

Tragfähigkeit von Hohlprofilen mit eingesteckten Laschen

T 2476

T 2476

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

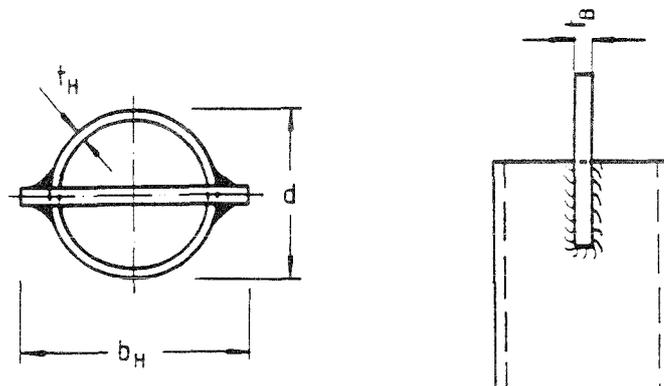
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlußbericht
zum
Forschungsprogramm
Tragfähigkeit
von
Hohlprofilen
mit
eingesteckten Laschen



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Allgemeines	
1.1 Einleitung	1
1.2 Zielsetzung	3
2. Versuchsaufbau und Durchführung	
2.1 Grundgedanken zur Versuchsplanung	4
2.2 Herstellung der Probekörper	9
2.3 Versuchsaufbau	10
2.4 Reißlackversuche	11
2.5. Traglastversuche	13
2.6 Versuche mit Induktiven Wegaufnehmern	14
2.7 Versuche mit DMS	15
2.8. Zusammenfassung der Versuche	16
3. Versuchsauswertung	
3.1 Spannungsermittlung	19
3.2 Spannungen in Rohrmitte	21
3.3 Lasteinleitung	24
3.4 Spannungskonzentrationsfaktor SCF	26

3.5	Bruchlast- bzw. Fließlastauswertung	28
3.6	Verformungen	29
3.7	Bestimmung der maßgebenden Parameter	29
4.	FE-Berechnung	
4.1	Netzentwicklung	30
4.2	Vergleich der Rechenergebnisse mit den Versuchswerten	31
5.	Bemessung	
5.1	Entwerfen eines Bemessungskonzeptes	33
5.2	Erstellung von Bemessungsdiagrammen	34
5.3	Gegenüberstellung mit einem anderen Bemessungsvorschlag	39
5.4	Beispiele	42
5.5	Beurteilung	46
6.	Zusammenfassung	47
7.	Literatur	48

Anlagen

1. Allgemeines

1.1 Einleitung

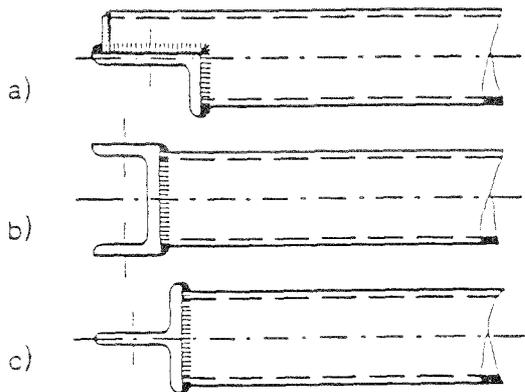
In zunehmendem Maße werden im Bauwesen Rechteck- und Rundhohlprofile als Konstruktionselemente eingesetzt. Dies liegt vor allem darin begründet, daß Hohlprofile einerseits architektonisch und ästhetisch sehr ansprechend wirken und andererseits wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Die günstigen statischen Werte (relativ hohes und nach allen Seiten gleiches Flächenträgheitsmoment; sehr hoher Drillwiderstand) erlauben oftmals Gewichtseinsparungen und sind somit wirtschaftlicher als die herkömmlichen Walzprofile. Desweiteren steht eine große Palette von Abmessungen und Wanddicken zur Verfügung, so daß eine gute Ausnutzung des Materials ermöglicht wird. Die Wartungs- und Unterhaltungskosten sind wesentlich geringer als bei offenen Profilen, da kleinere Oberflächen und glatte Verbindungen den Materialaufwand für Schutzanstriche senken und oftmals auch besser zugänglich sind.

Ein Nachteil von Hohlprofilen liegt in der Kraftübertragung bei geschraubten Anschlüssen. Hierbei ist es notwendig, den Hohlprofilquerschnitt auf einen "Blechquerschnitt" zu reduzieren. Man benötigt dafür besonders ausgebildete Anschlußformen. In Abbildung 1.1 sind hierzu verschiedene Varianten dargestellt. In Bild 1.2 sind typische Fachwerkknoten zu sehen.

In DIN 18808 "Stahlbauten aus Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung", Ausgabe 10.84, sind die Nachweise für Hohlprofilverbindungen geregelt, die ohne Veränderung ihrer Querschnitte verbunden werden. Bei Anschlüssen von Hohlprofilen mittels Knotenblechen wird auf die Regeln des allgemeinen Stahlbaues verwiesen. Weitere wichtige Anschlußdetails wie Kopfplattenstöße bei Hohlprofilen sowie Rohr-Blech-Anschlüsse (Rohrflaschenverbindungen) sind in dieser Norm allerdings nicht geregelt. Während das Tragverhalten der Hohlprofilanschlußpunkte mittels Kopfplattenverbindungen im Rahmen internationaler Forschungsaktivitäten als geklärt angesehen werden kann (diese Anschlußform wurde auch an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine bereits näher untersucht - s. z. B. [01], [02]), liegen zum Tragverhalten von Rohr-Flachblech-Anschlüssen, sogenannten Rohrflaschenverbindungen (s. Probekörperform Anlage 1), lediglich vereinzelte Untersuchungsergebnisse vor [03], [11].

Mit Profilstahl



Mit Blech

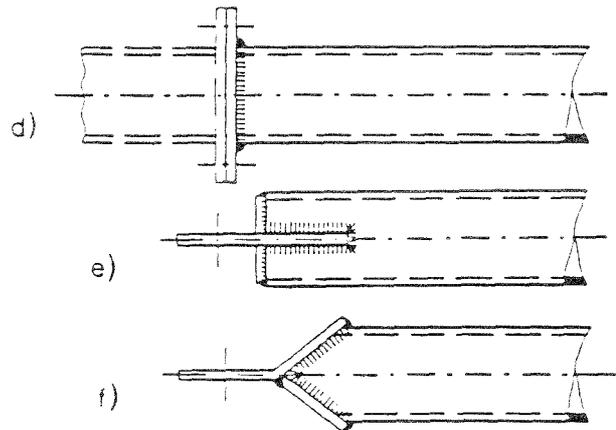


Bild 1.1: Varianten geschraubter Hohlprofilanschlüsse

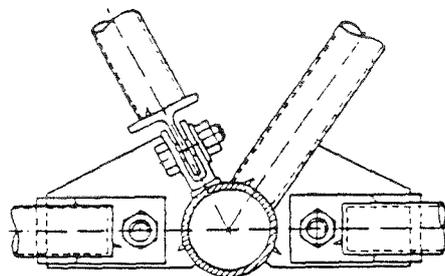
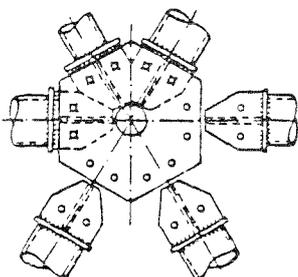


Bild 1.2: Fachwerkknoten

1.2 Zielsetzung

Mit den geplanten Untersuchungen soll überprüft werden, inwieweit und ob überhaupt bei einfachen Rohrlaschen-Verbindungen eine Ausnutzung der zulässigen Bauteilspannungen möglich ist. Vor allem soll damit einer Fehlinterpretation der Neuformulierung der DIN 18808 mit den zugehörigen Erläuterungen vorgebeugt werden, nach der bei Einhaltung der zulässigen Schweißnahtspannung eine Ausnutzung des gesamten Hohlprofilquerschnittes möglich ist. Hierbei werden oft die ungünstigen geometrischen Formeinflüsse, die ihren Niederschlag in erhöhten Dehnungs- bzw. Spannungskonzentrationen finden, außer acht gelassen. Die Gestaltfestigkeit eines solchen Anschlusses hat jedoch einen großen Einfluß auf die Tragfähigkeit.

Bei dem vorliegenden Forschungsprogramm wurden die Auswirkungen der Rohrabmessungen (Durchmesser, Wandstärke), der Flachblechdicke und der Schweißnahtlänge untersucht. Die Schweißparameter wie Elektrodenwahl, Kehlnahtdicke usw. wurden dabei den üblichen Ausführungen angepaßt.

Die Untersuchungen sollen letztendlich klären, welche Parameter für die Tragfähigkeit solcher Anschlüsse maßgebend sind. Bisherige Pilot-Versuche ergaben, daß die Schweißnahtlänge und die Rohrabmessungen einen wesentlichen Einfluß auf die Tragfähigkeit haben dürften. Dabei lag die Tragfähigkeit z. T. deutlich unter der des ungestörten Hohlprofilquerschnittes. Aufgrund dieser bisherigen Erkenntnisse wurde von uns empfohlen, die zulässige Tragfähigkeit auf 85 % der theoretischen Fließlast abzumindern. Mit dem vorliegenden Versuchsprogramm wurde erstmals eine systematische Untersuchung solcher Anschlußformen vorgenommen, um die Abnahme der Tragfähigkeit des Gesamtrohrquerschnittes bzw. die dafür maßgebenden Parameter bestimmen zu können.

Anhand von Bemessungsdiagrammen oder entsprechenden Abminderungsfaktoren für die Tragfähigkeit des Gesamtrohres soll ein einfaches Nachweisverfahren für die Praxis erstellt werden, das seinen Niederschlag in einer Neufassung der DIN 18808 bzw. im entsprechenden Eurocode finden soll.

2. Versuchsaufbau und Durchführung

2.1 Grundgedanken zur Versuchsplanung

Die Lasteinleitung und somit die Spannungsverteilung sowie die Traglast können, außer von den Materialeigenschaften und der Art und Qualität der Schweißnähte, von folgenden Parametern abhängen:

- a) Rohrgeometrie - Durchmesser, Wandstärke
- b) Schweißnahtlänge, a-Maß
- c) Werkstoff
- d) Rechteck- bzw. Rundhohlprofilform
- e) Laschendicke

Bei den vorliegenden Versuchen wurden Rund- und Rechteckhohlprofile aus St 37 und St 52 untersucht. In den Tabellen 2.1 und 2.2 auf den Seiten 6 und 7 sind die durchgeführten Versuche mit den wichtigsten Daten wiedergegeben. Dabei wurde der Laschenquerschnitt so gewählt, daß er immer größer als die Rohrquerschnittsfläche ist (s. Bild 2.1 auf Seite 5 und Tabelle 2.3 auf Seite 8). Die Lasche ragt hierbei seitlich jeweils um den Wert $2 \times$ Laschendicke über das Rohr hinaus, um so eine saubere Ausführung der Schweißnaht zu gewährleisten.

Da der Probekörper mittels Klemmbacken, die 80 mm breit sind, in die Prüfmaschine eingebaut wird, wurden die Laschen der Abmessungen $139,7 \times 4,0$, $193,7 \times 2,9$ und $193,7 \times 5,0$ durch ein zusätzliches Blechstück verstärkt, um ein Versagen des Probekörpers durch Aufreißen der Lasche direkt unterhalb der Klemmbacken zu vermeiden (s. Tabelle 2.3 und Bild 2.2 auf Seite 8). Das Verhältnis $A_{\text{Rohr}}/A_{\text{Lasche vermindert}}$ liegt bei diesen Abmessungen deutlich über dem Wert 2. Da in der Praxis jedoch ein größerer Laschenquerschnitt als der durch die Klemmbacken verminderte in Rechnung gestellt werden kann, ist dort eine solche Verstärkung nicht notwendig.

Da die Laschendicke sich aus der Forderung bestimmt, daß die Querschnittsfläche der Lasche größer als der Rohrquerschnitt sein muß, werden die Laschenabmessungen keinen großen Einfluß auf die Tragfähigkeit dieser Anschlußform besitzen. Die durchgeführten Versuche haben dies bestätigt. Somit werden als weitere Parameter die Rohrgeometrie und die Schweißnahtmaße untersucht.

Das a-Maß der Schweißnaht wurde dabei den schweißtechnischen Erfordernissen angepaßt. Es bestimmt sich aus der Laschendicke bzw. aus der Wandstärke des Rohres. In den meisten Standardwerken des Bauwesens findet man Angaben über das Verhältnis von a-Maß und zu schweißender Blechdicke. Hierzu wird auch auf DIN 18800, Teil 1, verwiesen.

Unter diesen Voraussetzungen werden im Verlauf des Berichtes die Rohrgeometrie und die Länge der Flankenkehlnähte auf ihren Einfluß auf das Tragverhalten hin untersucht. Dazu wurde eine breite Palette von Rundhohlprofilen mit verschiedenen Flanken-nahtlängen gewählt (s. Tabelle 2.1). Die Versuche mit Rechteckhohlprofilen reichen für eine aussagekräftige Untersuchung noch nicht aus (Tabelle 2.2). Hierzu sind weitere Versuche geplant. Die Bemessungsvorschläge in Kapitel 5 beziehen sich deshalb nur auf Rundhohlprofile.

Der Einfluß des Werkstoffes wurde durch die Bestimmung der Materialkennwerte mittels Zugproben erfasst. Üblicherweise streuen diese Werte je nach Charge und Hersteller. Da die meisten Probekörper jedoch aus St 37 und einige aus St 52 bestanden, wird dieser Parameter in die weiteren Überlegungen nicht mit eingehen. Andere Werkstoffe wie Feinkornbaustähle oder höherfeste Stähle müssen gesondert untersucht werden.

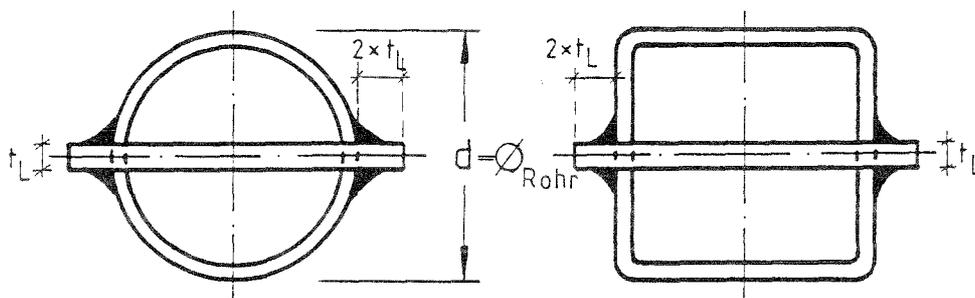


Bild 2.1: Bestimmung der erforderlichen Laschendicke t_L

$$\text{Bedingung: } A_{\text{Lasche}} > A_{\text{Rohr}} \quad \text{Laschenlänge} = \varnothing_{\text{Rohr}} + 4 \cdot t_L$$

$$t_L > 0.5 \cdot \sqrt{(\varnothing_{\text{Rohr}}^2/16 + A_{\text{Rohr}})} - 0.125 \cdot \varnothing_{\text{Rohr}}$$

Werkstoff (lt. Angabe)	Profilbezeichnung [mm x mm]	Profilwerte gemessen [mm x mm]	Querschnittsfläche [mm ²]	Laschen- dicke [mm]	Flanken- nahtlänge [mm]	a-Maß [mm]	Art des Versuchs
St 37	82,5 x 4,0a	82,8 x 4,0	990	10	75	4	DMS
St 37	82,5 x 4,0b	82,5 x 4,2	1033	10	110	4	Zugversuch
St 37	82,5 x 8,0a	82,8 x 8,2	1922	18	95	6	Ind.Wegaufn.
St 37	82,5 x 8,0b	83,2 x 8,0	1890	18	140	6	Zugversuch
St 37	101,6 x 2,9b	102,3 x 2,9	906	8	135	3	DMS
St 37	101,6 x 4,0a	102,3 x 4,7	1441	10	90	4	DMS
St 37	101,6 x 4,0b	102,2 x 4,7	1440	10	135	4	Reißlack
St 37	101,6 x 4,0c	101,8 x 4,7	1434	10	180	4	DMS
St 52	101,6 x 4,0d	102,2 x 4,0	1234	10	110	4	Zugversuch
St 52	101,6 x 4,0e	102,0 x 4,0	1232	10	165	4	DMS
St 37	101,6 x 8,0a	102,1 x 7,0	2091	18	120	6	Zugversuch
St 37	101,6 x 8,0b	101,6 x 7,1	2108	18	205	6	Zugversuch
St 37	139,7 x 4,0a	140,0 x 4,2	1792	10	125	4	DMS
St 37	139,7 x 4,0b	139,3 x 4,1	1741	10	185	4	Ind.Wegaufn.
St 37	139,7 x 7,1a	139,8 x 8,3	3451	18	145	6	Reißlack
St 37	139,7 x 7,1b	139,7 x 8,5	3504	18	215	6	Reißlack
St 37	193,7 x 2,9a	194,4 x 3,0	1804	10	165	3	Zugversuch
St 37	193,7 x 2,9b	193,5 x 3,0	1795	10	250	3	Zugversuch
St 37	193,7 x 5,0a	193,7 x 5,2	3079	15	170	5	Zugversuch
St 37	193,7 x 5,0b	194,1 x 5,1	3028	15	255	5	DMS

Werkstoff (lt. Angabe)	Profilbezeichnung [mm x mm]	Profilwerte gemessen [mm x mm]	Querschnittsfläche [mm ²]	Laschen- dicke [mm]	Flanken- nahtlänge [mm]	a-Maß [mm]	Art des Versuchs
St 37	100 x 100 x 4c	100,3 x 4,1	1520	12	220	4	Zugversuch
St 37	100 x 100 x 8a	100,1 x 8,0	2890	20	140	6	DMS
St 37	100 x 100 x 8b	100,0 x 8,2	2890	20	210	6	Reißlack
St 52	100 x 100 x 8c	100,2 x 8,1	2890	20	170	6	DMS
St 37	140 x 140 x 5a	140,3 x 5,0	2660	18	190	5	DMS
St 37	140 x 140 x 5b	140,2 x 5,0	2660	18	285	5	Zugversuch

Tabellen 2.1 und 2.2:

Versuchsprogramm der Rund- und Rechteckhohlprofile
Rundhohlprofile in Tabelle 2.1 auf voriger Seite

Versuch	A_{Rohr} [cm ²] (n. Tabelle)	A_{Lasche} [cm ²] vermindert	A_{Lasche} [cm ²] gesamt	A_{Rohr} $A_{\text{Lverm.}}$
82,5 x 4,0	9,86	8,00	12,30	1,23
82,5 x 8,0	18,70	14,40	27,90	1,30
101,6 x 2,9	8,99	6,40	10,72	1,40
101,6 x 4,0	12,30	8,00	14,20	1,54
101,6 x 8,0	23,50	14,40	31,30	1,63
139,7 x 4,0	17,10	8,00	18,00	2,14
139,7 x 7,1	29,60	14,40	38,20	2,06
193,7 x 2,9	17,40	8,00	23,40	2,18
193,7 x 5,0	29,60	12,00	38,10	2,47
100 x 100 x 4	15,20	9,60	17,80	1,58
100 x 100 x 8	28,90	16,00	36,00	1,81
140 x 140 x 5	26,35	14,40	38,20	1,83

Tabelle 2.3: Querschnittsflächen der Rohre bzw. der Laschen

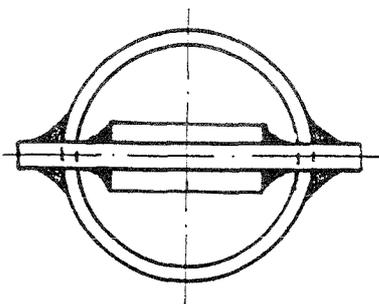


Bild 2.1: Querschnitt eines Rohres mit verstärkter Lasche

2.2 Herstellung der Probekörper

Die Probekörper wurden in der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe hergestellt. Die eingesteckten Bleche wurden mittels umlaufender Kehlnaht an die Hohlprofile angeschweißt. Für die Schweißung wurde das offene Lichtbogen-Handschweißverfahren (E-Hand) angewandt. Die Form der Probekörper ist in Anlage 1 dargestellt. Die eingesteckte Lasche wurde jedoch nur auf einer Seite angebracht.

Abbildung 2.2 zeigt den Probekörper, der auf einer Seite die zu untersuchende Form mit dem eingesteckten Blech besitzt und auf der anderen Seite eine ausreichend massive Kopfplatte mit entsprechend dicker Lasche und einer Schweißnaht mit großem a -Maß, so daß das Versagen möglichst auf der uns interessierenden Seite mit der eingesteckten Lasche auftreten soll (s. hierzu auch Versuche mit Induktiven Wegaufnehmern).

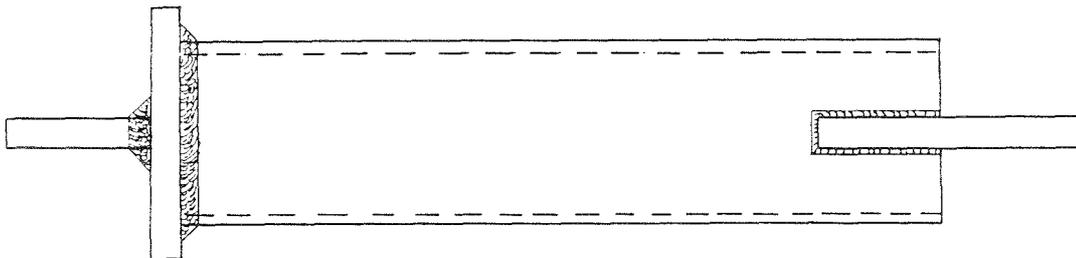


Bild 2.2. Untersuchte Probekörperform

2.3 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden mit einer 1000 kN Prüfmaschine der Güteklasse 1 gefahren. Es wurden dabei reine statische Zugversuche mit vier verschiedenen Versuchsarten durchgeführt. Jeder Versuch wurde bis zum Bruch bzw. bis zur Maximallast der Maschine gefahren.

Folgende Versuchsarten wurden durchgeführt:

1. Reißlackversuche
Diese Versuche dienen zur Abschätzung des allgemeinen Tragverhaltens durch Beobachtung des Reißlacks. Dabei treten in Bereichen mit stärkerer Belastung die Risse früher auf. Die Versuche wurden z. T. in Verbindung mit der Aufnahme einer Traglastkurve durchgeführt.
2. Zugversuche
Diese Versuche sind zur Ermittlung weiterer Traglastkurven bestimmt. Hierbei können Aussagen über das Gesamttragverhalten der untersuchten Anschlußform getroffen werden.
3. Versuche mit Induktiven Wegaufnehmern
Zur genaueren Untersuchung der Verformung im Anschlußbereich und zur Abschätzung der gegenseitigen Beeinflussung der steiferen Bereiche gegenüberliegender Rohrenden. In Anlage 2 ist die Anordnung der Wegaufnehmer ersichtlich.
4. DMS-Versuche
Zur näheren Untersuchung des Tragverhaltens im Bereich der Schweißnaht. Hier kamen z. T. dreiaxiale DMS zum Einsatz, die den genauen Spannungsverlauf an den entsprechenden Stellen ermitteln können. Weiterhin wurden DMS-Ketten eingesetzt, um die Spannungskonzentration am Fußpunkt der Schweißnaht zu bestimmen. Den zugehörigen Klebeplan kann man Anlage 3 entnehmen.

2.4 Reißlackversuche

Die Reißlackversuche wurden mit den Probekörpern 101,6 x 4,0b und 139,7 x 7,1 a und b gemäß Tabelle 2.1 und dem Probekörper 100 x 100 x 8b gemäß Tabelle 2.2 durchgeführt. Der Reißlack hatte eine gelbgrüne Farbe und hob sich somit deutlich von dem übrigen Probekörper ab.

Versuchsbeschreibung:

Probekörper 101,6 x 4,0b

Erste Anrisse des Lacks erfolgen bei einer Last von 185 kN direkt unterhalb der Stirnkehlnaht. Die Risse breiten sich mit zunehmender Last weiter aus. Bei 310 kN sind kleinere Risse im Bereich der Flankenkehlnähte zu erkennen. Das Reißbild um die Stirnkehlnaht ist bei 344 kN voll ausgeprägt. Der Lack beginnt allmählich abzuplatzen. Kleinere Anrisse werden auch in der Lasche deutlich. Der Versuchskörper beginnt bei einer Last von 360 kN zu fließen. Die Lasche kommt bei ca. 400 kN in den Fließbereich. Zu Beginn des Fließens sind die Flankenkehlnähte kaum belastet. Die Lasteinleitung erfolgt hauptsächlich über die Stirnkehlnaht. Kurz vor dem Bruch schnürt sich das Rohr direkt unterhalb der Lasche ein. Ein Abplatzen des Reißlacks ist jetzt auch im Bereich der Flankenkehlnähte zu beobachten. Das zugehörige Bruchbild kann der Anlage 69 in Bild A7 entnommen werden. Die zugehörige Traglastkurve ist in Anlage 6 dargestellt.

Probekörper 139,7 x 7,1a

Erste größere Anrisse kann man bei etwa 510 kN im Bereich der Stirnkehlnaht erkennen. Diese weiten sich nur allmählich zur Seite hin aus. Eine deutliche Zunahme der Risse erfolgt erst ab einer Last von ca. 800 kN. Dabei bilden sich diese Risse um die Stirnkehlnaht und die angrenzenden Bereiche der Flankenkehlnähte herum aus. Bei 850 kN kommt der Probekörper allmählich ins Fließen. Der Reißlack beginnt direkt hinter der Lasche abzuplatzen, wobei sich die Risse zur Rohrmittle hin weiter ausbreiten. Bei 920 kN wird die momentane Maximallast der Prüfmaschine erreicht. Dabei ist der Lack großflächig um die Stirnkehlnaht herum abgeplatzt. Im Bereich der Flankenkehlnähte ist der Lack kaum gerissen, so daß dort nur eine sehr geringe Verformung stattfindet. Ein Großteil der Last wird daher bereits über die Stirnkehlnaht und den angrenzenden Bereich der Flankenkehlnähte vom Rohr auf die Lasche übertragen.

Probekörper 139,7 x 7,1b

Auch bei diesem Versuch wurden ähnliche Beobachtungen wie bei dem vorigen gemacht. Die Lasteinleitung erfolgt fast ausschließlich über die Stirnkehlnaht und den angrenzenden Teil der Flankenkehlnähte. Bei 470 kN sind hier erste Anrisse im Bereich der Stirnkehlnaht zu erkennen. Eine deutlich erkennbare Lasteinleitung über die Flankenkehlnähte erfolgt erst bei 860 kN. Der Fließbereich des Rohres beginnt bei etwa 950 kN. Dabei ist das Rißbild um die Stirnkehlnaht deutlich ausgeprägt. Mit zunehmender Last platzt der Lack in diesem Bereich fast vollständig ab. Bei 990 kN wird die Maximallast der Maschine erreicht, so daß der Versuch nicht bis zum Bruch gefahren werden kann. Die zugehörige Traglastkurve ist in Anlage 10 dargestellt.

Probekörper 100 x 100 x 8b

Das Verhalten des Rechteckhohlprofils entspricht im wesentlichen dem der Rundhohlprofile. Bei ca. 120 kN kann man erste Risse im Bereich der Stirnkehlnaht erkennen. Ab 350 kN weiten sich diese Risse seitlich zu den Flankenkehlnähten hin aus. Im Bereich von 650 kN wird ein deutliches Ansteigen der Risse im Bereich der Stirnkehlnaht beobachtet. Der Lack beginnt bereits an einigen Stellen abzutreten. Bei der Laststufe 694 kN ist dies deutlich zu erkennen. Das Rohr beginnt bei einer Last von 720 kN zu fließen. Der Lack platzt großflächig um die Stirnkehlnaht herum ab. Eine weitere Laststeigerung bis zur momentanen Maximallast der Maschine von 925 kN bewirkt kaum noch Änderungen im Rißbild. Ein Aufreißen des Rohres kann ebenfalls nicht beobachtet werden. In den Anlagen 66 und 67 kann man den Probekörper bei verschiedenen Laststufen erkennen.

Zusammenfassung der Versuche:

Bei allen Versuchen beginnt das Rohr örtlich im Bereich der Stirnkehlnaht bereits weit unterhalb der Fließlast des ungestörten Rohrquerschnittes zu fließen. Dies erkennt man an dem Auftreten erster größerer Risse. Erst im Bereich der Fließlast des Probekörpers tragen auch die Flankenkehlnähte verstärkt zur Lasteinleitung bei. Es kann deshalb darauf geschlossen werden, daß die Nahtlänge von geringerem Einfluß auf die Tragfähigkeit einer solchen Rohrlaschenverbindung ist, als zunächst angenommen wurde. Beim Probekörper 101,6 x 4,0b trat auch der erste Riß im Rohr direkt am Fußpunkt der Stirnkehlnaht auf, so daß in diesem Bereich ein Großteil der Last vom Rohr auf die Lasche übertragen wird.

2.5 Traglastversuche

Die Traglastversuche wurden mit den Probekörpern

82,5 x 4,0b
82,5 x 8,0b
101,6 x 4,0d
101,6 x 8,0a
101,6 x 8,0b
193,7 x 2,9a
193,7 x 2,9b
193,7 x 5,0a
100 x 100 x 4c
140 x 140 x 5b durchgeführt.

Bei allen Probekörpern, die zu Bruch gefahren werden konnten, erfolgte der erste Riß direkt unterhalb der Stirnkehlnaht. Von dort ausgehend beginnt der Bruch bei fast allen Probekörpern, wobei zuvor ein Einschnüren des Rohres direkt unterhalb der Lasche zu beobachten ist. Dabei ist das Maß der Einschnürung jedoch von der Wandstärke des Rohres abhängig. Die dünneren Probekörper mit 4 mm Wandstärke schnüren sich weit mehr ein als die dickeren mit 8 mm. Ein recht unterschiedliches Verhalten weisen die Probekörper beim Fließverhalten auf. Während die Rohre mit 4 mm Wandstärke einen ausgeprägten Fließbereich aufweisen, in dem nur eine geringe Laststeigerung möglich ist, fließen die Rohre mit 8 mm Wandstärke nur relativ kurz. Sie erfahren danach eine Verfestigung, bei der die Last noch deutlich gesteigert werden kann. Die Rohre mit 2,9 und 5 mm Wandstärke weisen fast keinen Fließbereich auf. Der Bruch erfolgt ohne größere Verformungen. Diese Rohre besitzen jedoch die größten D/t Verhältnisse (s. Tabelle 2.4 auf Seite 18).

Die Bruchbilder der Probekörper 82,5 x 4,0b, 82,5 x 8,0b und 101,6 x 8,0a sind in den Anlagen 68 und 70 in den Bildern A6, A9 und A10 zu sehen. Die jeweiligen Traglastkurven der oben erwähnten Probekörper sind in den Anlagen 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 und 15 dargestellt.

2.6 Versuche mit Induktiven Wegaufnehmern

Induktive Wegaufnehmer wurden an den Probekörpern $82,5 \times 8,0a$ und $139,7 \times 4,0b$ angebracht. Die Anordnung der Wegaufnehmer ist Anlage 2 zu entnehmen.

Dabei wurden die Lasteinleitungsbereiche an beiden Rohrenden untersucht. Auf der Seite mit dem eingesteckten Blech wurden zwei W 50 angebracht, d. h. maximal aufnehmbarer Weg = 50 mm. Auf der gegenüberliegenden Seite mit dem Kopfplattenanschluß wurden zwei W 10 angebracht - maximal meßbarer Weg = 10 mm. Da neben der Gesamtverformung auch noch die plastischen und elastischen Anteile interessierten, wurde mit einer Vorlast von 50 kN gearbeitet, auf die nach jeder Laststufe zurückgefahren wurde (s. Bild 2.3).

In den Anlagen 16 bis 19 sind die aufgenommenen Kurven zu finden. Man erkennt, daß beide Rohrenden bei der gleichen Last in einen kurzen Fließbereich kommen und sich danach verfestigen. Dieser Fließbereich ist auf der Seite mit der massiven Kopfplatte allerdings sehr schwach ausgeprägt. Dies ist auf die höhere Steifigkeit und die damit verbundene geringere Verformungsfähigkeit zurückzuführen. Das Rohrende mit der eingesteckten Lasche wird von der Steifigkeit des Kopfplattenanschlusses allerdings nicht mehr beeinflusst und kann sich unabhängig davon stärker verformen.

Nach Überschreiten des Meßbereichs der Wegaufnehmer wurden diese abmontiert und der Versuch bis zum Bruch gefahren. Auch hier wurden die selben Beobachtungen wie bei den vorigen Versuchen gemacht. Der Probekörper versagte durch Aufreißen am Fußpunkt der Stirnkehlnaht.

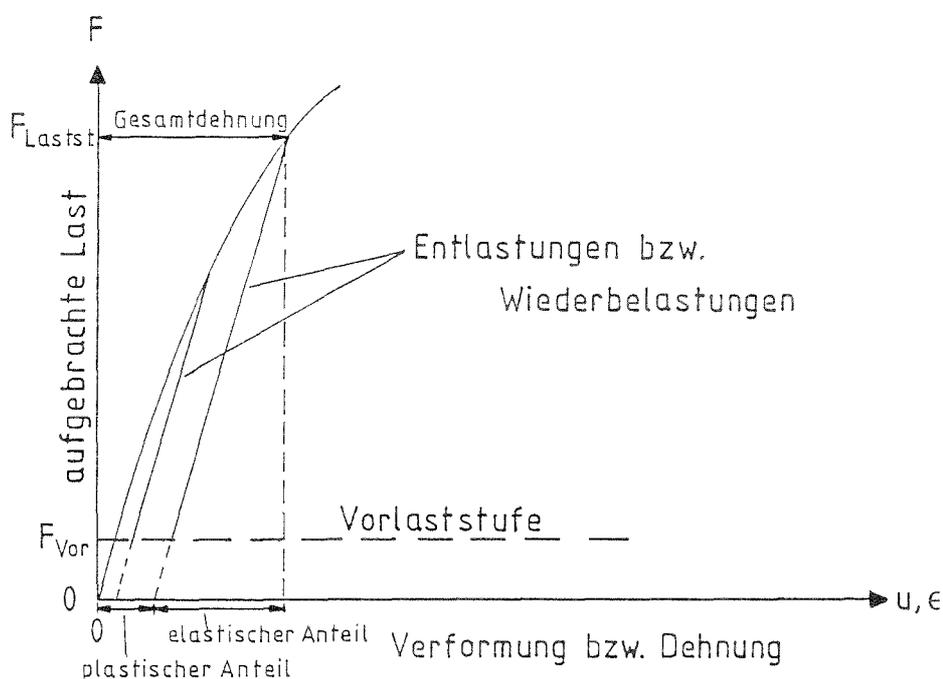


Bild 2.3: Be- und Entlastungsvorgang während des Versuchs

2.7 Versuche mit DMS

Die Probekörper 101,6 x 4,0a , 101,6 x 4,0c und 139,7 x 4,0a wurden gemäß dem Klebeplan in Anlage 3 bestückt. Bei den Probekörpern 82,5 x 4,0a , 101,6 x 2,9b , 101,6 x 4,0e , 193,7 x 5,0b , 100 x 100 x 8a , 100 x 100 x 8c und 140 x 140 x 5a wurde auf die dreiaxialen DMS verzichtet.

Bei der Wahl der DMS waren besonders 3 Fragen von Interesse:

1. Die Spannungskonzentration am Schweißnahtfußpunkt ↔ DMS - Kette
2. Der Verlauf der Spannungen im Bereich der Lastkonzentration und eine eventuelle Richtungsänderung bei Laststeigerung ↔ Dreiaxiale - DMS
3. Verformungen des Hohlprofils und Spannungen in Rohrmitte; Bestimmung des Störmomentenanteils im Rohr durch Imperfektionen und Zwängungen bedingt durch den Einbau in die Prüfmaschine ↔ Einaxiale DMS in Rohrmitte

Um aus der Gesamtverformung die plastischen und elastischen Anteile und somit die Spannungen ermitteln zu können, wurde nach jeder Laststufe auf eine Vorlast zurückgefahren. Aus versuchstechnischen Gründen kann nicht exakt auf die Last 0 zurückgefahren werden. Das Meßdatenauswertungsprogramm an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine berücksichtigt jedoch diesen Sachverhalt und reduziert die elastischen Anteile um die aus der ersten Vorlaststufe ermittelten Werte (s. hierzu auch Bild 2.3 auf Seite 14). Die Lage der DMS - Kette auf den Probekörpern kann man auch der Anlage 68 in Bild A5 entnehmen.

Die DMS liefern alle brauchbare Werte bis zu einer Dehnung von 1%, so daß Vorgänge im plastischen Bereich nur ungenügend erfaßt werden können.

Nach Versagen der DMS wurde jeder Probekörper zu Bruch bzw. bis zur Maximallast der Maschine gefahren. Die Bruchbilder der Probekörper 101,6 x 4,0c und 139,7 x 4,0a sind in den Bildern A8 und A11 in den Anlagen 69 und 71 zu sehen. Dabei versagten alle Probekörper, die zu Bruch gefahren werden konnten, durch Aufreißen des Rohres an der Stirnkehlnaht. Bei den Versuchen 101,6 x 4,0a und 139,7 x 4,0a begann kurz danach die Flankenkehlnaht vom Rohrende her aufzureißen. Dies ist wahrscheinlich auf die Lastumlagerung nach Versagen der Stirnkehlnaht zurückzuführen (sogenannte sekundäre Effekte). Beim Probekörper 101,6 x 4,0c konnte zunächst ein Anriß bei der Stirnkehlnaht festgestellt werden, der sich jedoch nicht ausbreitete. Das Versagen des Probekörpers erfolgte schließlich durch Einschnürung und Bruch des Rohres in einiger Entfernung von der Lasteinleitungsstelle (s. Bild A8 in Anlage 69). Die Probekörper 101,6 x 2,9b und 193 x 5,0b versagten ohne größere Verformungen. Der Bruch trat unmittelbar nach Einsetzen des Fließens ein.

2.8 Zusammenfassung der Versuche

Alle Versuche erbrachten, daß der Bereich der Stirnkehlnaht am stärksten belastet wird. Von hier aus setzte der Bruch ein. Die Länge der Flankenkehlnaht spielte dabei nicht eine so zentrale Rolle wie zunächst angenommen wurde. Deshalb wird der Schwerpunkt der Untersuchungen im weiteren Verlauf auf die Erhärtung dieser Aussage und auf die Rohrgeometrie gelegt. Eine Zusammenfassung der Versuche mit den wichtigsten Daten ist in Tabelle 2.4 auf Seite 18 wiedergegeben. Dort finden sich jeweils die Fließlasten $P_{0,2}$, die Bruchlasten P_{max} , die zu den Lasten gehörenden Spannungen und die aus einer Zugprobe ermittelten Spannungen. Die Zugproben wurden vor dem Versuch aus dem Rohr ausgearbeitet, um die Materialkennwerte bestimmen zu können (Streckgrenze und Zugfestigkeit). Ebenso wurde das Verhältnis Durchmesser/Wandstärke ermittelt, da es in Kapitel 5 benötigt wird.

Versagensarten der Versuche:

82,5 x 4,0a	Riß am Fußpunkt der Stirnkehlnaht, Bruch von dort ausgehend, deutlich ausgeprägter Fließbereich direkt hinter der Lasche
82,5 x 4,0b	Gleiches Versagen wie bei 82,5 x 4,0a, jedoch deutliche Laststeigerung nach dem Anriß des Rohres am Fußpunkt der Stirnkehlnaht und dem Fließbereich zu erkennen
82,5 x 8,0a	Anriß am Fußpunkt der Stirnkehlnaht, danach weitere Laststeigerung ohne deutlichen Fließbereich, Riß führt schließlich zum schlagartigen Bruch des Rohres
82,5 x 8,0b	Gleiches Versagen wie 82,5 x 8,0a
101,6 x 2,9b	Schwach ausgeprägter Fließbereich, danach Anriß bei der Stirnkehlnaht, der sich sofort ausweitert und zum Versagen führt
101,6 x 4,0a	Riß bei Stirnkehlnaht, deutlicher Fließbereich ohne nennenswerte Laststeigerung, anschließend Versagen durch Ausweitung des Risses und Anriß der Flankenkehlnähte
101,6 x 4,0b	Deutlich ausgeprägter Fließbereich, danach weitere Laststeigerung, Riß bei Stirnkehlnaht, danach führt weiteres Fließen zu einem Abfall der Last ohne vollständigen Bruch
101,6 x 4,0c	Zunächst Fließen des Rohres, dabei ist ein schwacher Riß bei der Stirnkehlnaht zu erkennen, Rohr schnürt sich etwa 15cm unterhalb der Lasche ein und versagt dort durch Bruch

101,6 x 4,0d	Fließbereich nicht deutlich ausgeprägt, Riß bei Stirnkehlnaht, weitere Laststeigerung führt zum schlagartigen Bruch des Rohres
101,6 x 4,0e	Gleiches Versagen wie bei 101,6 x 4,0d
101,6 x 8,0a	Schwach ausgeprägter Fließbereich, Anriß der Stirnkehlnaht, weitere Laststeigerung, danach weitet sich der Riß bis zum Bruch aus
101,6 x 8,0b	Gleiches Versagen wie bei 101,6 x 8,0a
139,7 x 4,0a	Gleiches Versagen wie bei 101,6 x 4,0a, Lasche "rutscht" aus dem Rohr
139,7 x 4,0b	Gleiches Versagen wie bei 101,6 x 4,0b
139,7 x 7,1a	Maximallast der Prüfmaschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres
139,7 x 7,1b	Maximallast der Prüfmaschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres
193,7 x 2,9a	Anriß bei Stirnkehlnaht, Riß weitet sich danach sofort weiter aus und führt zum Versagen des Rohres
193,7 x 2,9b	Gleiches Versagen wie bei 193,7 x 2,9a
193,7 x 5,0a	Gleiches Versagen wie bei 193,7 x 2,9a
193,7 x 5,0b	Gleiches Versagen wie bei 193,7 x 2,9a
100 x 100 x 4c	Kopfplatte auf der gegenüberliegenden Seite versagt schlagartig (Schweißnahtfehler)
100 x 100 x 8a	Maximallast der Maschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres
100 x 100 x 8b	Maximallast der Maschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres
100 x 100 x 8c	Maximallast der Maschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres
140 x 140 x 5a	Maximallast der Maschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres
140 x 140 x 5b	Maximallast der Maschine wird erreicht, kein Bruch des Rohres

Versuch	$P_{0,2}$ [kN]	P_{max} [kN]	$\sigma_{0,2}$ (Versuch)	σ_{Bruch} (Versuch)	$\sigma_{0,2}$ (Zugprobe)	σ_{Bruch} (Zugprobe)	D/t
82,5 x 4,0a	273	322	276	325	335	439	20,7
82,5 x 4,0b	280	396	271	383	335	439	19,6
82,5 x 8,0a	589	823	306	428	311	446	10,1
82,5 x 8,0b	618	795	327	421	311	446	10,4
101,6 x 2,9b	236	281	260	310	288	370	35,3
101,6 x 4,0a	367	402	255	279	284	370	21,8
101,6 x 4,0b	382	535	265	372	284	418	21,7
101,6 x 4,0c	370	528	258	368	284	418	21,7
101,6 x 4,0d	419	560	340	454	364	542	25,6
101,6 x 4,0e	434	583	352	473	364	542	25,5
101,6 x 8,0a	630	930	301	445	303	480	14,6
101,6 x 8,0b	640	940	304	446	303	480	14,3
139,7 x 4,0a	502	558	280	311	310	431	33,3
139,7 x 4,0b	503	673	280	387	310	431	34,0
139,7 x 7,1a	850	(920)	246	÷	276	388	16,8
139,7 x 7,1b	950	(990)	271	÷	276	388	16,4
193,7 x 2,9a	360	385	200	213	268	361	64,8
193,7 x 2,9b	470	531	262	296	268	361	64,5
193,7 x 5,0a	930	962	302	312	405	485	37,3
193,7 x 5,0b	969	983	320	327	405	485	38,1
100 x 100 x 4c	582	634	383	417	÷	÷	24,5
100 x 100 x 8a	724	(990)	251	÷	÷	÷	12,5
100 x 100 x 8b	720	(925)	249	÷	÷	÷	12,2
100 x 100 x 8c	976	(989)	338	÷	÷	÷	12,4
140 x 140 x 5a	970	(985)	364	÷	410	469	28,1
140 x 140 x 5b	955	(990)	359	÷	410	469	28,0

Tabelle 2.4: Ergebnisse der Versuche

3. Versuchsauswertung

3.1 Spannungsermittlung

Die Ermittlung der Spannungen erfolgte am Prüfkörper mit Hilfe von DMS-Ketten, ein- und dreiachialen DMS, deren Anordnung aus Anlage 3 entnommen werden kann. Die Meßdaten wurden mit Hilfe des Auswertungsprogramms DOWORK der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine ausgewertet. Dabei werden die Gesamtdehnungen, die elastischen und plastischen Anteile und die aus den elastischen Dehnungen ermittelten Spannungen ausgegeben. Bei den dreiachialen DMS werden sowohl die Spannungen in Richtung 0° und 90° mit den zugehörigen Schubspannungen, als auch die Hauptspannungen mit dem entsprechenden Richtungswinkel ausgegeben.

