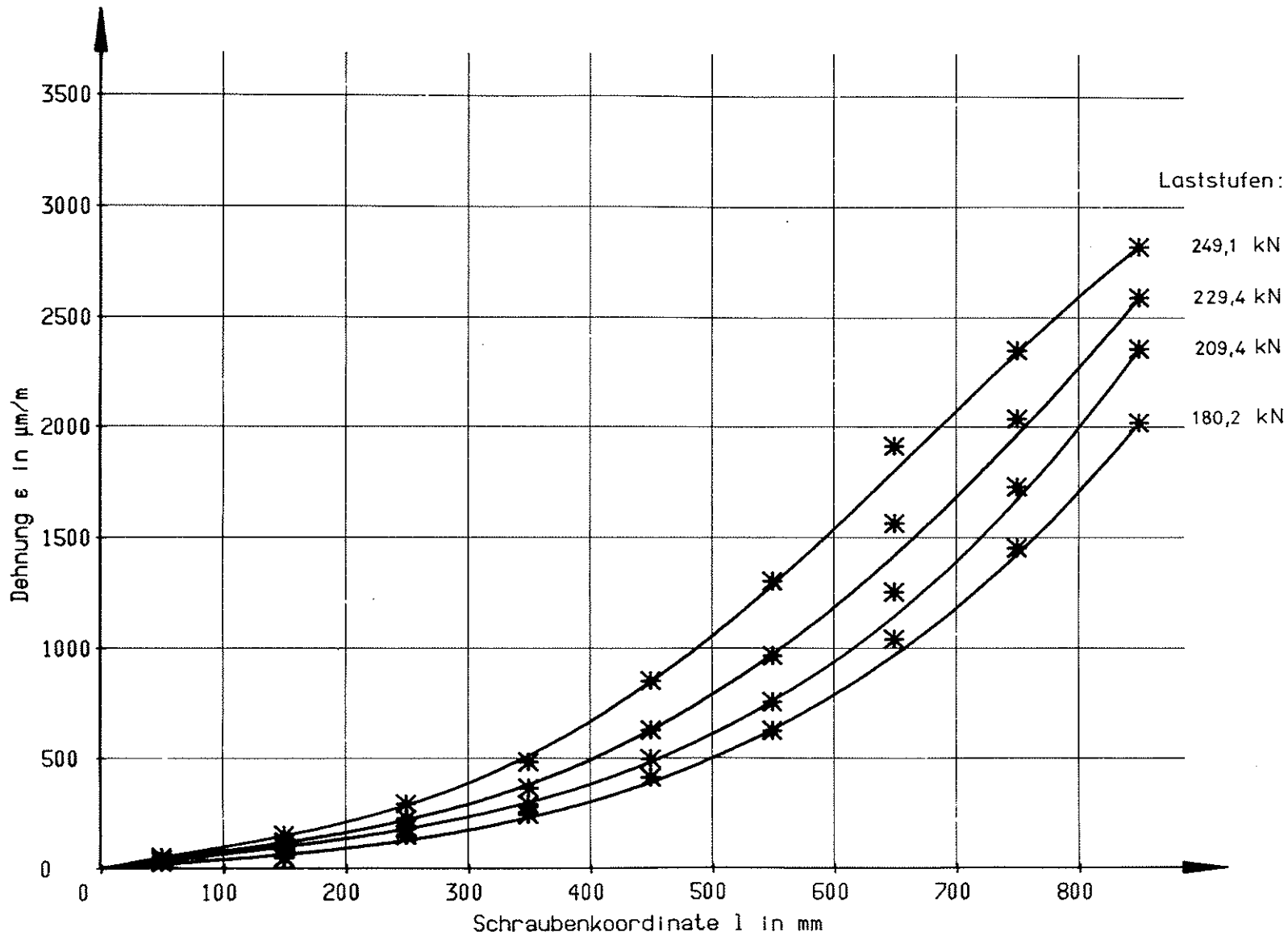


BILD 119 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4

GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm

Laststufe: 180,2 - 209,4 - 229,4 - 249,1 kN

ANLAGE 107

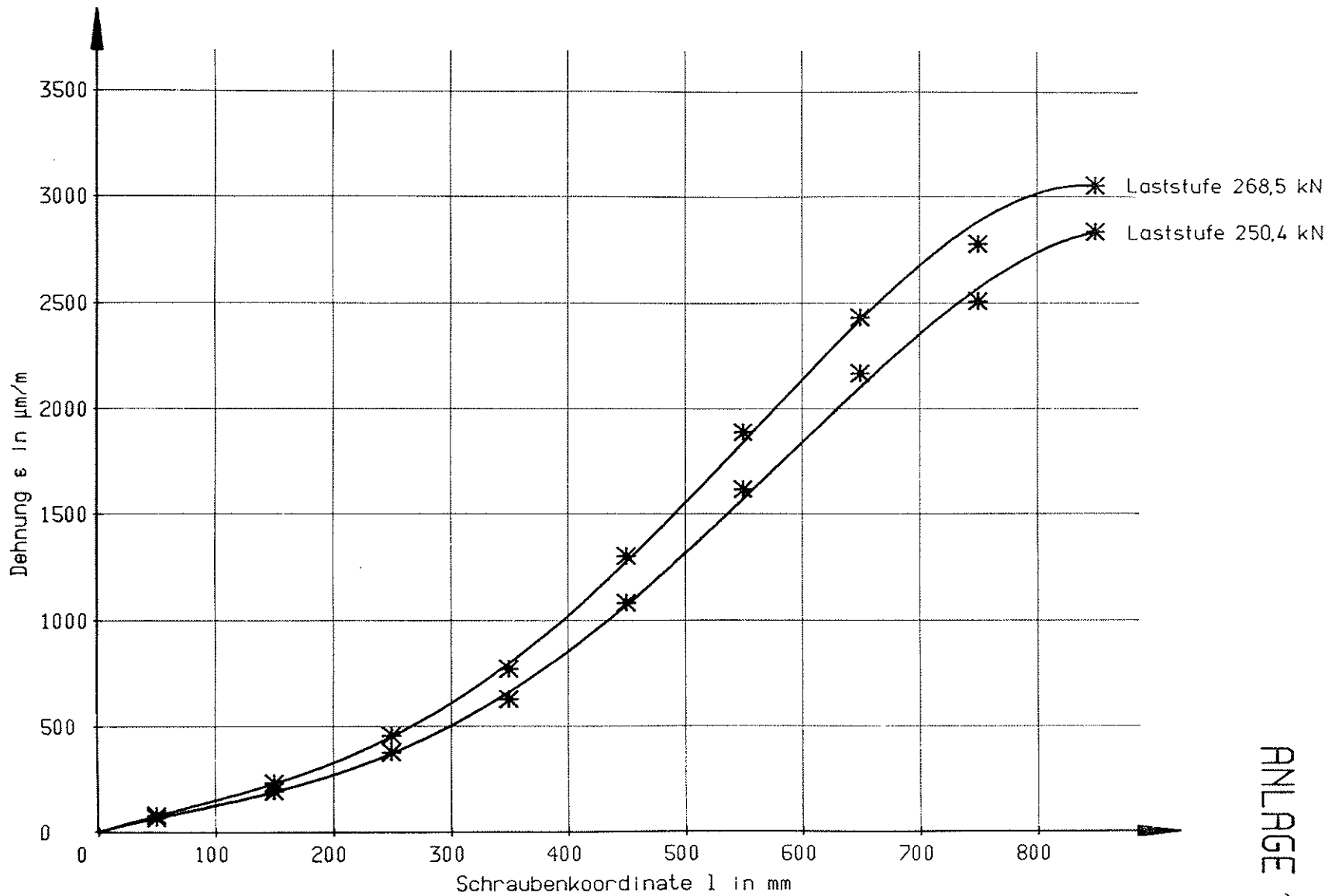


BILD 120 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4

GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm

Laststufe: 250,4-268,5 kN

ANLAGE 108

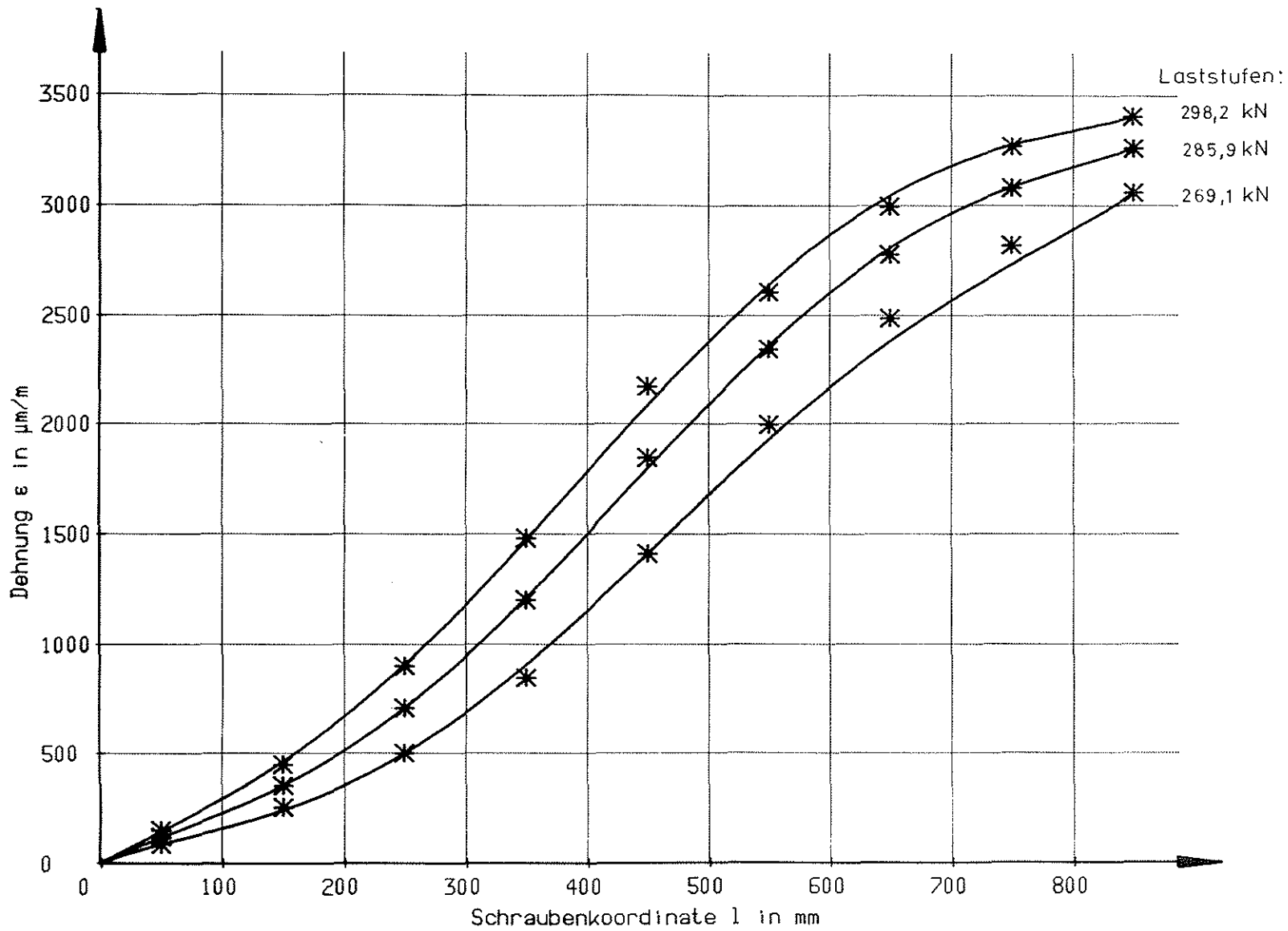


BILD 121 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 269,1-285,9-298,2 kN