Da bei Belastung jedoch nur die Gesamtdehnung gemessen wird, ist es notwendig, nach jeder Laststufe auf die Vorlast zurückzufahren. Wie aus Abb. 3.1 zu entnehmen ist, berechnet sich dann der elastische Verformungsanteil wie folgt:

$$\epsilon_{el} = \epsilon_p - \epsilon_E + \epsilon_V$$

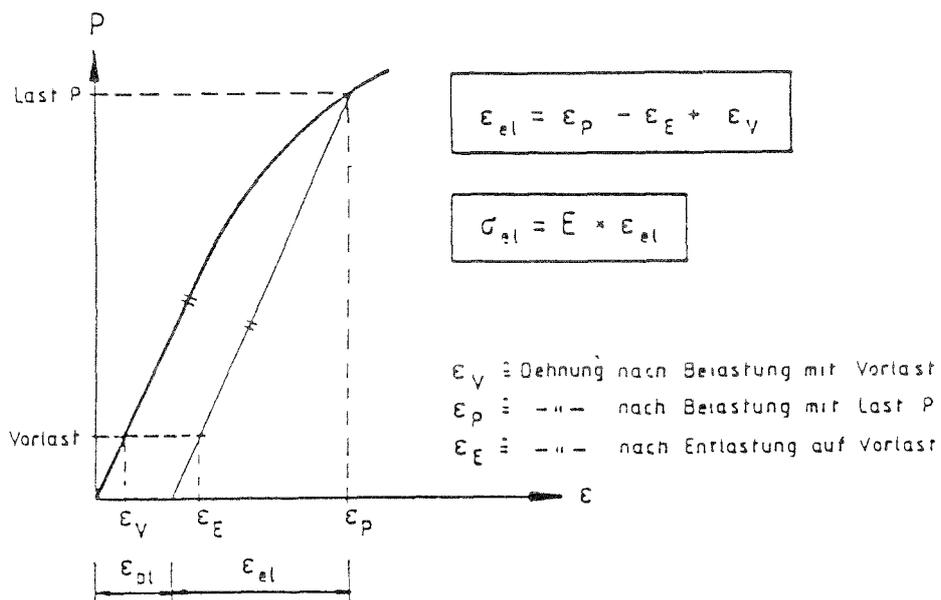


Bild 3.1: Ermittlung der elastischen Dehnung

Schließlich läßt sich mit Hilfe des Hook' schen Gesetzes die uns interessierende Spannung ausrechnen ($\sigma = E \cdot \epsilon_{el}$).

Die Lasche bewirkt im Anschlußbereich eine Versteifung und somit wird die Querdehnung behindert. Deshalb sind die einaxial gemessenen Spannungen der DMS-Kette höher als die exakten Spannungen des dreiaxialen DMS an der selben Stelle.

Für den ebenen Spannungszustand gilt:

$$\sigma_x = E \cdot (\epsilon_x + \mu \cdot \epsilon_y) / (1 - \mu^2)$$

Bei völlig unbehinderter Querdehnung ($\epsilon_y = -\mu \cdot \epsilon_x$) ergibt sich: $\sigma_x = E \cdot \epsilon_x$

Bei nahezu behinderter Querdehnung ($\epsilon_y = 0$), wie man sie im Bereich der Lasche annehmen kann, erhält man:

$$\sigma_x = E \cdot \epsilon_x / (1 - \mu^2)$$

Mit einer Querdehnungszahl für Stahl von $\mu = 0,3$ ergibt sich daraus:

$$\sigma_x = 1,1 \cdot E \cdot \epsilon_x$$

Somit sind die Spannungen bei behinderter Querdehnung ca. 10 % höher als bei unbehinderter Querdehnung. Im Bereich der Lasche trägt diese Tatsache damit zur Spannungserhöhung bei.

Die Hauptspannungen an den Stellen der dreiaxialen DMS (auch als 0°-45°-90°-Rosette bezeichnet) können aus den Werten der drei Richtungen bestimmt werden. Ebenso kann man den Richtungswinkel ermitteln. Dabei gelten folgende Beziehungen (entnommen aus [13]):

$$\epsilon_{1/2} = (\epsilon_0 + \epsilon_{90}) / 2 \pm (1/\sqrt{2}) \cdot \sqrt{[(\epsilon_0 - \epsilon_{45})^2 + (\epsilon_{45} - \epsilon_{90})^2]}$$

$$\tan 2\Phi = (2 \cdot \epsilon_{45} - \epsilon_0 - \epsilon_{90}) / (\epsilon_0 - \epsilon_{90})$$

3.2 Spannungen in Rohrmitte

Die einaxialen DMS wurden in Rohrmitte angebracht, um daraus eventuelle Momentenanteile ermitteln zu können.

Für die Normalspannungen gilt:

$$\sigma_N = F/A$$

Momente können dabei auftreten aufgrund von Imperfektionen des Probekörpers und bei der Lasteinleitung sowie aufgrund von Zwängungen, die durch den Einbau in die Maschine bedingt sind (s. hierzu Bild 3.2 auf der nächsten Seite). Solche Zwängungen und Imperfektionen treten zwangsläufig auch in der Praxis auf und beeinträchtigen somit nicht die Verwertbarkeit der Versuchsergebnisse. Allerdings sollte der Momentenanteil bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

Im folgenden wird für alle DMS-bestückten Probekörper der prozentuale Momentenanteil bestimmt. Dabei wird unterschieden zwischen den Spannungen in Laschenrichtung und senkrecht dazu.

Die gemessenen Dehnungen der einaxialen DMS in Rohrmitte bei verschiedenen Laststufen sind in den Anlagen 20 bis 29 graphisch dargestellt. Bei Unterschieden der einzelnen Kurven kann man den vorhandenen Momentenanteil dort gut erkennen.

Versuch	Anteil in der Laschenebene	Anteil senkrecht zur Laschenebene
82,5 x 4,0a	÷	1,2 %
101,6 x 2,9b	8,4 %	4,6 %
101,6 x 4,0a	17,9 %	0,5 %
101,6 x 4,0c	2,4 %	3,8 %
101,6 x 4,0d	5,5 %	2,5 %
139,7 x 4,0a	2,0 %	0,3 %
193,7 x 5,0b	7,1 %	÷
100x100x8a	÷	6,2 %
100x100x8c	3,4 %	5,2 %
140x140x5a	1,4 %	÷

Tabelle 3.1: Prozentualer Momentenanteil der Spannungen in Rohrmitte

Will man nun aus den Spannungen das zugehörige Moment bestimmen, so löst man die Formel für die Spannungen nach M auf:

$$M = \sigma \cdot W$$

Bestimmung von W für die einzelnen Probekörper:

$$W = (\pi/32) \cdot (D_a^4 - D_i^4) / D_a \text{ für Rundhohlprofile}$$

82,5 x 4,0a	St37	W = 18,6 cm ³
101,6 x 2,9b	St37	W = 21,9 cm ³
101,6 x 4,0a	St37	W = 33,6 cm ³
101,6 x 4,0c	St37	W = 33,3 cm ³
101,6 x 4,0e	St52	W = 29,0 cm ³
139,7 x 4,0a	St37	W = 59,1 cm ³
193,7 x 5,0b	St37	W = 139,4 cm ³

Die Widerstandsmomente für die Rechteckhohlprofile werden einer Tabelle entnommen:

100 x 100 x 8a	St37	W = 81,1 cm ³
140 x 140 x 5a	St37	W = 115 cm ³
100 x 100 x 8a	St52	W = 81,1 cm ³

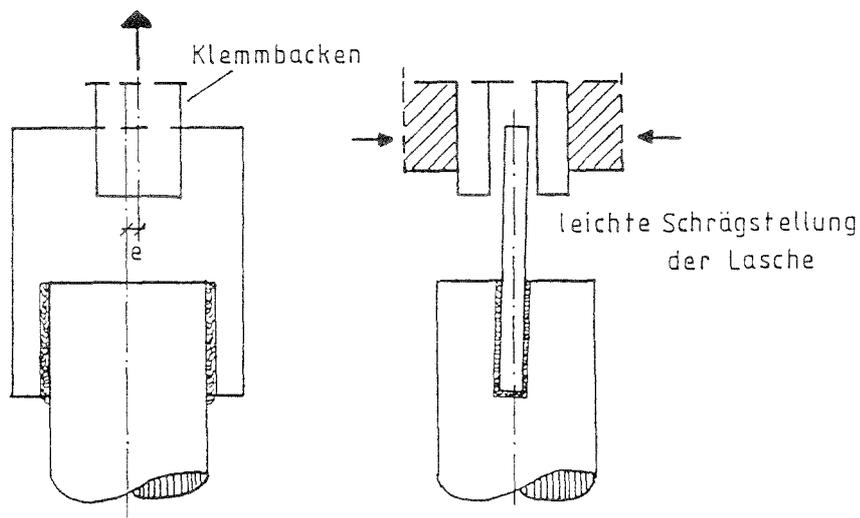


Bild 3.2: Mögliche Ursachen für Störmomente

Für die prozentual größte Momentennormalspannung wird für die Rundhohlprofile das zugehörige Moment bestimmt und daraus die Exzentrizität ermittelt, wobei gilt:

$$e = M/N$$

Bestimmung der Exzentrizität für Rundhohlprofile:

Probekörper 82,5 x 4,0a:

$$\sigma_M = 1,7 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 1,7 \cdot 18600 = 30 \text{ kNmm}$$

$$e = 30/30 = 1 \text{ mm}$$

Probekörper 101,6 x 2,9b:

$$\sigma_M = 5,4 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 5,4 \cdot 21900 = 118 \text{ kNmm}$$

$$e = 118/60 = 2 \text{ mm}$$

Probekörper 101,6 x 4,0a:

$$\sigma_M = 12,8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 12,8 \cdot 33600 = 430 \text{ kNmm}$$

$$e = 430/100 = 4,3 \text{ mm}$$

Probekörper 101,6 x 4,0c:

$$\sigma_M = 3,9 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 3,9 \cdot 33300 = 130 \text{ kNmm}$$

$$e = 130/60 = 2,2 \text{ mm}$$

Probekörper 101,6 x 4,0e:

$$\sigma_M = 6,6 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 6,6 \cdot 29000 = 191 \text{ kNmm}$$

$$e = 191/180 = 1 \text{ mm}$$

Probekörper 139,7 x 4,0a:

$$\sigma_M = 2,0 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 2,0 \cdot 59100 = 120 \text{ kNmm}$$

$$e = 120/40 = 3 \text{ mm}$$

Probekörper 193,7 x 5,0b:

$$\sigma_M = 10,1 \text{ N/mm}^2 \rightarrow M = 10,1 \cdot 134400 = 1408 \text{ kNmm}$$

$$e = 1408/340 = 4,1 \text{ mm}$$

Die ermittelten Exzentrizitäten liegen aufgrund von Imperfektionen und Zwängungen im vertretbaren Bereich. Daher kann der Stab als rein zugbeansprucht angesehen werden. Bei den Rechteckhohlprofilen verhält es sich ähnlich. Die Momentenanteile liefern dort keine allzu großen Exzentrizitäten. In den Anlagen 27 bis 29 kann dies ebenfalls nachvollzogen werden.

Eine Beeinflussung der Spannungen in Rohrmitte durch die Lasteinleitungsbereiche kann ausgeschlossen werden, da die Meßwerte der vier DMS jeweils in der gleichen Größenordnung liegen, wie in den Anlagen 20 bis 29 leicht nachzuvollziehen ist.

3.3 Lasteinleitung

Die Lasteinleitung in die Lasche wurde durch Reißlackversuche qualitativ untersucht und durch dreiaxiale DMS im Bereich der Spannungsspitzen (hot spot) quantifiziert.

Dabei zeigten sich bei den Reißlackversuchen bei etwa der halben Fließlast des Rohres Anrisse im Bereich der Stirnkehlnaht. Dieser Bereich ist also am stärksten belastet. Eine wirksame Lasteinleitung über die Flankenkehlnähte konnte erst im Bereich der Fließlast des Rohres beobachtet werden.

Die Auswertung der dreiaxialen DMS ergab Größe und Richtung der Hauptspannungen an den jeweiligen Meßstellen. Für die Probekörper 101,6 x 4,0a 101,6 x 4,0c und 139,7 x 4,0a sind diese Spannungen jeweils für die Laststufe 150 kN in den Anlagen 45 bis 47 graphisch dargestellt. Der Richtungswinkel Φ bleibt bei allen Laststufen konstant. Die zu den Anlagen gehörenden Werte sind in Tabelle 3.2 wiedergegeben.

Meßstelle	Ri I	Ri II	Φ	
101,6 x 4,0a	1	145,8	35,6	0°
	2	164,6	34,6	0°
	3	237,7	35,7	0°
	4/5	148,4	-6,9	108° (18°)
101,6 x 4,0c	1	135,3	25,7	0°
	2	147,2	31,1	0°
	3	221,8	60,1	0°
	4/5	134,9	6,5	103° (13°)
139,7 x 4,0a	1	130,7	26,7	0°
	2	148,3	22,1	0°
	3	173,2	7,9	0°
	4/5	117,3	-37,0	105° (15°)

Tabelle 3.2: Werte der Hauptspannungen und des Richtungswinkels bei 150 kN

Die Zunahme der größten Hauptspannung an den Meßstellen der dreiaxialen DMS, die zur Stirnkehlnaht hin angebracht wurden (s. Anlage 3 DMS-Klebeplan), ist in den Anlagen 34, 36 und 38 dargestellt (dort als Meßstellen 4 bis 6 bezeichnet).

Man erkennt dabei, daß die Hauptspannung I im kleineren Rohr 101,6 x 4,0 zur Schweißnaht hin steiler ansteigt, als im größeren Rohr 139,7 x 4,0. Die Hauptspannung II (kleinere Hauptspannung) liegt im Zugbereich (Anlagen 45 bis 47), was auf die aussteifende Wirkung der Lasche zurückzuführen ist, da die Querdehnung behindert wird.

Der Probekörper 101,6 x 4,0c weist dabei an der Meßstelle 3 die größte Querspannung auf, was auf die höhere Steifigkeit der gegenüber den beiden anderen Probekörpern weiter eingesteckten Lasche zurückzuführen ist. Im Vergleich zum Probekörper 101,6 x 4,0a, der nur die halbe Flankenahnlänge besitzt, lässt sich aber ein ansonsten gleiches Tragverhalten ablesen.

Die Auswertung der dreiaxialen DMS bestätigt somit die bisherigen Erkenntnisse, wonach der größte Teil der Last unmittelbar über die Stirnkehlnaht eingetragen wird und von den Flankenkehlnähten nur der angrenzende Teil zur Lastübertragung beiträgt. Wollte man den genauen Verlauf entlang einer Flankenkehlnaht ermitteln, so müßten in diesem Bereich wesentlich mehr dreiaxiale DMS angebracht werden. Dies konnte jedoch aus Kosten- und Zeitgründen nicht vorgenommen werden. Zum Kapitel Lasteinleitung liefert die FE-Berechnung in Kapitel 4 weitere aufschlußreiche Erkenntnisse.

3.4 Spannungskonzentrationsfaktor SCF

Der Spannungskonzentrationsfaktor SCF wird definiert als das Verhältnis:

$$\sigma_{\max}/\sigma_{\text{nenn}}$$

Dabei ist σ_{nenn} die gleichmäßig über das Rohr verteilte Normalspannung. Diese bestimmt sich aus der Formel:

$$\sigma_{\text{nenn}} = F/A \quad (\text{theoretischer Wert})$$

Die Nennspannung wird gleichzeitig im Versuch durch die einaxialen DMS in Rohrmitte ermittelt (s. Kapitel 3.2). Man bildet den Mittelwert aus den Meßwerten der in Rohrmitte angebrachten DMS. Der Unterschied zwischen dem theoretischen und dem aus dem Versuch ermittelten Wert ist in der Regel sehr gering (max. 3 bis 4 %). Die Spannung σ_{\max} ist die größte ermittelte Spannung an der Hohlprofilaußenseite im Bereich des "hot spot". Im vorliegenden Fall ist dies die Spannung direkt am Fußpunkt der Stirnkehlnaht. Dort wurden DMS-Ketten angebracht, um den Spannungsverlauf ermitteln zu können. Die Lage der DMS-Kette ist Anlage 3 zu entnehmen.

An den Stellen der DMS-Ketten erhält man 5 diskrete Werte, die den Anstieg der Dehnungen bzw. der Spannungen verdeutlichen. Aufgrund von Kerbwirkungen der Schweißnaht kann man die Dehnung nicht direkt am Fußpunkt der Schweißnaht messen. Dies würde örtliche Dehnungen berücksichtigen, die das Meßergebnis verfälschen würden. Deshalb wird der Maximalwert der Dehnungen bzw. der Spannungen durch Extrapolation ermittelt. Die Lage der Punkte für die Extrapolationsgerade bei Rundhohlprofilen kann Anlage 30 entnommen werden. Bei Rechteckhohlprofilen wird eine quadratische Extrapolation vorgenommen. Deshalb werden dort 3 Punkte benötigt, die die entsprechende Parabel definieren (s. Anlage 41). Diese Extrapolationsmethoden werden bei Hohlprofilknoten verwendet und entsprechen den Empfehlungen des IIW [14]. Im vorliegenden Fall wurde diese Methode auch für die untersuchten Hohlprofil-Flachblech-Verbindungen übernommen.

Den Anlagen 31, 32, 33, 35, 37, 39, 40, 42, 43 und 44 kann diese Extrapolation entnommen werden. Dort ist der Spannungsverlauf, der mit den DMS-Ketten ermittelt wurde bei verschiedenen Laststufen dargestellt. Die zur Extrapolation benötigten Punkte sind besonders gekennzeichnet. Man erkennt dabei, daß einige Punkte zwischen zwei Meßpunkten liegen. Der benötigte Wert wird durch Interpolation ermittelt.

Die Spannungskonzentrationsfaktoren geben Aufschluß über das Tragverhalten von Verbindungen. Vor allem bei dynamischer Belastung kann es im Bereich hoher Spannungskonzentrationen zu einer vorzeitigen Ermüdung des Materials kommen. Bei statischer Belastung können örtliche Konzentrationen und eventuell damit verbundene Fließbereiche durchaus in Kauf genommen werden.

Für die durchgeführten Versuche wurde der Spannungskonzentrationsfaktor ermittelt:

Rundhohlprofile:

Versuch	SCF
82,5 x 4,0a	3,15
101,6 x 2,9b	2,39
101,6 x 4,0a	3,07
101,6 x 4,0c	2,65
101,6 x 4,0e	2,37
139,7 x 4,0a	2,85
193,7 x 5,0b	2,01

Rechteckhohlprofile:

Versuch	SCF
100 x 100 x 8a	2,60
100 x 100 x 8c	3,04
140 x 140 x 5a	2,54

Die recht hohen Werte zeigen an, daß das Rohr örtlich im Bereich der Stirnkehlnaht sehr früh in den Fliessbereich kommt. Deshalb wäre eine Bemessung gegen Fliessen im ganzen Rohrbereich mit Hilfe von Spannungskonzentrationsfaktoren bzw. den entsprechenden Abminderungsfaktoren nicht sehr wirtschaftlich. Die Bemessungsvorschläge in Kapitel 5 berücksichtigen daher diese Spannungskonzentration nicht.

3.5 Bruchlast- bzw. Fließlastauswertung

In Tabelle 2.4 auf Seite 18 sind die als $P_{0,2}$ bezeichneten Fließlasten des Gesamtprobekörpers (Gestaltfestigkeitsgrenze) und die als P_{max} bezeichneten Bruchlasten wiedergegeben. Aus diesen Lasten wurde anschließend die tatsächlich auftretende Spannung σ berechnet:

$$\sigma = P/A$$

Demgegenüber stehen die aus den Zugproben ermittelten Materialkennwerte Streckgrenze und Zugfestigkeit. Vergleicht man diese Werte miteinander, so zeigt sich, daß in Abhängigkeit des Verhältnisses Durchmesser/Wandstärke D/t die Tragfähigkeit der Probekörper gegenüber dem unbeeinflussten Rohr abnimmt.

Die Frage nach der Abhängigkeit der Tragfähigkeit von der Flanken-nahtlänge kann durch den Vergleich der ermittelten Lasten ebenfalls beantwortet werden. Allerdings wird dieser Vergleich nur mit den Rundhohlprofilen durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche mit den Rechteckhohlprofilen lassen noch keine eindeutige Aussage zu. In den Anlagen 63 und 64 wurde eine entsprechende Auswertung vorgenommen. Dort ist zu erkennen, daß die aufnehmbare Last nur unwesentlich von der Nahtlänge bzw. der sich daraus ergebenden Schweißnahtfläche A_w abhängt. In Kapitel 5 wird noch näher darauf eingegangen.

Bei den Probekörpern mit gleichen Abmessungen liegen die Fließlasten trotz unterschiedlicher Schweißnahtlängen immer in der selben Größenordnung. Lediglich bei den Versuchen mit der Abmessung $193,7 \times 2,9$ liegt die Fließlast des Probekörpers a (Schweißnahtlänge 165 mm) um etwa 30% unter der des Probekörpers b mit einer Schweißnahtlänge von 250 mm. Inwieweit dies jedoch auf die unterschiedliche Schweißnahtlänge zurückgeführt werden kann, läßt sich durch nur zwei Versuche mit dieser Rohr-abmessung nicht beurteilen. Schweißnahtfehler oder Materialfehler können die Tragfähigkeit ebenfalls herabsetzen.

Vergleicht man die Bruchlasten miteinander, so kann man bei den Probekörpern der Abmessungen $82,5 \times 4,0$, $101,6 \times 4,0$ und $139,7 \times 4,0$ feststellen, daß die Werte der Probekörper a mit der kürzeren Schweißnaht um ca. 20% unter den Werten der Probekörper b (längere Schweißnaht) liegen. Da jedoch bei allen Probekörpern der Riß bereits im Bereich der Fließlast auftrat, kann diese Erhöhung nicht zur Bemessung ausgenutzt werden, da bereits ein Schadensfall vorliegt. Bei den Probekörpern mit 8 mm Wandstärke sind die ermittelten Tragfähigkeiten nahezu identisch, unabhängig von der Schweißnahtlänge. Dies weist darauf hin, daß die Geometrie eine große Rolle in Bezug auf die Tragfähigkeit spielt.

In den Anlagen 4 bis 15 sind die aufgenommenen Traglastkurven dargestellt. Die aufgebrachte Last wird dort über dem Maschinenweg aufgetragen.

3.6 Verformungen

Die Verformungen direkt im Bereich der Lasche wurden an zwei Probekörpern mittels Induktiven Wegaufnehmern bestimmt. In den Anlagen 16 und 17 ist die Verformung aufgetragen. Aus den Verformungen wurden die Dehnungen berechnet. Diese sind in den Anlagen 18 und 19 zu sehen. Dabei erkennt man bei beiden Rohren einen zunächst linear-elastischen Verlauf, danach stellt sich beim Rohr 139,7 x 4,0 ein Fließbereich ein, bei dem noch eine leichte Laststeigerung möglich ist. Bei dem dickeren Rohr 82,5 x 8,0 ist nur ein kurzer Fließbereich vorhanden, an den sich eine deutliche Laststeigerung anschließt. Daraus läßt sich wie bereits aus den anderen Versuchen ableiten, daß die Rohrgeometrie einen wesentlichen Einfluß auf die Tragfähigkeit besitzt. Da die Abhängigkeit jedoch nicht aus absoluten Werten besteht (Wandstärke oder Durchmesser), muß auch hier der Parameter D/t verwendet werden.

3.7 Bestimmung der maßgebenden Parameter

Nach Auswertung der Versuchsergebnisse hat sich die Rohrgeometrie als entscheidender Faktor für die Tragfähigkeit herausgestellt. Daher wurde das Verhältnis D/t eingeführt, um somit eine dimensionslose Bemessung zu ermöglichen. Die Länge der Schweißnaht spielt nur eine untergeordnete Rolle, da die Lasteinleitung hauptsächlich im Bereich der Stirnkehlnaht stattfindet. Aus schweißtechnischen Gründen sollte die Nahtlänge allerdings nicht zu kurz gewählt werden. Je nach Rohrgeometrie sind als Mindestmaß 80 bis 150 mm zu empfehlen. Die Flankenkehlnaht kann nach dem Anriß des Probekörpers und dem Ausfall der Stirnkehlnaht noch eine gewisse Laststeigerung ermöglichen. Allerdings ist in diesem Zustand das Rohr bereits beschädigt. Als Sicherheitsbereich kann man dies somit nicht mehr ansehen. Außerdem würde eine beliebig lange Schweißnaht zu einer falschen Bemessung führen, wenn der gesamte Rohrquerschnitt ausgenutzt wird.

4. FE-Berechnung

4.1 Netzentwicklung

Für die FE-Berechnung wurde der Probekörper 101,6 x 4,0c nachgebildet. Da der Probekörper eine doppelte Symmetrie besitzt, genügte es, ein Viertel davon nachzubilden und die Randbedingungen entsprechend zu definieren. Die Knoten, die in der Symmetrieebene liegen, erhalten diese Randbedingungen. Dabei müssen sowohl die Verschiebungen senkrecht zur Symmetrieebene als auch die Verdrehungen in der Symmetrieebene unterbunden werden. Abbildung 4.1 verdeutlicht dies. In den Anlagen 48 und 49 ist das Netz bzw. das Detail der Schweißnaht ersichtlich. Sowohl die Schalen- als auch die Massivelemente sind quadratisch. Es liegen 2 x 2 Integrationspunkte vor. Die Schalenelemente besitzen 8 Knoten, die Massivelemente 20 Knoten. Auf einen Mittelknoten wurde bei den Elementen verzichtet. In Bild 4.2 sind diese Elemente dargestellt.

Diese FE-Berechnung stellt eine Ergänzung zu den Versuchsergebnissen dar und kann bei einer eventuellen Fortsetzung der Untersuchungen als Grundlage herangezogen werden. Die Berechnung erfolgte am Großrechner der Universität mit Hilfe des Programms ADINA.

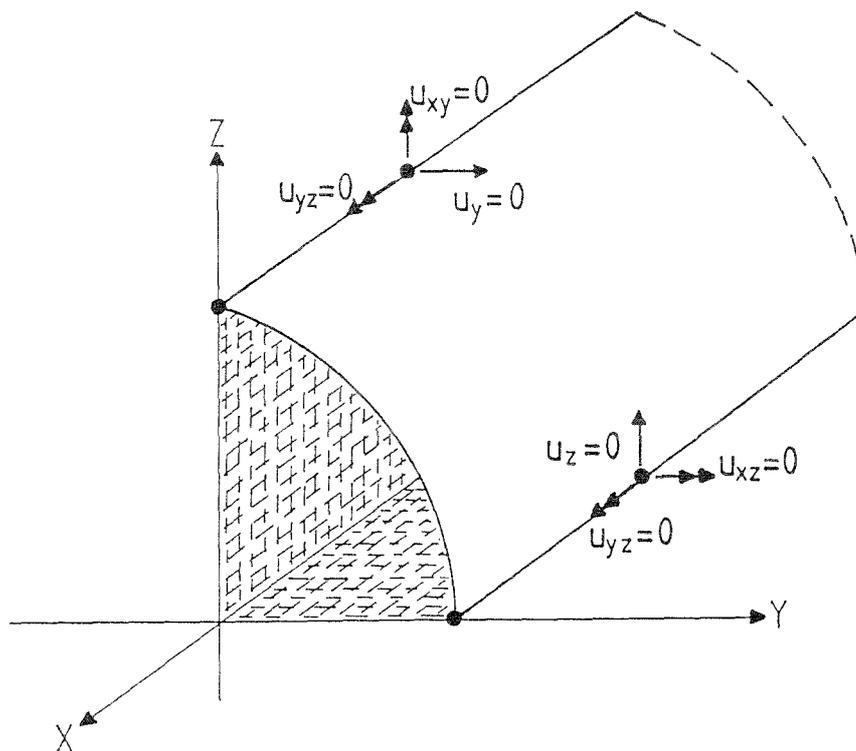


Bild 4.1: Darstellung der Symmetrieebenen und der Randbedingungen

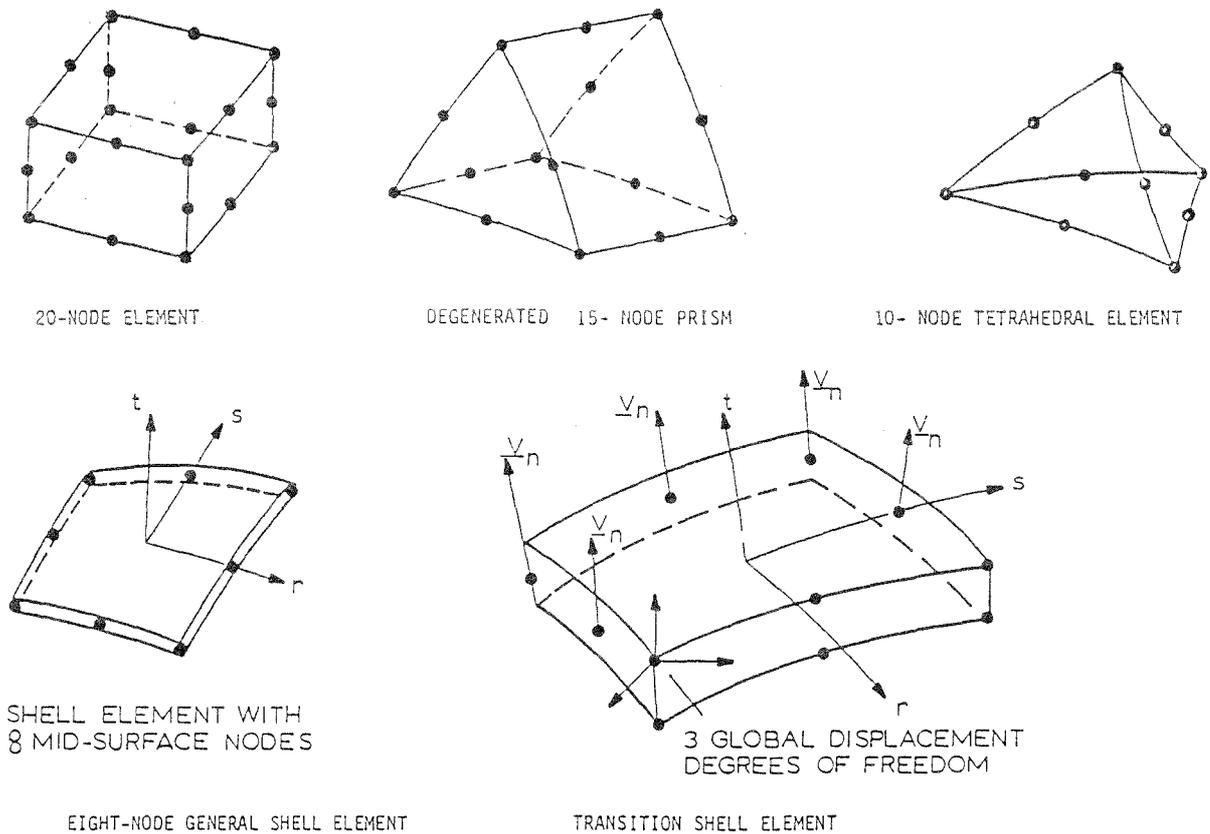


Bild 4.2: Verwendete Elemente aus der ADINA Elementbibliothek

4.2 Vergleich der Rechenergebnisse mit den Versuchswerten

Es wurde eine linear-elastische Berechnung vorgenommen. Ein Vergleich der Ergebnisse mit dem Versuch wird nur qualitativ durchgeführt.

Diese Auswertung ist graphisch in den Anlagen 50 bis 54 dargestellt. In Anlage 50 ist das verformte Netz zu sehen. Man erkennt eine leichte Einschnürung des Rohres etwa 100 mm von der Stirnkehlnaht entfernt. Der Probekörper 101,6 x 4,0c schnürte sich während des Versuchs ebenfalls in diesem Bereich ein und versagte schließlich an dieser Stelle. Die Verformung wurde ohne Überhöhung aufgetragen, weshalb die Unterschiede sich durch Vergleich mit dem unverformten Netz in Anlage 48 ergeben.

In den Anlagen 51 bis 54 wurde der Verlauf der Hauptspannungen aufgetragen. Dabei ist zunächst das ganze Netz in Anlage 51 dargestellt. Details des Schweißnahtbereichs erkennt man in den Anlagen 52 bis 54. Dabei werden die Aussagen der Versuchsauswertung voll unterstützt. Die Lasteinleitung in die Lasche geschieht fast ausschließlich im Bereich der Stirnkehlnaht. Der vordere Bereich der Flankenkehlnähte wird nur minimal belastet. Man erkennt auch einen mehraxialen Spannungszustand im Bereich der Stirnkehlnaht. Dies ist durch den Lasteintrag aus dem Rohr begründet. Vergleicht man diesen Spannungsverlauf mit den Anlagen 45 bis 47 (durch Versuch ermittelte Hauptspannungstrajektorien), so stellt man auch hier eine qualitative Übereinstimmung fest.

Somit weist auch die FE-Berechnung in die selbe Richtung wie die Versuche und unterstützt damit das in Kapitel 5 entwickelte Bemessungskonzept.

5. Bemessung

5.1 Entwerfen eines Bemessungskonzepts

Nachdem sich die Länge der Schweißnaht nicht als maßgebender Faktor für die Tragfähigkeit der Rohrlaschenverbindung herausgestellt hat (s. Diagramme 9 und 10 in Anlage 63 und 64), wird die Bemessung in Abhängigkeit von der Rohrgeometrie entworfen. Hierbei hat sich die Verwendung eines dimensionslosen Parameters Durchmesser/Wandstärke als besonders geeignet herausgestellt. In Abhängigkeit dieses Parameters wird die Abnahme der Tragfähigkeit des ungestörten Rohrquerschnitts bestimmt. Die Schweißnahtlänge wird wie bisher nach den Angaben der DIN 18800, Teil 1 ermittelt und entsprechend nachgewiesen.

Aufgrund der durchgeführten Versuche und der ermittelten Resultate erscheint eine Bemessung mit Hilfe eines Spannungskonzentrationsfaktors nicht sehr wirtschaftlich, da dieser Faktor sich um den Wert 3 bewegt. Somit könnte das Rohr nur ein Drittel seiner Fließlast übertragen. Lässt man hingegen im Bereich der Stirnkehlnaht örtliches Fließen zu, so genügt eine Bemessung des Gesamtrohres bzw. der Verbindung auf Fließen und auf Bruch. Da der Riß am Fußpunkt der Stirnkehlnaht erst nach dem Einsetzen des Fließens des Rohres auftrat, werden solche Anschlüsse nicht versagen, auch wenn die Spannungskonzentration unberücksichtigt bleibt. Allerdings darf diese Aussage nicht auf dynamisch beanspruchte Bauteile übertragen werden. Dort kann es sehr schnell zu einer Materialermüdung kommen, wenn Bereiche mit örtlichem Fließen vorhanden sind. Für eine solche Bemessung wären gesonderte Versuche notwendig, die dann die maximalen Lastwechselzahlen in Abhängigkeit von Spannungsschwingbreiten und aufgetragenen Lastkollektiven bestimmen müssten. Die Verwendung eines Spannungskonzentrationsfaktors ist hierbei eher erforderlich als bei reiner statischer Belastung

Das Bemessungskonzept basiert auf einer Abminderung der Tragfähigkeit der Rohrquerschnitte. Diese Abminderung ist vom Verhältnis D/t abhängig. Anhand von Bemessungsdiagrammen (Anlagen 55 bis 62), die in Kapitel 5.2 beschrieben werden, erfolgt die durchzuführende Bemessung. Dabei wird versucht, eine möglichst einfache Beziehung herzustellen, die z. B. auch in einer Formel ausgedrückt werden kann.

Für das entworfene Bemessungskonzept gelten aufgrund des bisher aufgeführten Sachverhalts folgende Voraussetzungen bzw. Einschränkungen:

1. Statische Zugbelastung der Verbindung
2. Die Schweißparameter werden schweißtechnischen Erfordernissen angepaßt. Dabei sollte die Länge der Schweißnaht nicht zu kurz gewählt werden. Es werden je nach Rohr- bzw. Laschendicke mindestens 80 bis 150 mm

empfohlen. Ebenso richtet sich das a-Maß nach den Dicken der zu schweißenden Teile. Hierzu werden die Angaben der DIN 18800, Teil 1, verwendet.

3. Die Querschnittsfläche der Lasche muß immer größer als die Querschnittsfläche des Rohres sein.
4. Die Lasche ragt auf jeder Seite um den Wert $2 \times$ Laschendicke über das Rohr hinaus.
5. Die Laschendicke bestimmt sich nach der Formel:
$$t_L > 0.5 \cdot \sqrt{(\varnothing_{\text{Rohr}}^2/16 + A_{\text{Rohr}})} - 0.125 \cdot \varnothing_{\text{Rohr}}$$

Werden diese Voraussetzungen eingehalten, so kann nach den in Kapitel 5.2 beschriebenen Bemessungsdiagrammen bemessen werden.

5.2 Erstellung von Bemessungsdiagrammen

Für die Bemessungsdiagramme wurde eine dimensionslose Form gewählt. Es wurden die vorliegenden Versuchsergebnisse der Rundhohlprofile aufgetragen. Da an der Versuchsanstalt bereits früher Versuche an solchen Rohr-Laschen-Verbindungen durchgeführt wurden, sind die zugehörigen Ergebnisse ebenfalls in den Diagrammen mitaufgenommen, um die Aussage weiter zu erhärten. Desweiteren wurden in zusätzliche Diagramme noch Versuche mit innenliegender Lasche bzw. mit Dreiblechnaht aufgenommen, um auch für diesen Fall eine mögliche Bemessungshilfe bereitstellen zu können. Der Querschnitt einer solchen Verbindung ist in Bild 5.1 dargestellt. Sämtliche Versuche, die zur Aufstellung der Diagramme verwendet wurden, sind in den Tabellen 5.1 (Versuche mit überstehender Lasche und Kehlnaht) und 5.2 (Versuche mit innenliegender Lasche und Dreiblechnaht) zusammengefaßt.

Bei einigen der früher geprüften Probekörper traf die Voraussetzung, daß der Laschenquerschnitt größer als der Rohrquerschnitt sein soll, nicht zu. Aufgrund der gleichen Versagensart (Bruch des Rohres im Bereich der Stirnkehlnaht) wurden diese Versuche jedoch mitaufgenommen. Bei einigen dieser Probekörper wurde zusätzlich hinter der Stirnkehlnaht ein Entlastungsloch gebohrt, um die Lasteinleitung aus diesem Bereich auf die Flankenkehlnähte zu zwingen. Diese Maßnahme brachte jedoch keine Laststeigerung und auch keine andere Versagensart mit sich.

Auf der X-Achse wurde das Verhältnis D/t aufgetragen, auf der Y-Achse das Verhältnis $P_{0,2}/A \cdot f_{y,k}$ bei der Bemessung gegen Fließen und das Verhältnis $P_{\text{max}}/A \cdot f_{u,k}$ bei der Bemessung gegen Bruch. Dabei entsprechen die Spannungen $f_{y,k}$ und $f_{u,k}$ den Materialkennwerten, die aus den Zugproben ermittelt wurden.

In den Anlagen 55 bis 56 finden sich die Bemessungsdiagramme gegen Fließen für die Rohre mit überstehender Lasche wieder. Dabei wurde in Bemessungsdiagramm 1 (Anlage 55) eine Hüllkurve festgelegt, über der alle Versuchswerte liegen. Der Bereich unterhalb dieser Linie wird als zulässiger Bereich definiert (schraffiert gezeichnet). In Bemessungsdiagramm 2 (Anlage 56) wurden die Versuche statistisch ausgewertet. Dabei wurde zunächst die 50% Linie durch eine lineare Regression ermittelt. Anschließend wurde eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 95% bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 75 % gewählt. Diese Wahrscheinlichkeiten werden üblicherweise im Stahlbau verwendet (s. DIN 18800). Mit Hilfe der Student-T Verteilung kann man daraus das entsprechende Streuband bestimmen (s. hierzu [09]). Der Bereich unterhalb der unteren Grenze des Streubandes wird als zulässiger Bereich definiert. Aufgrund der relativ flach geneigten Kurve wurde als unterer Grenzwert 0,65 gewählt.

Für die Bemessung gegen Bruch wurden die Versuchswerte auf die selbe Art und Weise ausgewertet. In den Anlagen 57 und 58 finden sich die analogen Bemessungsdiagramme wieder. Aufgrund der größeren Steigung der Regressionsgeraden bei der Bruchbemessung kann man erkennen, daß die Traglast noch stärker von der Geometrie abhängt, als die Fließlast. Hier wurde als unterer Grenzwert 0,5 gewählt, da die Kurve steiler liegt und die Versuchswerte stärker streuen, als bei den Bemessungsdiagrammen 1 und 2.

In den Anlagen 59 bis 62 wurden weitere Diagramme erstellt, in denen die Versuche mit Dreiblechnaht mitaufgenommen wurden. Diese Versuche fanden ebenfalls an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine statt ([04], [05] und [06]). Den Querschnitt eines solchen Versuchskörpers kann man Bild 5.1 entnehmen. Dabei lassen sich diese Werte von ihrer Größenordnung her durchaus in die Bemessung miteingliedern. Aufgrund der starken Streuung wurde jeweils ein unterer Grenzwert von 0,5 gewählt. Lediglich bei Bemessungsdiagramm 6 liegt dieser Wert bei 0,54, da dieser Wert bei einem D/t Verhältnis von 40 erreicht wird und danach eine konstante Beziehung vorausgesetzt wird.

Zur Ergänzung der Bemessungsdiagramme wurden noch die bezogenen Fließ- bzw. Bruchlasten über dem Verhältnis Schweißnahtfläche/Rohrquerschnitt in den Diagrammen 9 und 10 (Anlagen 63 und 64) aufgetragen. Dabei ist zu erkennen, daß die Tragfähigkeit mit zunehmender Schweißnahtlänge nahezu konstant bleibt. Dies zeigt deutlich, daß die Schweißnahtlänge nicht den entscheidenden Faktor für die Abminderung der Tragfähigkeit darstellt.

In Anlage 65 ist in Diagramm 11 über dem Verhältnis D/t die auf die theoretische Fließlast bezogene Bruchlast P_{max} aufgetragen worden. Der starke Abfall der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von D/t ist sehr gut zu erkennen, wobei ab einem Verhältnis $D/t \approx 40$ ein konstanter Zusammenhang angenommen werden kann. Dies soll in Zukunft durch weitere Versuche im Bereich $40 \leq D/t \leq 60$ belegt werden. Vor allem das Absinken der Werte unter 1,0 verdeutlicht, daß eine Abminderung der Tragfähigkeit vorgenommen werden muß, da die Probekörper bereits

daß eine Abminderung der Tragfähigkeit vorgenommen werden muß, da die Probekörper bereits vor Erreichen der theoretischen Fließlast durch Bruch versagten.

Hinweis zu den Bemessungsdiagrammen:

Die zuvor beschriebenen Bemessungsdiagramme 1 bis 8 (Anlagen 55 bis 62) sind aufgrund der bisher vorhandenen Versuchsergebnisse aufgestellt worden. Sie stellen eine erste statistische Auswertung gemäß DIN 18800, Teil 1, dar.

Durch weitere Versuche auch anderer Forschungsinstitute sollen diese Diagramme ergänzt und deren Aussagekraft erhärtet werden. Die in den Diagrammen angegebenen Grenzwerte bilden nur einen ersten Anhaltspunkt. Sie sind in den einzelnen Diagrammen deshalb noch nicht vereinheitlicht worden. Sollte ein Teil dieses Bemessungskonzeptes Eingang in die Normung finden, dann wäre eine einfache lineare Beziehung im Bereich $0 \leq D/t \leq 40$ und ein konstanter Wert im Bereich $D/t > 40$ ein für die Praxis einfach handzuhabendes Bemessungsverfahren.

Auf alle Fälle muß eine Bemessung gegen Fließen vorgenommen werden. Inwiefern eine Bemessung gegen Bruch zu erfolgen hat, müßte von entsprechender Seite ausdiskutiert werden. Vor allem bei großen D/t Verhältnissen ($D/t > \approx 30 \div 35$) ist nach Erreichen der Fließlast der Probekörper (Gestaltfestigkeitsgrenze) keine nennenswerte Laststeigerung bis zum Bruch mehr möglich, so daß hier kein Sicherheitsbereich mehr vorhanden ist. Diagramm 11 in Anlage 65 zeigt deutlich, daß in diesem Bereich die Bruchlast bereits vor Erreichen der Fließlast des ungestörten Hohlprofilquerschnitts erreicht wird. Unter diesen Gesichtspunkten erscheint auch eine Bemessung gegen Bruch notwendig zu sein.

Die Bemessungsdiagramme geben einen Zusammenhang zwischen dem D/t Verhältnis und der damit verbundenen Abminderung der Tragfähigkeit wieder. Alle anderen Anschlußdetails wie Lasche und Schweißnaht werden wie bisher bemessen. Somit stellt das Bemessungskonzept gegenüber bisherigen Bemessungsverfahren keine Neuerung dar. Es werden im einzelnen die Lasche, die Schweißnaht und das Rohr nachgewiesen. Lediglich beim Nachweis des Rohres hat eine Abminderung der Tragfähigkeit des ungestörten Rohrquerschnittes zu erfolgen.

Versuch	Profilwerte [mm x mm]	Querschnitt [mm ²]	Nahtlänge [mm]	a-Maß [mm]	Laschenmaße [mm x mm]
82,5 x 4,0a 82,5 x 4,0b	82,8 x 4,0 82,5 x 4,2	990 1033	75 110	4 4	123 x 10 123 x 10
82,5 x 8,0a 82,5 x 8,0b	82,8 x 8,2 83,2 x 8,0	1922 1890	95 140	6 6	155 x 18 155 x 18
88,9 x 2,6a 88,6 x 2,6b	88,9 x 2,7 88,9 x 2,8	731 757	80 110	3 3	121 x 8 121 x 8
101,6 x 2,9b	102,3 x 2,9	906	135	3	134 x 8
101,6 x 4,0a 101,6 x 4,0b 101,6 x 4,0c 101,6 x 4,0d 101,6 x 4,0c	102,3 x 4,7 102,2 x 4,7 101,8 x 4,7 102,2 x 4,0 102,0 x 4,0	1441 1440 1434 1234 1232	90 135 180 110 165	4 4 4 4 4	142 x 10 142 x 10 142 x 10 142 x 10 142 x 10
101,6 x 8,0a 101,6 x 8,0b	102,1 x 7,0 101,6 x 7,1	2091 2108	120 205	6 6	174 x 18 174 x 18
127,0 x 4,5a 127,0 x 4,5b 127,0 x 5,0a	126,8 x 4,6 126,9 x 4,5 127,3 x 5,0	1766 1730 1921	190 195 190	4 4 4	140 x 15 140 x 15 140 x 15
139,7 x 4,0a 139,7 x 4,0b 139,7 x 4,0c	140,0 x 4,2 139,9 x 4,3 139,3 x 4,1	1792 1832 1741	125 180 185	4 4 4	180 x 10 180 x 10 180 x 10
139,7 x 7,1a 139,7 x 7,1b	139,8 x 8,3 139,7 x 8,5	3451 3504	145 215	6 6	212 x 18 212 x 18
152,4 x 4,5a 152,4 x 4,5b 152,4 x 4,5c 152,5 x 4,5d	152,6 x 4,8 153,9 x 4,8 152,7 x 4,8 152,6 x 4,8	2229 2248 2230 2229	260 260 260 260	4 4 4 4	200 x 15 200 x 15 200 x 15 200 x 15
193,7 x 2,9a 193,7 x 2,9b	194,4 x 3,0 193,5 x 3,0	1804 1795	165 250	3 3	234 x 10 234 x 10
193,7 x 5,0a 193,7 x 5,0b	193,7 x 5,2 194,1 x 5,1	3079 3028	170 255	5 5	254 x 15 254 x 15

Tabelle 5.1: Zur Aufstellung der Bemessungsdiagramme verwendete Probekörper mit überstehender Lasche und Kehlnaht

Versuch	Profilwerte [mm x mm]	Querschnitt [mm ²]	Nahtlänge [mm]	a-Maß [mm]	Laschenmaße [mm x mm]
60,3 x 2,6a	60,3 x 2,9	523	110	2,9	55 x 10
60,3 x 2,6b	60,3 x 2,9	523	110	2,9	55 x 10
88,9 x 2,6a	88,9 x 2,9	784	80	2,9	82 x 10
88,9 x 2,6b	88,9 x 3,0	810	80	3,0	82 x 10
88,9 x 2,6c	88,9 x 2,9	784	80	2,9	82 x 10
88,9 x 2,6d	88,9 x 2,8	757	80	2,8	82 x 10
88,9 x 2,6e	88,9 x 2,8	757	110	2,8	82 x 10
88,9 x 2,6f	88,9 x 2,8	757	150	2,8	82 x 10
88,6 x 2,6g	88,9 x 2,8	757	150	2,8	82 x 10
88,9 x 2,6h	88,9 x 2,8	757	180	2,8	82 x 10
88,9 x 2,6i	88,9 x 2,8	757	180	2,8	82 x 10
88,9 x 3,2a	89,4 x 3,5	945	113	3,5	82 x 10
88,9 x 3,2b	88,9 x 3,6	968	114	3,6	82 x 10
88,9 x 3,5c	88,9 x 3,5	939	110	3,5	82 x 10
114,3 x 3,6a	114,7 x 3,9	1358	180	3,9	106 x 10
114,3 x 3,6b	114,7 x 3,9	1358	182	3,9	106 x 10
127,0 x 4,0a	126,9 x 4,5	1730	180	4,5	117 x 15
127,0 x 4,0b	127,5 x 4,4	1702	185	4,4	117 x 15
139,7 x 4,0a	140,0 x 4,2	1792	130	4,2	130 x 10
139,7 x 4,0b	140,0 x 4,3	1833	138	4,3	130 x 10
139,7 x 4,0c	140,1 x 4,3	1835	136	4,3	130 x 10

Tabelle 5.2: Zur Aufstellung der Bemessungsdiagramme verwendete Probekörper mit innenliegender Lasche und Dreiblechnaht

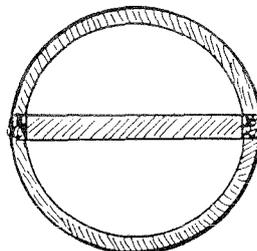


Bild 5.1:

Querschnitt eines Rohres

mit innenliegender Lasche

und Dreiblechnaht

5.3 Gegenüberstellung mit einem anderen Bemessungsvorschlag

Ein anderer Bemessungsvorschlag für Rundhohlprofile wird in einer Broschüre von CIDECT (Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire) [10] angegeben. Der in diesem Bericht untersuchte Rohr-Laschen-Anschluß wird darin ebenfalls erwähnt. Dabei werden gewisse Bedingungen definiert, unter denen eine volle Ausnutzung des Gesamtrohrquerschnittes möglich ist. Nachfolgend ist ein Auszug aus [10] abgedruckt, der diese Bedingungen aufzeigt.

Rohr-Blech-Verbindung

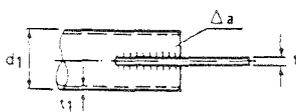


Abb. 57

Annahme: $t \geq t_1$

$$4l \cdot a \cdot f_{s, \text{schw}} + 2t \cdot a \cdot f_{a, \text{schw}} \geq A_1 \cdot f_{y1} \quad (6.5.4)$$

$$4l \cdot t_1 \cdot \frac{f_{y1}}{\sqrt{3}} + 2t \cdot t_1 \cdot f_{y1} \geq A_1 \cdot f_{y1} \quad (6.5.5)$$

$$A_{\text{Blech}} \cdot f_{y, \text{Blech}} \geq A_1 \cdot f_{y1} \quad (6.5.6)$$

Bemerkung: Um einen vorzeitigen Riß in der Naht an der Blechspitze zu vermeiden, empfehlen einige Regelwerke den Faktor 0,85 ($A_{\text{Blech}} \cdot f_{y, \text{Blech}}$). Die Blechbreite soll um $4 \cdot t$ größer als der äußere Durchmesser des Rohres sein, um eine einwandfreie Schweißnaht zu gewährleisten.

Auszug aus [10]: Bemessung von Rohrlaschenverbindungen

Die Gleichungen 6.5.4 und 6.5.5 beziehen sich auf die Schweißnahtabmessungen. Gleichung 6.5.6 bedeutet lediglich, daß die Querschnittsfläche der Lasche größer sein muß als die Querschnittsfläche des Rohres. Im allgemeinen wird für das Rohr das gleiche Material verwendet wie für die Lasche, so daß gilt: $f_{y, \text{Blech}} = f_{y1}$

Diese Voraussetzung wurde allerdings für das Bemessungskonzept dieses Berichtes ebenfalls festgelegt. Damit wird die Tragfähigkeit der Verbindung allein in Abhängigkeit von der Länge der Schweißnaht gesehen. Diese Bewertung ist jedoch zu sehr auf der unsicheren Seite, wie die Auswertung des Versuchsprogramms zeigt, da die Schweißnahtlänge nicht den entscheidenden Parameter für die Tragfähigkeit darstellt, wenn sie schweißtechnischen Erfordernissen angepaßt ist und ein Nachweis nach DIN 18800, Teil 1, erfolgt. Die Gestaltfestigkeit wird in diesem Konzept nicht berücksichtigt.

Zum Vergleich sind die zulässigen Lasten der Probekörper aus dem Versuchsprogramm nach dem Bemessungskonzept aus Kapitel 5.1 bzw. 5.2 (P_{Bem}) und nach diesem Konzept (P_{CID}) in den Tabellen 5.3 (Vergleich mit der tatsächlichen Fließlast) und 5.4 (Vergleich mit der tatsächlichen Bruchlast) einander gegenübergestellt. Ebenfalls mit angegeben sind die im Versuch ermittelten Fließ- und Bruchlasten ($P_{0,2}$ und P_{max}). Die Sicherheit der zulässigen Lasten gegen Fließen und Bruch des Probekörpers ist ebenfalls in den Tabellen zu finden.

Zur Berechnung der zulässigen Lasten P_{Bem} wird auf die Beispiele in Kapitel 5.4 verwiesen. Bei der Bestimmung von P_{Bem} und P_{CID} wurde ein γ_m von 1,0 angesetzt. Bei den Beispielen in Kapitel 5.4 wird nach DIN 18800, Teil 1, γ_m zu 1,1 für ständig auftretende Lasten gesetzt.

Versuch	$P_{0,2}$ [kN]	P_{Bem} [kN]	P_{CID} [kN]	γ_{Bem}	γ_{CID}
82,5 x 4,0a	273	249	259	1,09	1,05
82,5 x 4,0b	280	262	346	1,07	0,81
82,5 x 8,0a	589	484	598	1,22	0,98
82,5 x 8,0b	618	475	588	1,30	1,05
101,6 x 2,9b	236	167	261	1,41	0,90
101,6 x 4,0a	367	305	304	1,20	1,21
101,6 x 4,0b	382	305	409	1,25	0,93
101,6 x 4,0c	370	303	407	1,22	0,91
101,6 x 4,0d	419	319	399	1,31	1,05
101,6 x 4,0e	434	319	448	1,36	0,97
101,6 x 8,0a	630	497	634	1,27	0,99
101,6 x 8,0b	640	503	639	1,27	1,00
139,7 x 4,0a	502	362	402	1,39	1,25
139,7 x 4,0b	503	351	540	1,43	0,93
139,7 x 7,1a	850	708	850	1,20	1,00
139,7 x 7,1b	950	711	967	1,34	0,98
193,7 x 2,9a	360	314	322	1,15	1,12
193,7 x 2,9b	470	312	480	1,51	0,98
193,7 x 5,0a	930	747	859	1,24	1,08
193,7 x 5,0b	969	735	1226	1,32	0,79

Tabelle 5.3:

Vergleich der zulässigen Lasten der untersuchten Probekörper nach dem Bemessungskonzept dieses Berichtes und nach dem CIDECT-Heft;
 Vergleich mit den tatsächlich aufgetretenen Fließlasten;
 Angabe der vorhandenen Sicherheit

Versuch	P_{\max} [kN]	P_{Bem} [kN]	P_{CID} [kN]	$\gamma_{\text{Bem,Br}}$	$\gamma_{\text{CID,Br}}$
82,5 x 4,0a	322	249	259	1,29	1,24
82,5 x 4,0b	396	262	346	1,51	1,14
82,5 x 8,0a	823	484	598	1,70	1,38
82,5 x 8,0b	795	475	588	1,67	1,35
101,6 x 2,9b	281	167	261	1,68	1,08
101,6 x 4,0a	402	305	304	1,32	1,32
101,6 x 4,0b	535	305	409	1,75	1,31
101,6 x 4,0c	528	303	407	1,74	1,30
101,6 x 4,0d	560	319	399	1,75	1,40
101,6 x 4,0e	583	319	448	1,83	1,30
101,6 x 8,0a	930	497	634	1,87	1,47
101,6 x 8,0b	940	503	639	1,87	1,47
139,7 x 4,0a	558	362	402	1,54	1,39
139,7 x 4,0b	673	351	540	1,92	1,25
139,7 x 7,1a	÷	708	850	÷	÷
139,7 x 7,1b	÷	711	967	÷	÷
193,7 x 2,9a	385	314	322	1,23	1,20
193,7 x 2,9b	531	312	480	1,70	1,30
193,7 x 5,0a	962	747	859	1,29	1,12
193,7 x 5,0b	983	735	1226	1,34	0,80!

Tabelle 5.4:

Vergleich der zulässigen Lasten der untersuchten Probekörper nach dem Bemessungskonzept dieses Berichtes und nach dem CIDECT-Heft;

Vergleich mit den tatsächlich aufgetretenen Bruchlasten;

Angabe der vorhandenen Sicherheit gegenüber Bruch

5.4 Beispiele

Anhand des zuvor in den Kapiteln 5.1 und 5.2 entworfenen Bemessungskonzeptes werden in diesem Kapitel 3 Beispiele durchgerechnet. Da sich die Bemessungsdiagramme nur auf Rundhohlprofile beziehen, werden keine Rechteckhohlprofile berechnet. Außerdem handelt es sich bei den Beispielen um Zugstäbe, da das Versuchsprogramm ebenfalls nur Zugversuche umfasste.

1. Beispiel

Es wird mit einer Abmessung aus dem Versuchsprogramm gerechnet. Dabei werden sowohl die geometrischen Werte als auch die Materialkennwerte verwendet. Die Berechnung wird mit Hilfe der DIN 18800, Teil 1, durchgeführt. Die entsprechenden Elementnummern sind in Klammern angegeben.

- Schnittkraft aus der stat. Berechnung: Zugkraft $P_k = 150 \text{ kN}$

- Versuch 82,5 x 4,0 b

- Rohrabmessungen: 82,5 x 4,2 $A_{\text{Rohr}} = 1033 \text{ mm}^2$

- Materialkennwerte $f_{y,k} = 335 \text{ N/mm}^2$

$f_{u,k} = 439 \text{ N/mm}^2$

- Lasche: $b_L \times t_L = 123 \times 10 \text{ mm}$

Materialkennwerte des Rohres werden verwendet

$$\begin{aligned} \text{Dicke } t_L &\geq 0,5 \cdot \sqrt{(D_{\text{Rohr}}^2/16 + A_{\text{Rohr}})} - 0,125 \cdot D_{\text{Rohr}} \\ &\geq 0,5 \cdot \sqrt{(82,5^2/16 + 1033)} - 0,125 \cdot 82,5 = 8,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_L = 10 \text{ mm} \geq 8,8 \text{ mm}$$

$$\text{Breite } b_L \geq D_{\text{Rohr}} + 4 \cdot 8,8 \text{ mm} \quad (\text{s. S. 34 Punkt 4})$$

$$\geq 82,5 + 4 \cdot 8,8 = 117,7 \text{ mm}$$

$$b_L = 123 \text{ mm} \geq 117,7 \text{ mm}$$

- Schweißnahtlänge: $l = 110 \text{ mm}$

a-Maß: $a = 4 \text{ mm}$

DIN 18800, T 1,

$$\text{min } a \geq 2 \text{ mm}$$

$$\text{min } a \geq \sqrt{(\text{max } t)} - 0,5 = \sqrt{(10)} - 0,5 = 2,66 \text{ mm}$$

$$\text{max } a \leq 0,7 \cdot \text{min } t = 0,7 \cdot 4 \text{ mm} = 2,8 \text{ mm} \quad (519)$$

nach DIN 18808 sollte das a-Maß bei Hohlprofilverbindungen gleich der kleineren Wandstärke sein: $t = 4 \text{ mm}$

Nahtlänge: Anschluß mit Stirn- und Flankenkehlnaht

$$l \geq 6,0 \cdot a = 24 \text{ mm} \text{ bzw. } l \text{ mind. } 30 \text{ mm} \quad (820)$$
$$l \leq 150 \cdot a = 600 \text{ mm} \quad (823)$$

Nachweise:

$$P_d = P_k \cdot \gamma_f = 150 \text{ kN} \cdot 1,35 = 202,5 \text{ kN}$$

Lasche: $\sigma = P_d/A = 202,5/1230 = 164 \text{ N/mm}^2 \leq 305 \text{ N/mm}^2$
 $= f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_m = 335/1,1$

Schweißnaht: $A_w = \Sigma a \cdot l = 4 \cdot 4 \cdot 110 = 1760 \text{ mm}^2$
 $\tau_{\parallel} = 202,5/1760 = 115 \text{ N/mm}^2 \leq 207 \text{ N/mm}^2$
 $= \sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k}/\gamma_m = 0,95 \cdot 240/1,1 \quad (829)$

Rohr: $D/t = 19,6$

- Bemessungsdiagramm 1 $k_{y1} \approx 0,8$
- Bemessungsdiagramm 2 $k_{y2} = -0,005626 \cdot 19,6 + 0,8666 = 0,756$
 $\rightarrow P_{y,d} = \min k_y \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,756 \cdot 1033 \cdot 305 = 238,3 \text{ kN}$
 $P_k = 202,5 \text{ kN} \leq 238,3 \text{ kN} = P_{y,d}$

- Bemessungsdiagramm 3 $k_{u3} \approx 0,64$
- Bemessungsdiagramm 4 $k_{u3} = -0,008750 \cdot 19,6 + 0,7875 = 0,616$
 $\rightarrow P_{u,d} = \min k_u \cdot A \cdot f_{u,d} = 0,616 \cdot 1033 \cdot 439/1,1 = 254 \text{ kN}$
 $P_k = 202,5 \text{ kN} \leq 254 \text{ kN} = P_{u,d}$

2. Beispiel

- Schnittkraft aus der stat. Berechnung: Zugkraft $P_k = 180 \text{ kN}$
- Rohrabmessungen: $152,4 \times 4,0$ $A_{\text{Rohr}} = 1865 \text{ mm}^2$
- Material: St 37 $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$
(Fe 360) $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$
- Lasche: $b_L \times t_L = 200 \times 12 \text{ mm}$
Dicke t_L $\geq 0,5 \cdot \sqrt{(D_{\text{Rohr}}^2/16 + A_{\text{Rohr}})} - 0,125 \cdot D_{\text{Rohr}}$
 $\geq 0,5 \cdot \sqrt{(152,4^2/16 + 1865)} - 0,125 \cdot 152,4 = 9,7 \text{ mm}$
 $t_L = 12 \text{ mm} \geq 9,7 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Breite } b_L &\geq D_{\text{Rohr}} + 4 \cdot 9,7 \text{ mm} \\ &\geq 152,4 + 4 \cdot 9,7 = 191,2 \text{ mm} \\ b_L = 200 \text{ mm} &\geq 191,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Schweißnahtlänge: $l = 180 \text{ mm}$
a-Maß: $a = 4 \text{ mm}$
DIN 18800, T 1,
 $\min a \geq 2 \text{ mm}$
 $\min a \geq \sqrt{(12)} \cdot 0,5 = \sqrt{(12)} \cdot 0,5 = 2,96 \text{ mm}$
 $\max a \leq 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 4 \text{ mm} = 2,8 \text{ mm} \quad (519)$
nach DIN 18808 sollte das a-Maß bei Hohlprofilverbindungen gleich der kleineren
Wandstärke sein: $t = 4 \text{ mm}$
Nahtlänge: Anschluß mit Stirn- und Flankenkehlnaht
 $l \geq 6,0 \cdot a = 24 \text{ mm}$ bzw. $l \text{ mind. } 30 \text{ mm} \quad (820)$
 $l \leq 150 \cdot a = 600 \text{ mm} \quad (823)$

Nachweise:

$$P_d = P_k \cdot \gamma_f = 180 \text{ kN} \cdot 1,35 = 243 \text{ kN}$$

Lasche: $\sigma = P_d/A = 243/2400 = 101 \text{ N/mm}^2 \leq 218 \text{ N/mm}^2$
 $= f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_m = 240/1,1$

Schweißnaht: $A_w = \Sigma a \cdot l = 4 \cdot 4 \cdot 180 = 2880 \text{ mm}^2$
 $\tau_{\parallel} = 243/2880 = 84 \text{ N/mm}^2 \leq 207 \text{ N/mm}^2$
 $= \sigma_{w,Rd} = \alpha_w \cdot f_{y,k}/\gamma_m = 0,95 \cdot 240/1,1 \quad (829)$

Rohr: $D/t = 152,4/4,0 = 38,1$

- Bemessungsdiagramm 1 $k_{y1} = 0,65$
- Bemessungsdiagramm 2 $k_{y2} = -0,005626 \cdot 38,1 + 0,8666 = 0,652$
 $\rightarrow P_{y,d} = \min k_y \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,65 \cdot 1865 \cdot 218 = 264,3 \text{ kN}$
 $P_k = 243 \text{ kN} \leq 264,3 \text{ kN} = P_{y,d}$
- Bemessungsdiagramm 3 $k_{u3} = 0,5$
- Bemessungsdiagramm 4 $k_{u3} = 0,5$
 $\rightarrow P_{u,d} = \min k_u \cdot A \cdot f_{u,d} = 0,5 \cdot 1865 \cdot 370/1,1 = 313,7 \text{ kN}$
 $P_k = 243 \text{ kN} \leq 313,7 \text{ kN} = P_{u,d}$

3. Beispiel

Es wird ein Rohr mit innenliegender Lasche und Dreiblechnaht berechnet.

- Schnittkraft aus der stat. Berechnung: Zugkraft $P_k = 115 \text{ kN}$
- Rohrabmessungen: $114,3 \times 3,6$ $A_{\text{Rohr}} = 1250 \text{ mm}^2$
- Material: St 52 $f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$
(FE 510) $f_{u,k} = 510 \text{ N/mm}^2$
- Lasche: $b_L \times t_L = 105 \times 12 \text{ mm}$
- Schweißnahtlänge: $l = 150 \text{ mm}$
a-Maß: $a = 3,6 \text{ mm} = \text{Wandstärke des Rohres}$
Nahtlänge: Anschluß mit Dreiblechnaht
 $l \leq 150 \cdot a = 600 \text{ mm}$ (823)

Nachweise:

$$P_d = P_k \cdot \gamma_f = 115 \text{ kN} \cdot 1,35 = 155 \text{ kN}$$

Lasche: $\sigma = P_d/A = 155/1260 = 123 \text{ N/mm}^2 \leq 327 \text{ N/mm}^2$
 $= f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_m = 360/1,1$

Schweißnaht: $A_w = \Sigma a \cdot l = 4 \cdot 3,6 \cdot 150 = 2160 \text{ mm}^2$
 $\tau_{\parallel} = 155/2160 = 72 \text{ N/mm}^2 \leq 262 \text{ N/mm}^2$
 $= \sigma_{w,Rd} = \alpha_w \cdot f_{y,k}/\gamma_m = 0,8 \cdot 360/1,1$
(829)

Rohr: $D/t = 114,3/3,6 = 31,75$

- Bemessungsdiagramm 5 $k_{y5} = 0,5$
- Bemessungsdiagramm 6 $k_{y6} = -0,008410 \cdot 31,75 + 0,8742 = 0,607$
 $\rightarrow P_{y,d} = \min k_y \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,5 \cdot 1250 \cdot 327 = 204,4 \text{ kN}$
 $P_k = 155 \text{ kN} \leq 204,4 \text{ kN} = P_{y,d}$

- Bemessungsdiagramm 7 $k_{u7} = 0,5$
- Bemessungsdiagramm 8 $k_{u8} = -0,009136 \cdot 31,75 + 0,8292 = 0,539$
 $\rightarrow P_{u,d} = \min k_u \cdot A \cdot f_{u,d} = 0,5 \cdot 1250 \cdot 510/1,1 = 290 \text{ kN}$
 $P_k = 155 \text{ kN} \leq 290 \text{ kN} = P_{u,d}$

5.5 Beurteilung

Nach den Ausführungen der vorigen Kapitel wird für die Bemessung von Rohrlaschenverbindungen das Bemessungskonzept aus Kapitel 5.1 mit den Bemessungsdiagrammen aus Kapitel 5.2 zur Verwendung vorgeschlagen. Sollten im Laufe der Zeit weitere Versuche stattfinden, so sollten diese die Bemessungsdiagramme ergänzen und deren Aussagekraft weiter erhärten.

Die Verwendung von Rohrlaschenverbindungen sollte auch unter dem Gesichtspunkt des Vergleichs mit anderen Anschlußformen gesehen werden. Oftmals kann die Spannungskonzentration durch aufwendige Ausführungen abgebaut und damit eine gleichmäßigere Lasteinleitung erzielt werden. Hier stellt sich auch die Frage nach der Wirtschaftlichkeit.

Die Verbindung durch Dreiblechnähte wurde bereits mit in dieser Arbeit untersucht und ergab ein ähnliches Verhalten (s. Kapitel 5.2). Von Zirn [11] und Novikov [12] wurden bereits mehrere Anschlußformen auf ihre Tragfähigkeit hin untersucht. Dabei stand allerdings das dynamische Verhalten im Vordergrund, so daß die Frage der Spannungskonzentration maßgebend wird. Bei einer dynamischen Belastung von Rohrlaschenverbindungen müßte dies ebenfalls berücksichtigt werden.

Die Anschlußform durch Kopfplatten wurde bereits an der Versuchsanstalt ausführlich untersucht [01] und [02]. Dabei konnten durch Veränderung der Laschengeometrie die Spannungskonzentrationen abgebaut werden. Da bei dem durchgeführten Versuchsprogramm jedoch immer das Rohr versagte, hat die Form der Lasche, sofern sie ausreichend bemessen wurde, keinen Einfluß auf die Tragfähigkeit.

Ein einfaches Bemessungsverfahren mit gewissen Vorgaben dürfte auch in der Praxis die Bemessung erleichtern. Dazu ist das vorgeschlagene Konzept als Diskussionsgrundlage gut geeignet.

6. Zusammenfassung

An der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe wurden Versuche an sogenannten Rohrlaschen-Verbindungen durchgeführt. Die Form der Probekörper ist in Anlage 1 dargestellt. Über solche Anschlußformen liegen bisher nur wenige Versuche vor.

In der DIN 18808 werden Hohlprofilverbindungen bei statischer Belastung geregelt. Allerdings wird bei geschraubten Anschlüssen, bei denen die Kraft zunächst vom Rohr auf eine Lasche übertragen werden muß, auf die Regeln des Allgemeinen Stahlbaues verwiesen. Hierbei wird das Tragverhalten meistens in Abhängigkeit von der Länge der Schweißnähte gesehen. Bisherige Versuche ergaben in der Regel eine deutliche Verminderung der Tragfähigkeit des gesamten Rohrquerschnitts. Das Interesse galt bei diesem Versuchsprogramm der Frage, welche Parameter für diese Abminderung verantwortlich sind.

Die Versuche zeigten, daß die Schweißnahtlänge nur eine geringere Rolle in Bezug auf die Tragfähigkeit und die Gestaltfestigkeit spielt als zunächst angenommen wurde. Als Hauptfaktor für die Abnahme der Tragfähigkeit hat sich die durch die Geometrie des Anschlusses bedingte Lasteinleitung erwiesen. Dabei wird die Last bereits im Bereich der Stirnkehlnaht vom Rohr auf die Lasche übertragen, ohne daß die Flankenkehlnähte auf ihrer Länge wesentlich dazu beitragen. Somit müssen für diesen Bereich des sogenannten hot spot stress besondere Überlegungen angestellt werden. Besonders bei dynamischer Belastung tritt die Frage der Spannungskonzentration in den Vordergrund.

Bei statischer Belastung wird örtlich Fließen zugelassen und die theoretische Tragfähigkeit des Rohres abgemindert. Dabei stellt sich ein dimensionsloser Parameter D/t als besonders geeignet heraus. Je dicker das Rohr und die Lasche sind, umso gleichmäßiger wird die Last im Anschlußbereich verteilt. Die aufgestellten Diagramme zeigen, daß die Tragfähigkeit mit steigendem D/t Verhältnis abnimmt. Durch eine statistische Auswertung konnte diese Abhängigkeit in eine lineare Beziehung gebracht werden, die vor allem in der Praxis eine einfache und schnelle Bemessung ermöglicht.

An der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine sind in Zukunft weitere Versuche auf diesem Gebiet geplant. Dabei soll z. B. auch die Frage geklärt werden, ob Veränderungen in der Geometrie einen gleichmäßigeren Kraftverlauf ermöglichen. Vor allem im Hinblick auf die ständig steigende Bedeutung von Hohlprofilen im Bereich des Stahlbaus erscheint eine Untersuchung in dieser Hinsicht angebracht.

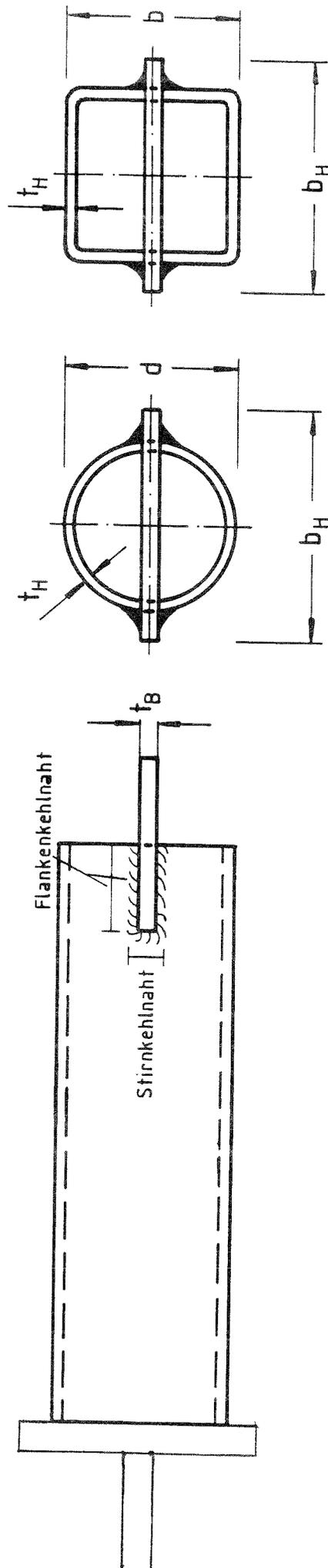
Das in diesem Bericht entworfene Bemessungskonzept soll hierzu eine mögliche Vorgehensweise aufzeigen.



7. Literatur

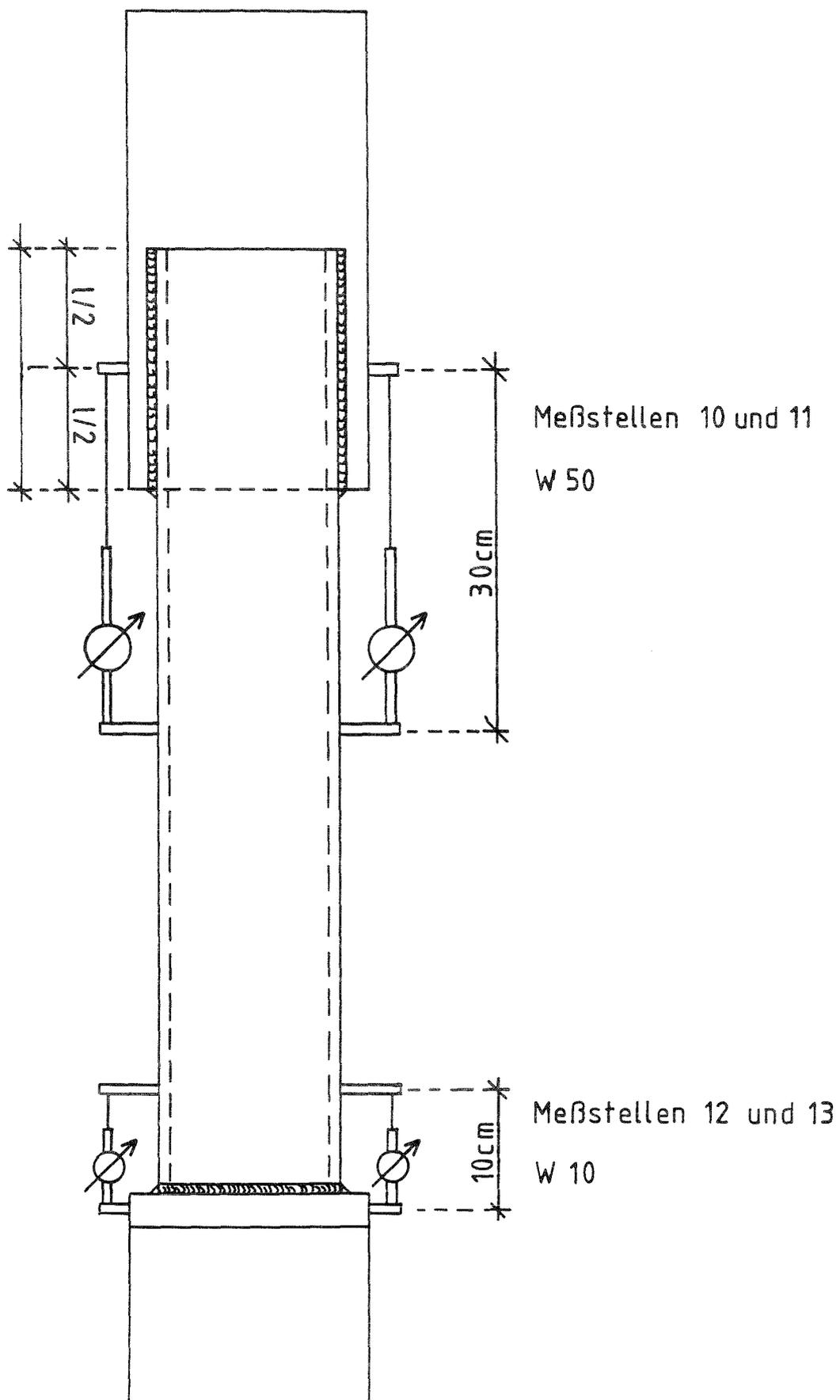
- [01] Gräßlin Wolfgang
Versuchstechnische und theoretische Untersuchungen der Tragfähigkeit von
Plattenverbindungen runder Hohlprofile
Seminararbeit an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, 1988
- [02] Rohrer Jürgen
Versuchstechnische und theoretische Untersuchungen der Tragfähigkeit von
Plattenverbindungen quadratischer Hohlprofile
Seminararbeit an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Januar 1989
- [03] Steurer A.
Institut für Baustatik und Stahlbau, ETH Zürich
Zugversuche an geschweißten Rohranschlüssen
Prüfzeugnis vom 19.07.1988
- [04] Mang, Klingler
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe
Traglastversuche an Rohrlaschenverbindungen
Prüfzeugnis Nr: 87 0349 vom 20.04.1988
- [05] Mang, Klingler
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe
Traglastversuche an Rohrlaschenverbindungen
Prüfzeugnis Nr: 88 0173 vom 08.08.1988
- [06] Mang, Wolfmüller
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe
Traglastversuche an Rohrlaschenverbindungen
Prüfzeugnis Nr: 89 0660 vom 29.01.1990
- [07] N. N.
DIN 18808, Stahlbauten
Tragwerke aus Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung
Ausgabe Oktober 1984
- [08] N. N.
DIN 18800, Teil 1, Stahlbauten
Bemessung und Konstruktion
Ausgabe November 1990

- [09] Kreyszig E.
Statistische Methoden und ihre Anwendungen
Verlag Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen
6. Auflage 1977
- [10] Wardenier, Kurobane, Packer, Dutta, Yeomans
Berechnung und Bemessung von Rundhohlprofilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung
Herausgeber: Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire
Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1991
- [11] Zirn Rainer
Schwingfestigkeitsverhalten geschweißter Rohrknotenpunkte und Rohrlaschenverbindungen
Technisch-wissenschaftlicher Bericht der Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Universität Stuttgart, Heft 75-01
- [12] Novikov, V. I.
Effects of longitudinal fillet welds on distribution of stresses in certain welded joints and on their strengths
Automatic Welding 1962, Nr: 12, Seite 42 - 46
- [13] Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine e. V., Essen
VdTÜV Merkblatt 803
Richtlinien zur Durchführung und Auswertung von Dehnungsmessungen mit Dehnungsmeßstreifen (DMS)
- [14] International Institute of Welding, II-XV-E (1985),
Recommended fatigue design procedure for hollow section joints, part 1, hot spot stress method for nodal joints
IIW Doc. XV - 582 - 85/XIII - 1158 - 85