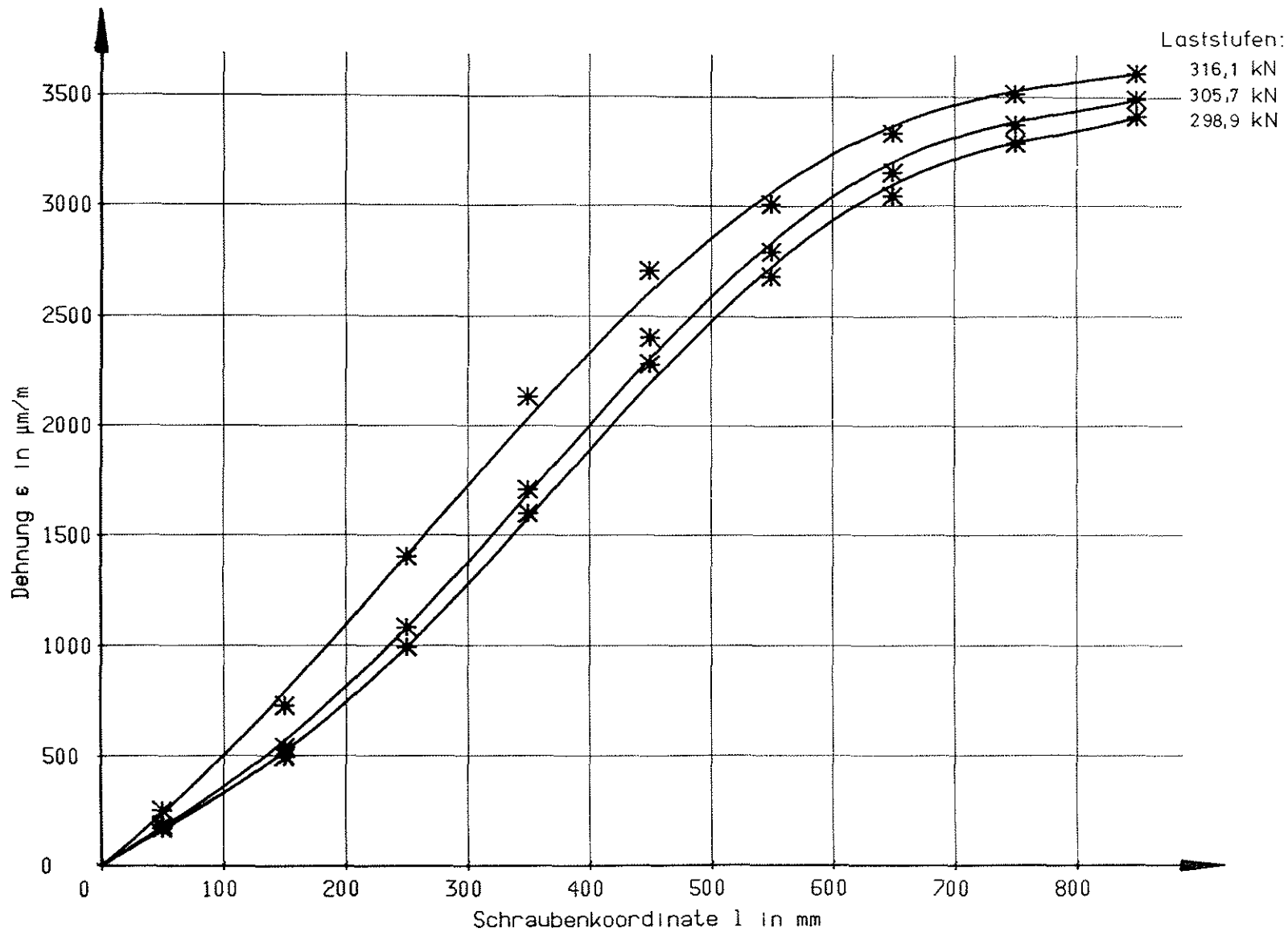
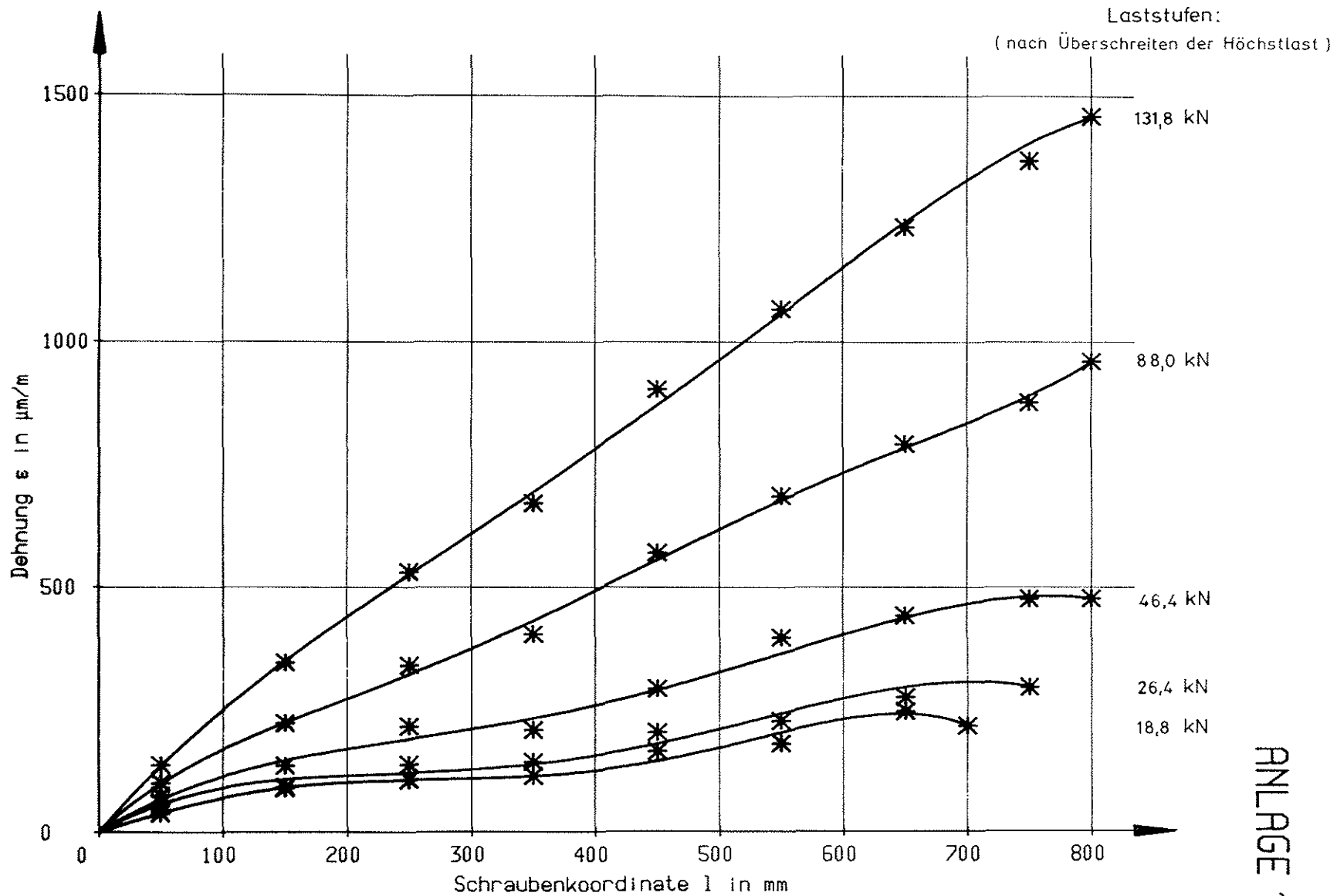


BILD 122 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 298,9 - 305,7 - 316,1 kN