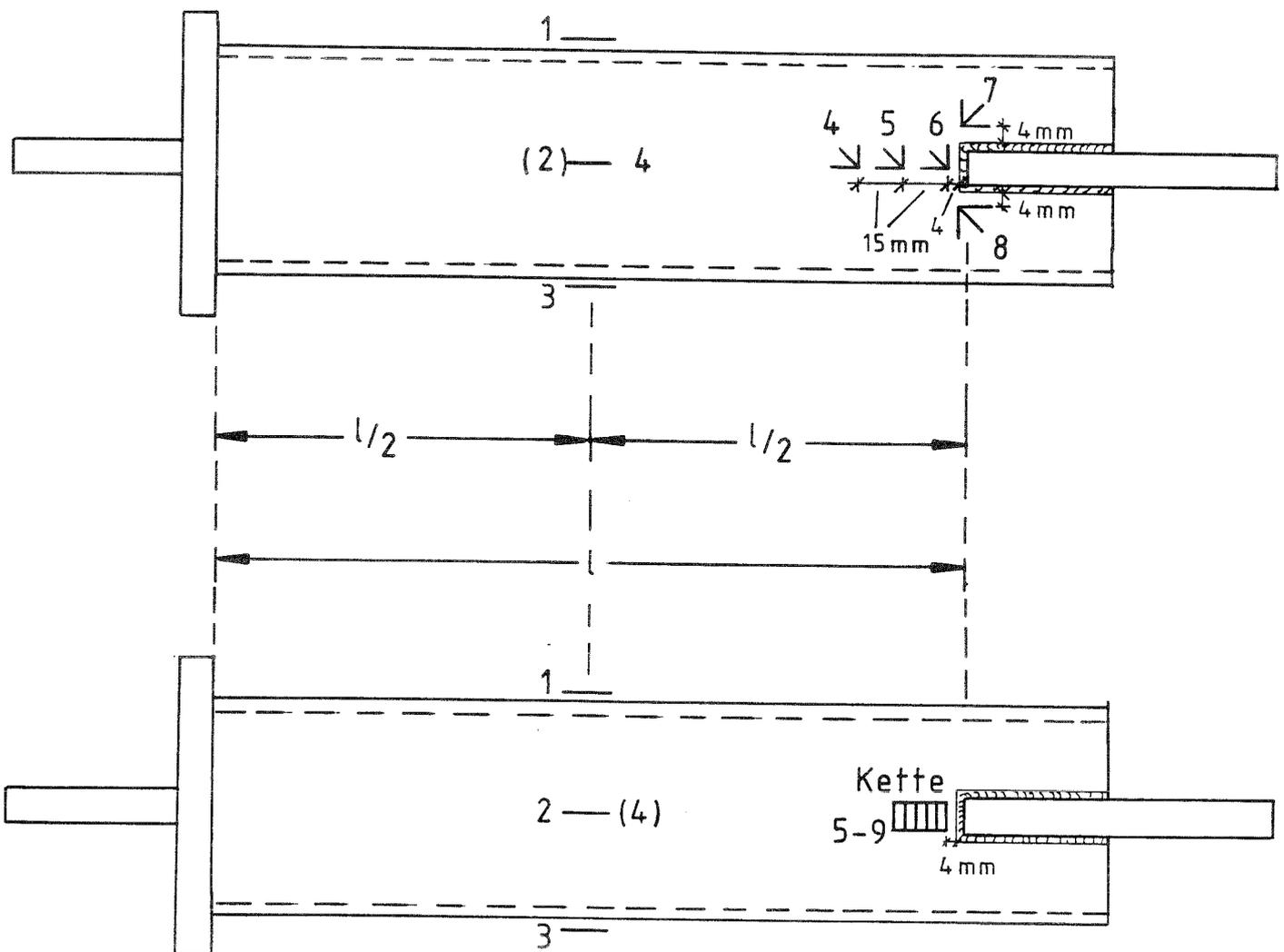
Probekörperform

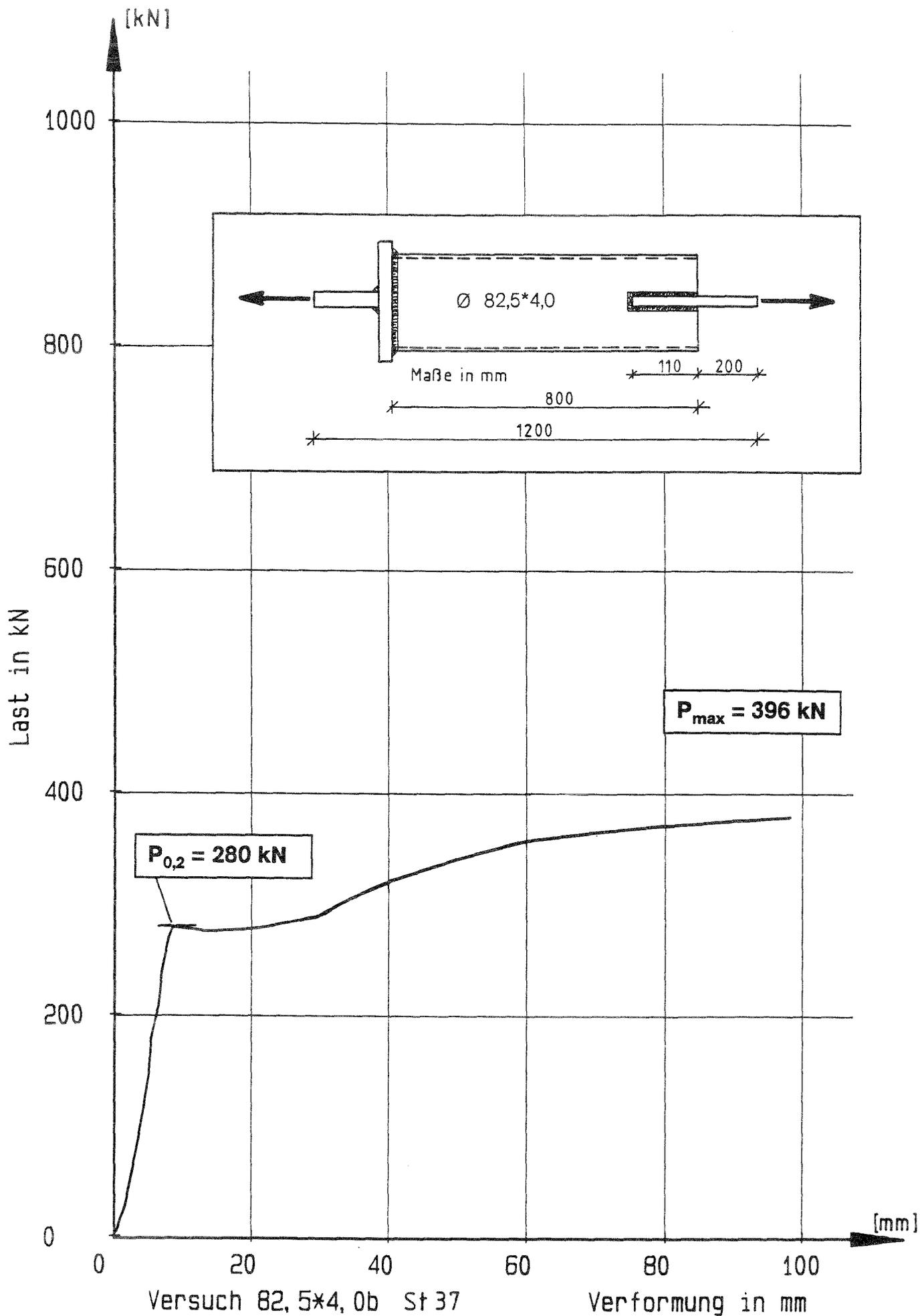
Versuche 82,5×8,0a und 139,7×4,0b

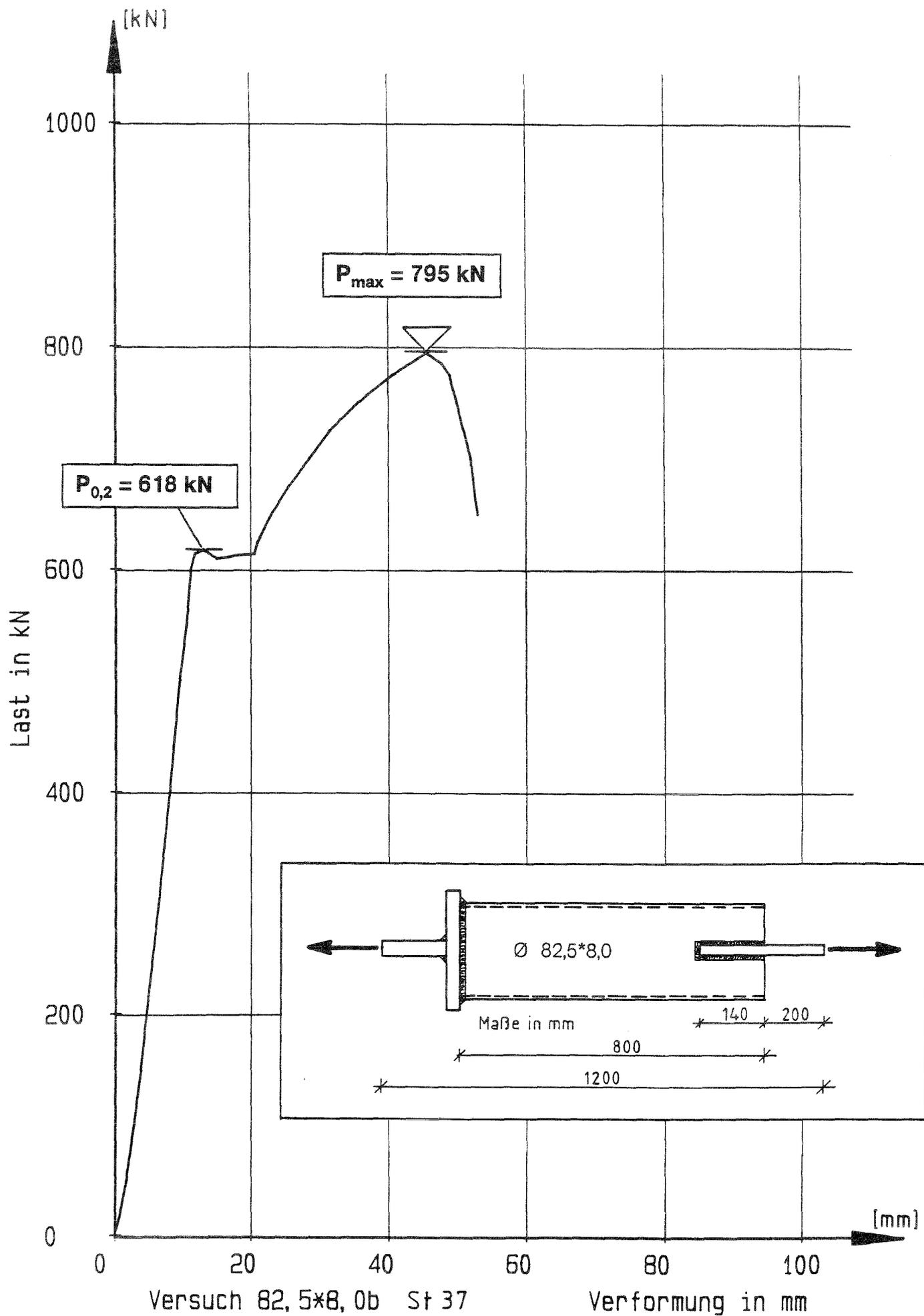


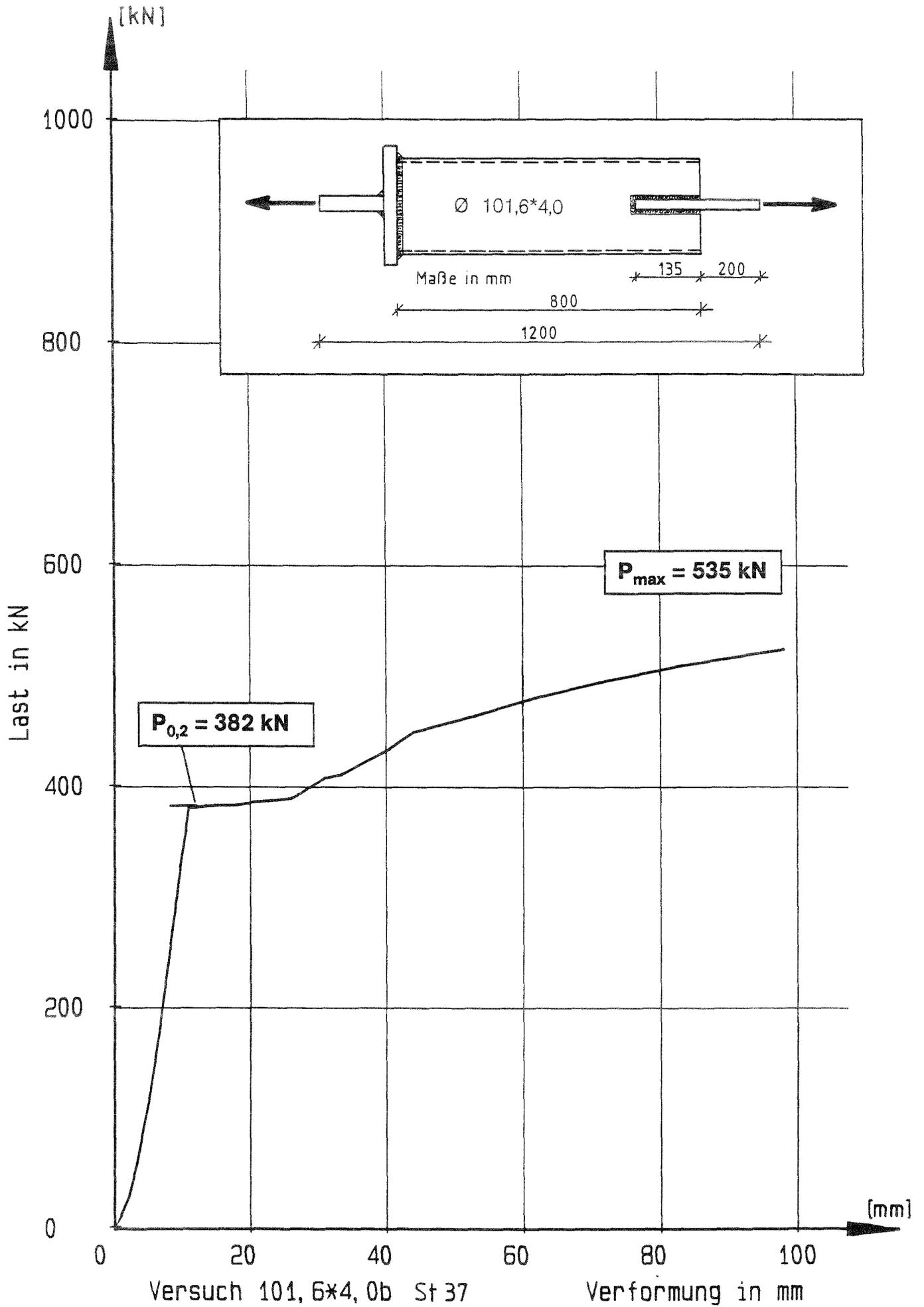
Anordnung der Induktiven Wegaufnehmer

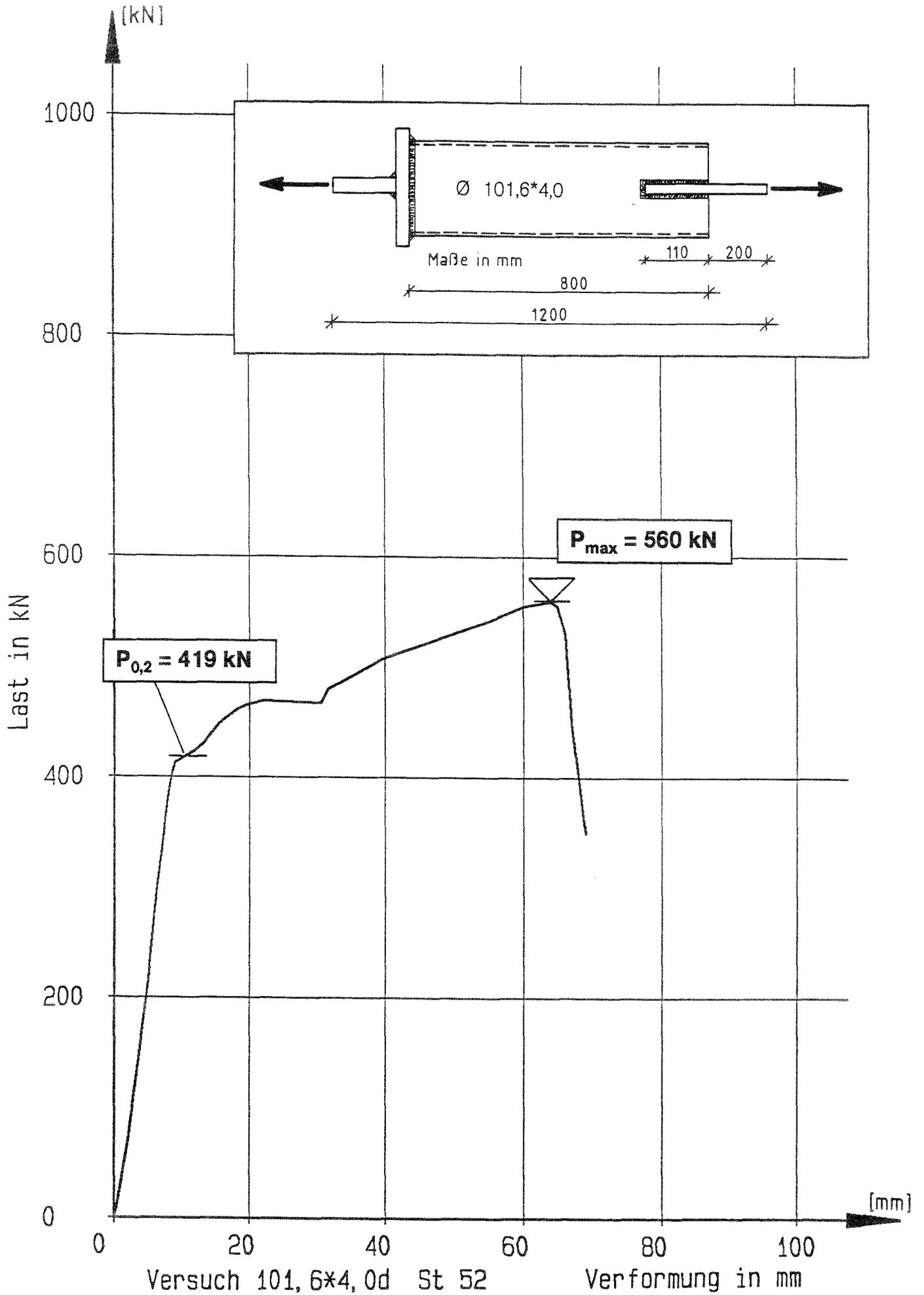
DMS - Klebeplan

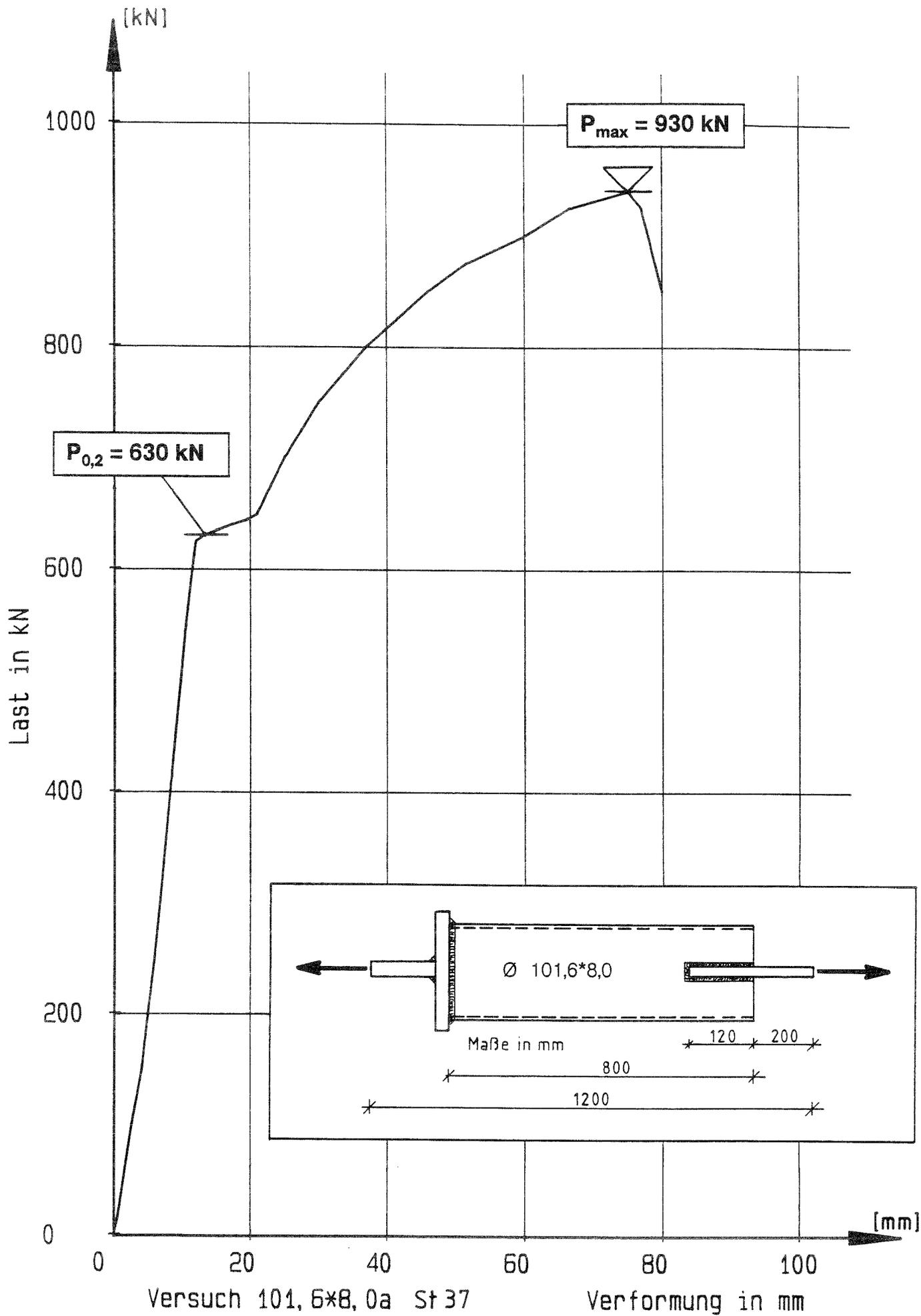


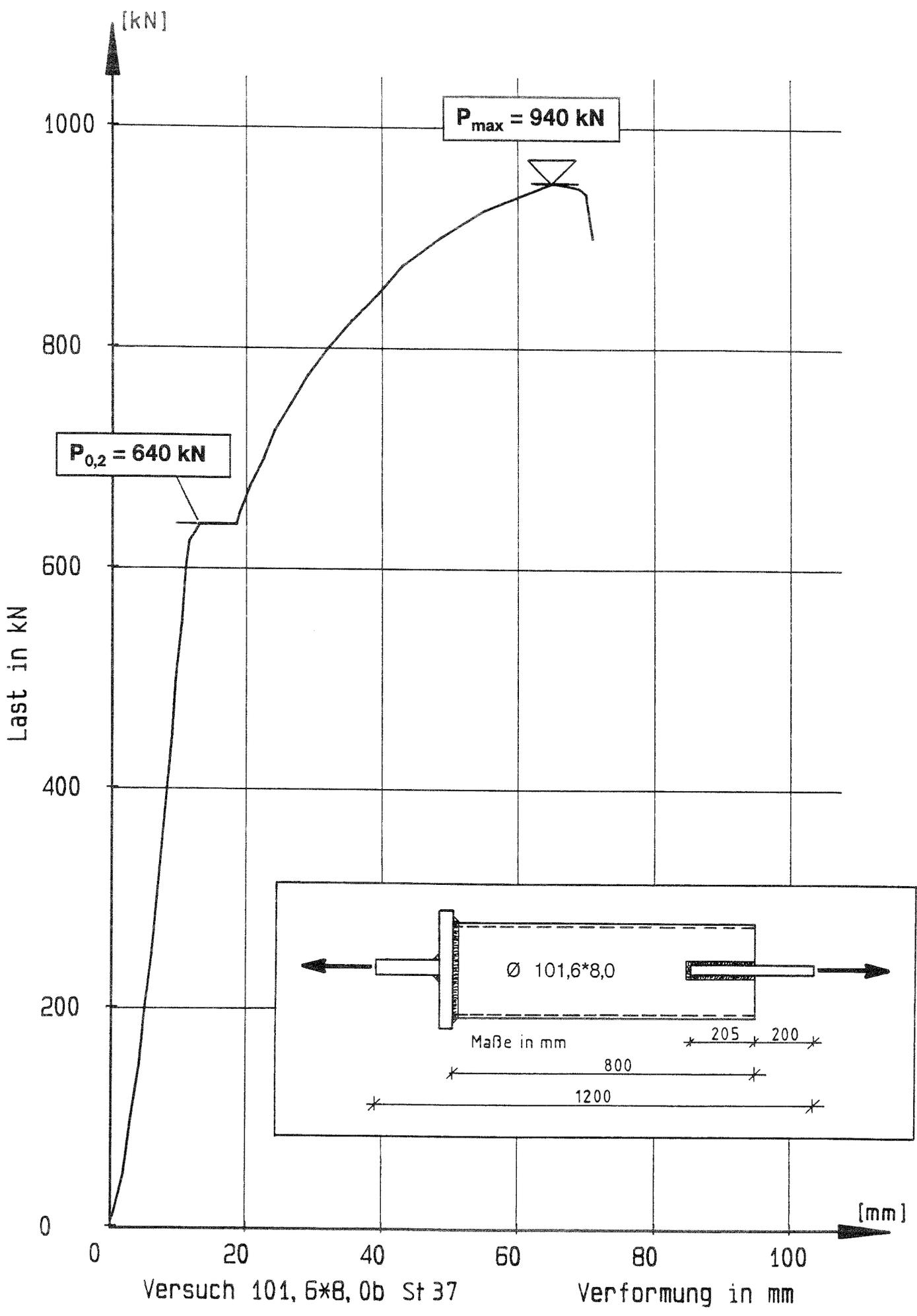


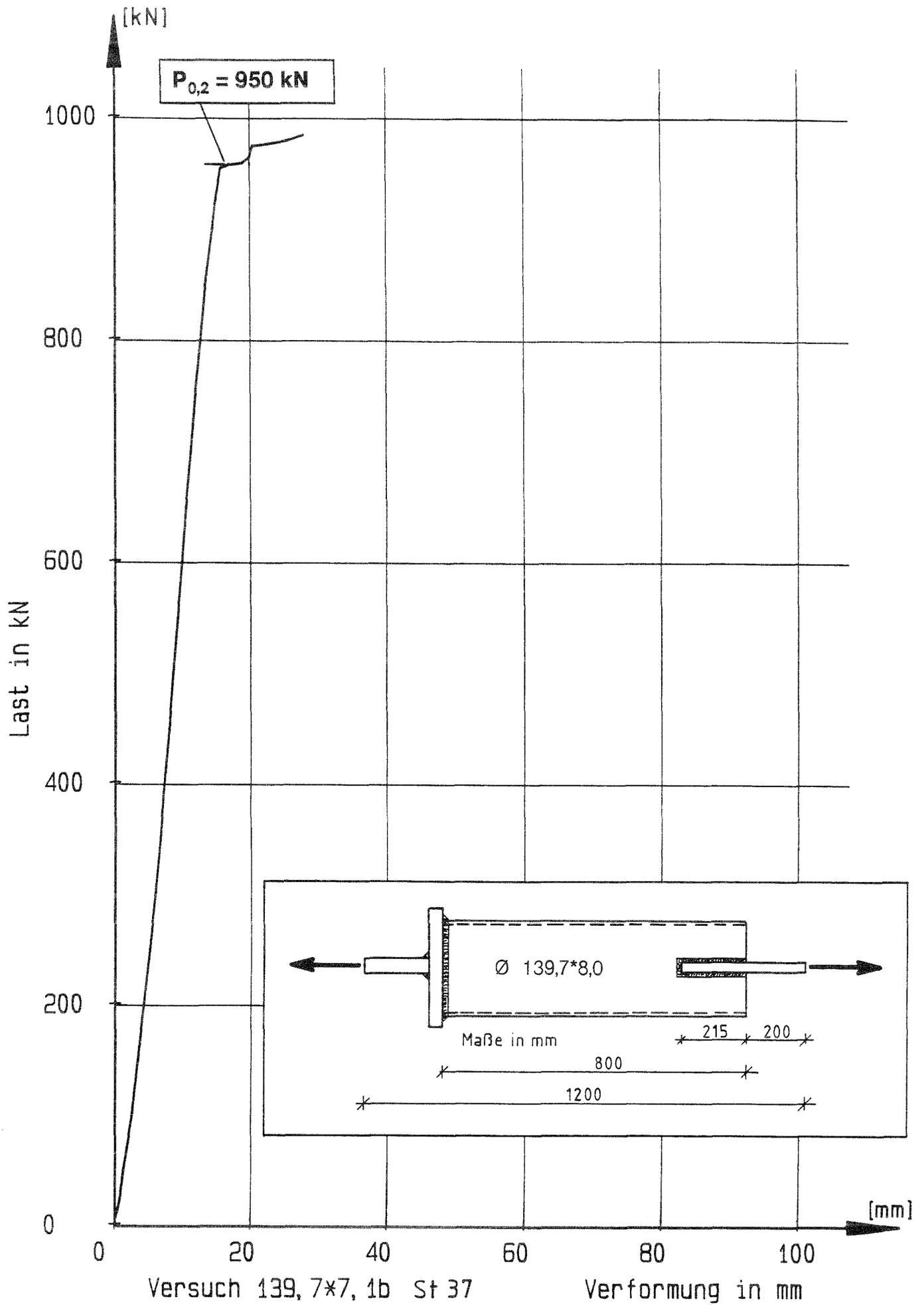