ANLAGE 110

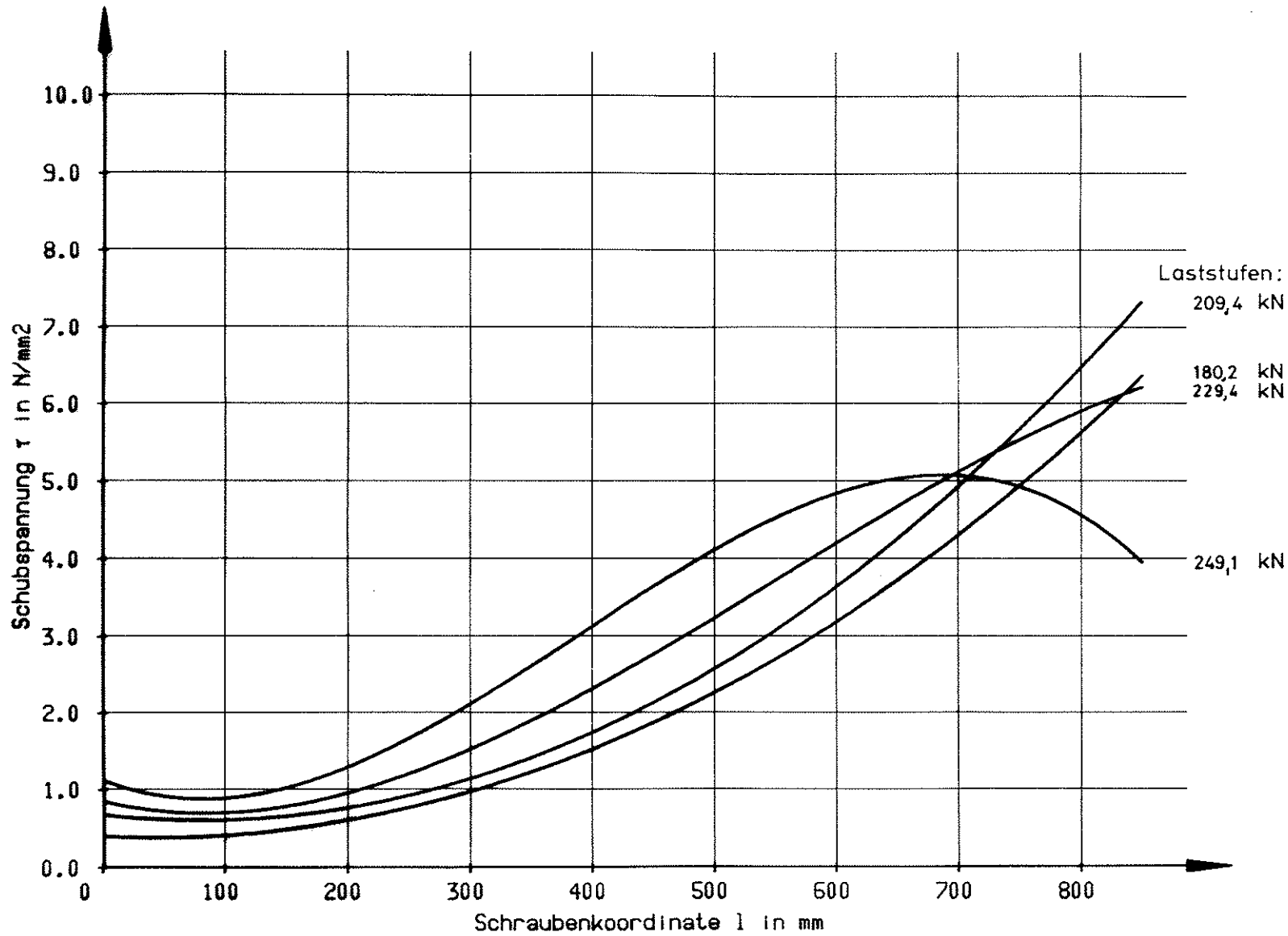


ANLAGE 111

BILD 123 **DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G U L 4
GEWI - Stahl Ø 26,5

Einschraubtiefe: 800 mm
Laststufe: 131,8-88,0-46,4-26,4-18,8 kN



ANLAGE 112

BILD 124 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4

Einschraubtiefe: 850 mm

GEWI - Stahl Ø 26,5

Laststufe: 180,2 - 209,4 - 229,4 - 249,1 kN

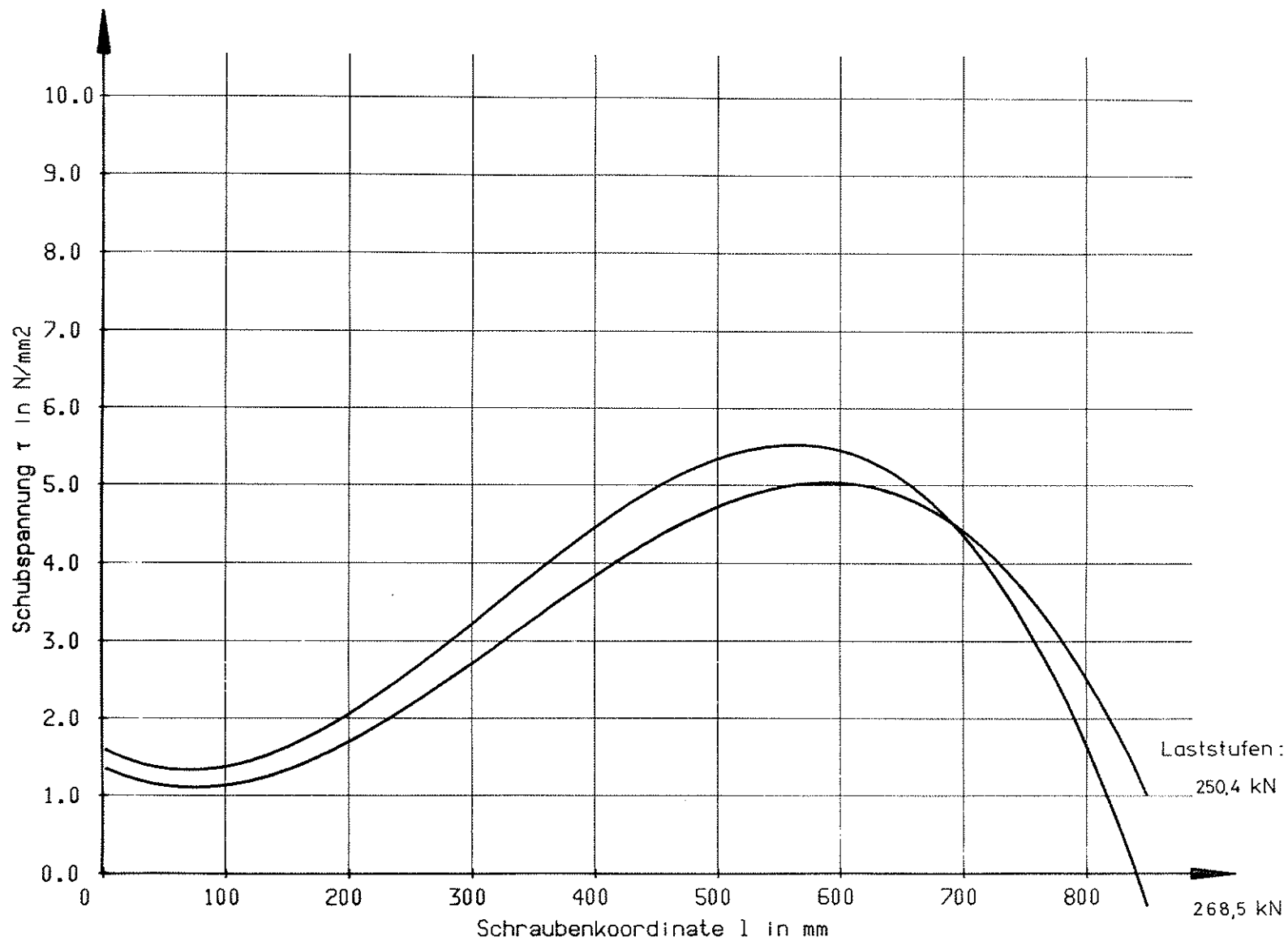


BILD 125 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 250,4-268,5 kN

ANLAGE 113

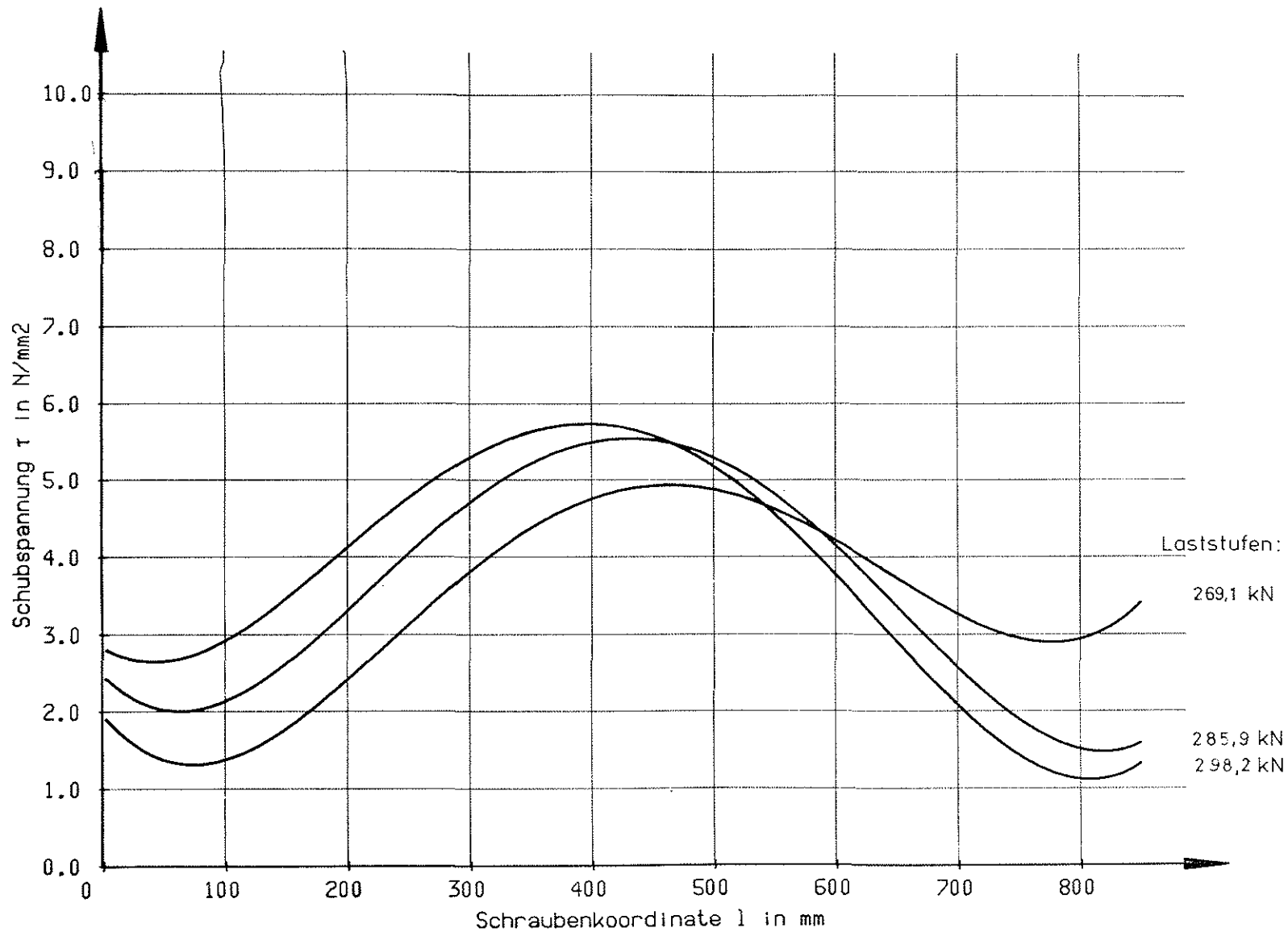


BILD 126 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G U L 4

GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm

Laststufe: 269,1-285,9-298,2 kN

ANLAGE 114

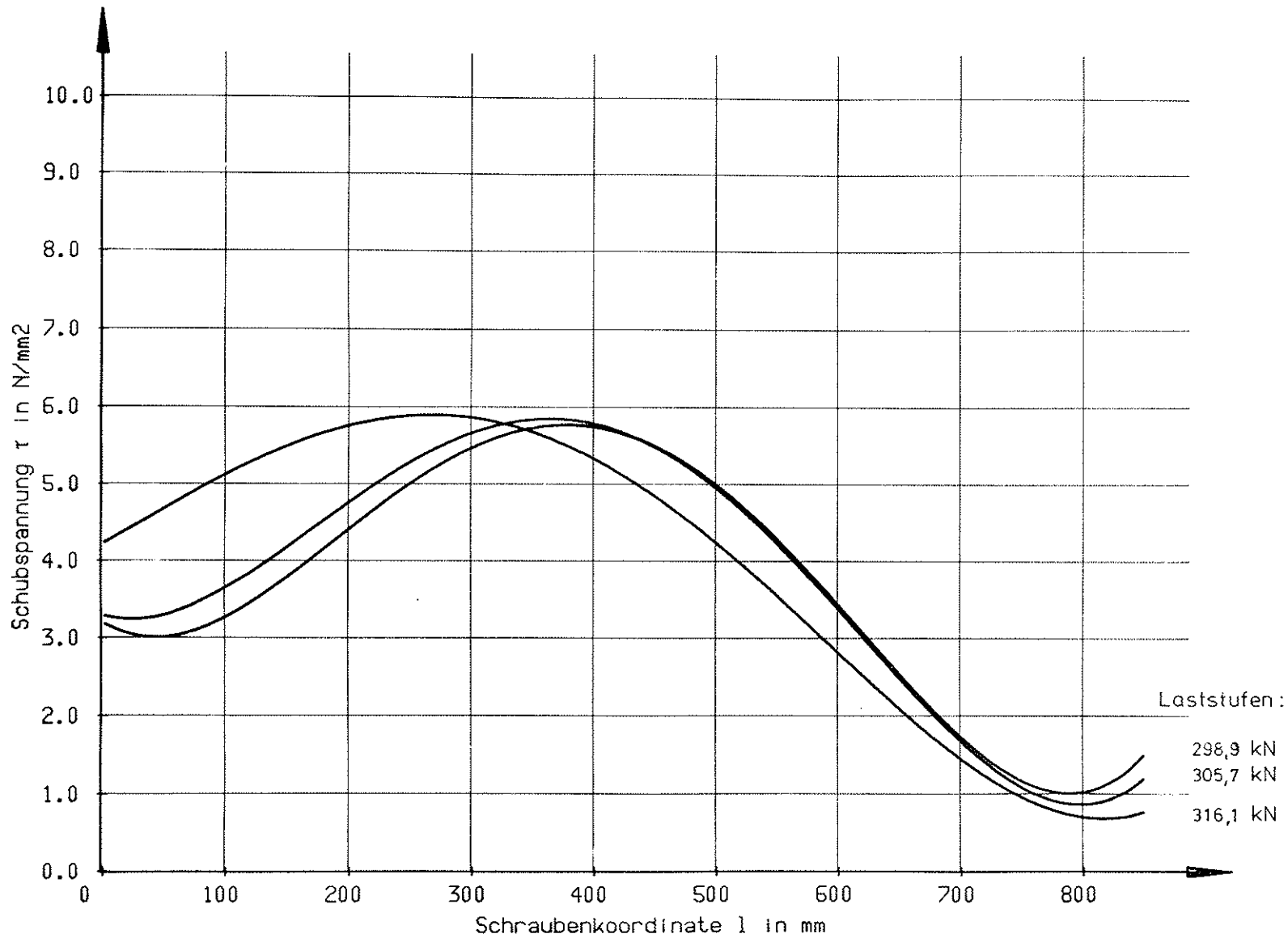
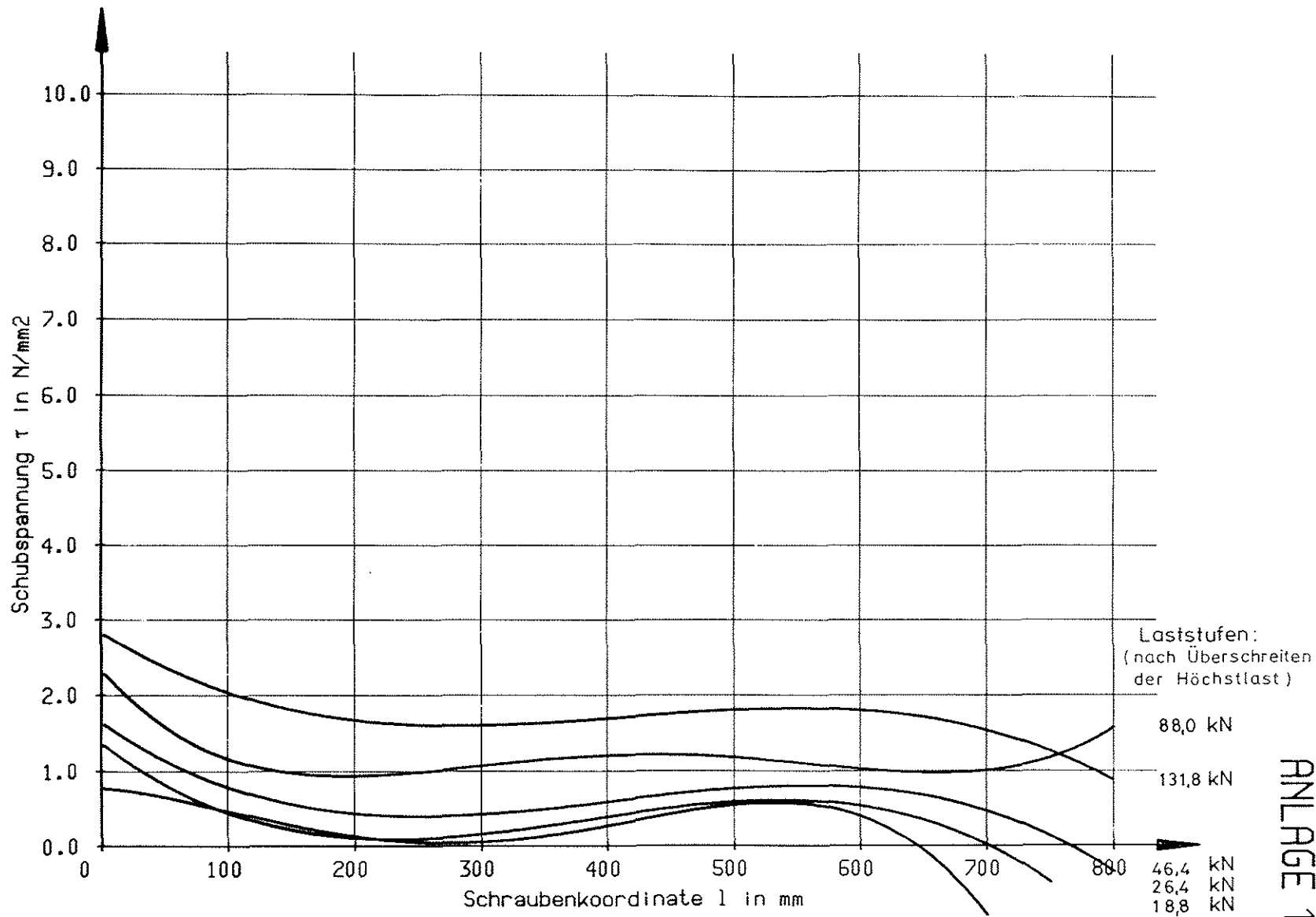


BILD 127 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 298,9 - 305,7 - 316,1 kN