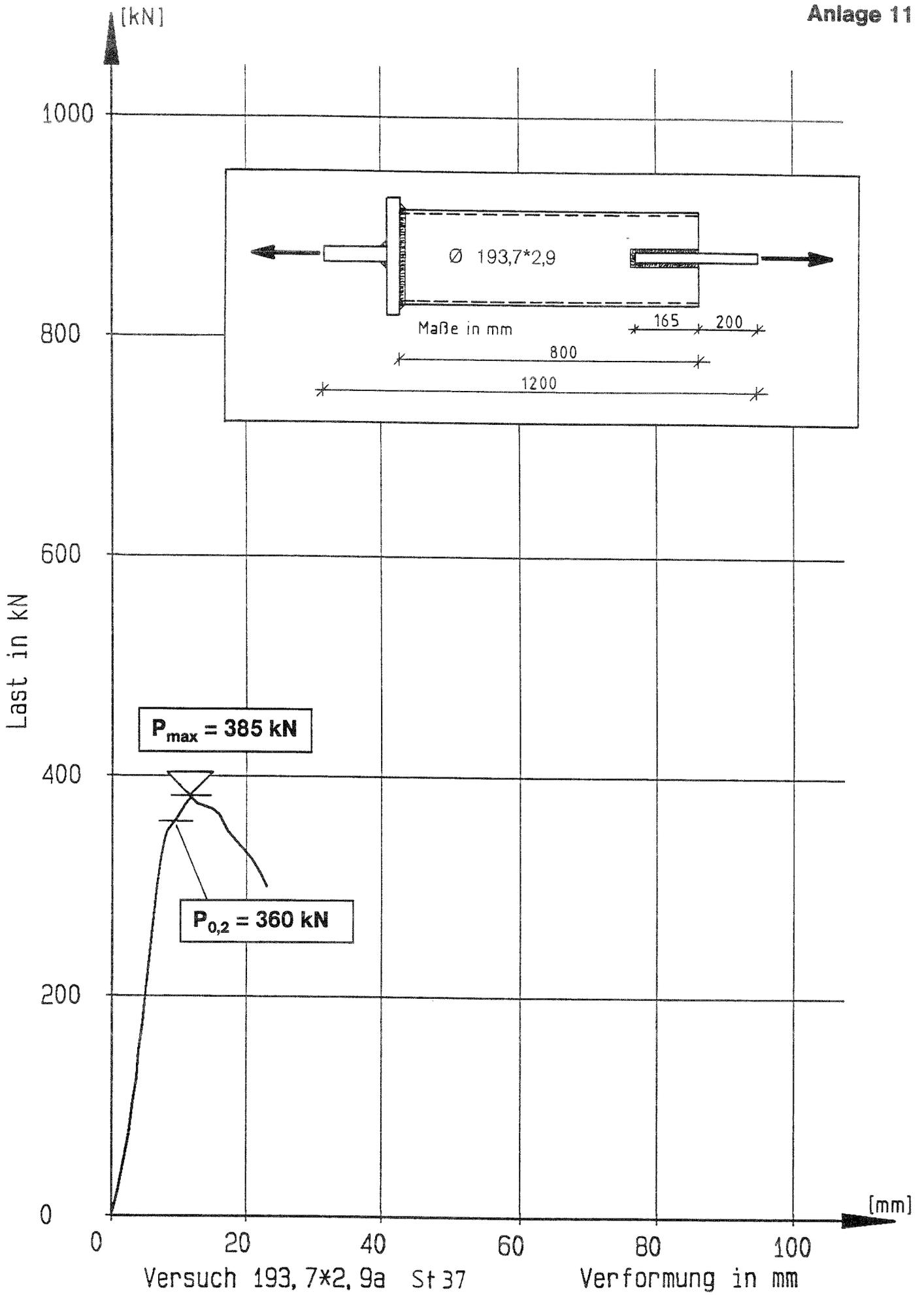


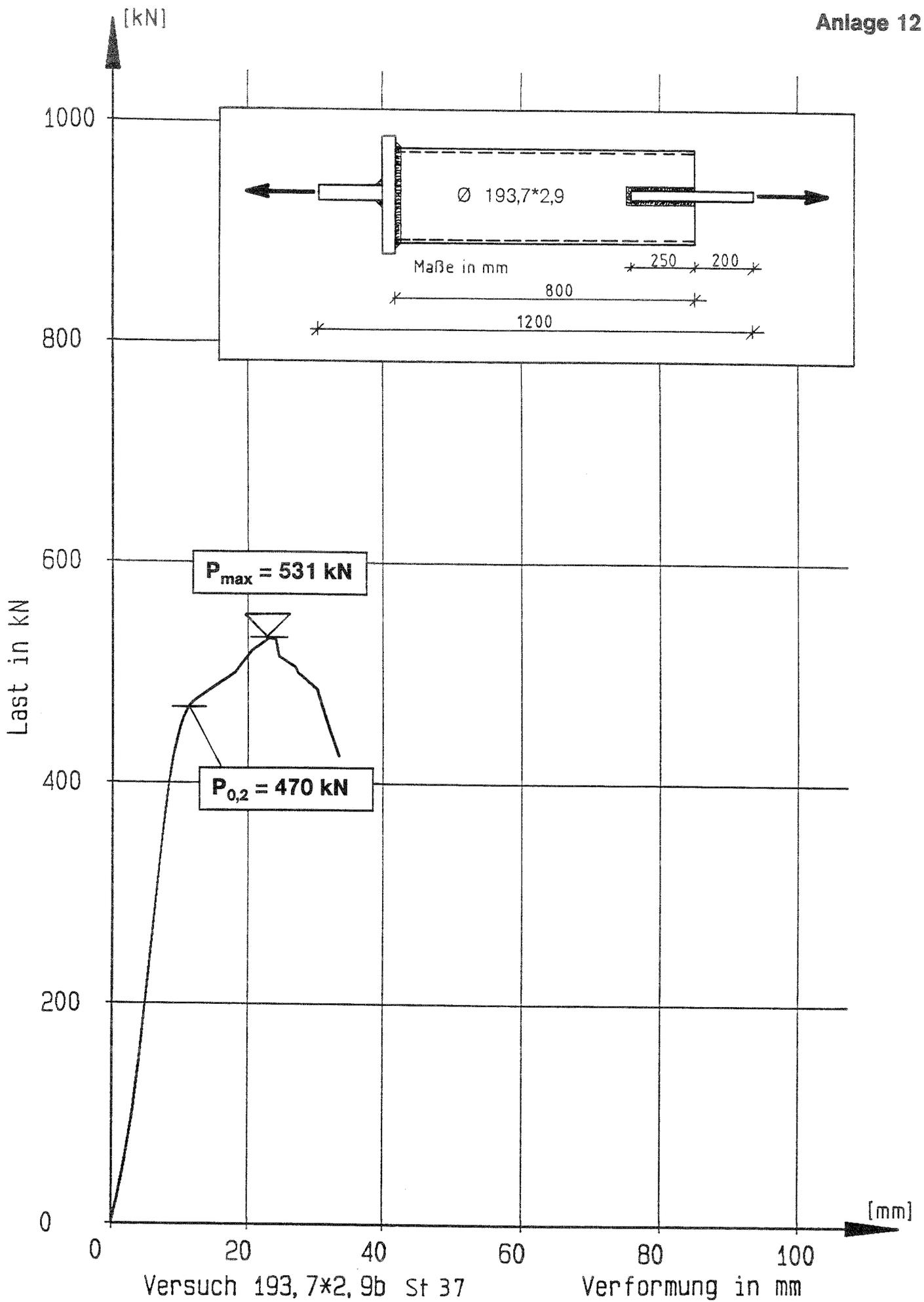


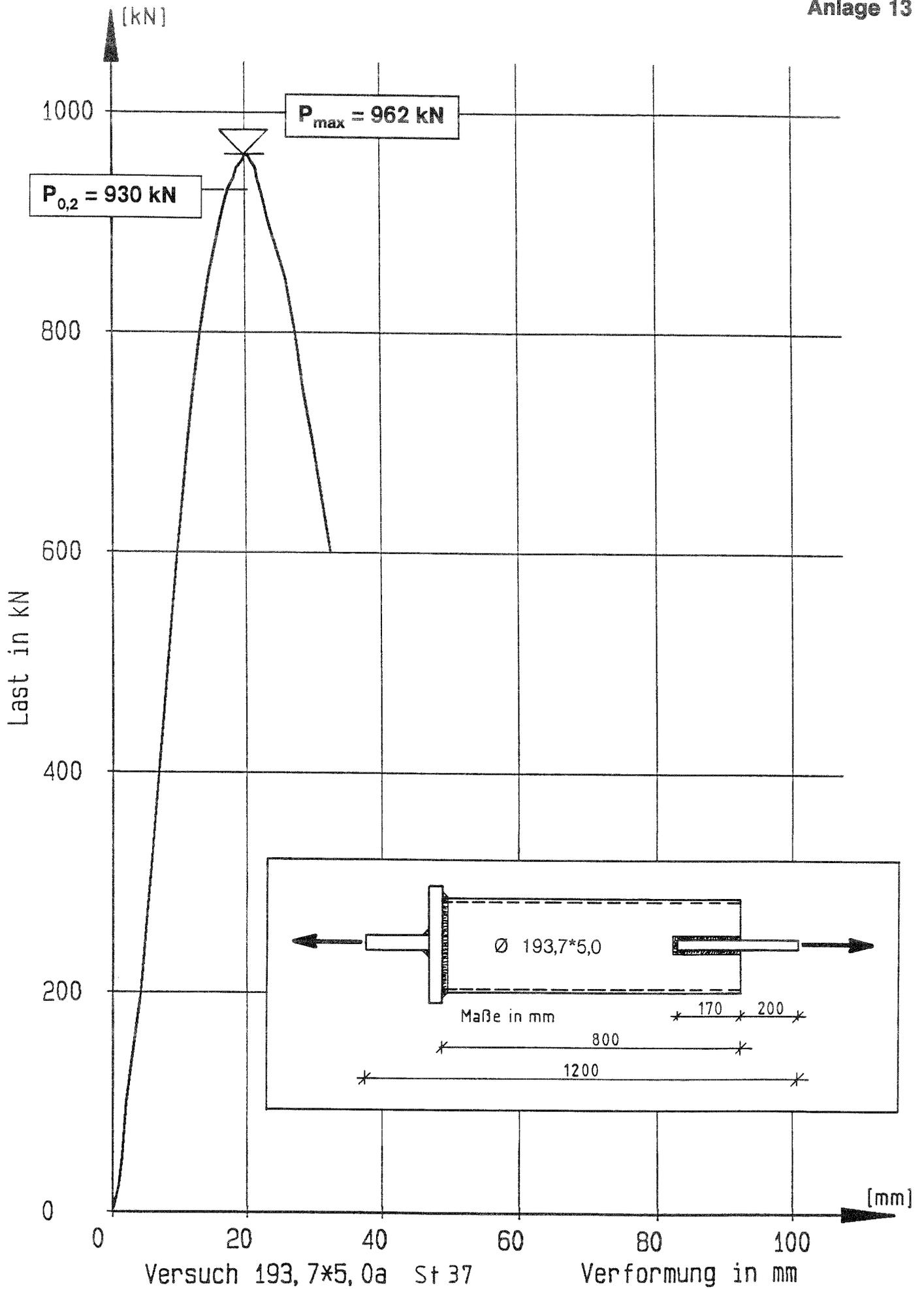


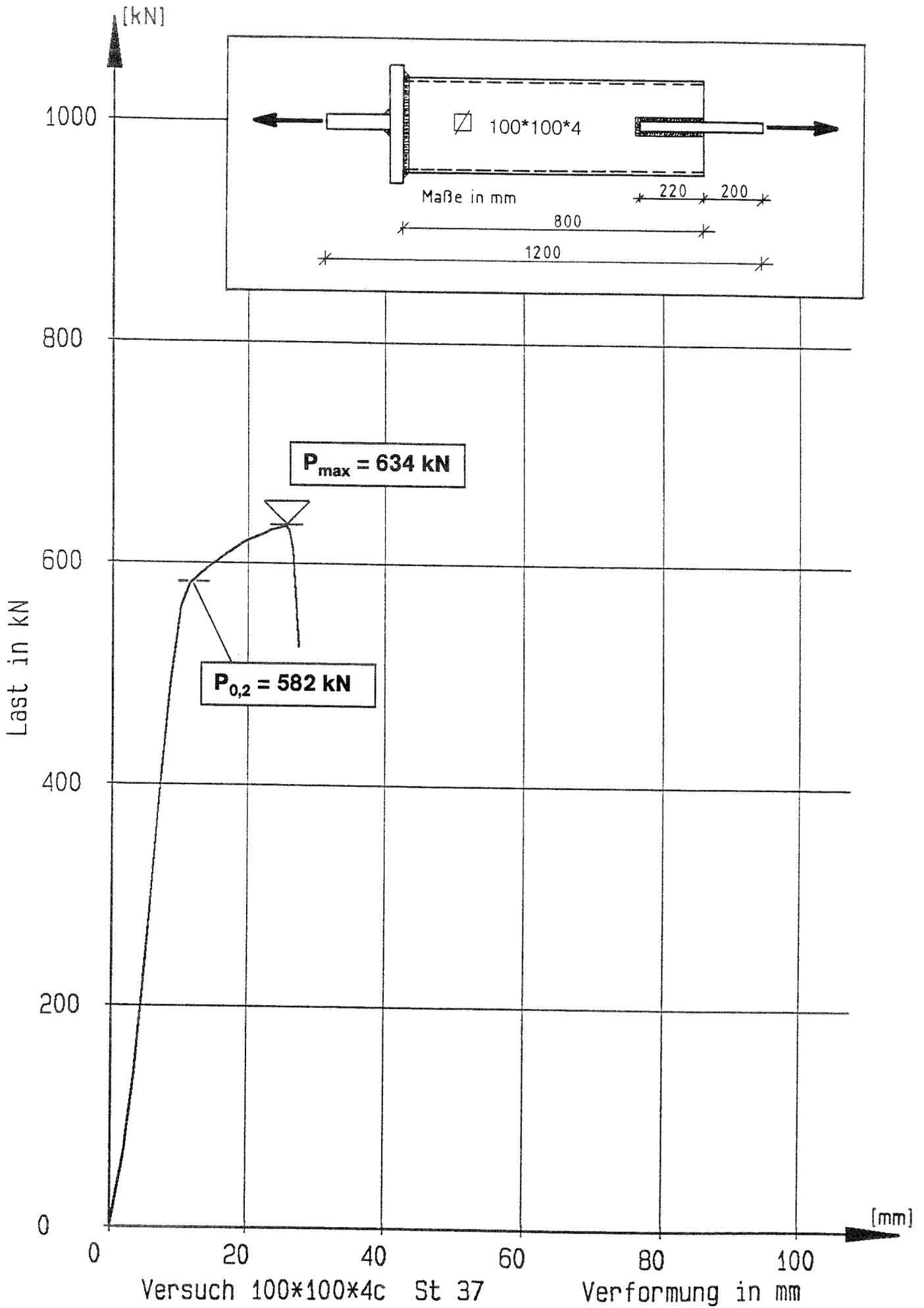


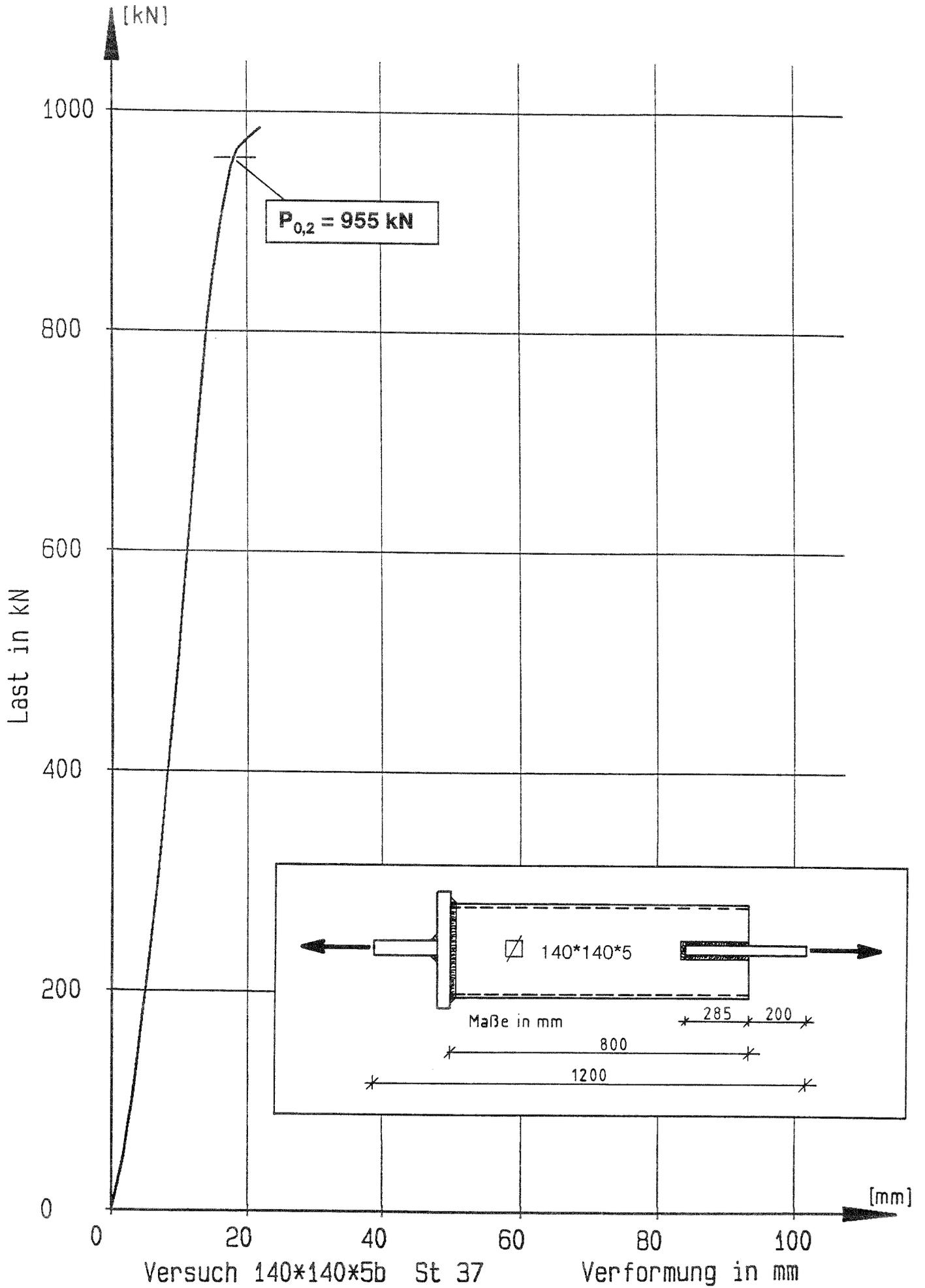


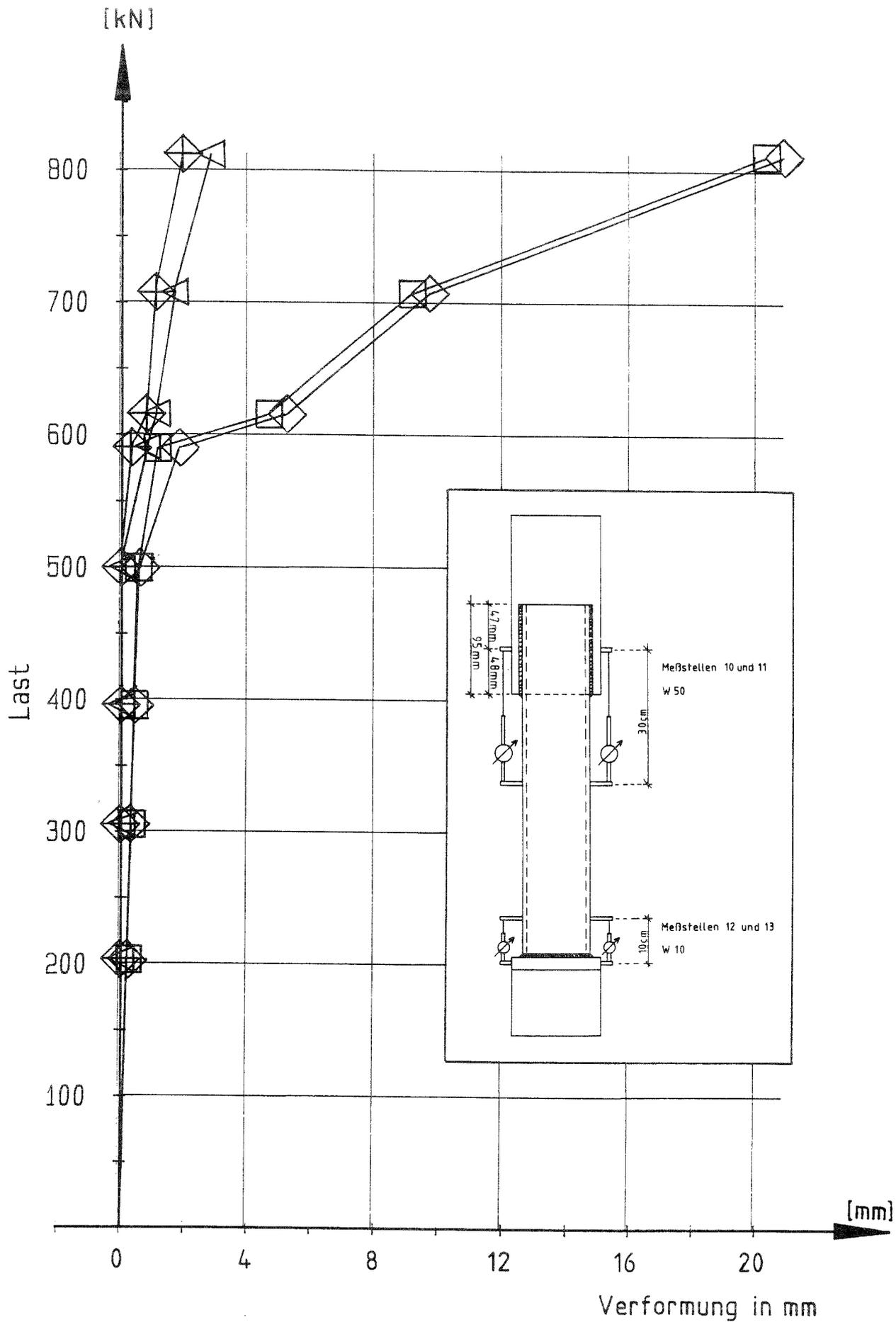






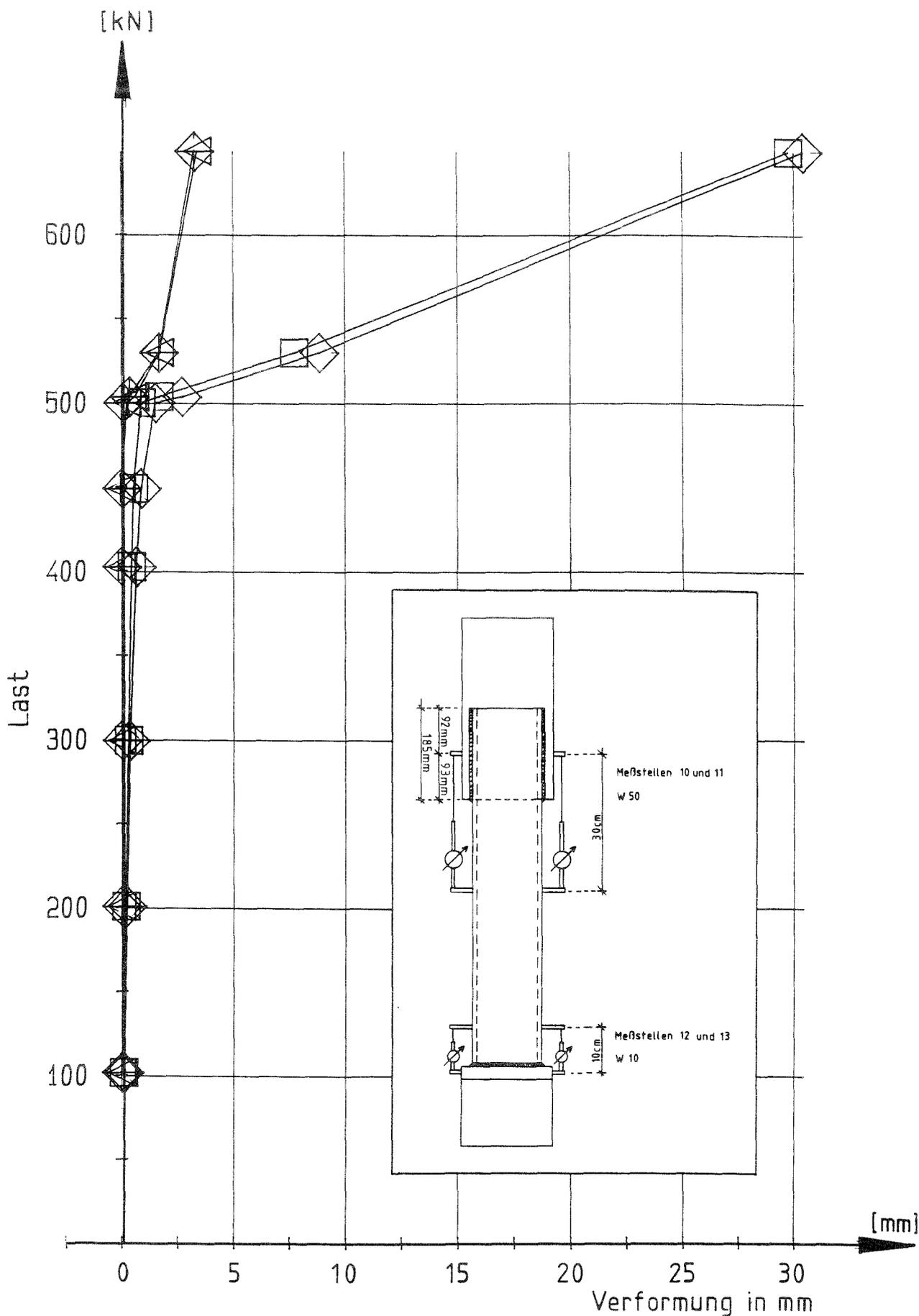






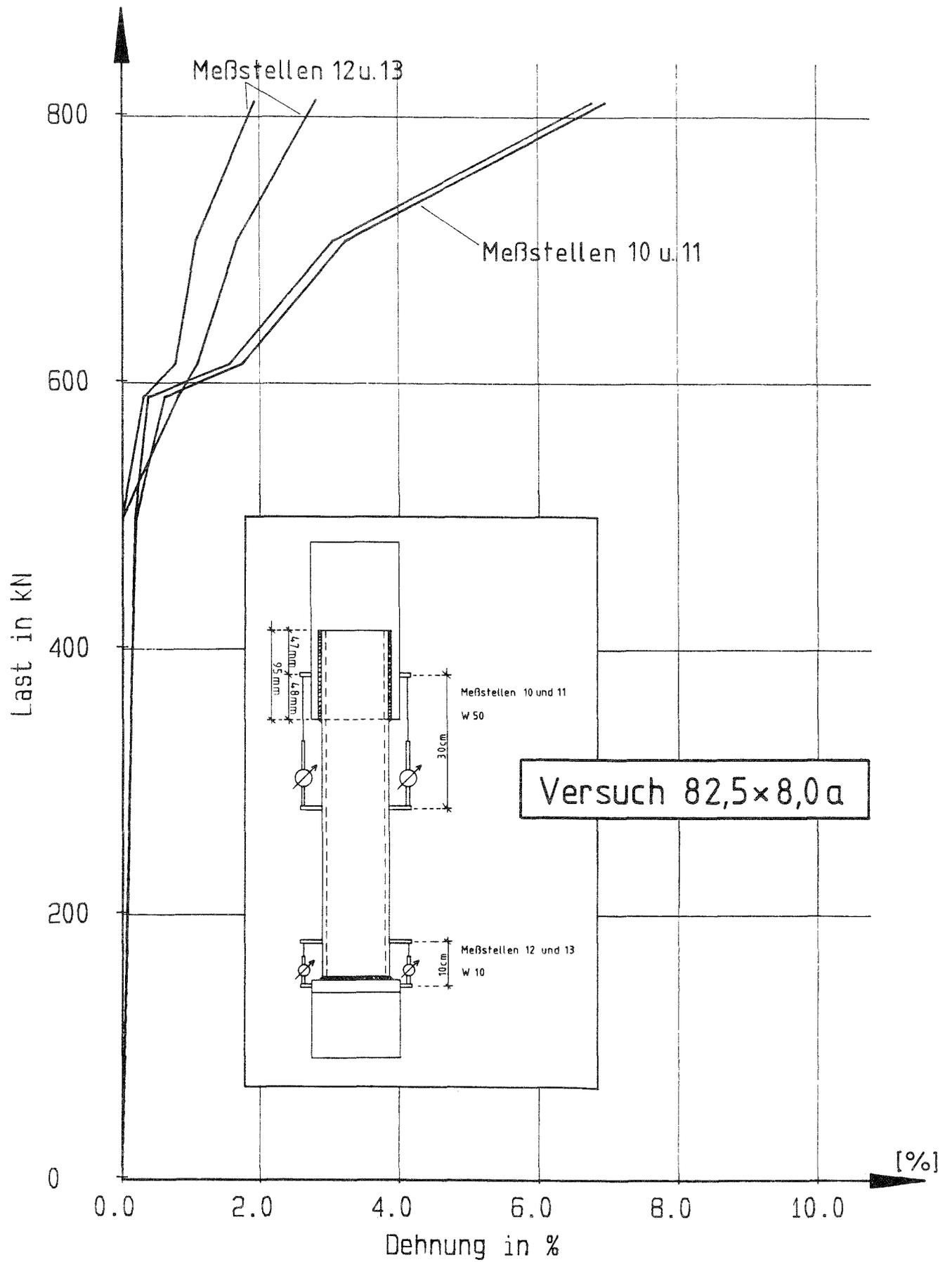
Versuch 82,5×8,0a St 37

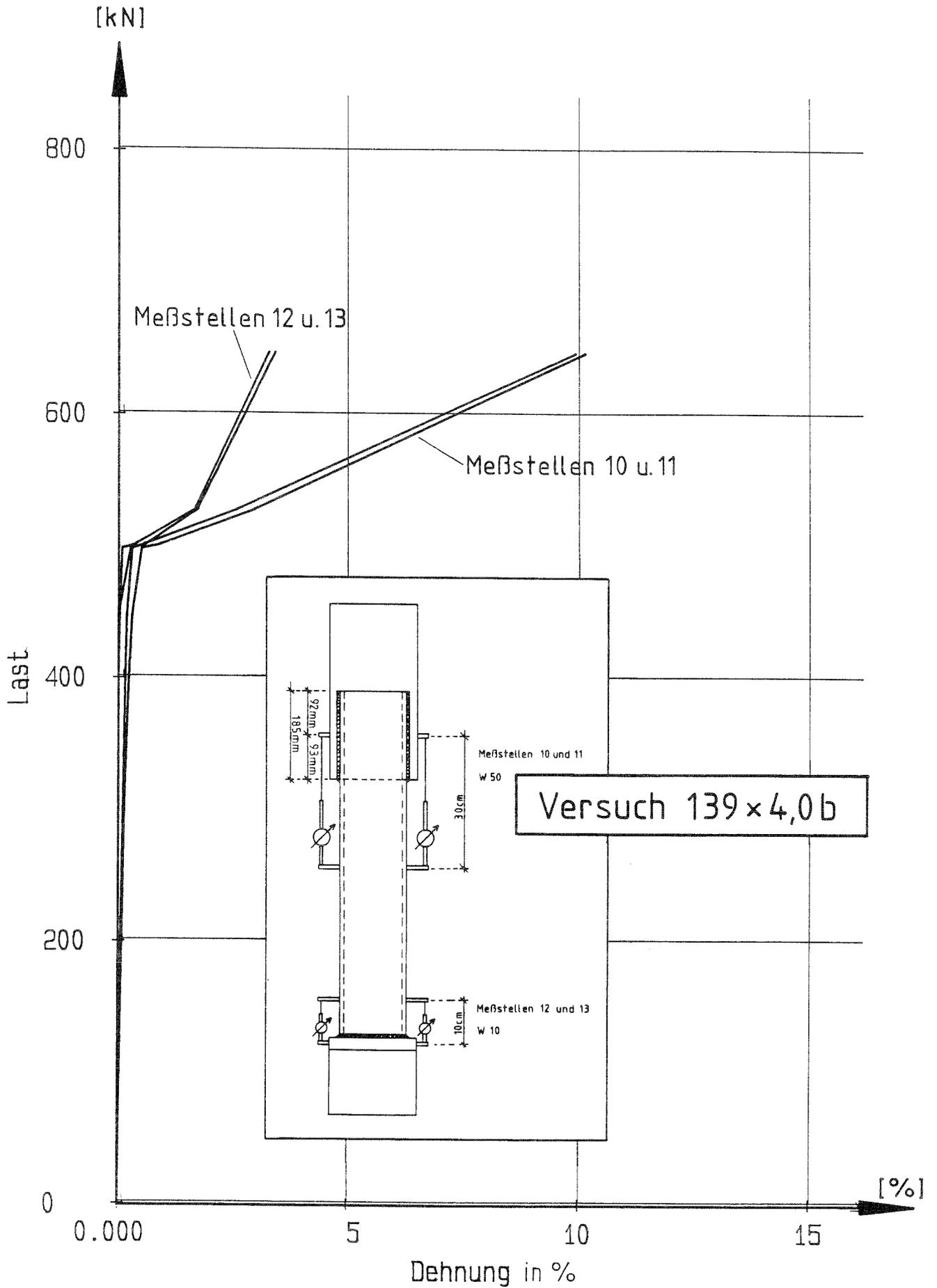
Meßstelle	10	□	Meßstelle	11	◇
Meßstelle	12	◁	Meßstelle	13	⊠