ANLAGE 115



ANLAGE 116

BILD 128 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: G U L 4

GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 800 mm

Laststufe: 131,8-88,0-46,4-26,4-18,8 kN

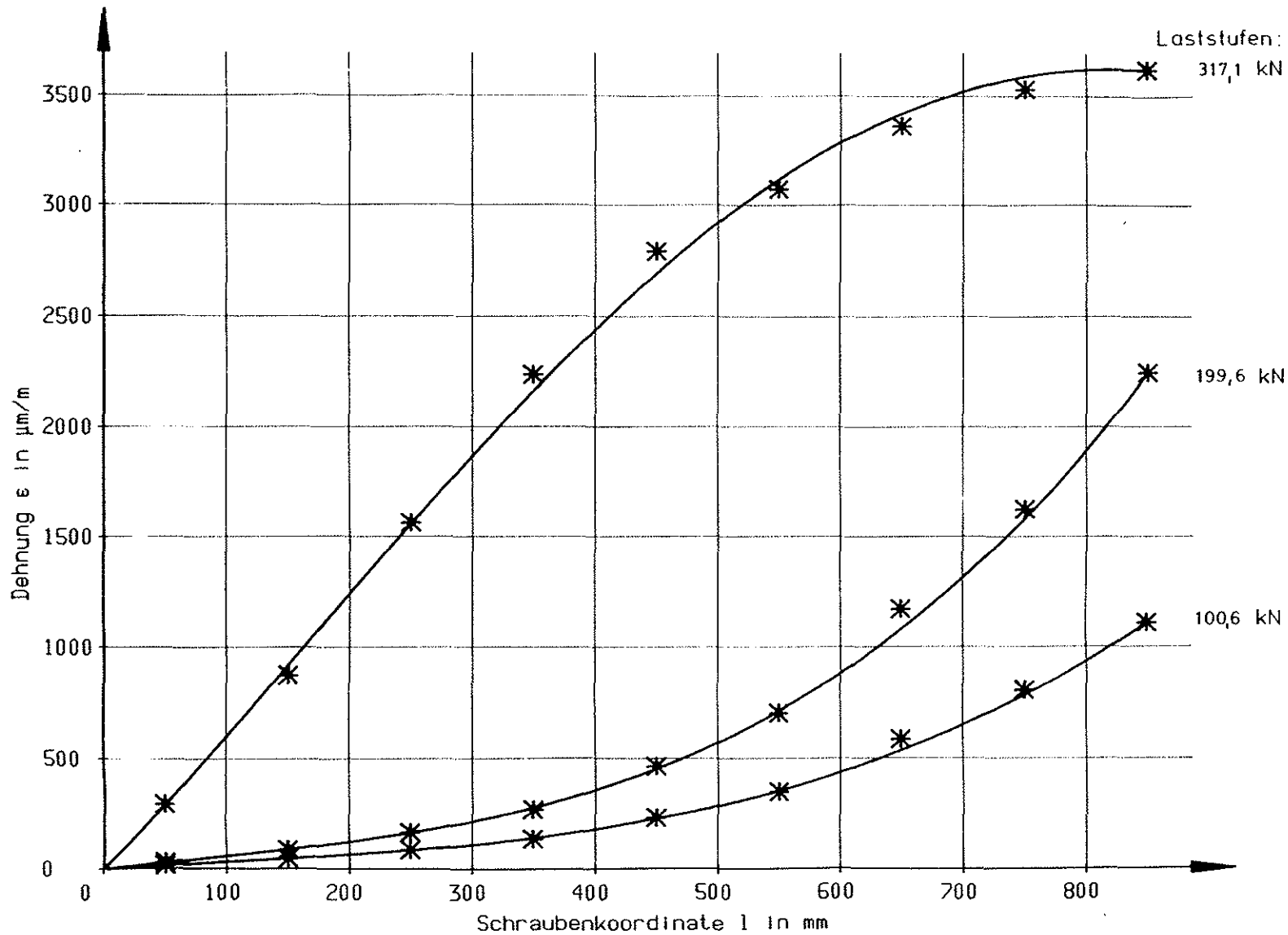


BILD 129 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4
GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm
Laststufe: 100,6 - 199,6 - 317,1 kN

ANLAGE 117

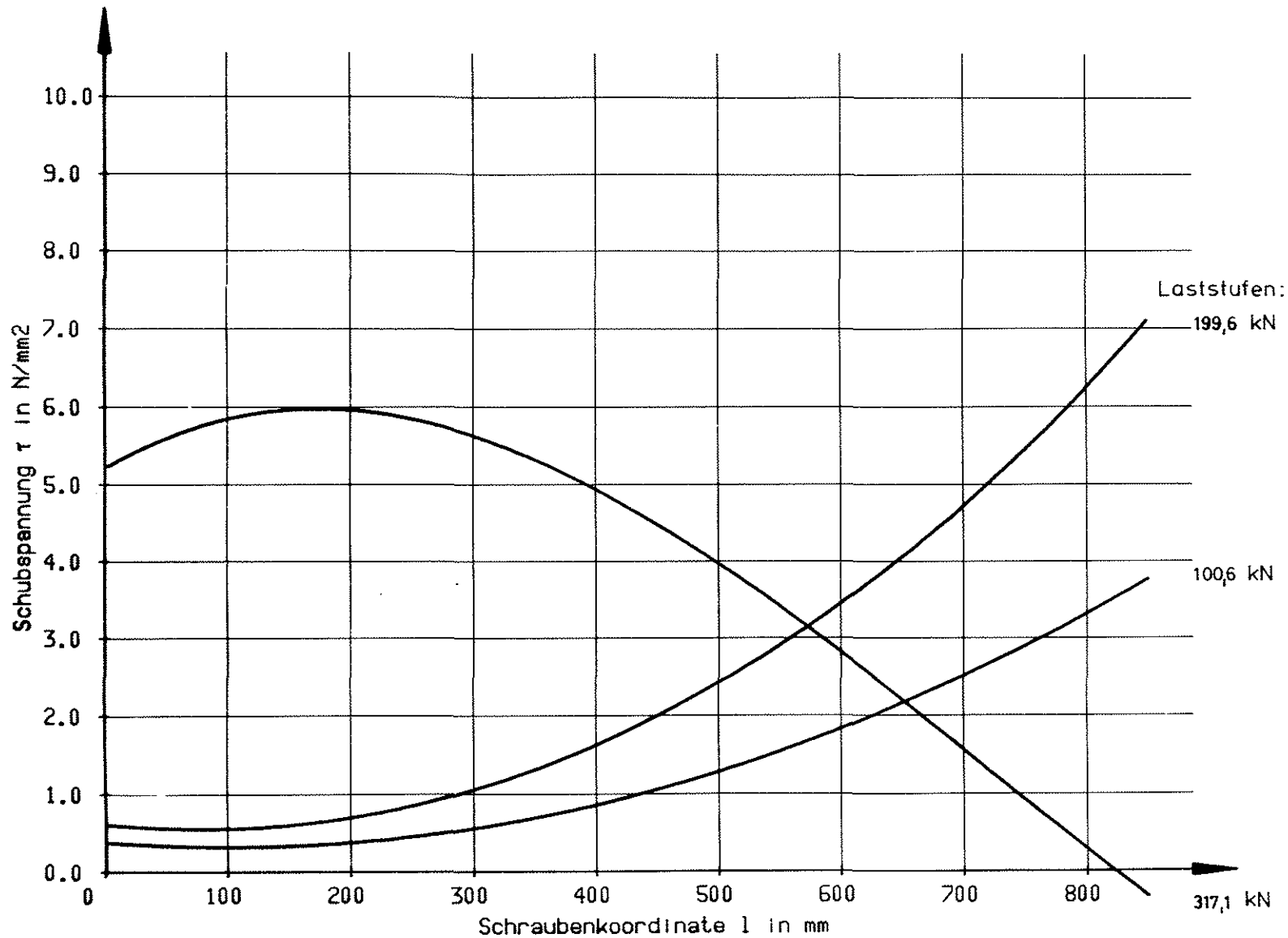


BILD 130 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: G U L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 26,5

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 100,6 - 199,6 - 317,1 kN

ANLAGE 118

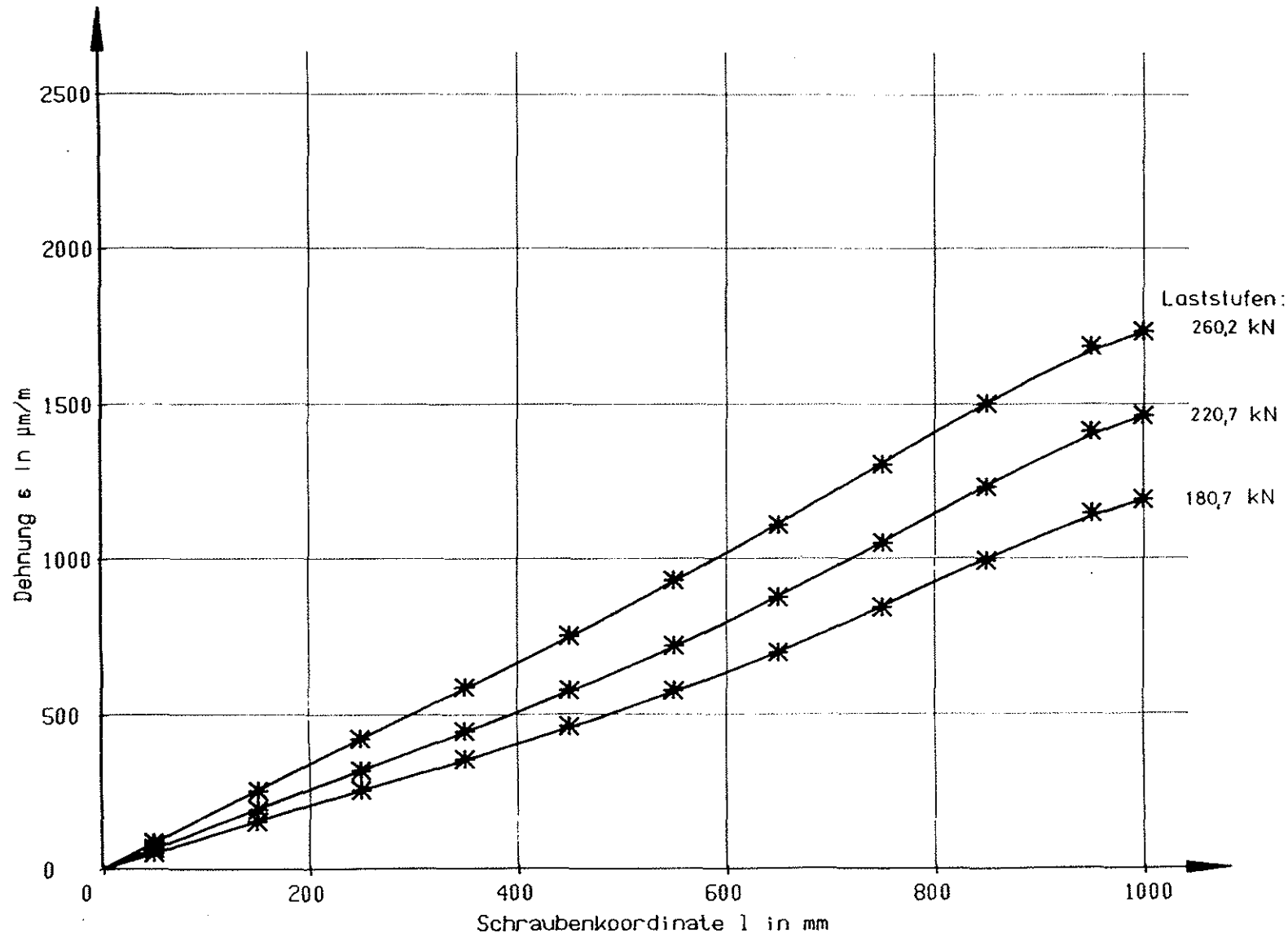


BILD 131 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H II L 3
 GEWI - Stahl \varnothing 32,0

Einschraubtiefe: 1000 mm
 Laststufe: 180,7 - 220,7 - 260,2 kN

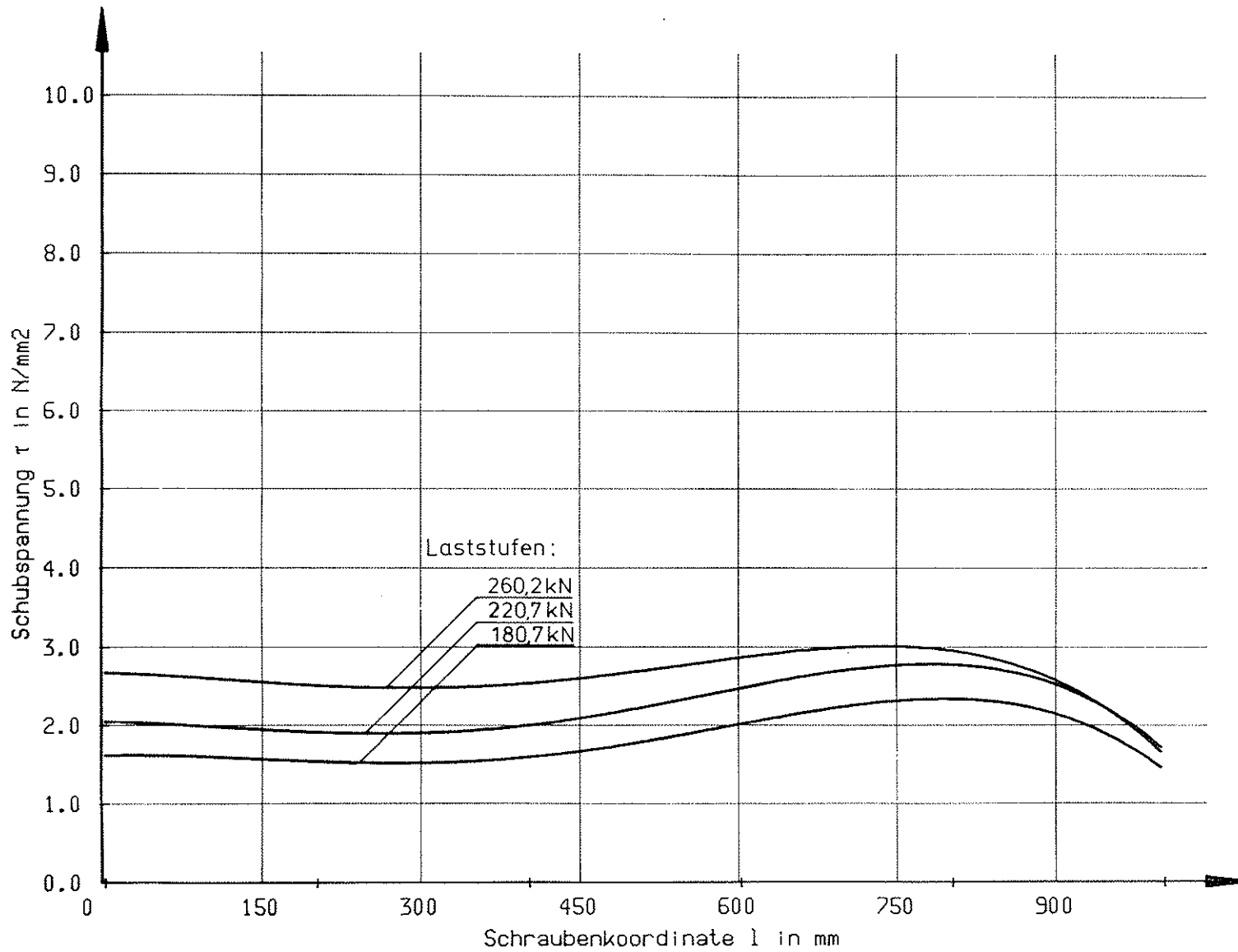


BILD 132 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H II L 3
 GEWI - Stahl \varnothing 32,0

Einschraubtiefe: 1000 mm
 Laststufe: 180,7 - 220,7 - 260,2 kN

ANLAGE 120

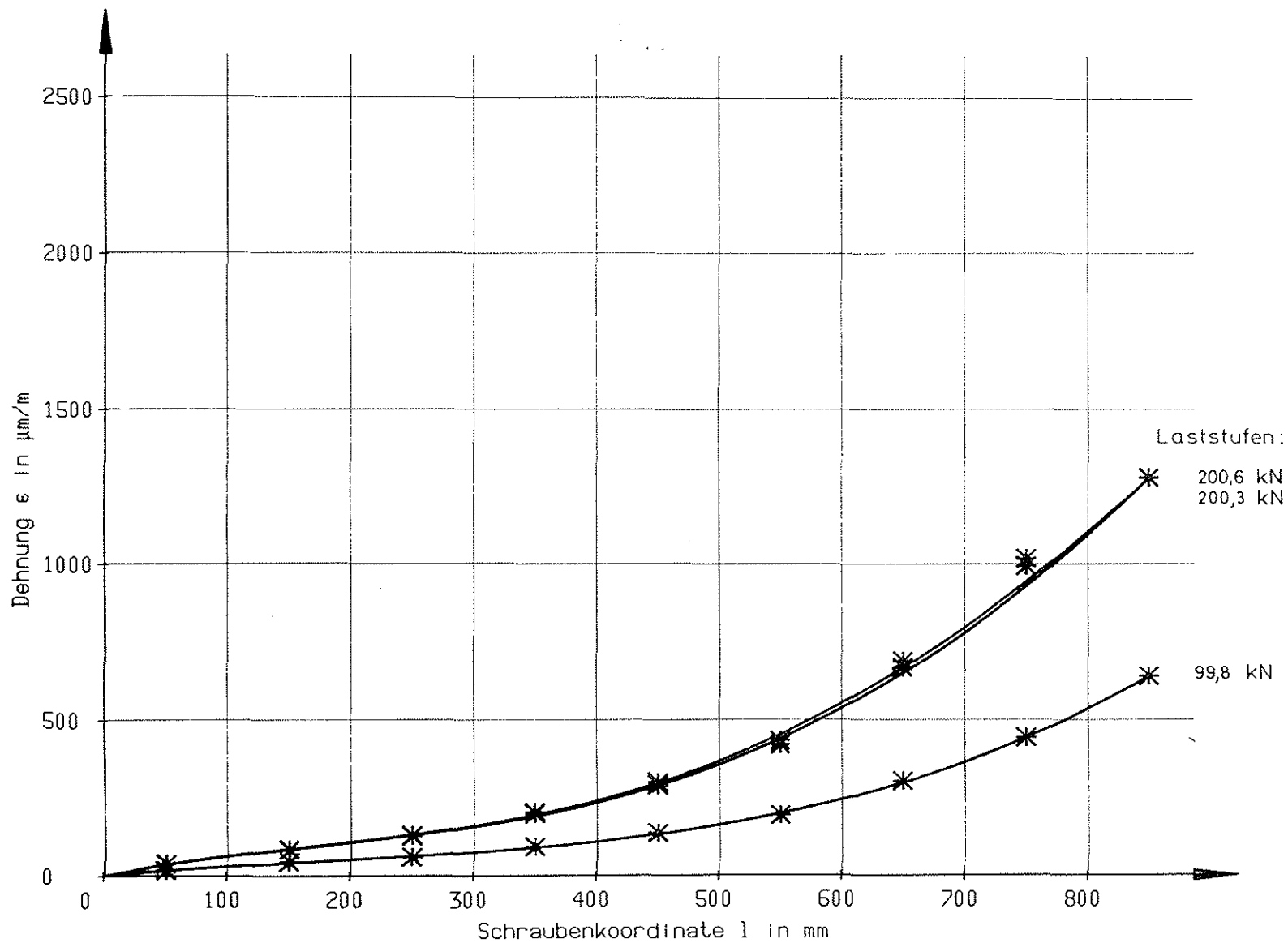


BILD 133 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H III L 2
 GEWI - Stahl \varnothing 32,0

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 99,8 - 200,3 - 200,6 kN

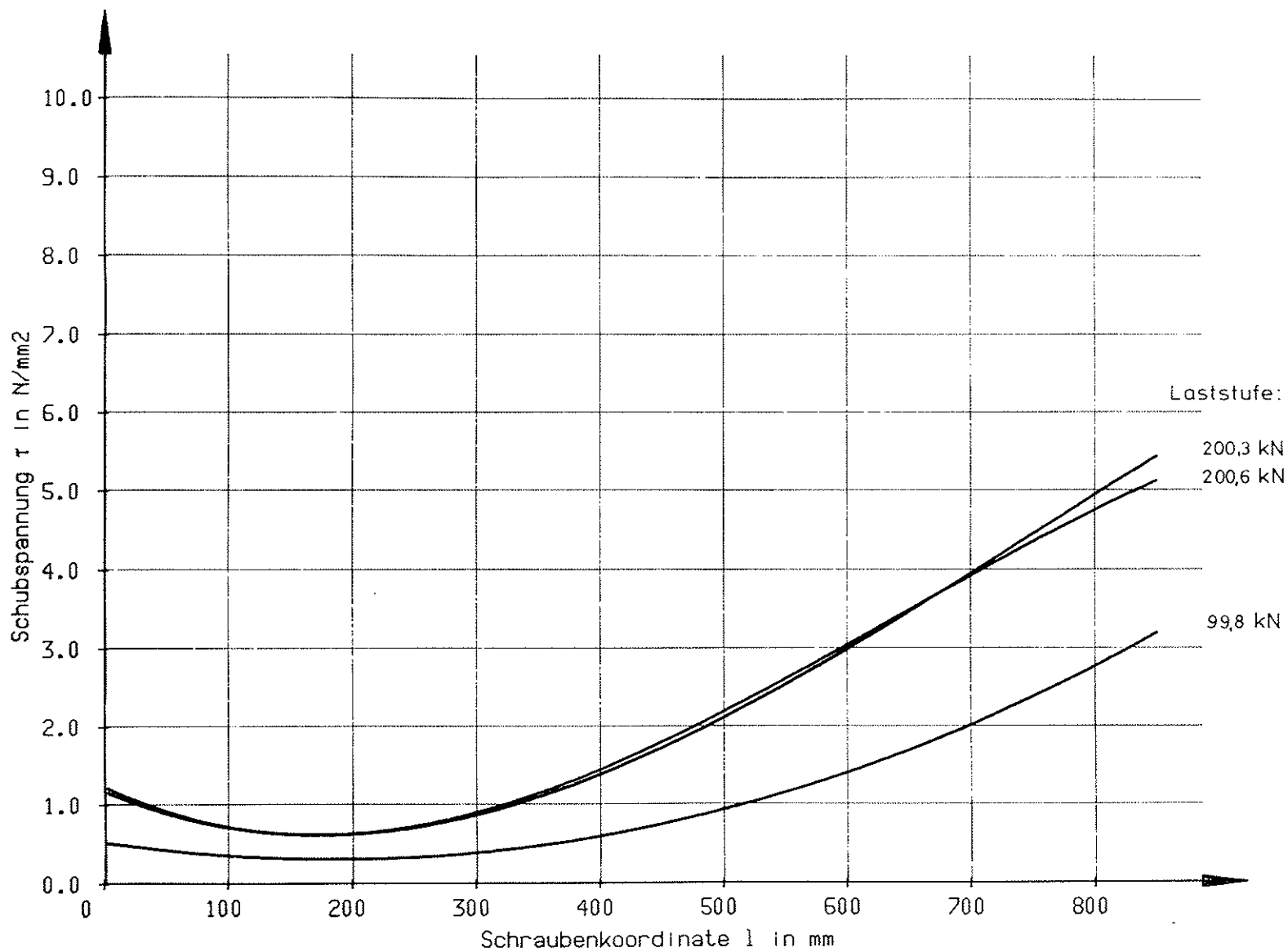


BILD 134 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H III L 2
 GEWI - Stahl Ø 32,0