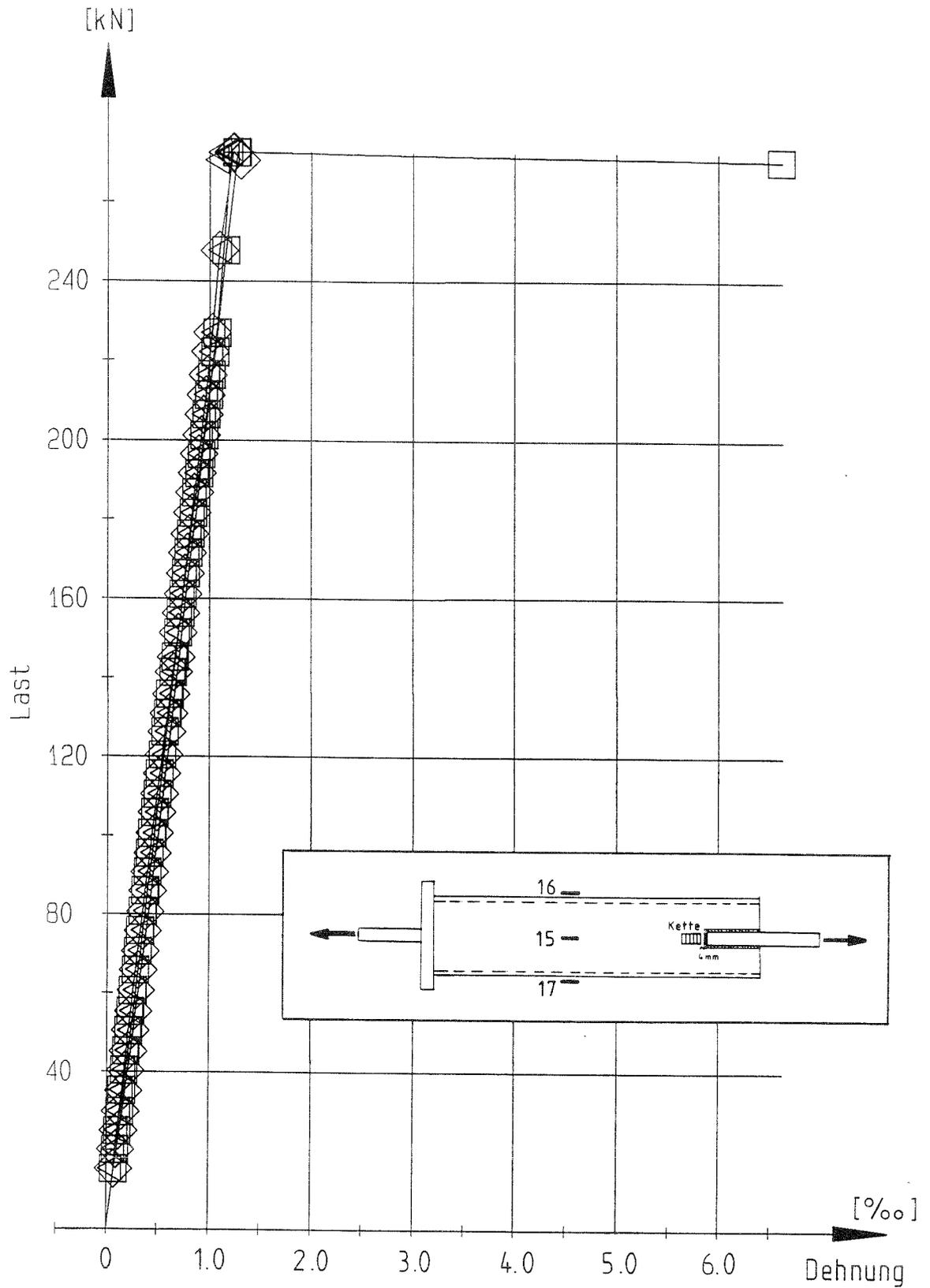


Versuch 139,7×4,0 b St37

Meßstelle 10	□	Meßstelle 11	◇
Meßstelle 12	◁	Meßstelle 13	◊





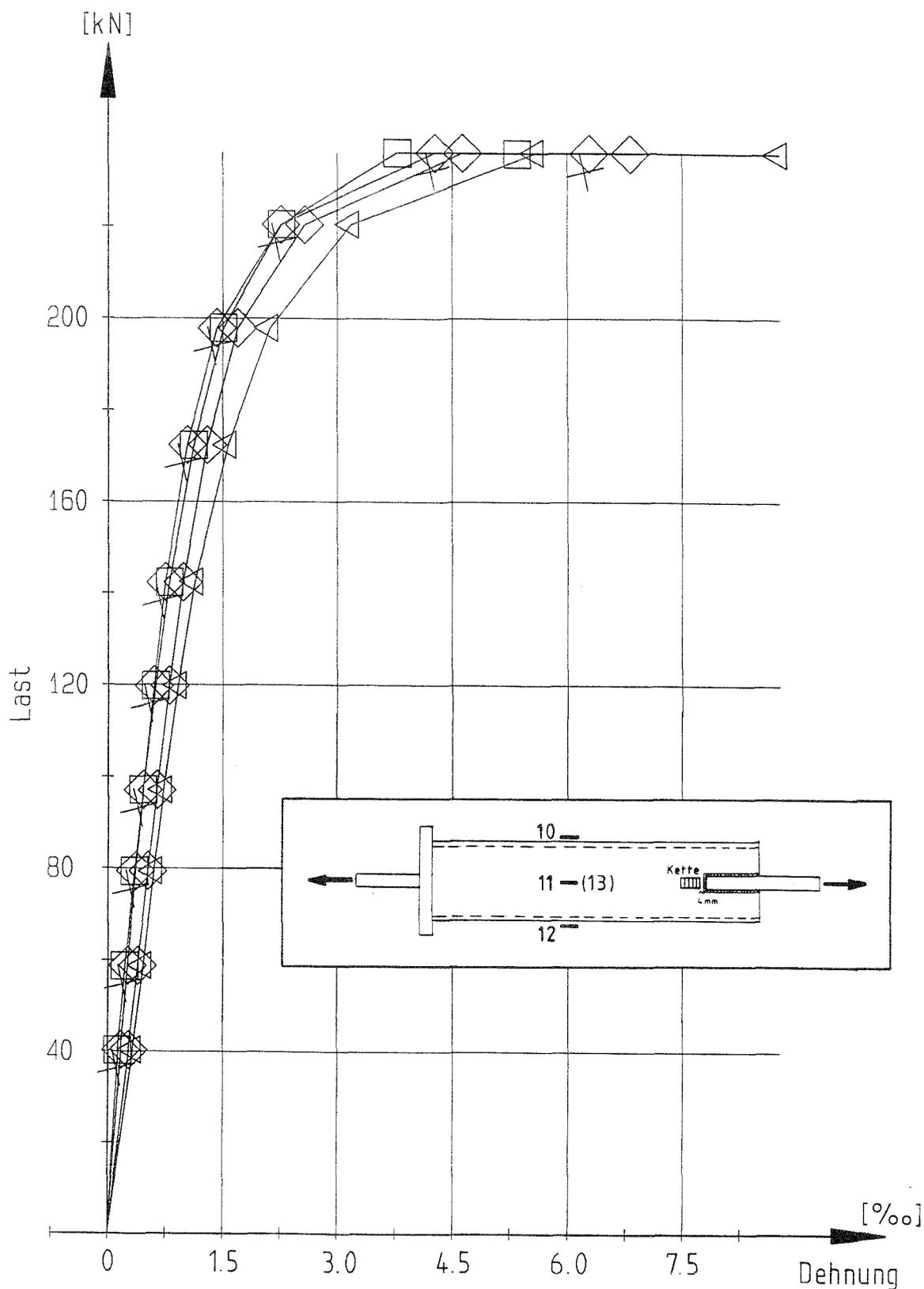


Versuch 82,5×4,0a St37

Meßstelle 15 □

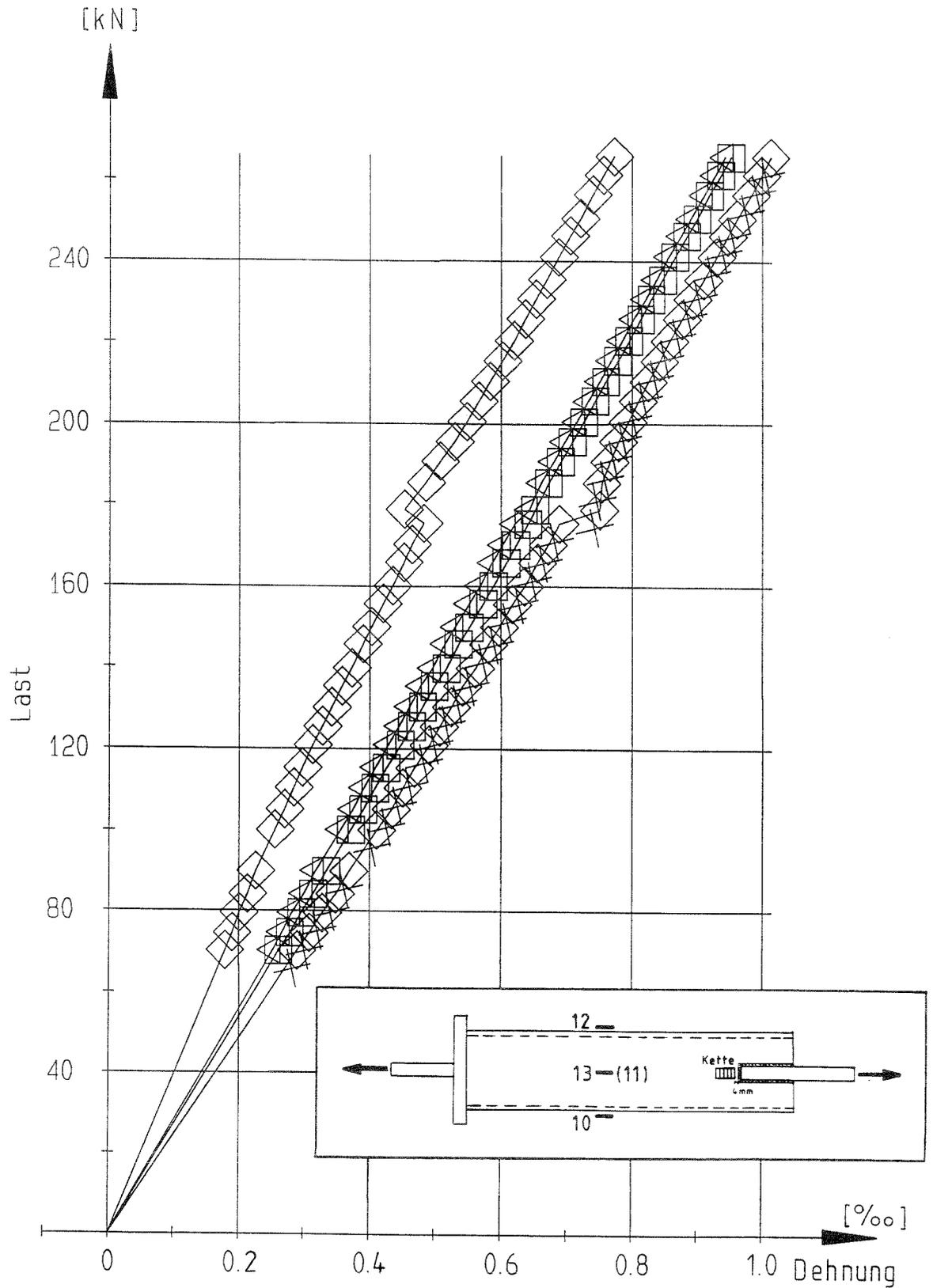
Meßstelle 16 ◇

Meßstelle 17 ◁



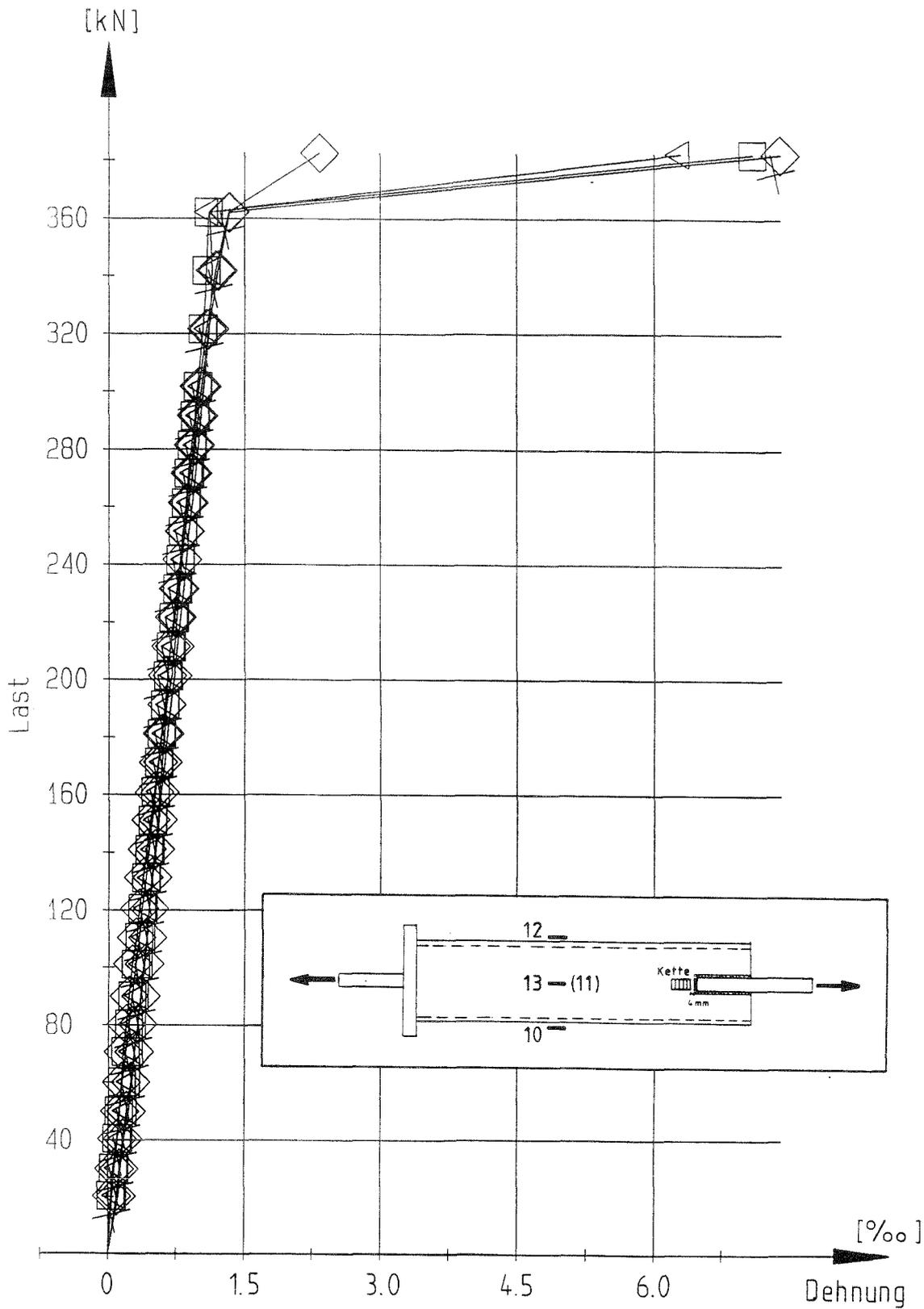
Versuch 101, 6x2, 9b St 37

Meßstelle	10	□	Meßstelle	11	◇
Meßstelle	12	◁	Meßstelle	13	◊



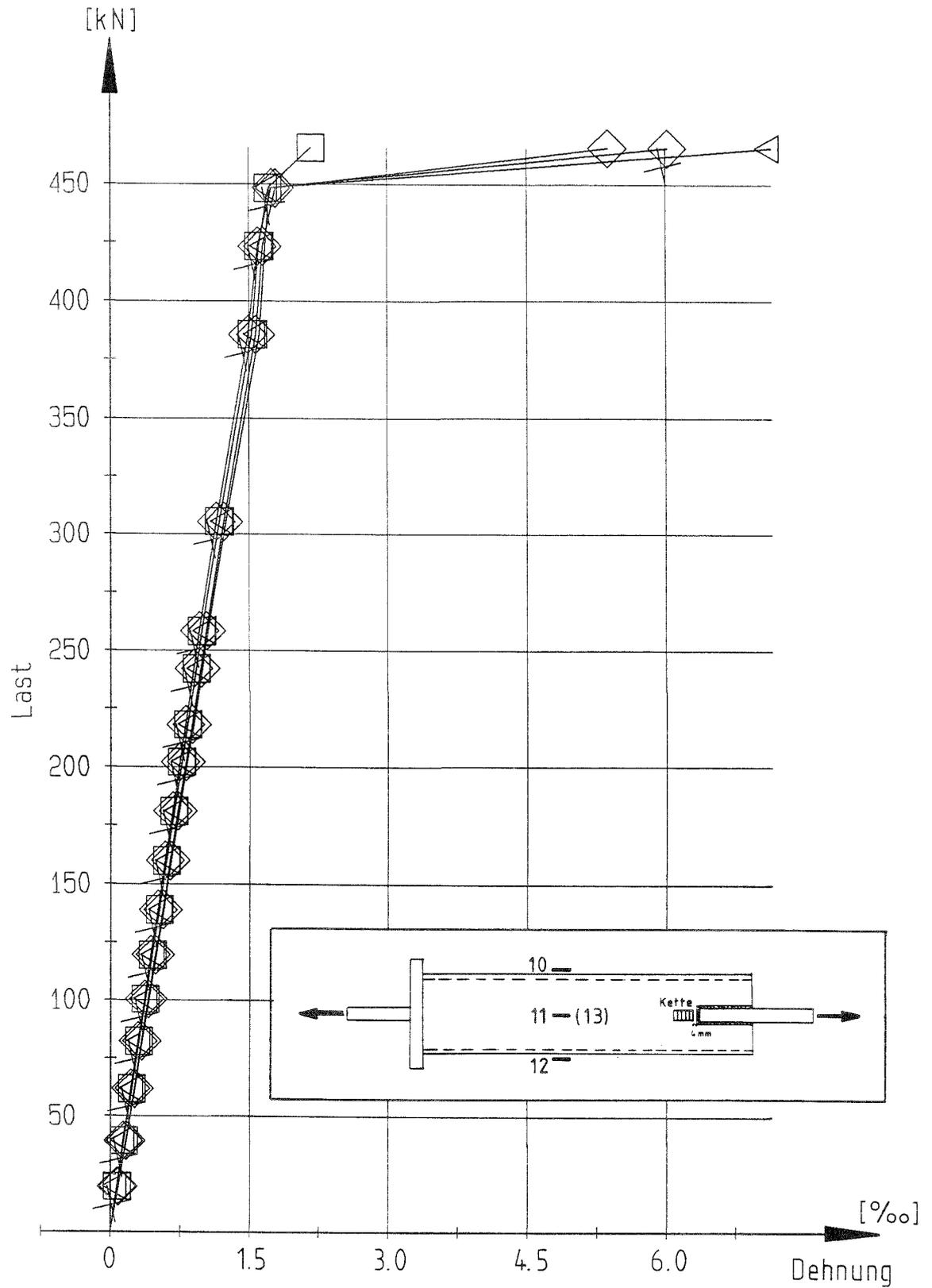
Versuch 101,6×4,0a St 37

Meßstelle	10	□	Meßstelle	11	◇
Meßstelle	12	◁	Meßstelle	13	◊



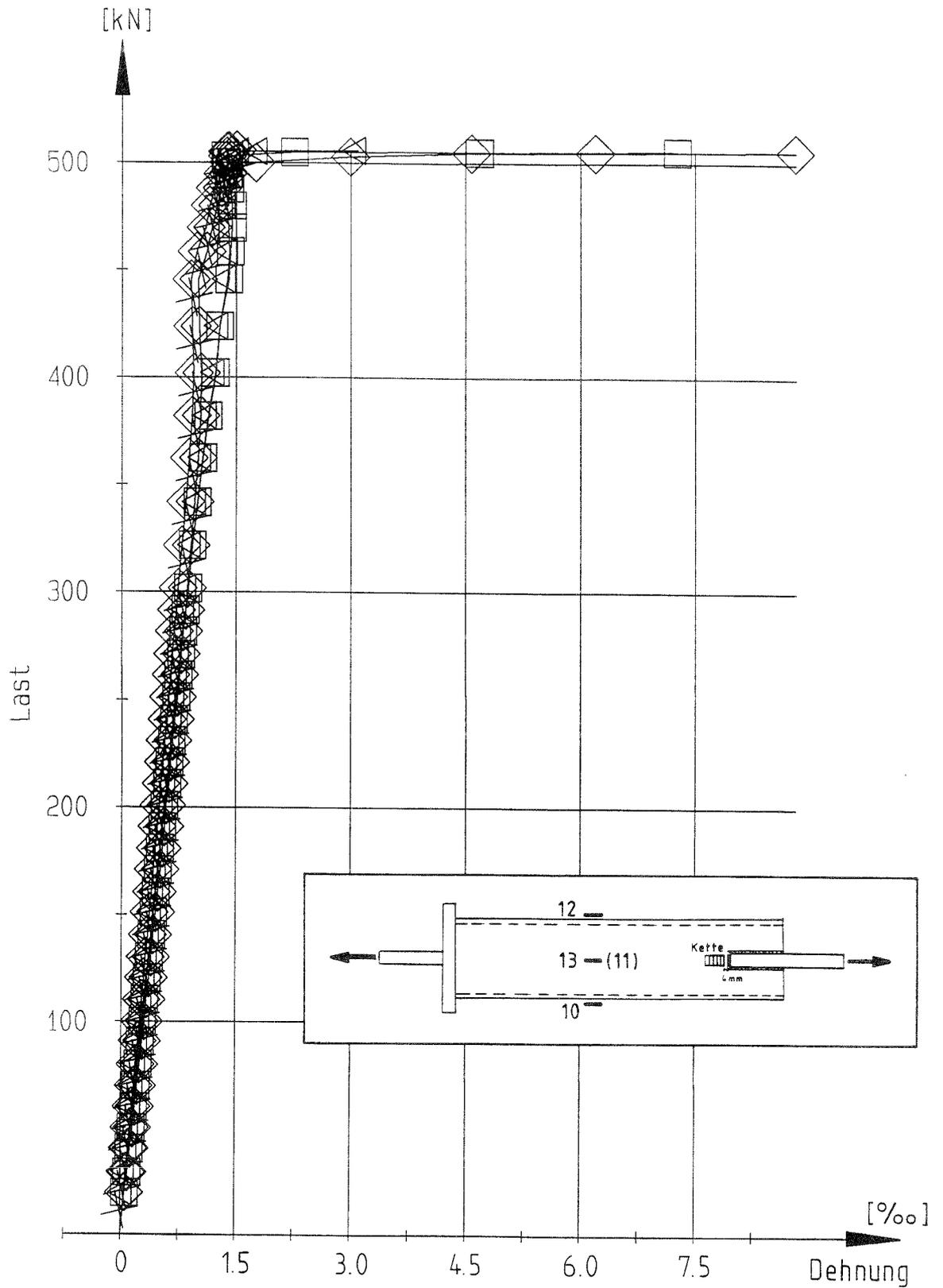
Versuch 101,6×4,0c St 37

Meßstelle	10	□	Meßstelle	11	◇
Meßstelle	12	◁	Meßstelle	13	◇ X



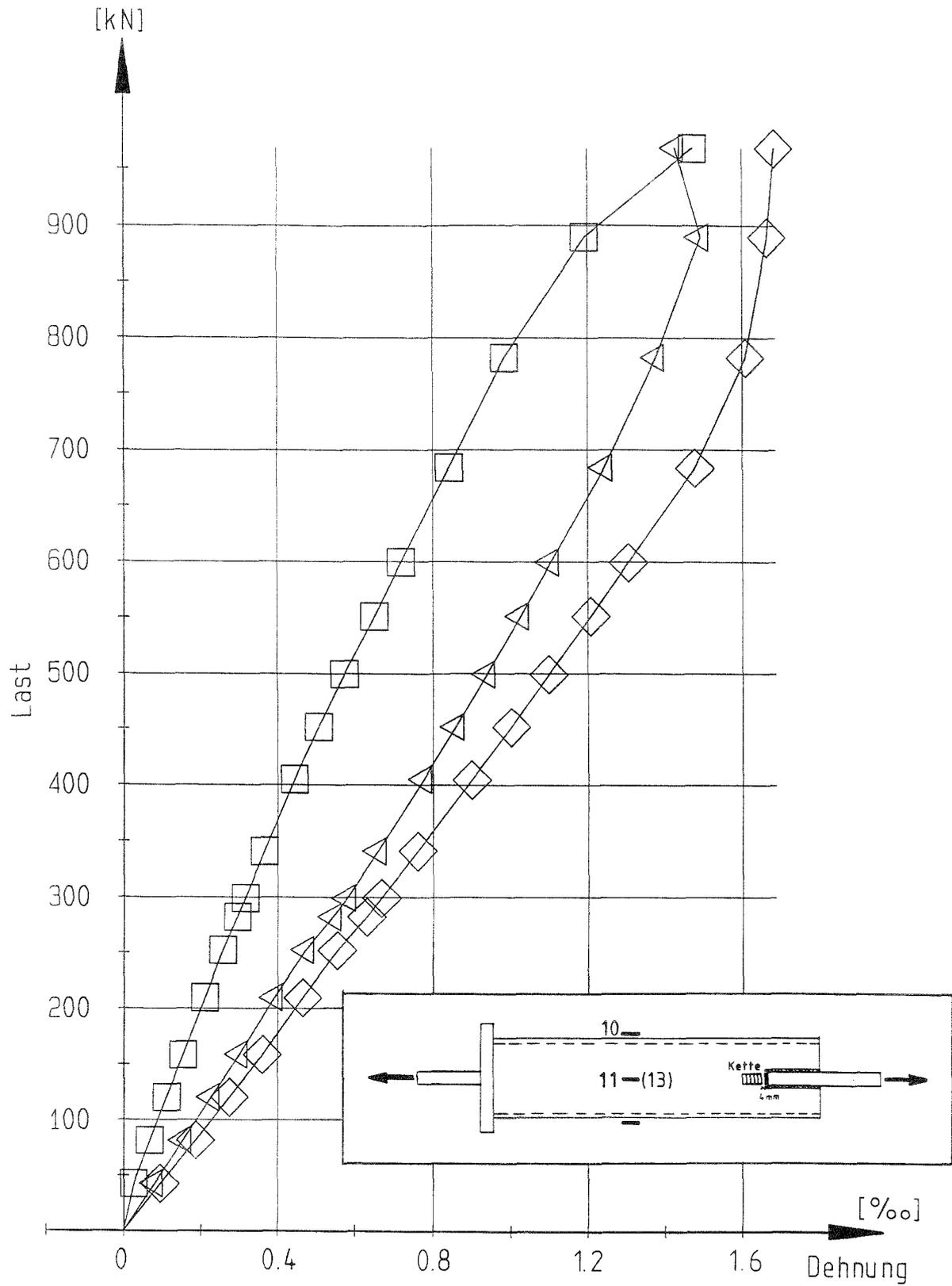
Versuch 101, 6*4, 0e St 52

Meßstelle 10	□	Meßstelle 11	◇
Meßstelle 12	◁	Meßstelle 13	◇



Versuch 139,7×4,0a St37

Meßstelle	10	□	Meßstelle	11	◇
Meßstelle	12	◁	Meßstelle	13	◁

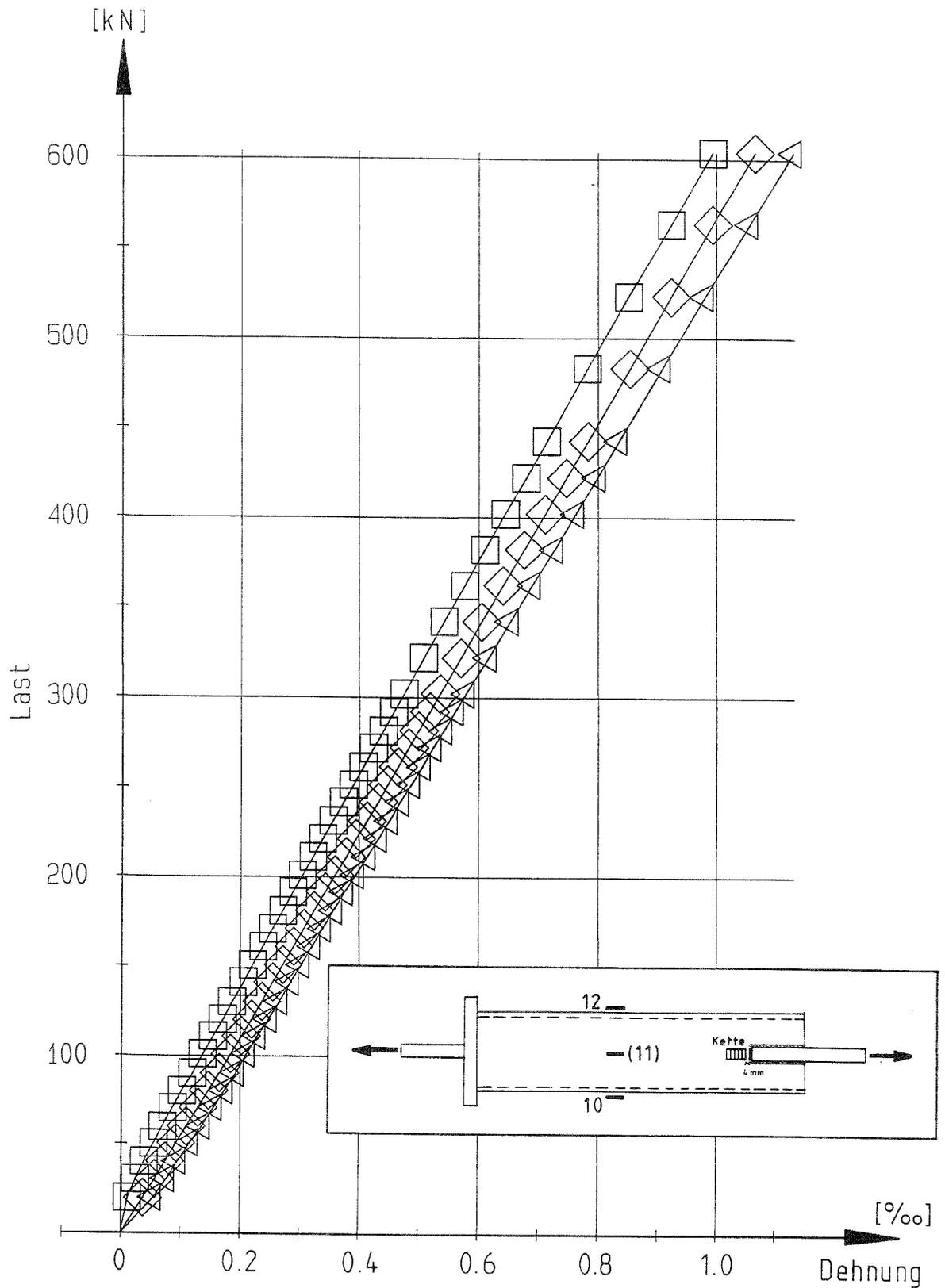


Versuch 193, 7×5, 0b St 37

Meßstelle 10 □

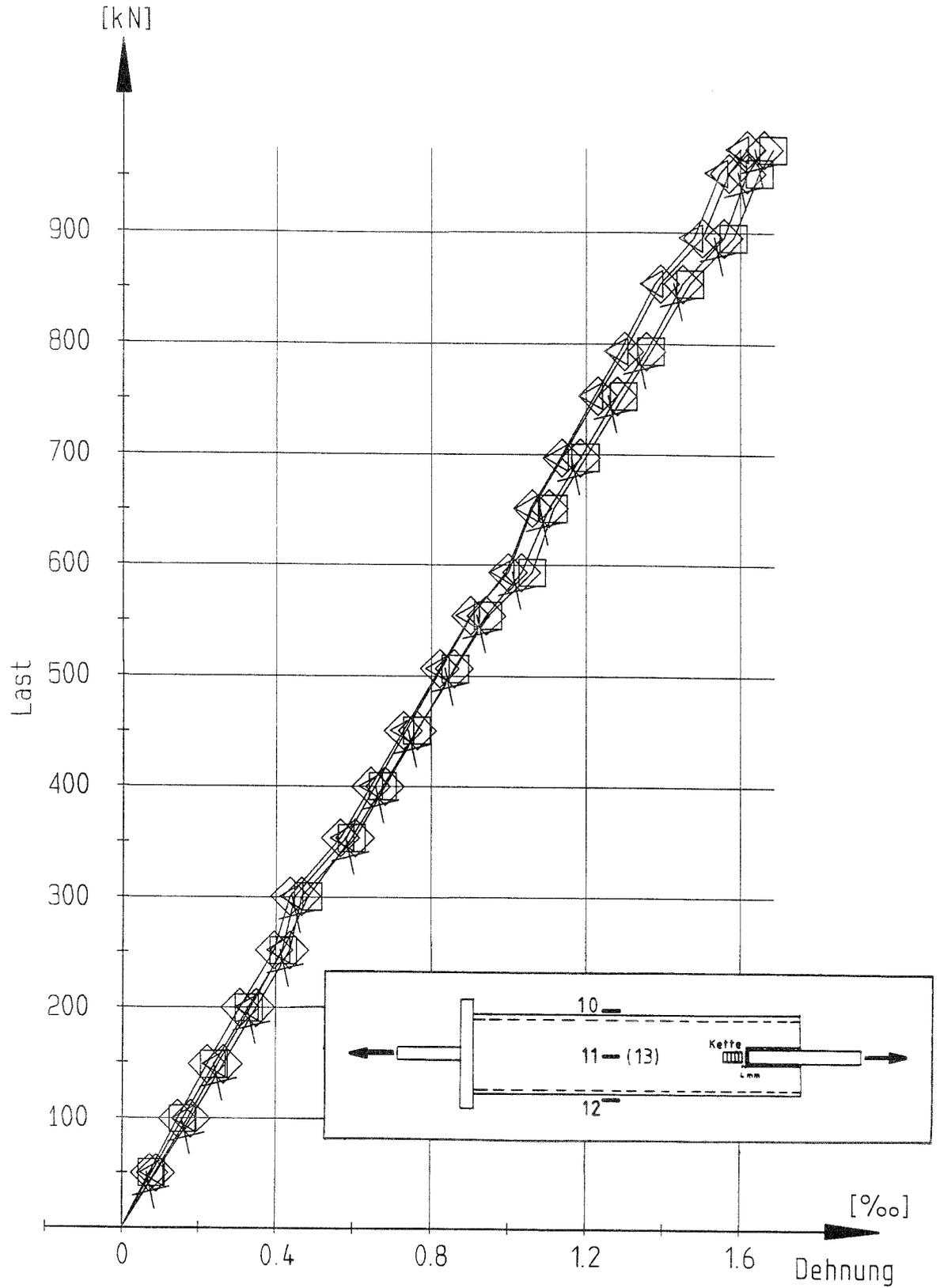
Meßstelle 11 ◇

Meßstelle 13 △



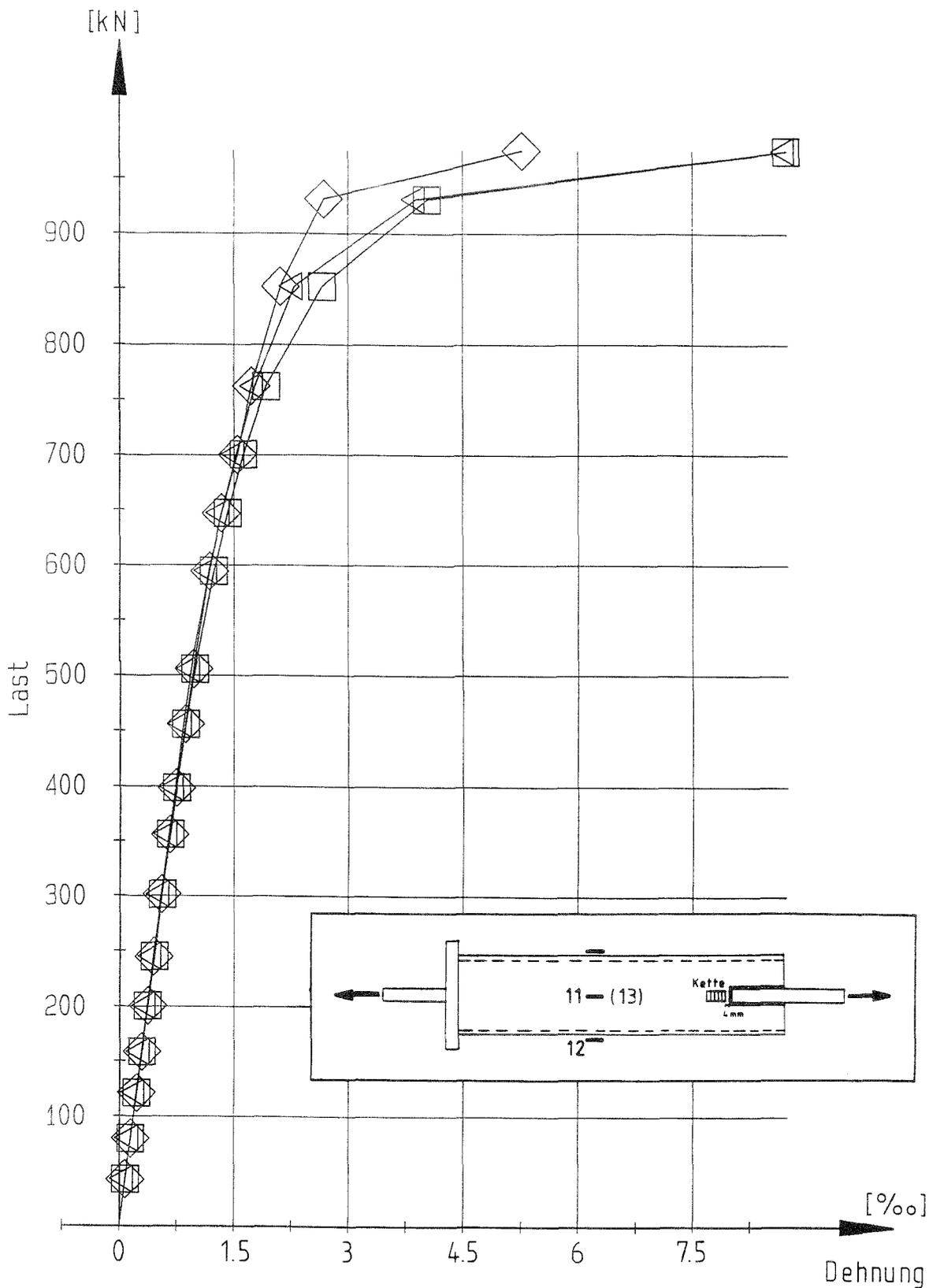
Versuch 100x100x8a St 37

Meßstelle 10 □ Meßstelle 11 ◇
 Meßstelle 12 △

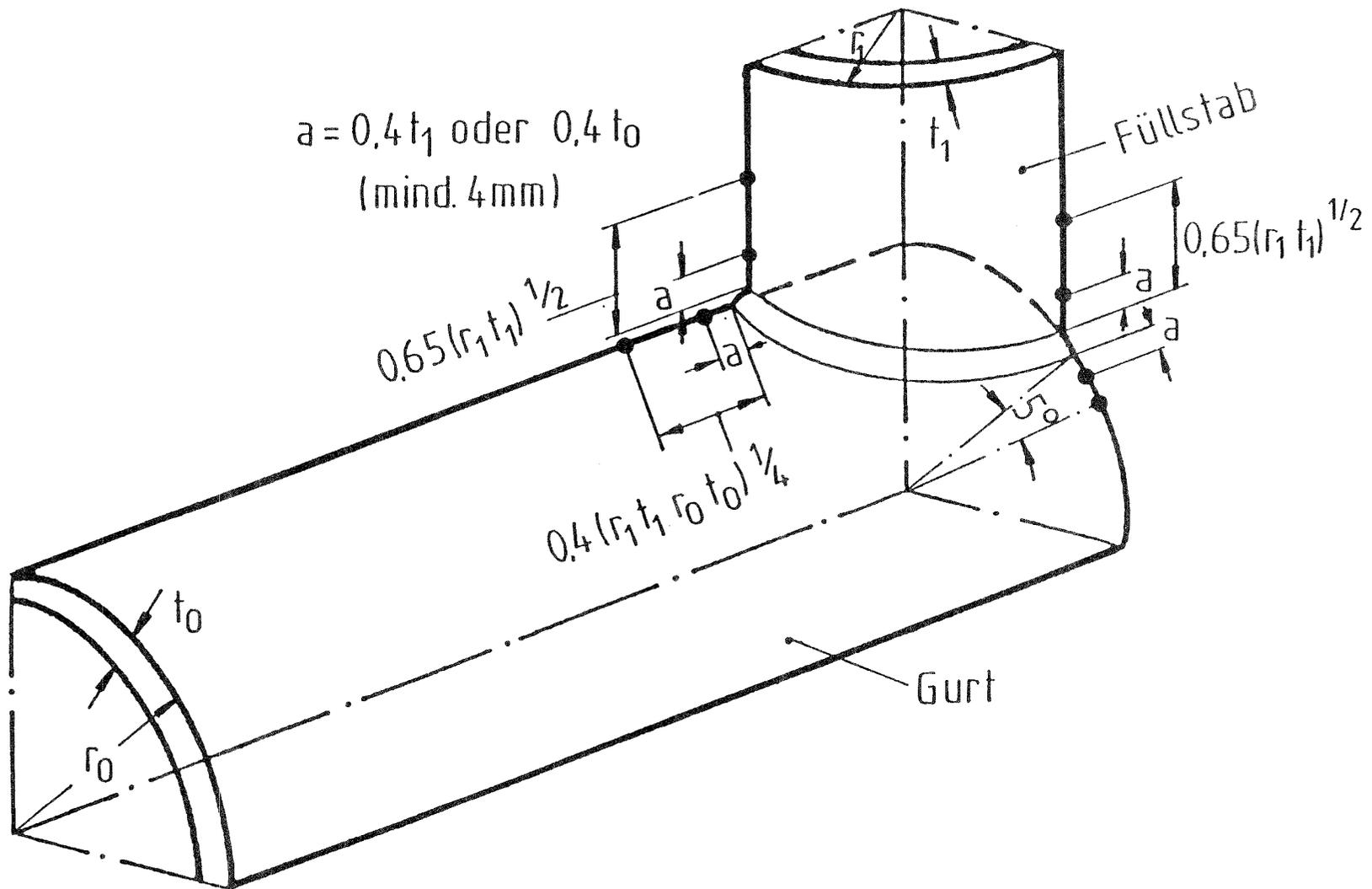


Versuch 100*100*8c St 52

Meßstelle 10	□	Meßstelle 11	◇
Meßstelle 12	◁	Meßstelle 13	◊

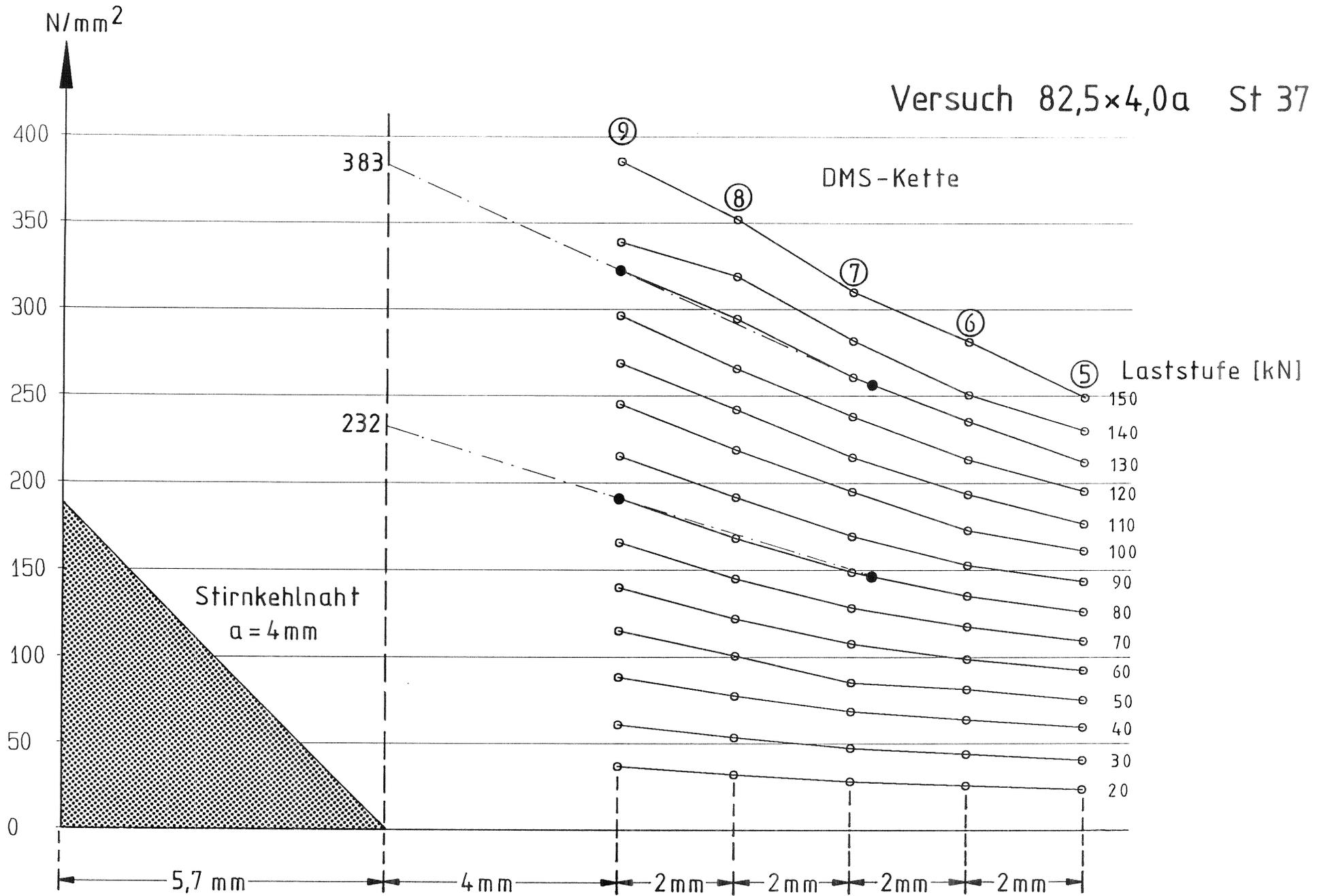


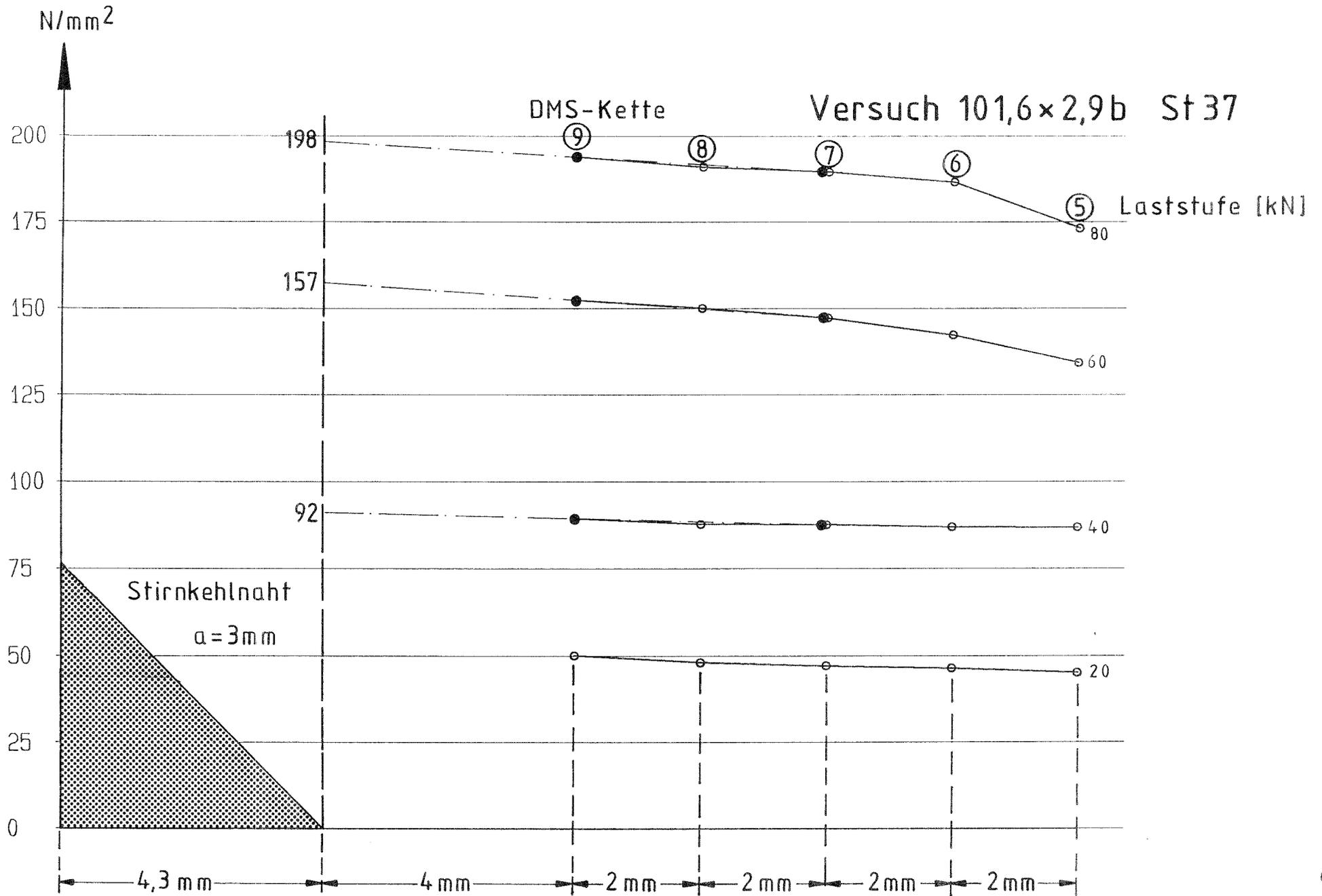
Versuch	140x140x5a	St 37	
Meßstelle	11 □	Meßstelle	12 ◇
Meßstelle	13 ◁		



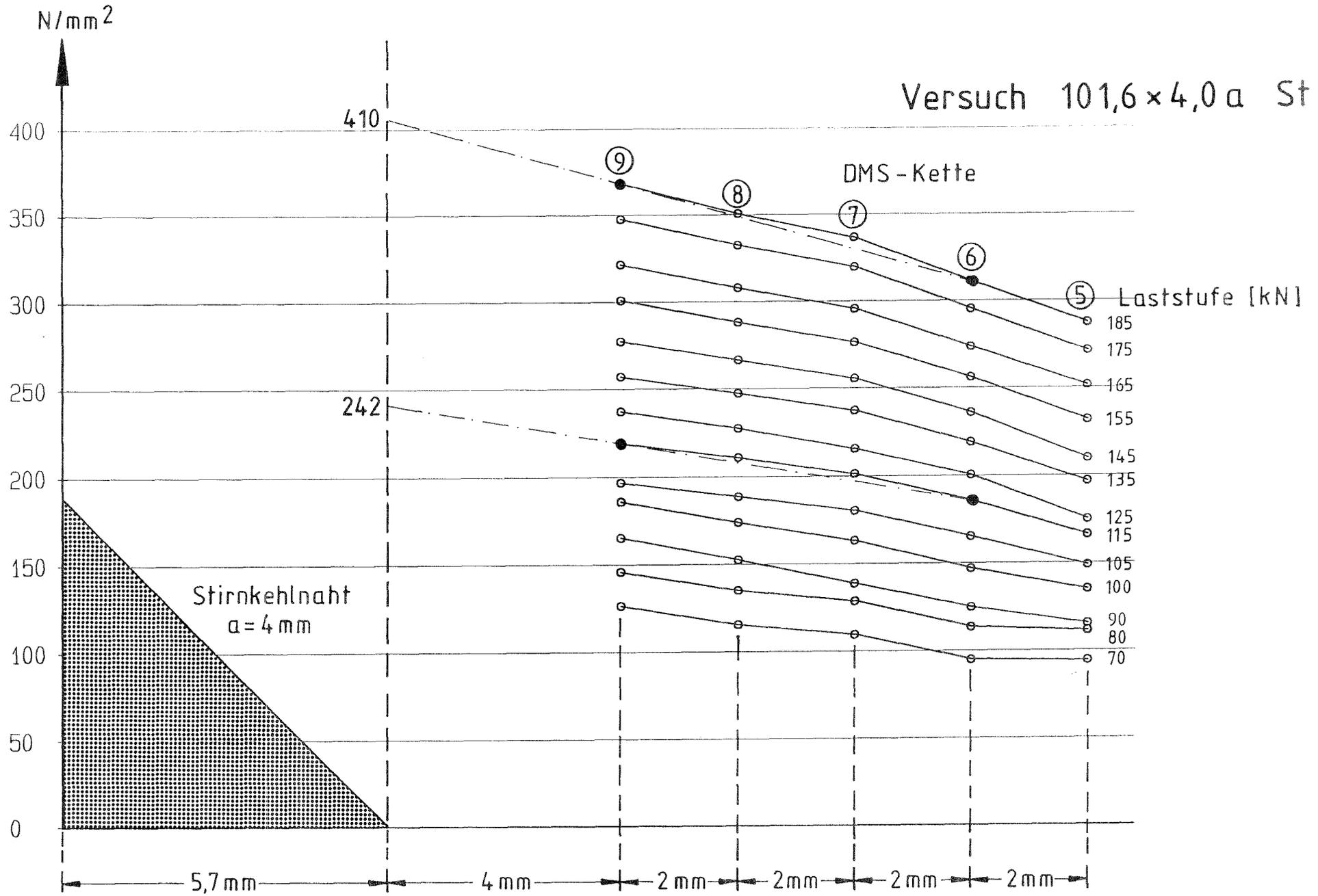
Lage der zur Extrapolation benötigten Punkte bei Rundhohlprofilen