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 99,8 - 200,3 - 200,6 kN

ANLAGE 122

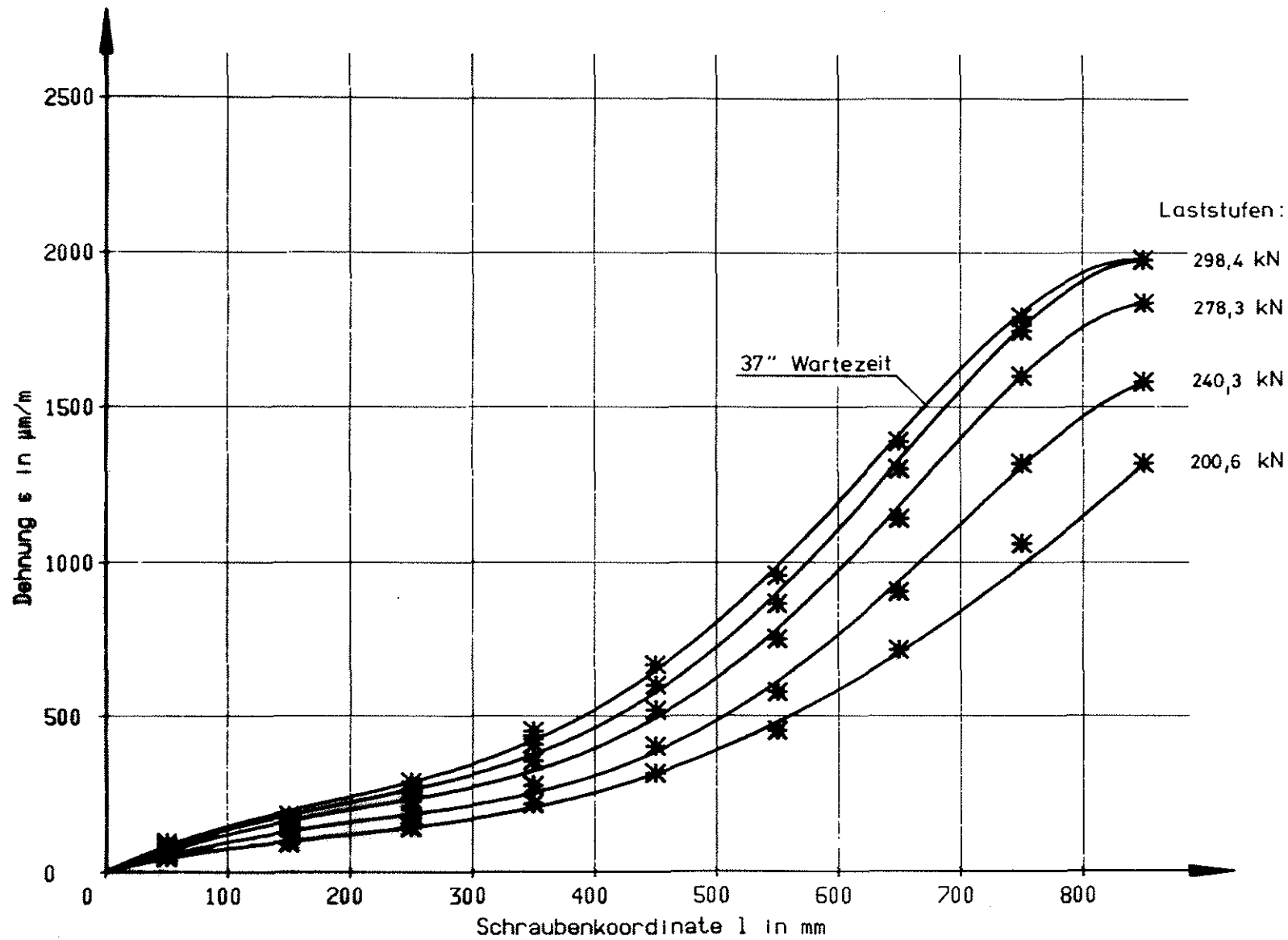
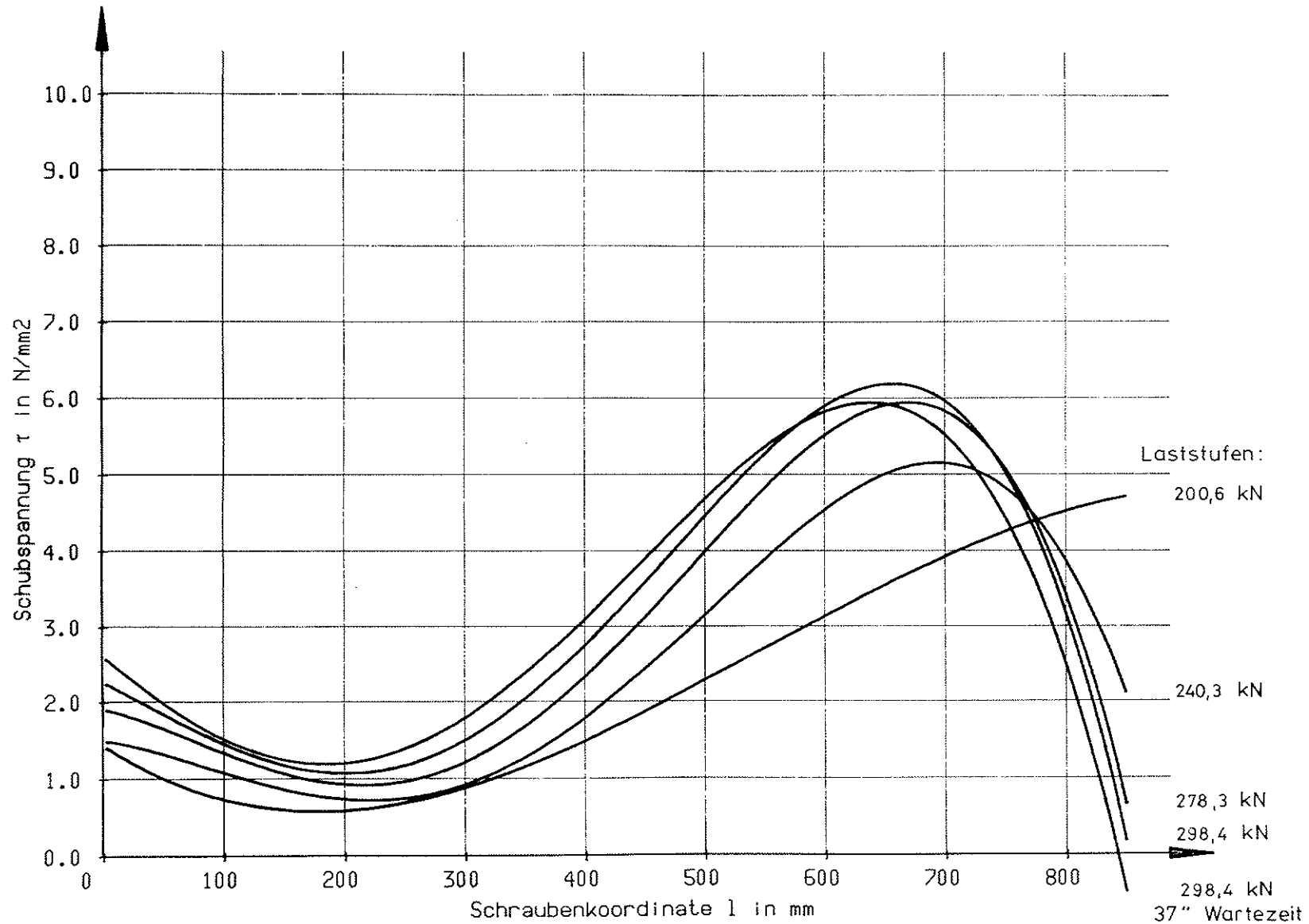


BILD 135 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H III L 3
 GEWI - Stahl \varnothing 32,0

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 200,6 - 240,3 - 278,3 - 298,4 kN



ANLAGE 124

BILD 136 **SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE**

REIHE: H III L 3
 GEWI - Stahl Ø 32,0

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 200,6-240,3-278,3 - 298,4 kN

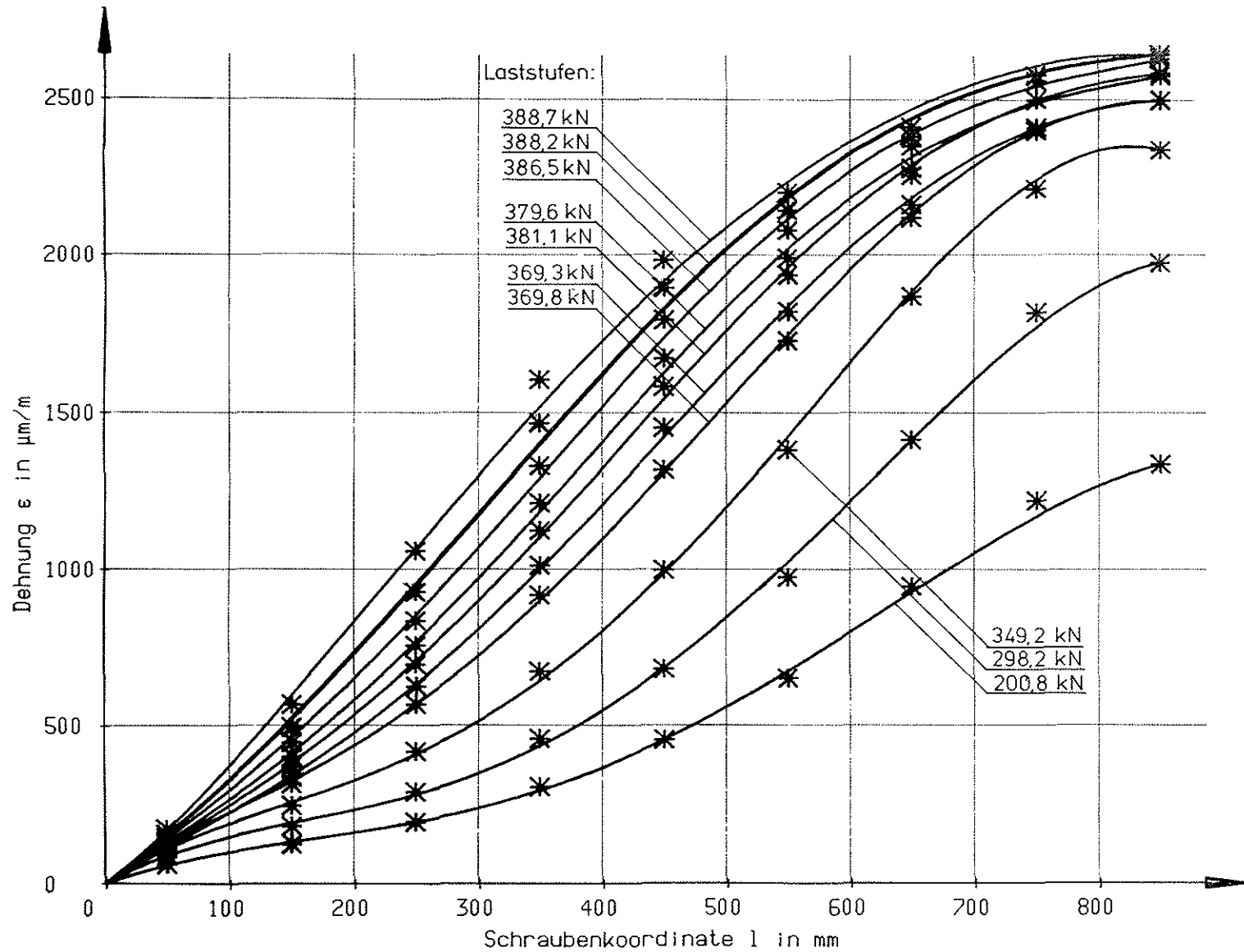


BILD 137 DEHNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H III L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 32,0

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 200,8 ÷ 388,7 kN

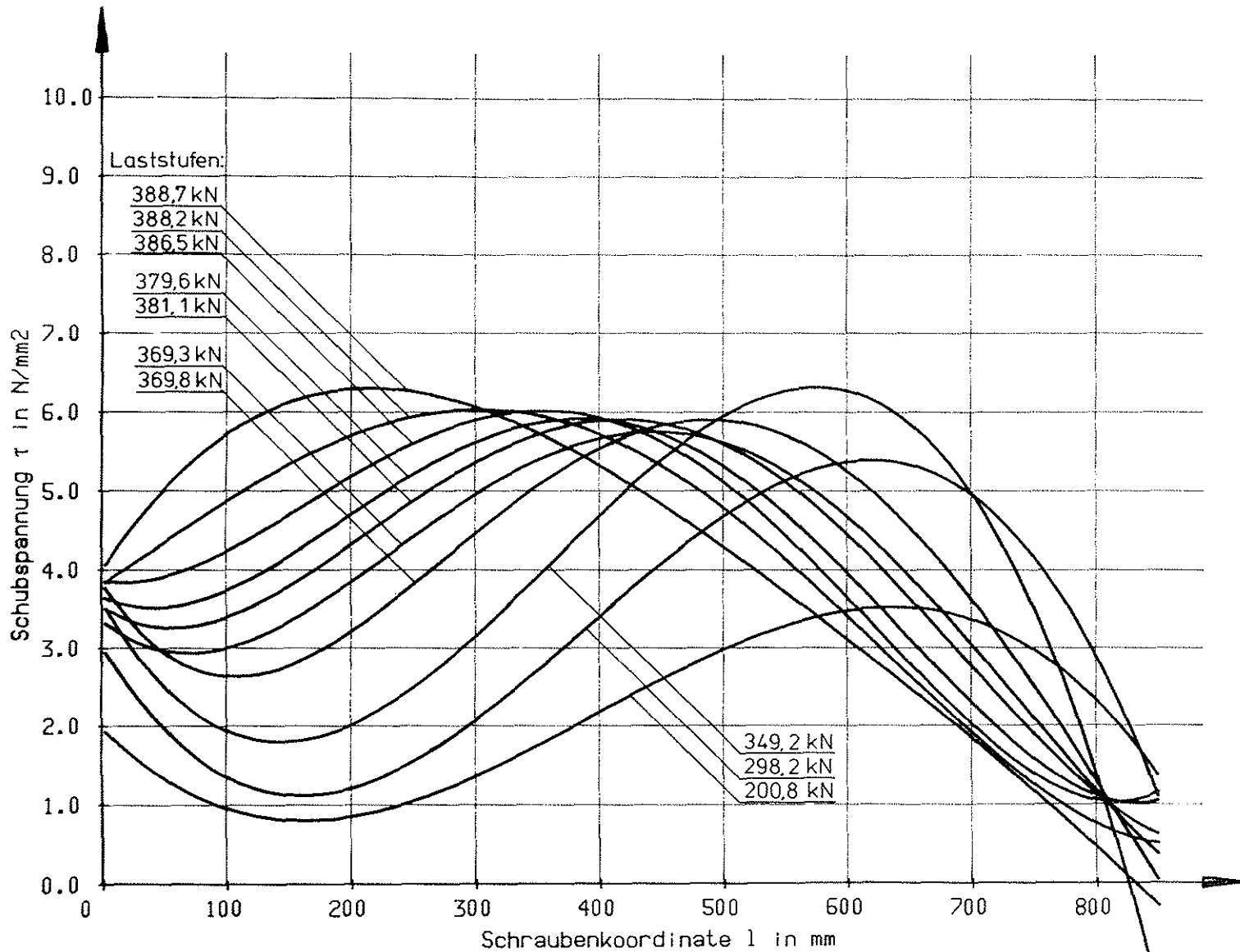


BILD 138 SCHUBSPANNUNG - EINSCHRAUBTIEFE

REIHE: H III L 4
 GEWI - Stahl \varnothing 32,0

Einschraubtiefe: 850 mm
 Laststufe: 200,8 ÷ 388,7 kN

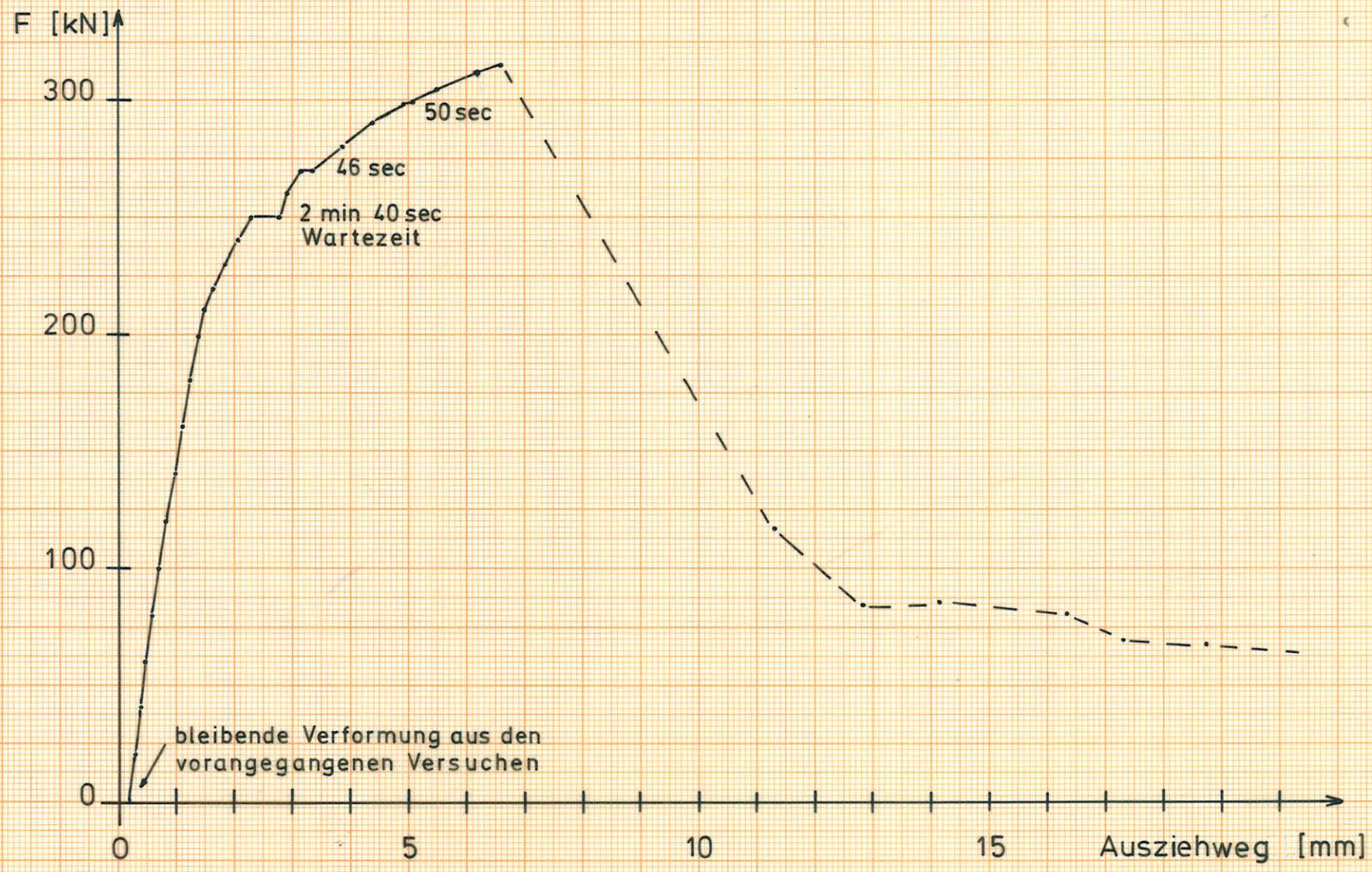


Bild 139 : Versuch GVL4 Kraft - Ausziehweg