Versuch 82,5×4,0a St 37

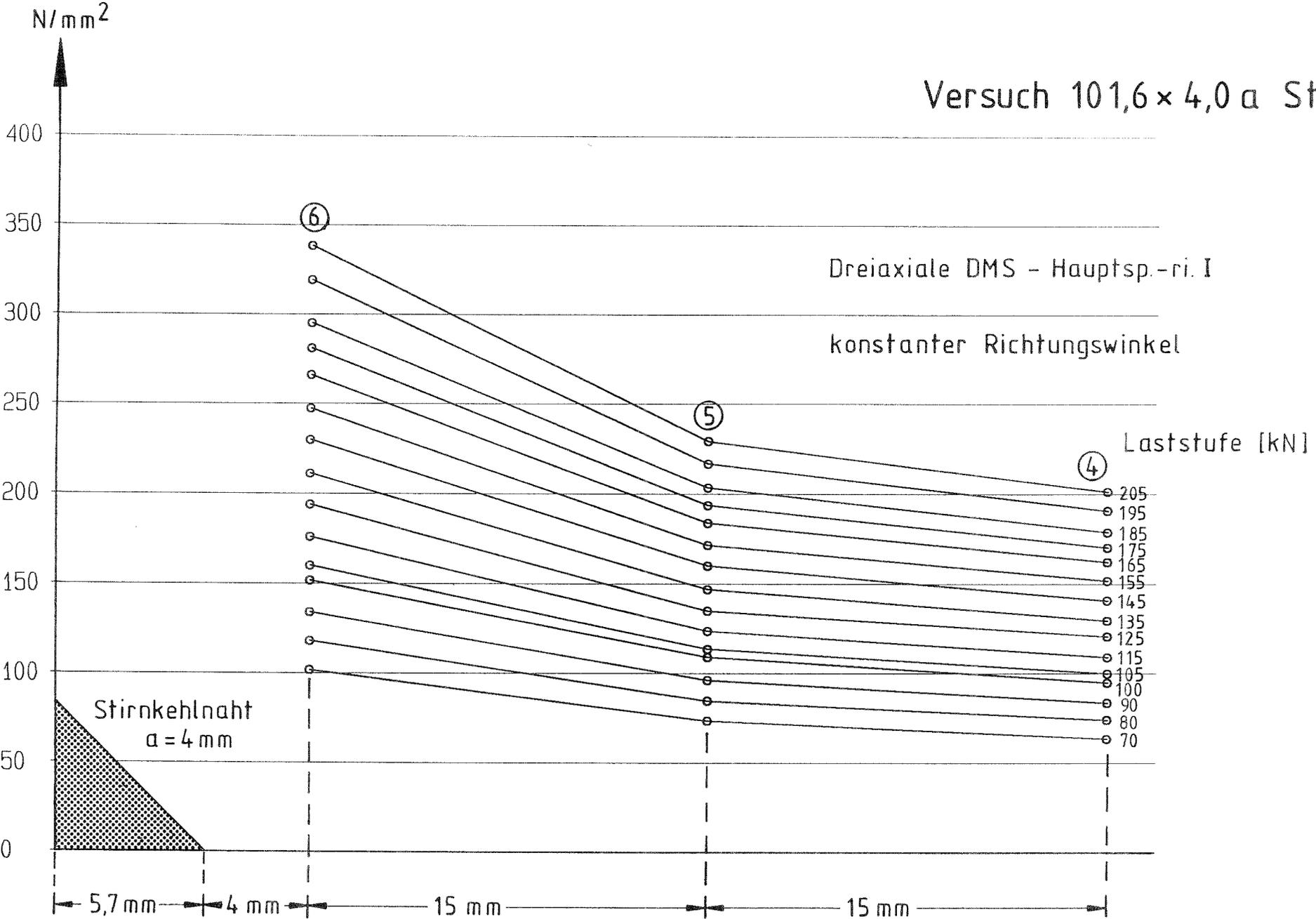




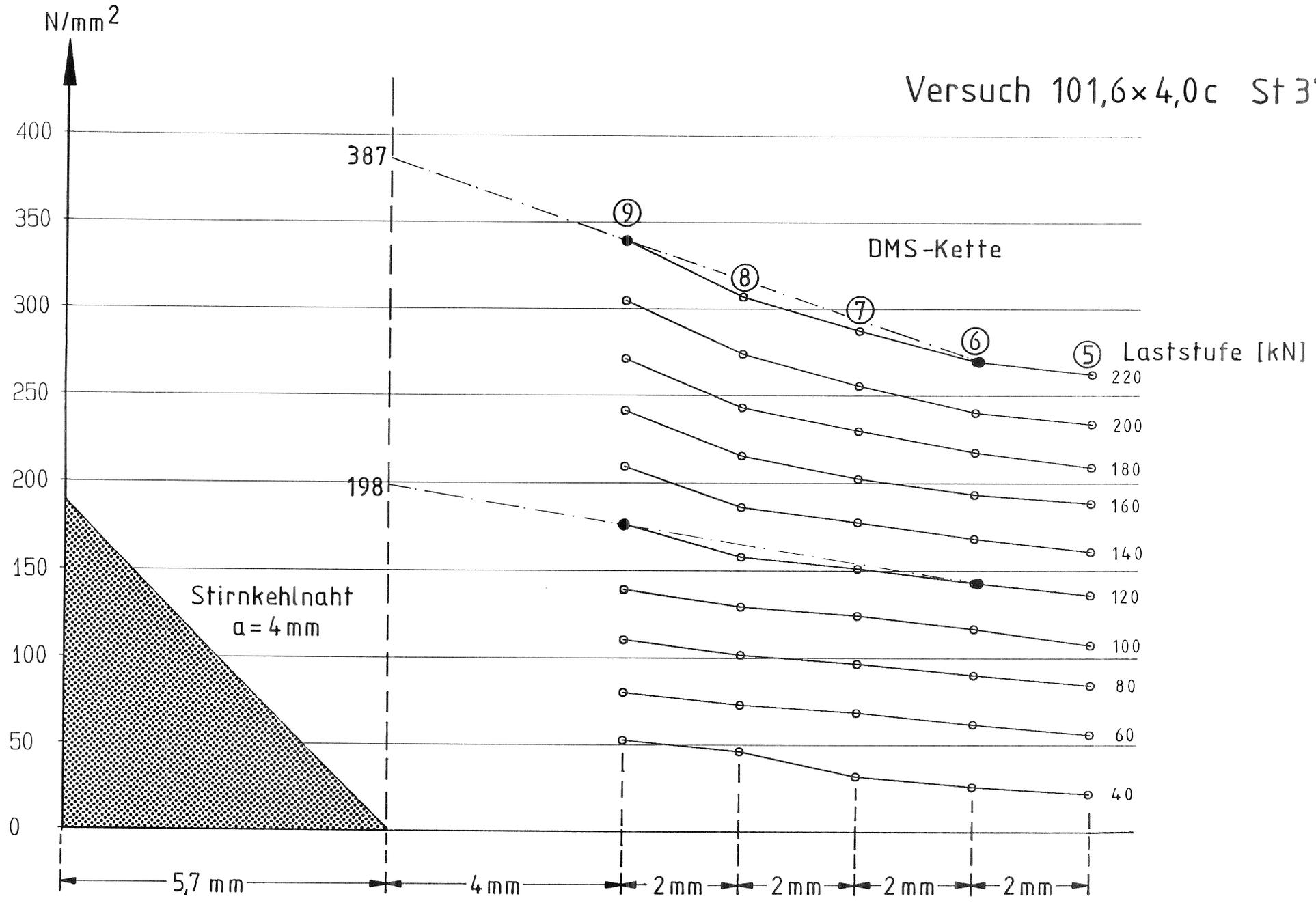
Versuch 101,6 × 4,0 a St 37



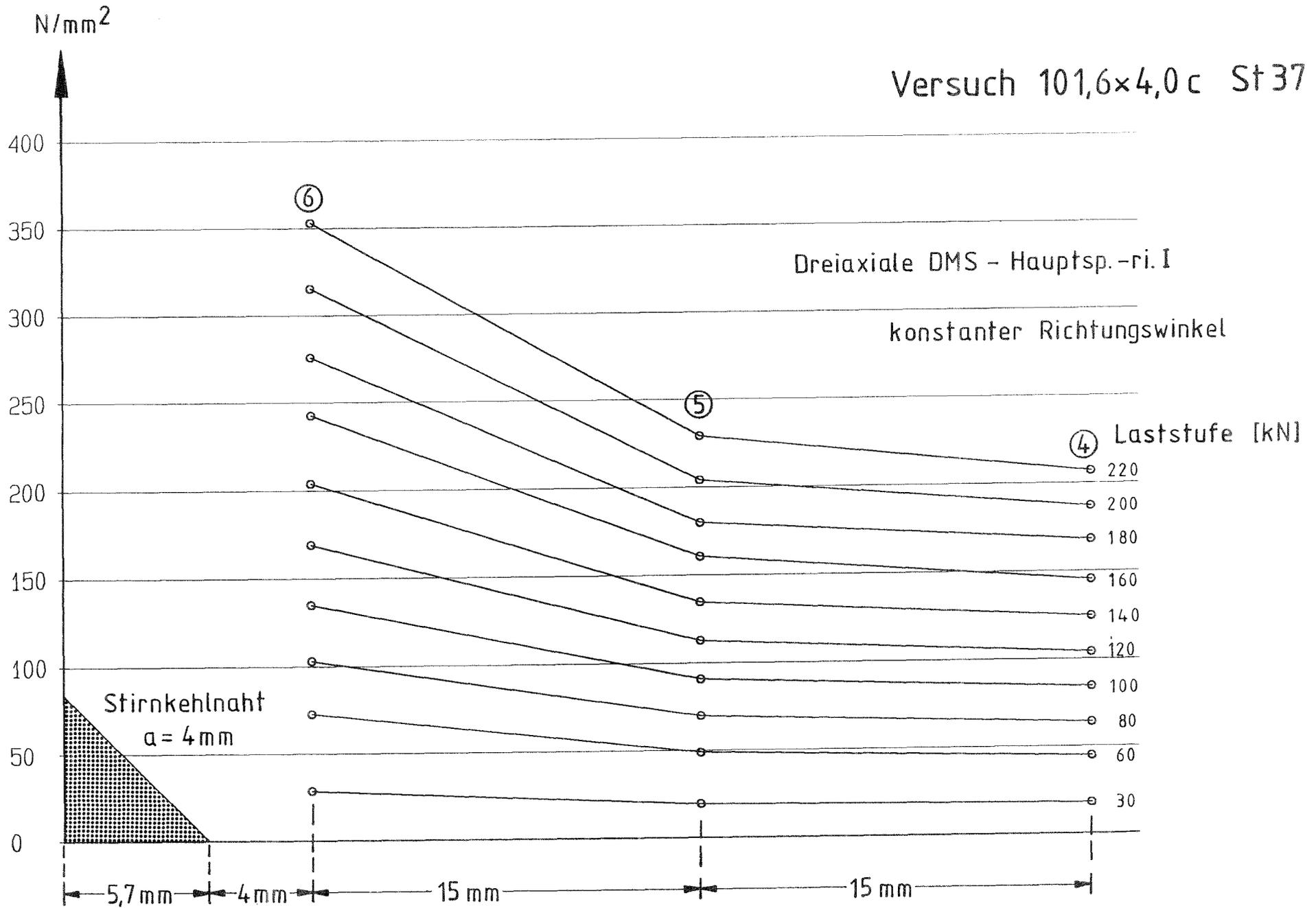
Versuch 101,6 x 4,0 a St37

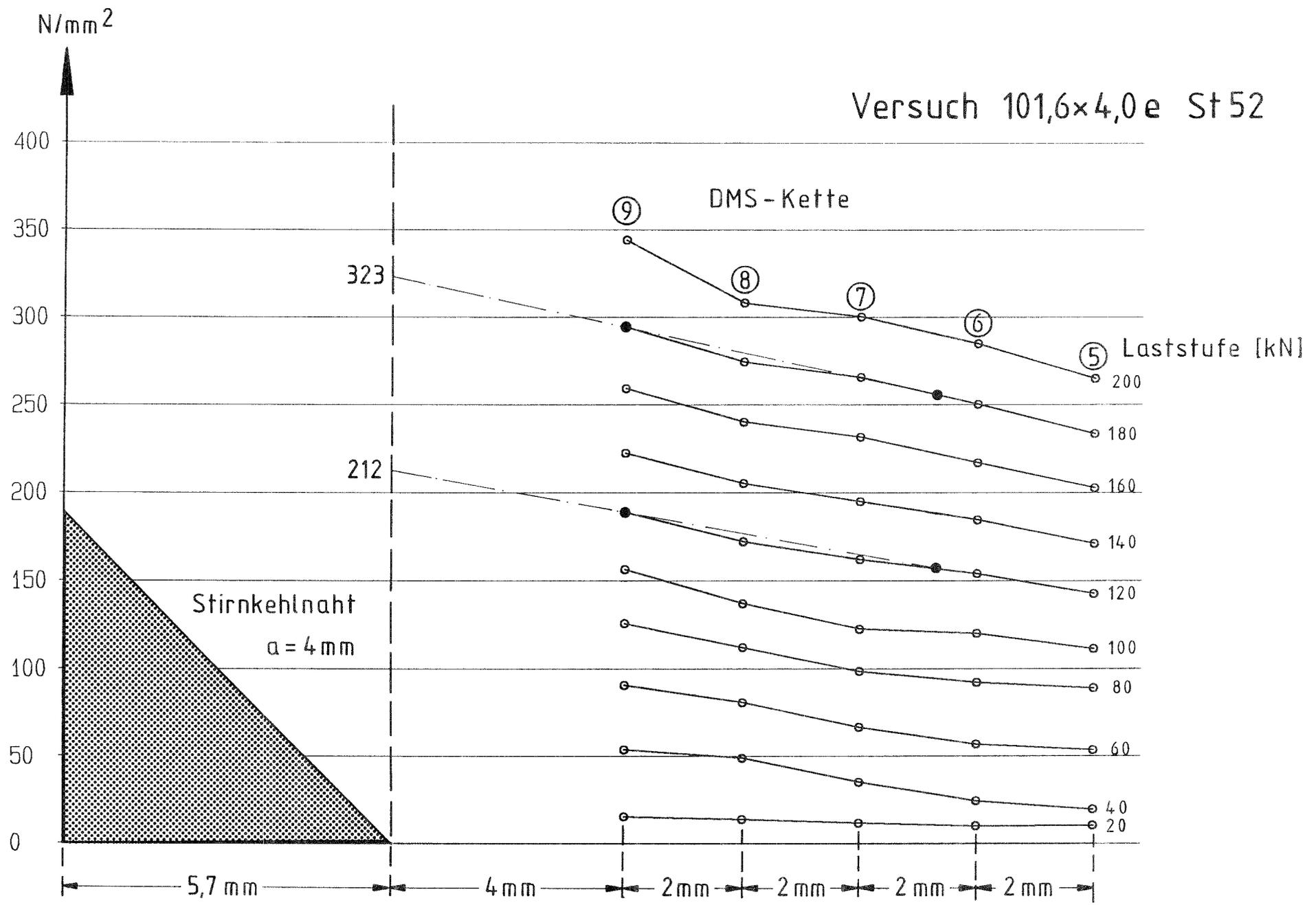


Versuch 101,6×4,0c St 37

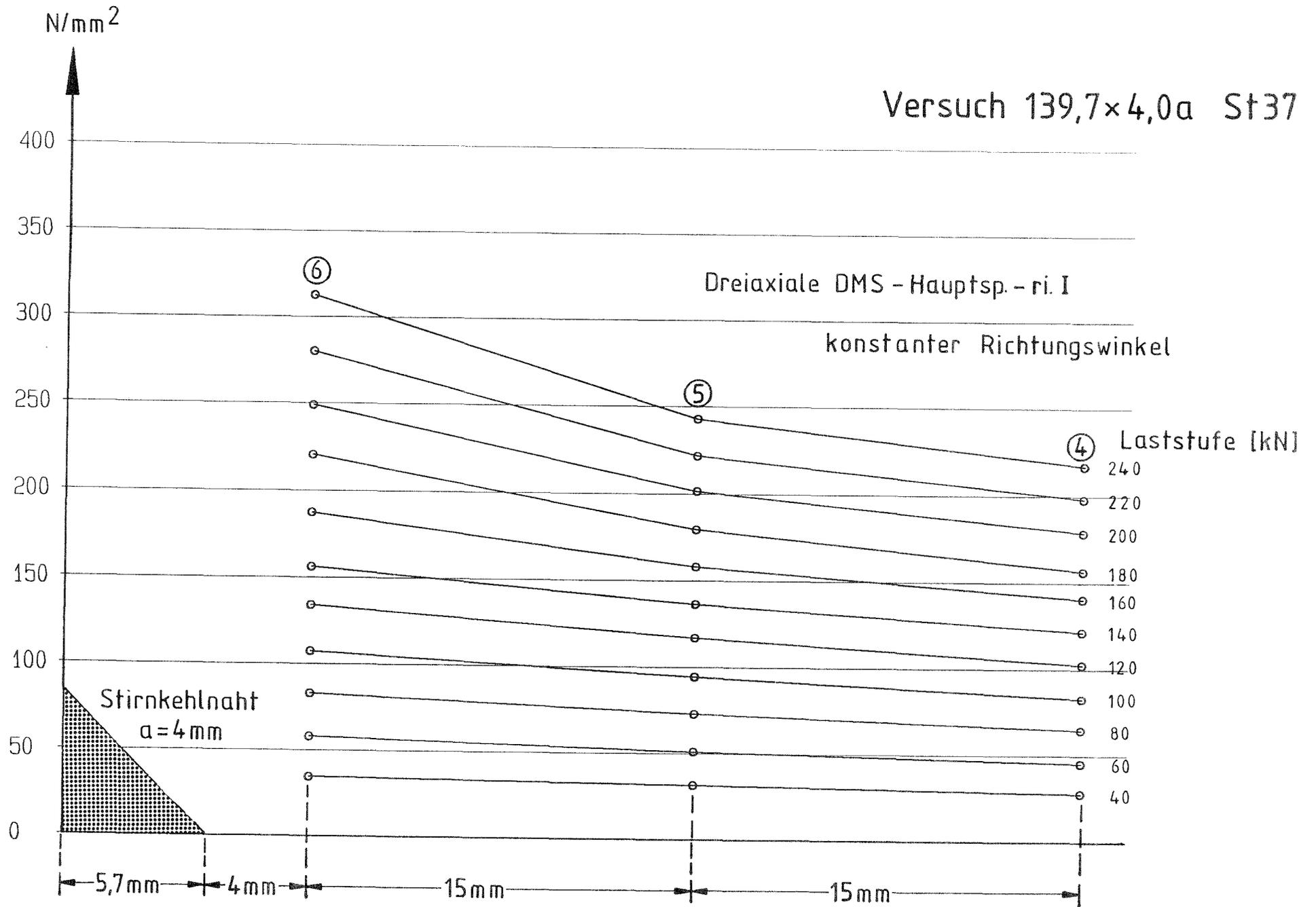


Versuch 101,6×4,0 c St37

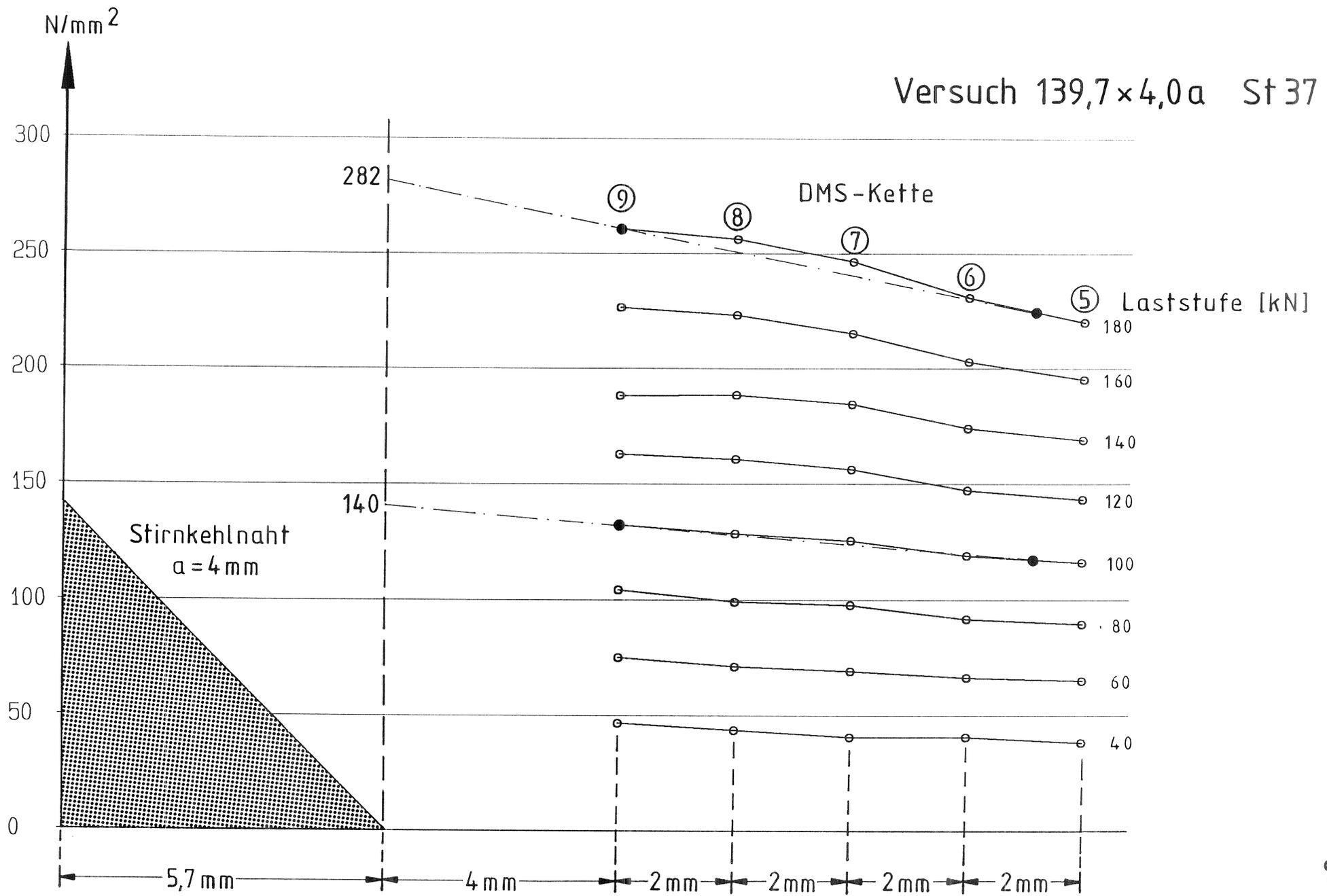




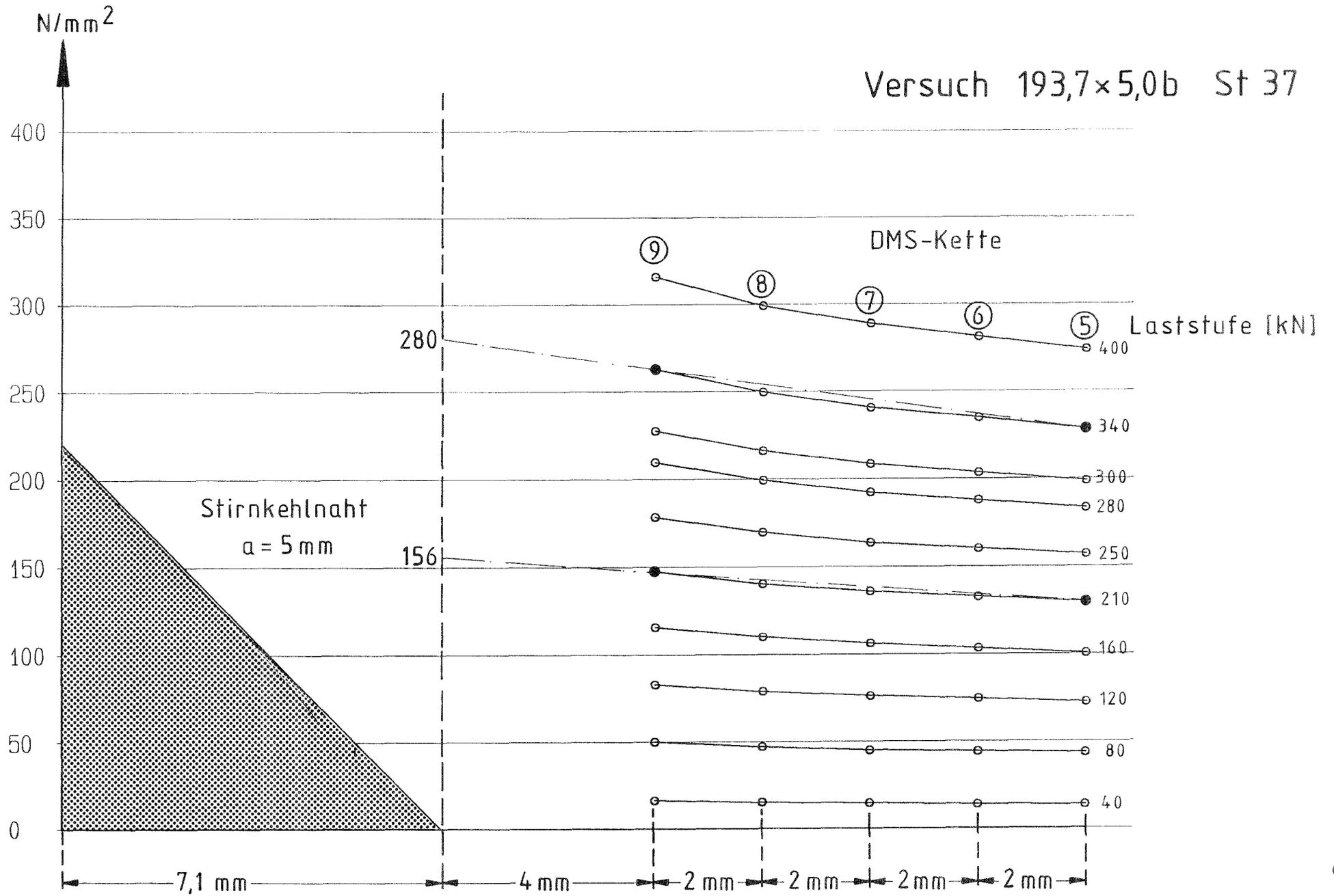
Versuch 139,7×4,0a St37

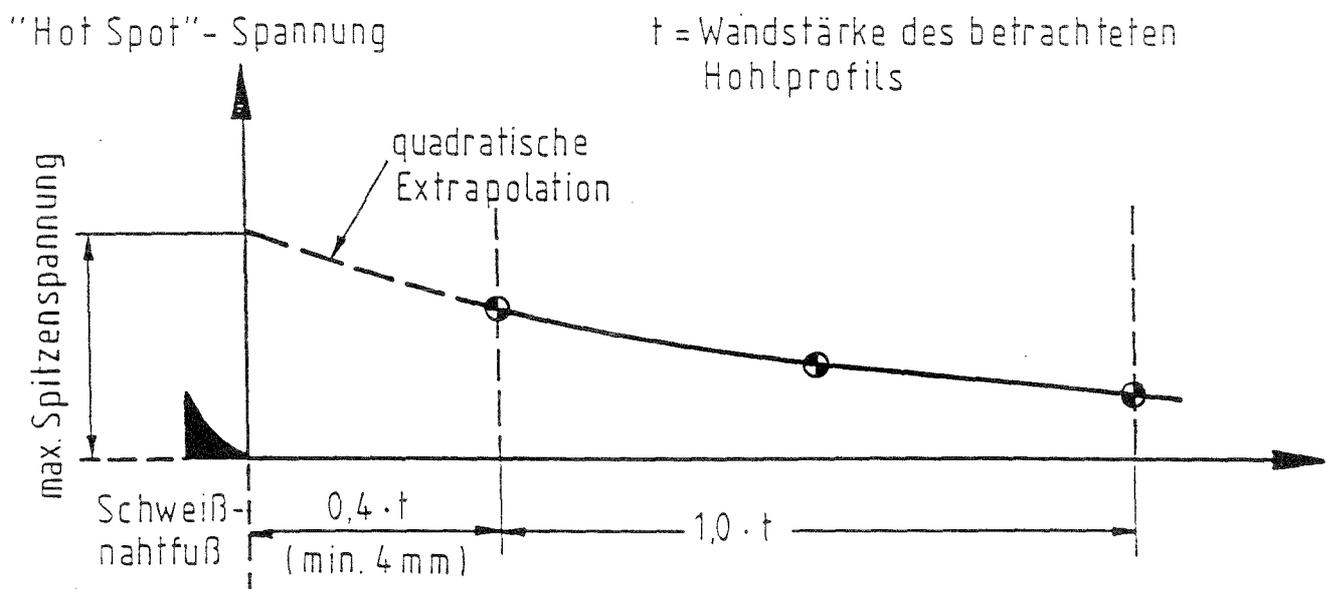


Versuch 139,7×4,0a St 37



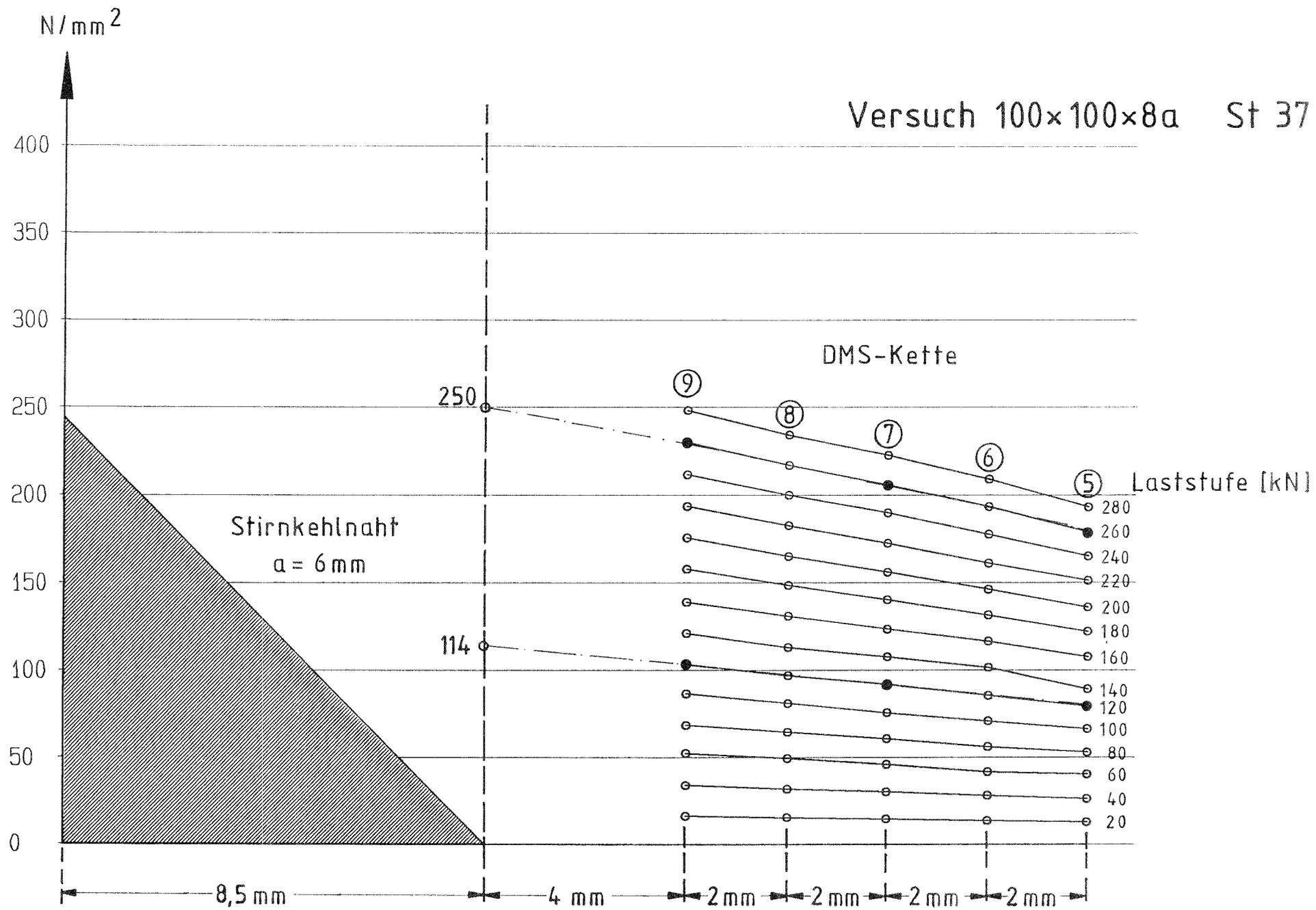
Versuch 193,7×5,0b St 37



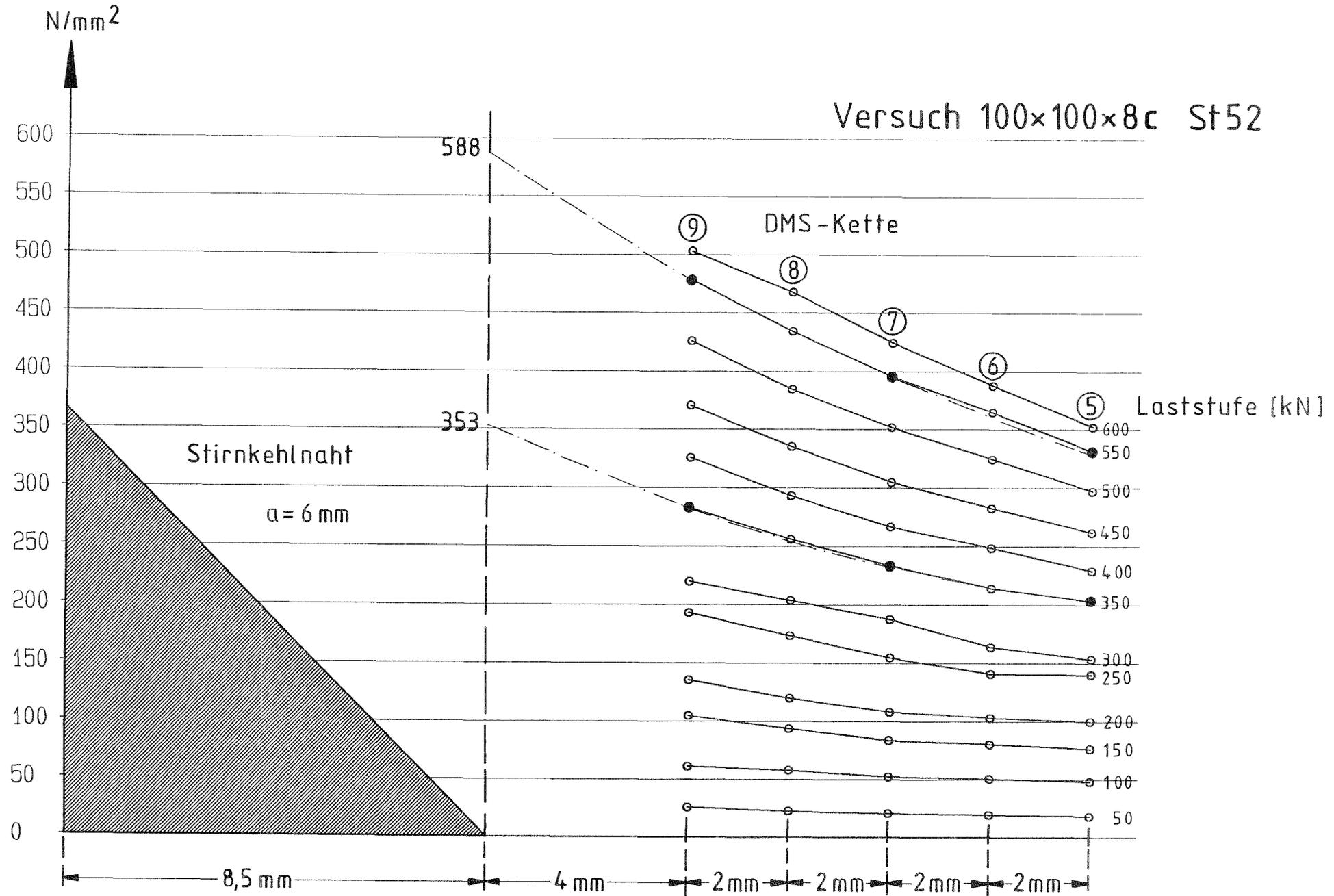


Extrapolationsmethode bei Verbindungen aus quadratischen Hohlprofilen

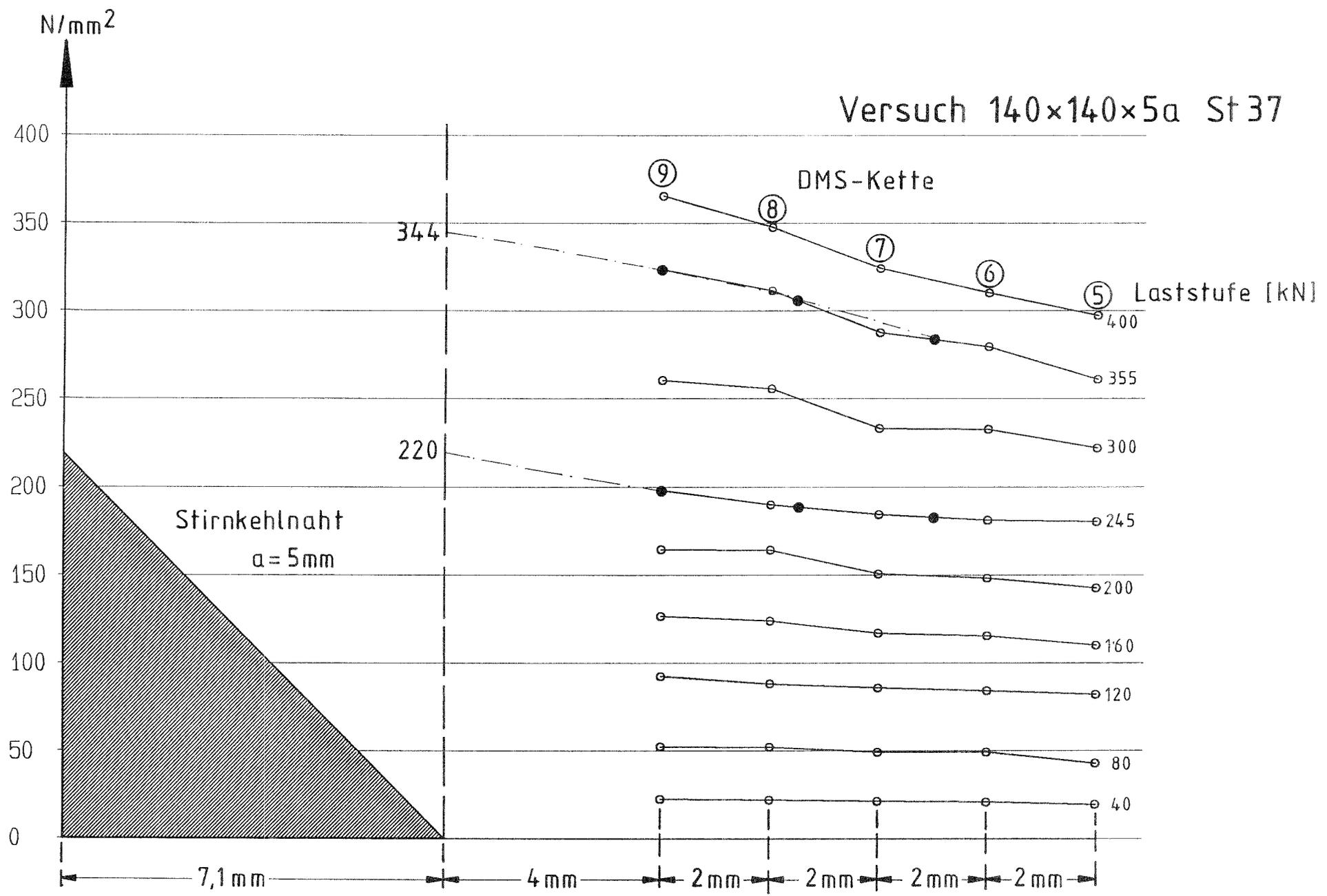
- ⊕ Lage der zur Extrapolation benötigten Punkte
(Zwischenpunkt möglichst in der Mitte)



Versuch 100x100x8c St52



Versuch 140x140x5a St37



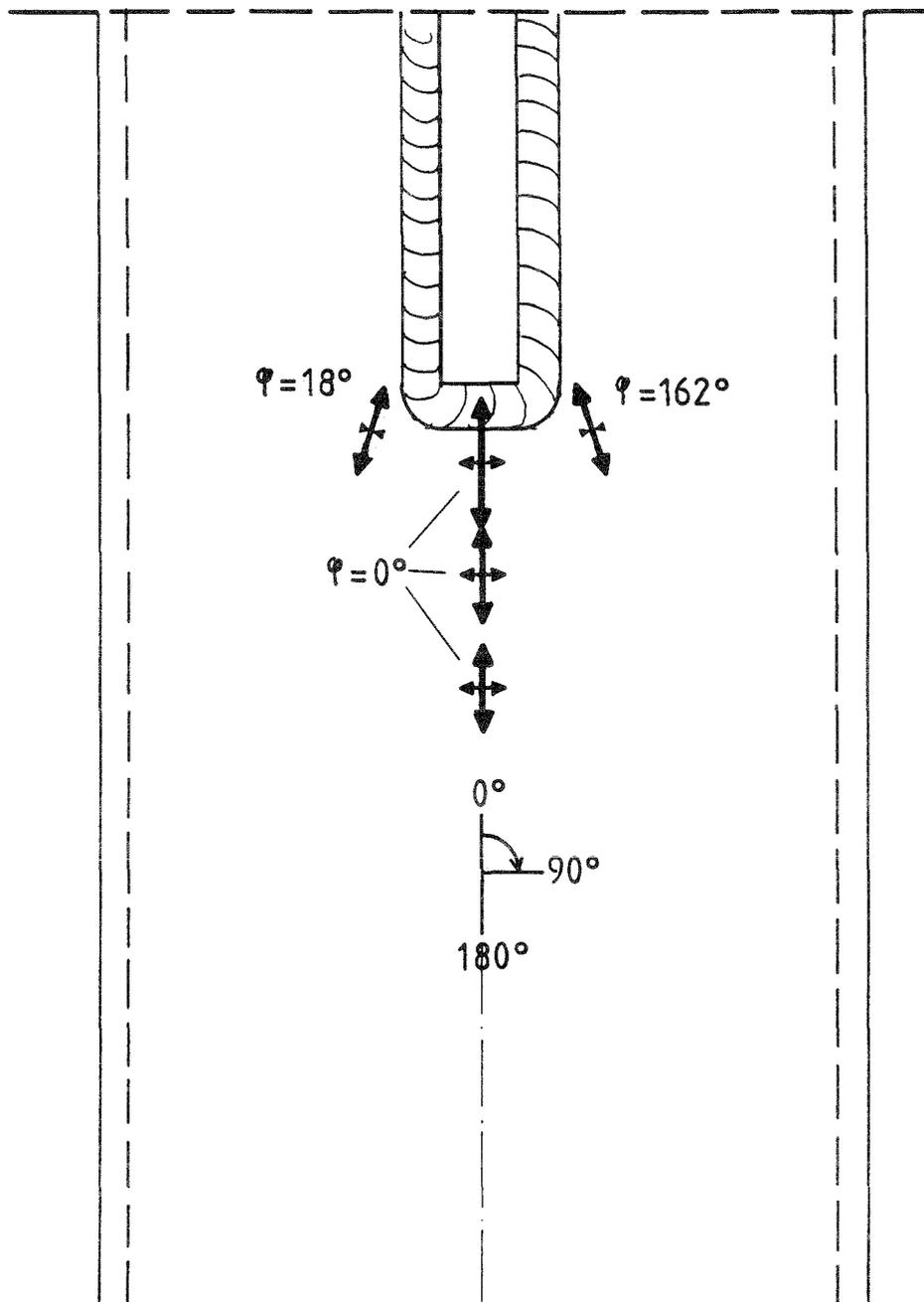
Versuch 101,6×4,0 a St 37

Hauptspannungstrajektorien

an den Meßstellen der dreiaxialen DMS

Laststufe 150 kN

konstanter Richtungswinkel bei allen Laststufen



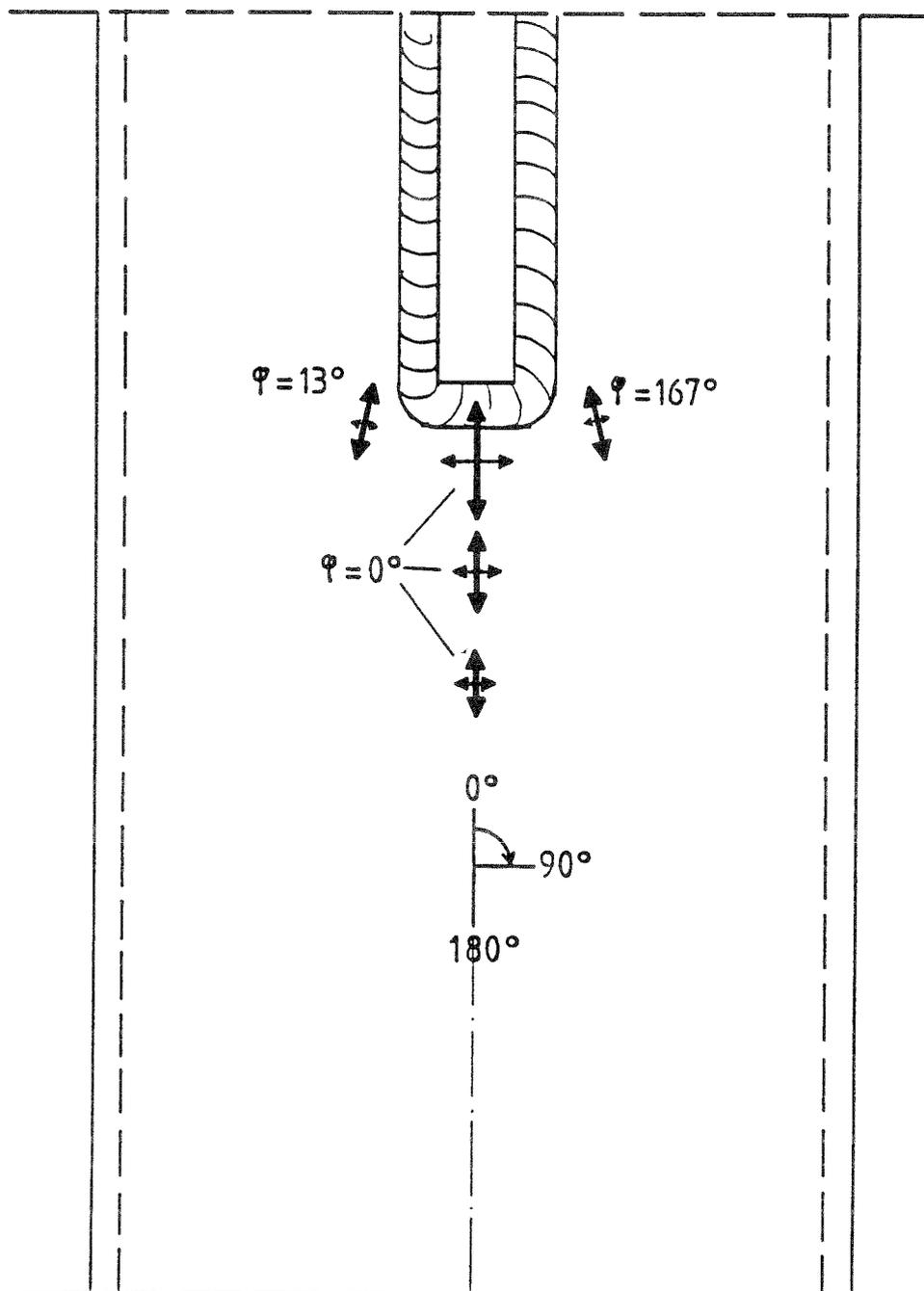
Versuch 101,6×4,0c St37

Hauptspannungstrajektorien

an den Meßstellen der dreiaxialen DMS

Laststufe 150 kN

konstanter Richtungswinkel bei allen Laststufen



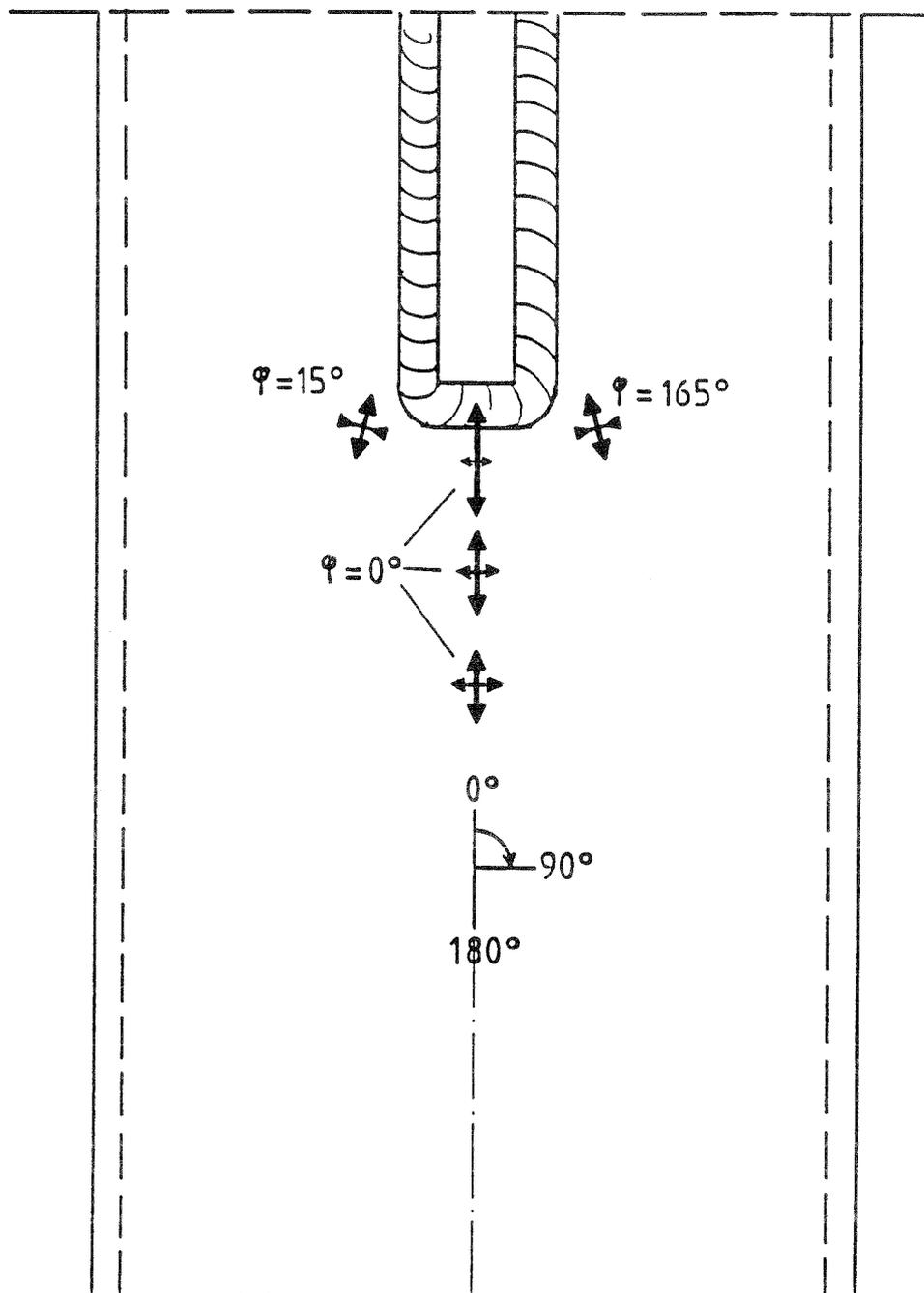
Versuch 139,7×4,0a St37

Hauptspannungstrajektorien

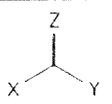
an den Meßstellen der dreiaxialen DMS

Laststufe 150 kN

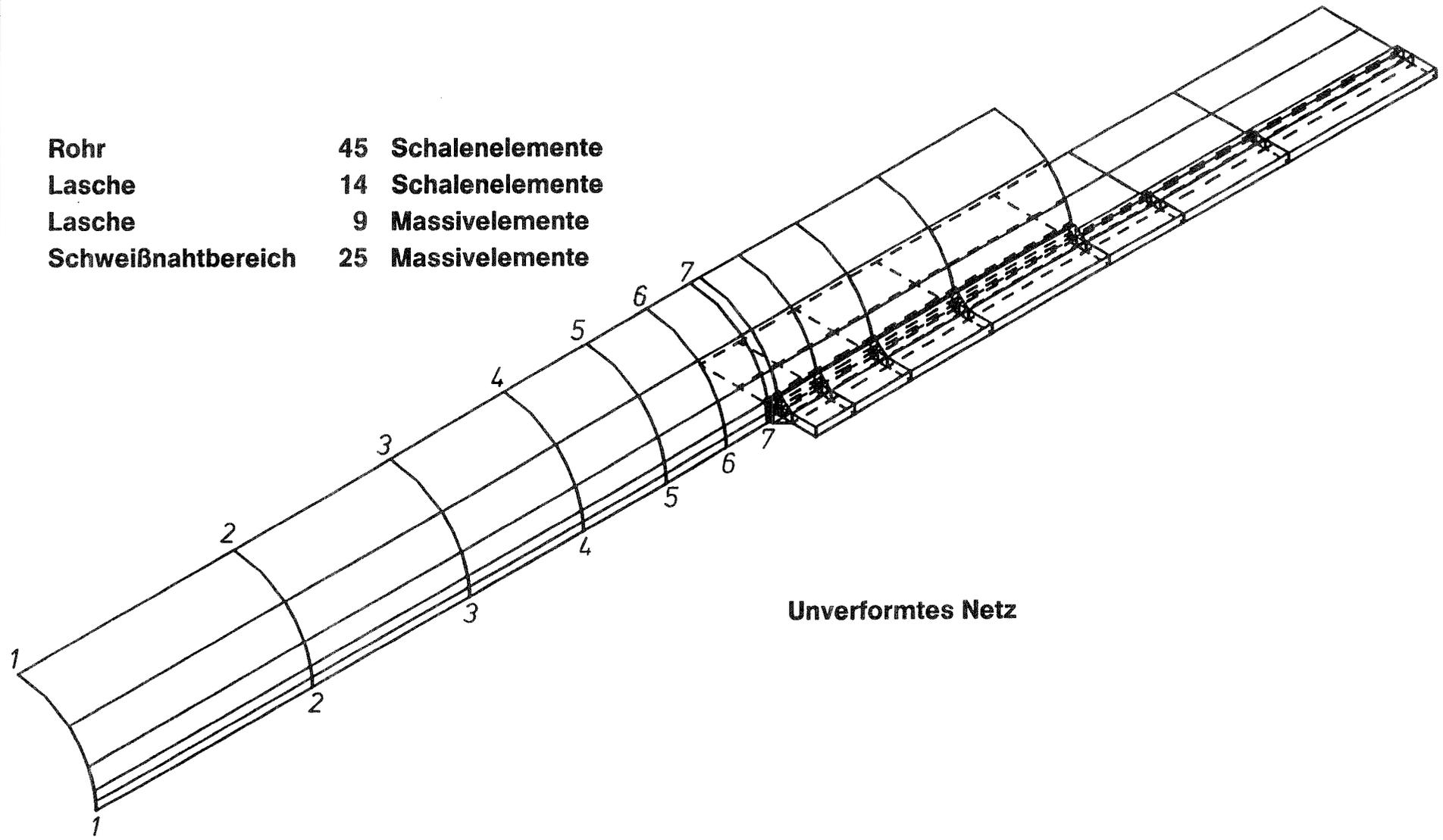
konstanter Richtungswinkel bei allen Laststufen



ADINA ORIGINAL
 17.92
 XVMIN -585.7
 XVMAX 50.20
 YVMIN -348.5
 YVMAX 2.041



- | | | |
|--------------------|----|-----------------|
| Rohr | 45 | Schalenelemente |
| Lasche | 14 | Schalenelemente |
| Lasche | 9 | Massivelemente |
| Schweißnahtbereich | 25 | Massivelemente |



Unverformtes Netz

ADINA

ORIGINAL

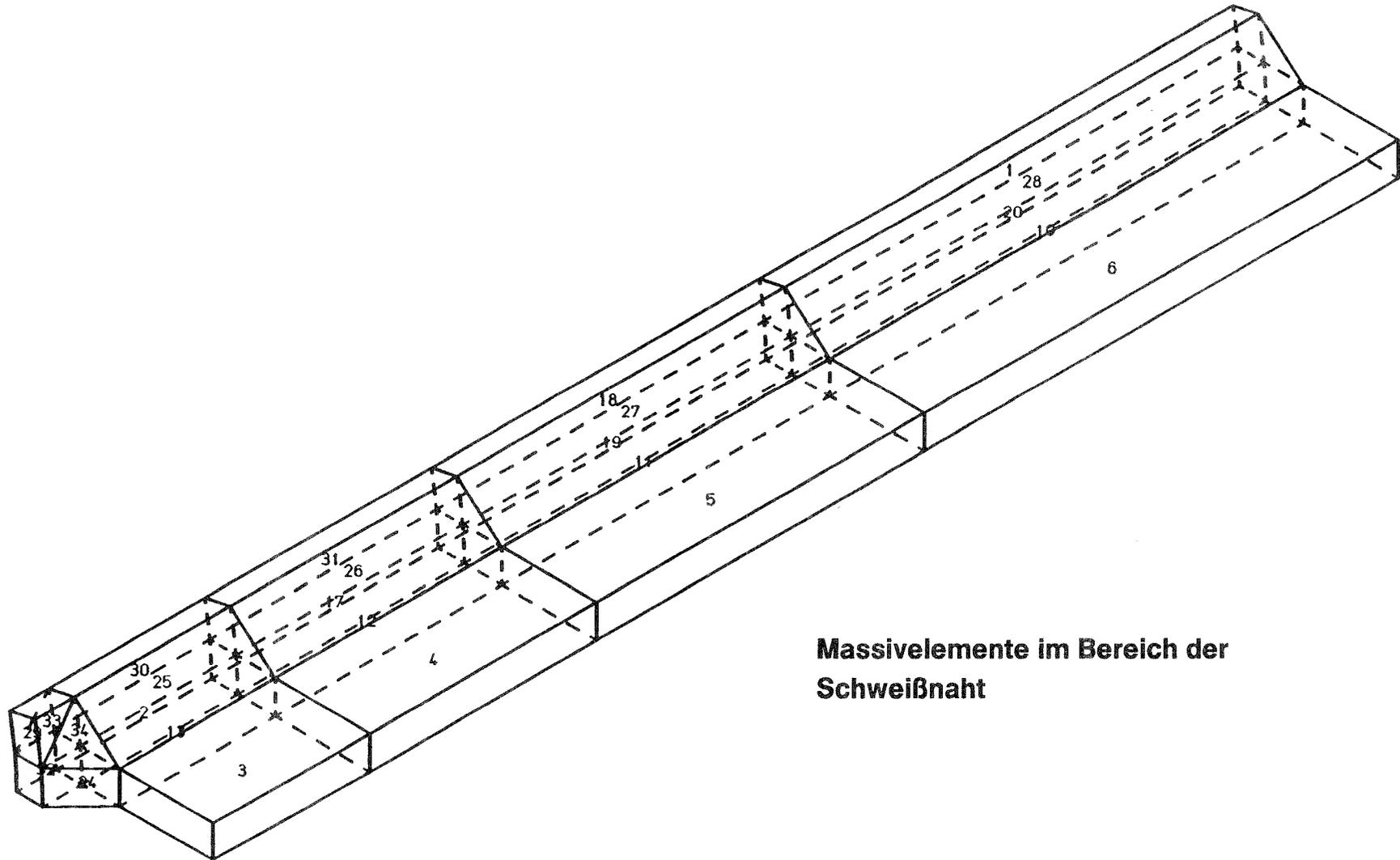
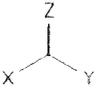
4.750

XVMIN -240.6

XVMAX -91.22

YVMIN -184.1

YVMAX -92.08



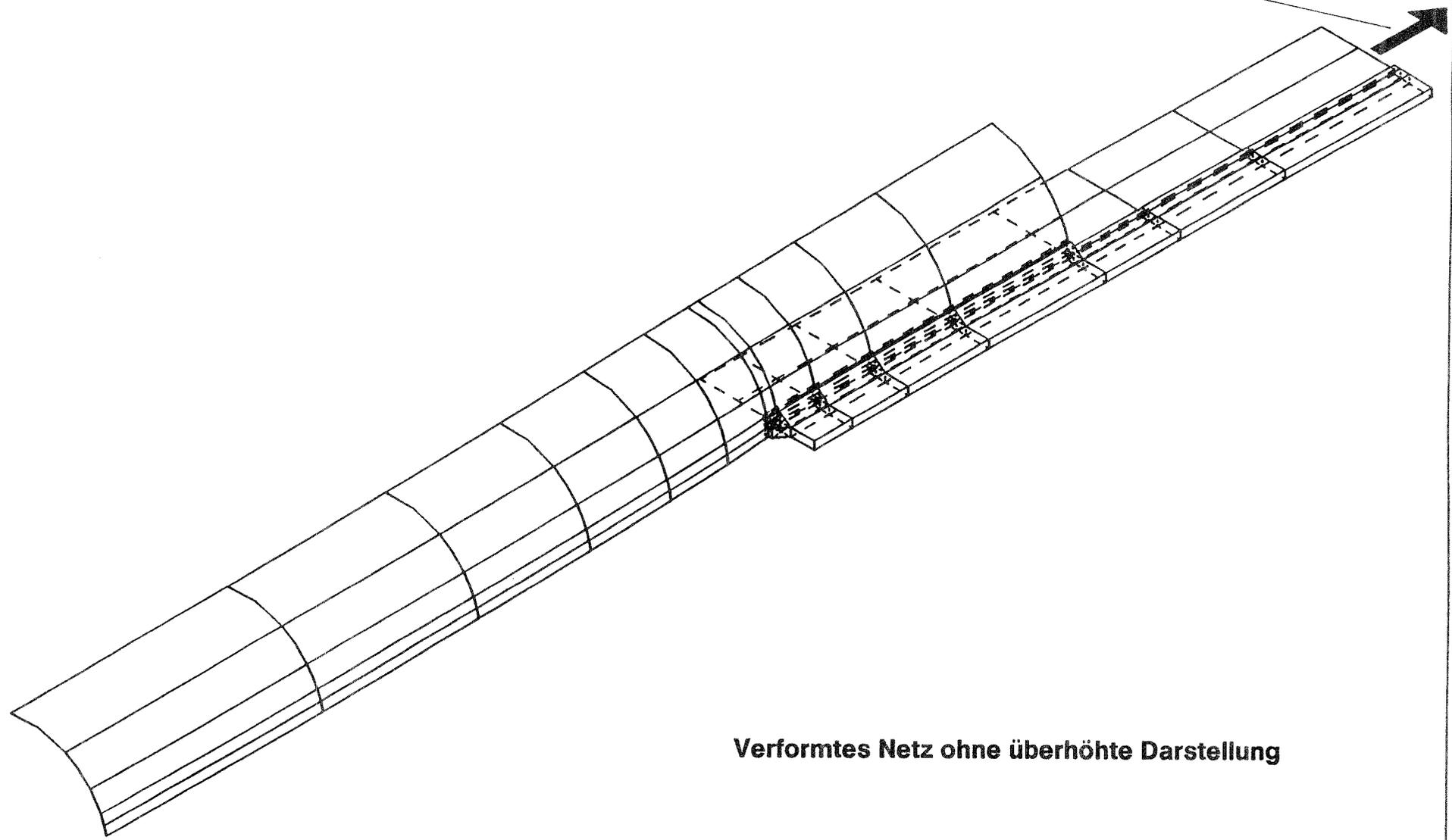
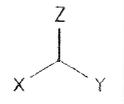
Massivelemente im Bereich der
Schweißnaht

ADINA
LOAD STEP
TIME 1.000

DEFORMED
18.20

XVMIN	-565.7
XVMAX	59.85
YVMIN	-351.5
YVMAX	8.035

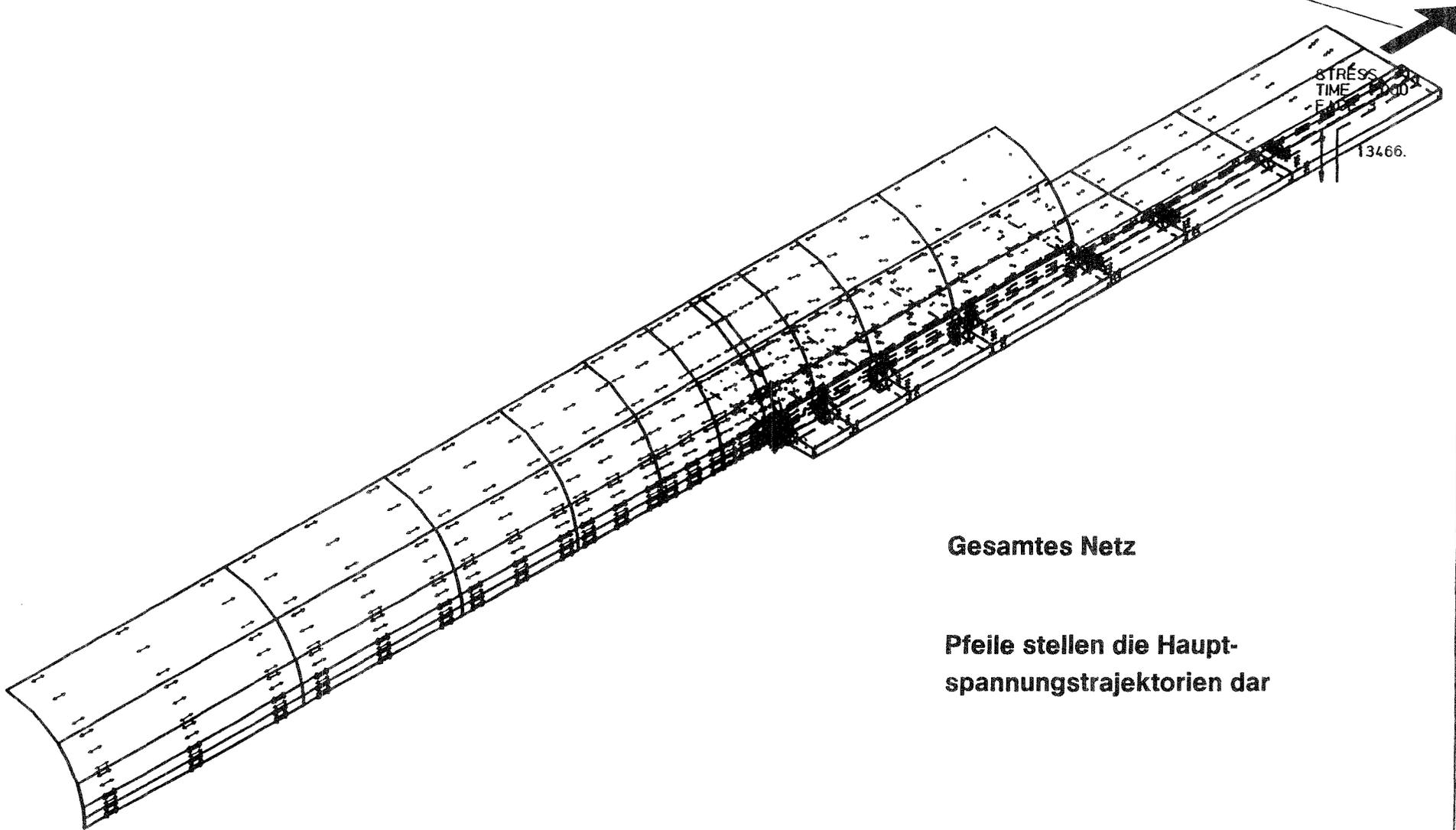
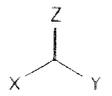
Aufgebrachte Last = 80 kN



Verformtes Netz ohne überhöhte Darstellung

ADINA ORIGINAL
17.92
XVMIN -505.7
XVMAX 50.20
YVMIN -348.5
YVMAX 2.041

Aufgebrachte Last = 80 kN

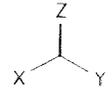


Gesamtes Netz

Pfeile stellen die Hauptspannungstrajektorien dar

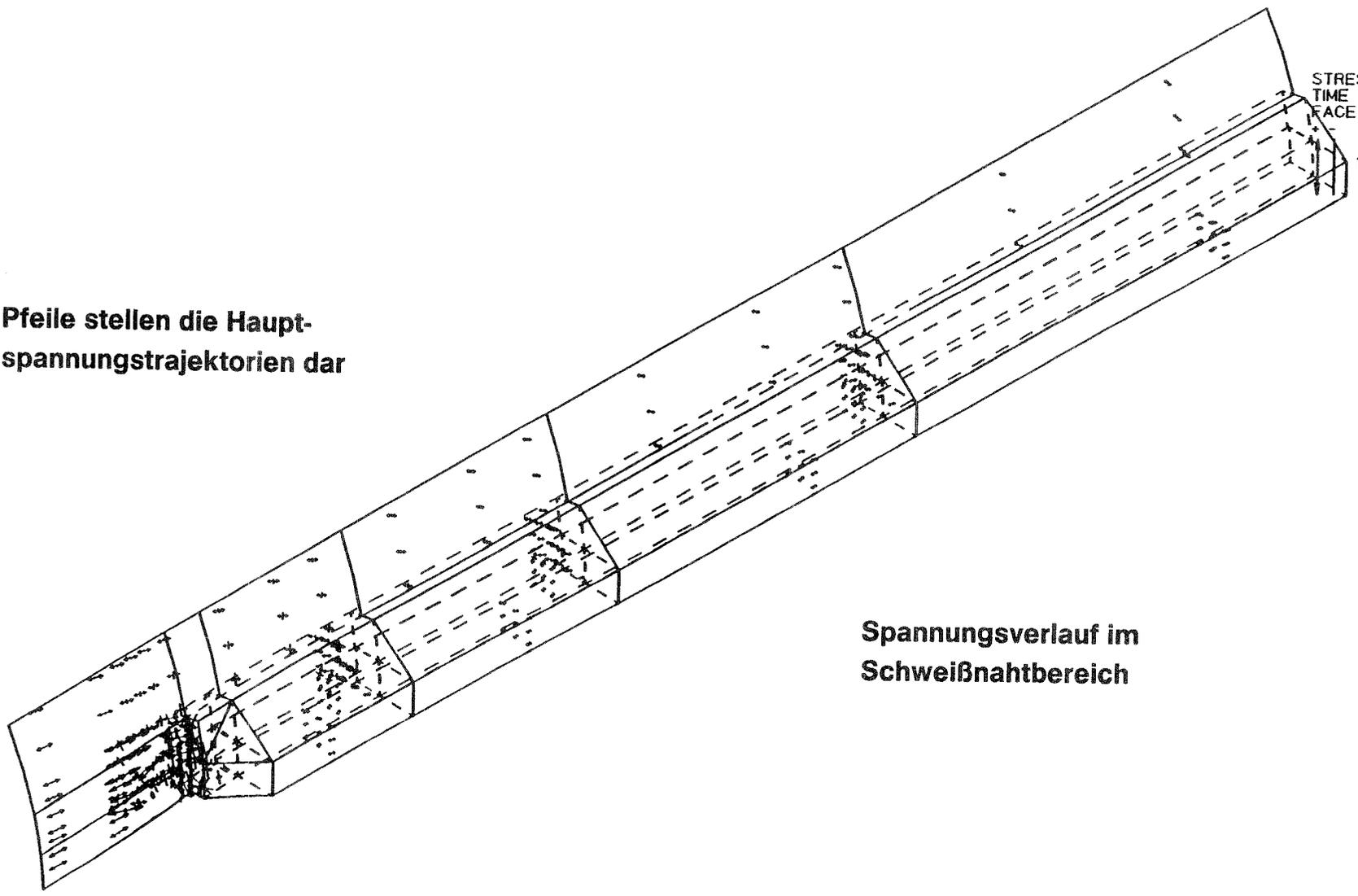
ADINA
LOAD STEP 5.348
TIME 1.000

DEFORMED
XVMIN -253.4
XVMAX -93.27
YVMIN -186.0
YVMAX -77.01



STRESS
TIME 1.000
FACE 3
13466.

Pfeile stellen die Hauptspannungstrajektorien dar

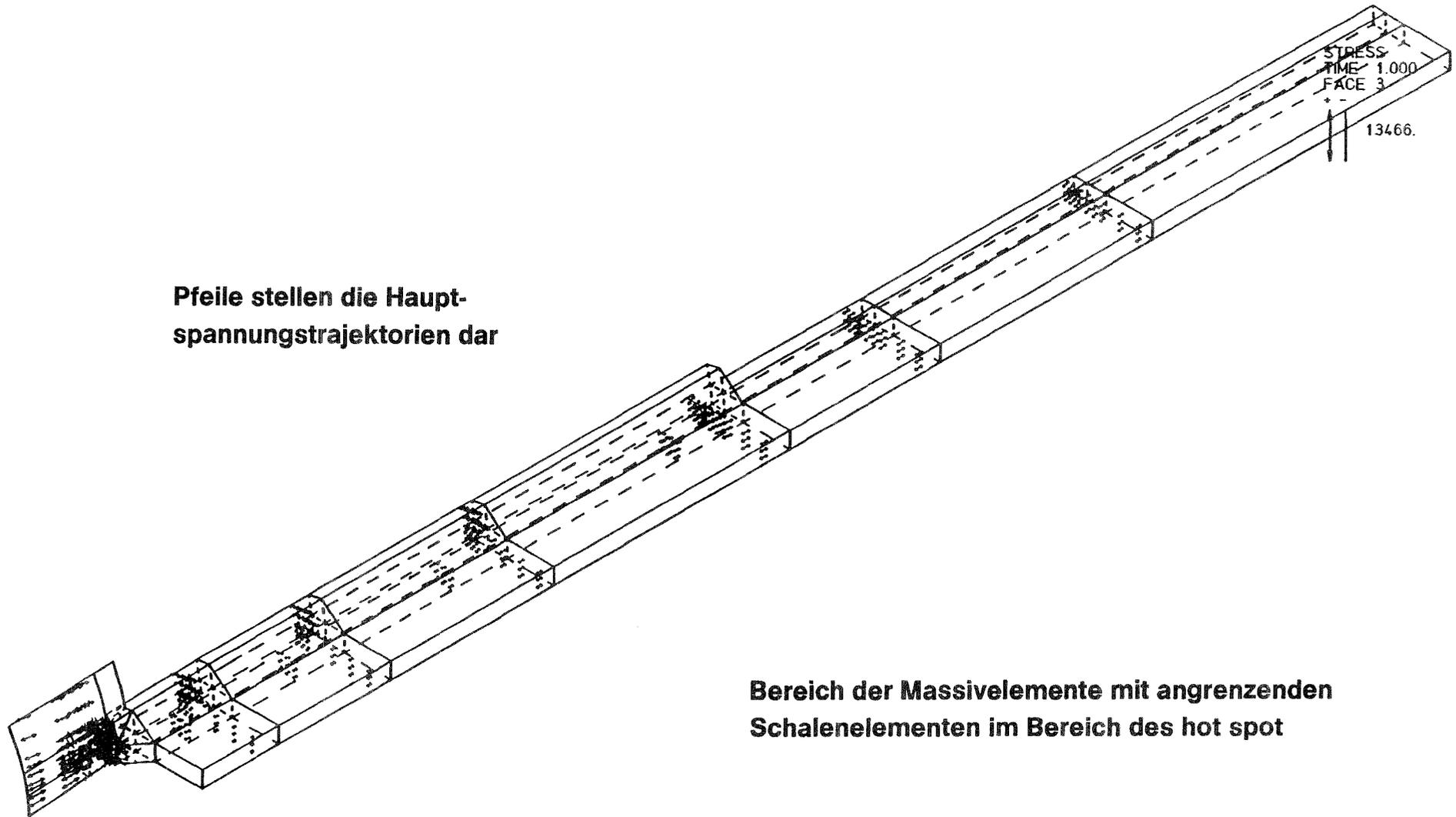
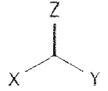


Spannungsverlauf im
Schweißnahtbereich

ADINA
LOAD STEP
TIME 1.000

DEFORMED
9.113

XVMIN -253.4
XVMAX 59.85
YVMIN -186.0
YVMAX -9.253



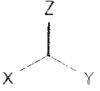
Pfeile stellen die Hauptspannungstrajektorien dar

Bereich der Massivelemente mit angrenzenden Schalenelementen im Bereich des hot spot

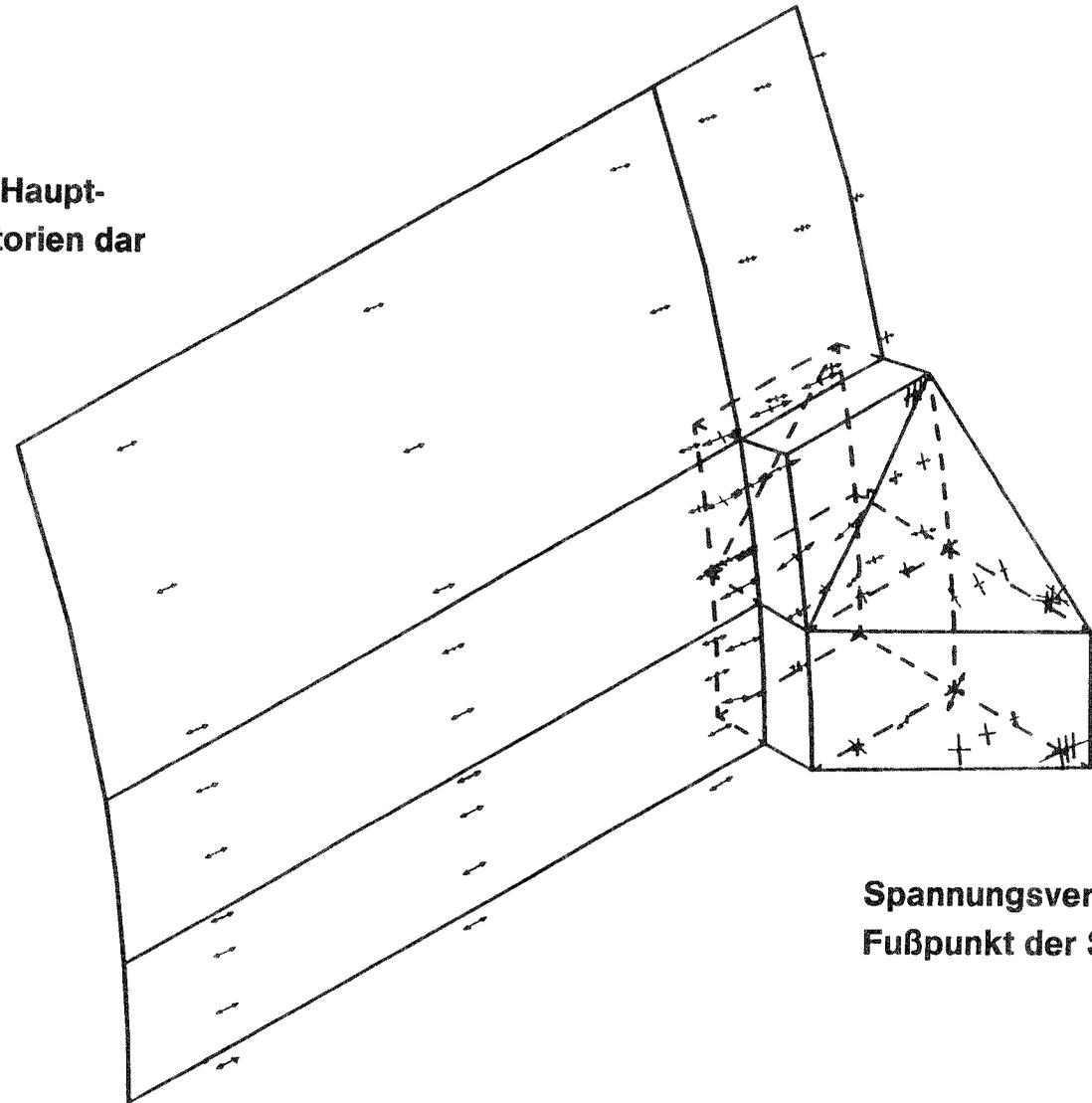
ADINA

ORIGINAL
1.620

XVMIN -260.9
XVMAX -228.7
YVMIN -188.4
YVMAX -155.4

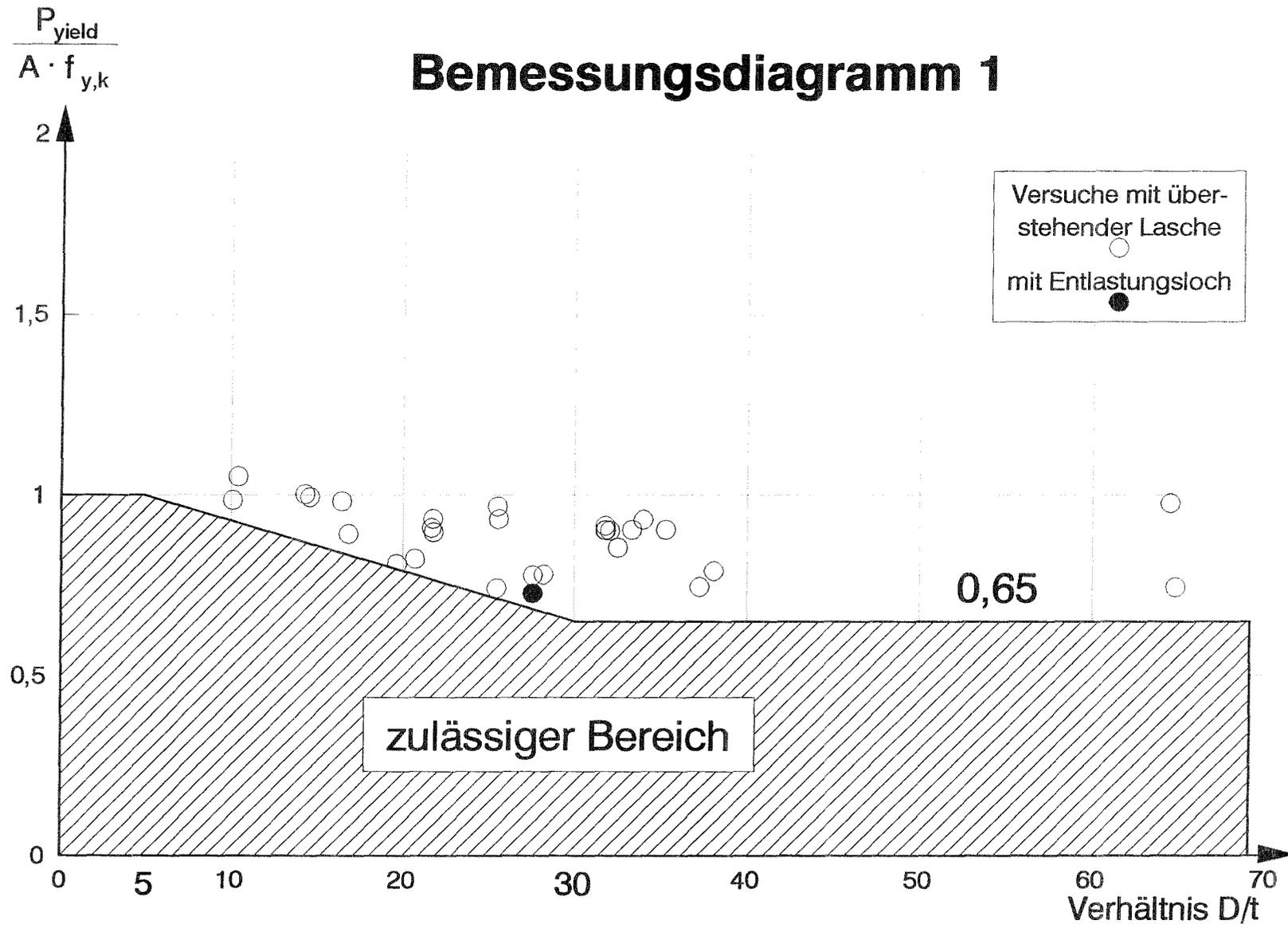


Pfeile stellen die Haupt-
spannungstrajektorien dar

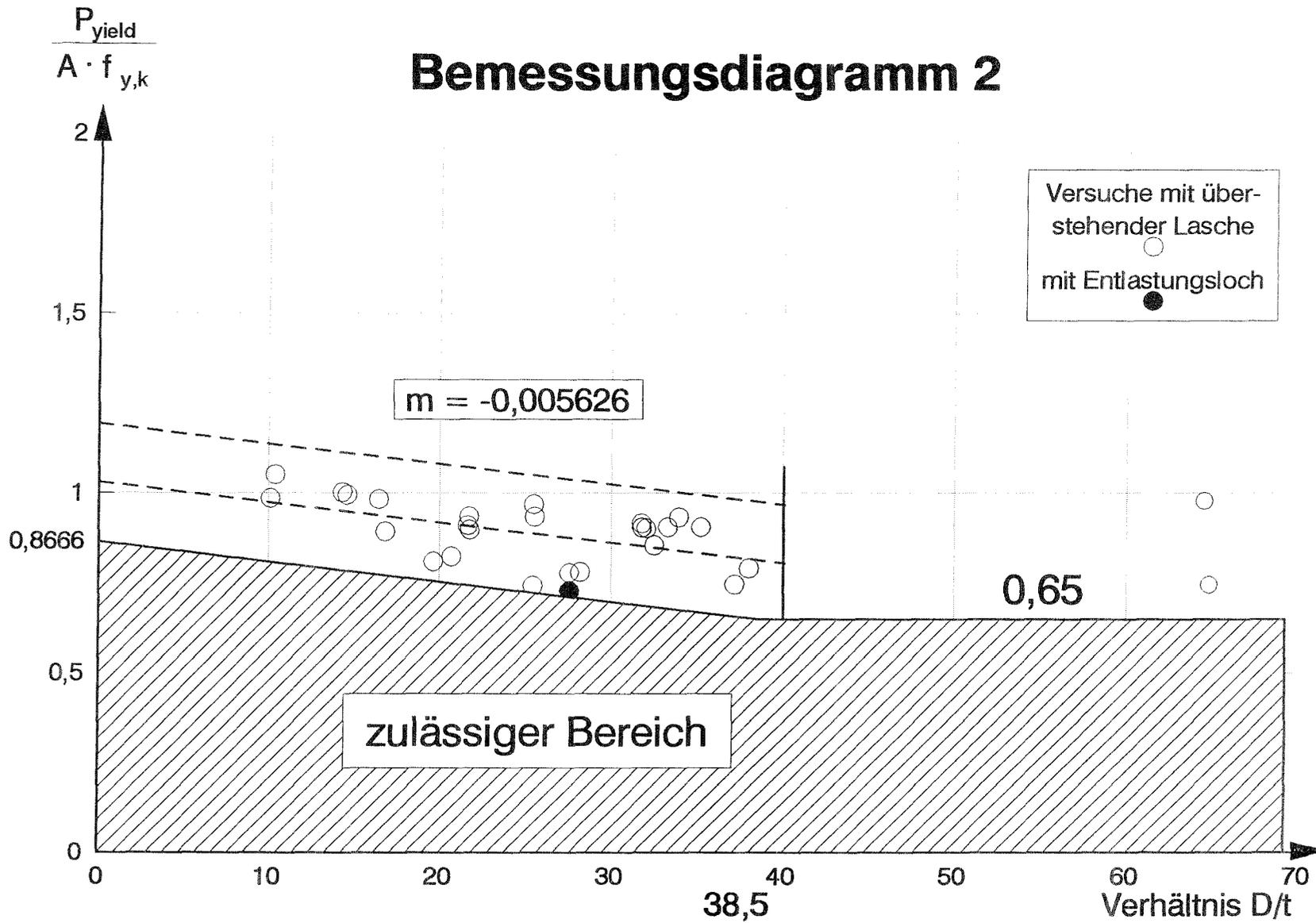


STRESS
TIME 1.000
FACE 3
+ -
12868.

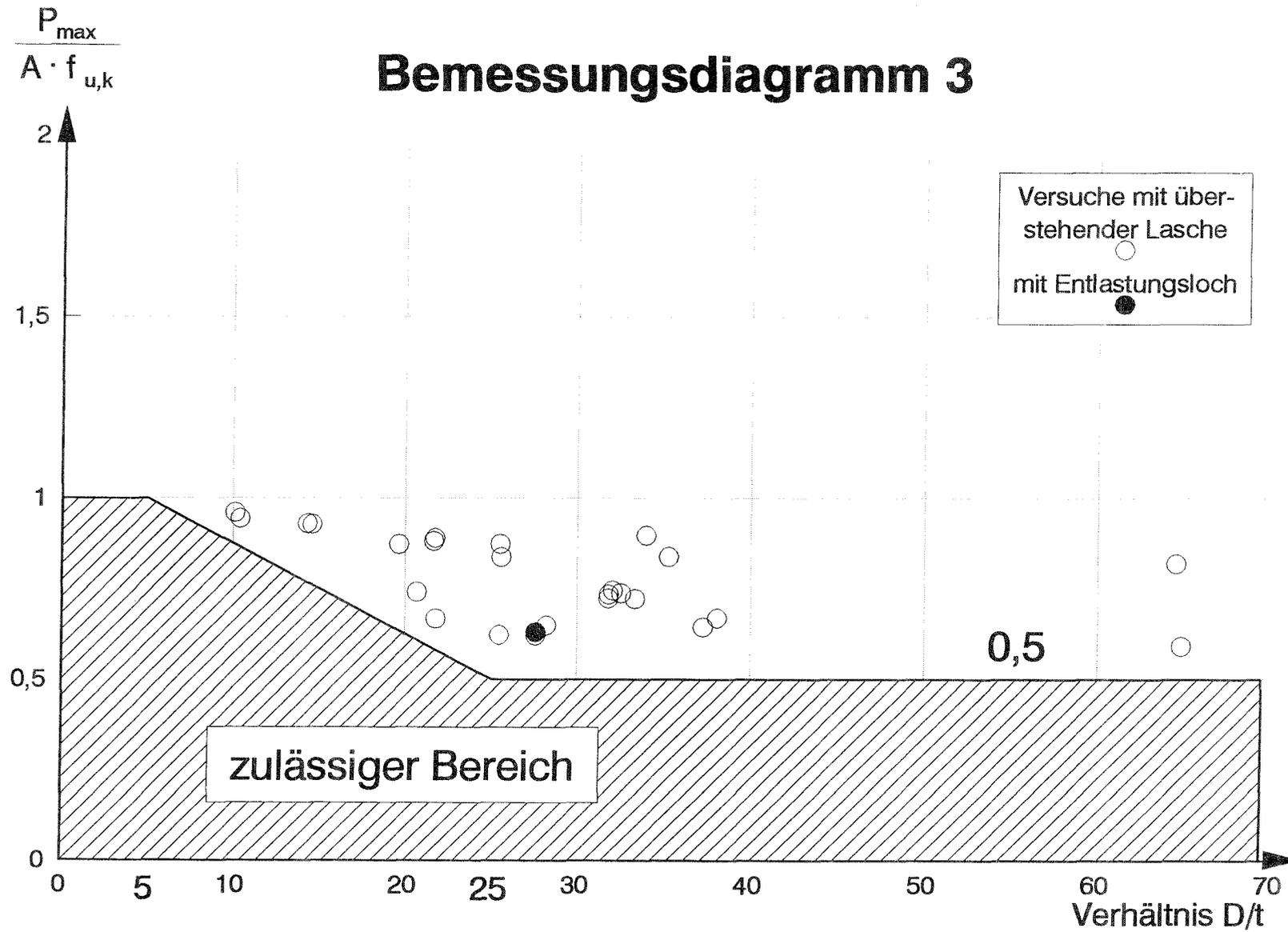
Spannungsverlauf direkt am
Fußpunkt der Stirnkehlnaht



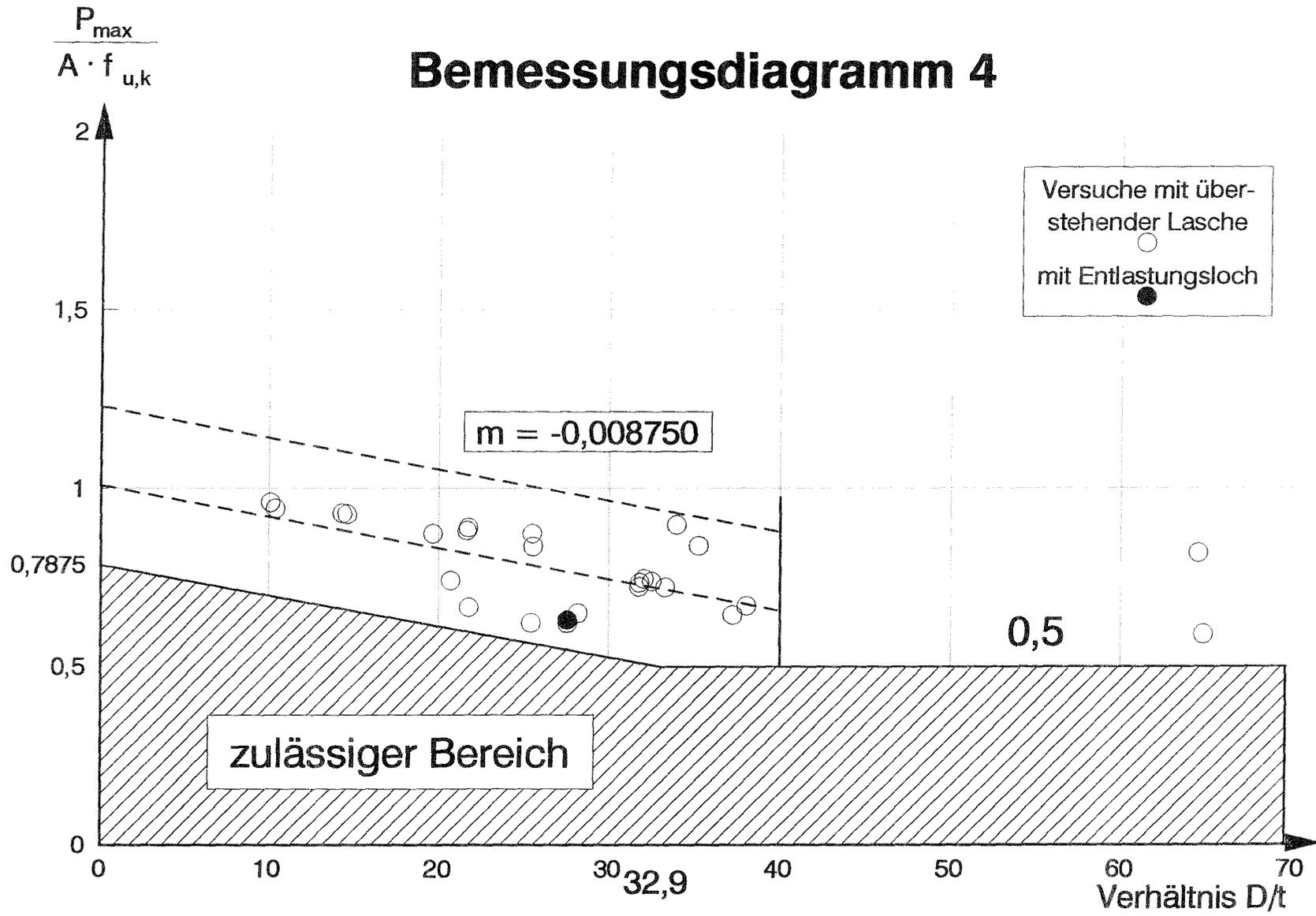
Bemessungsdiagramm 2



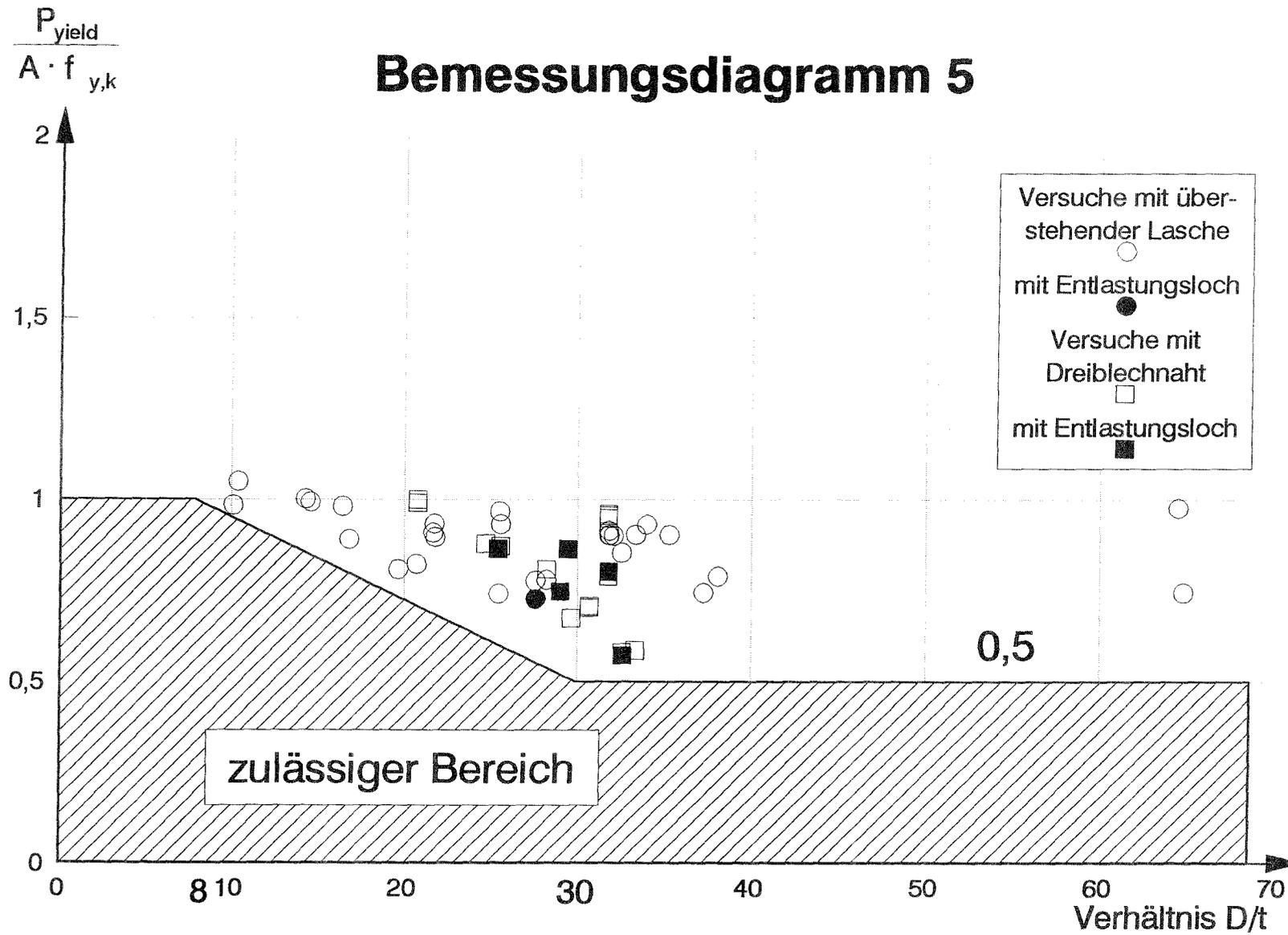
Bemessungsdiagramm 3



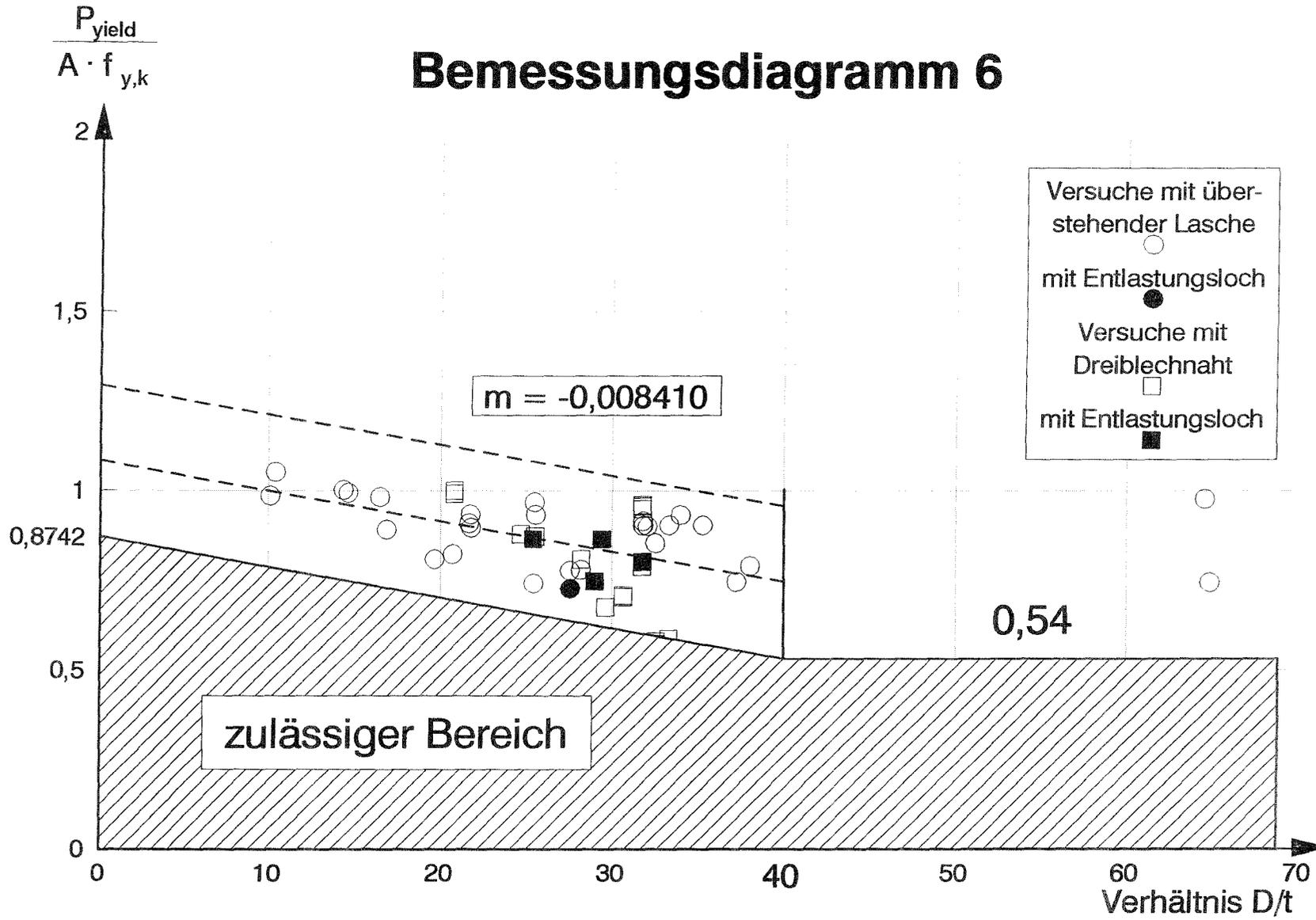
Bemessungsdiagramm 4



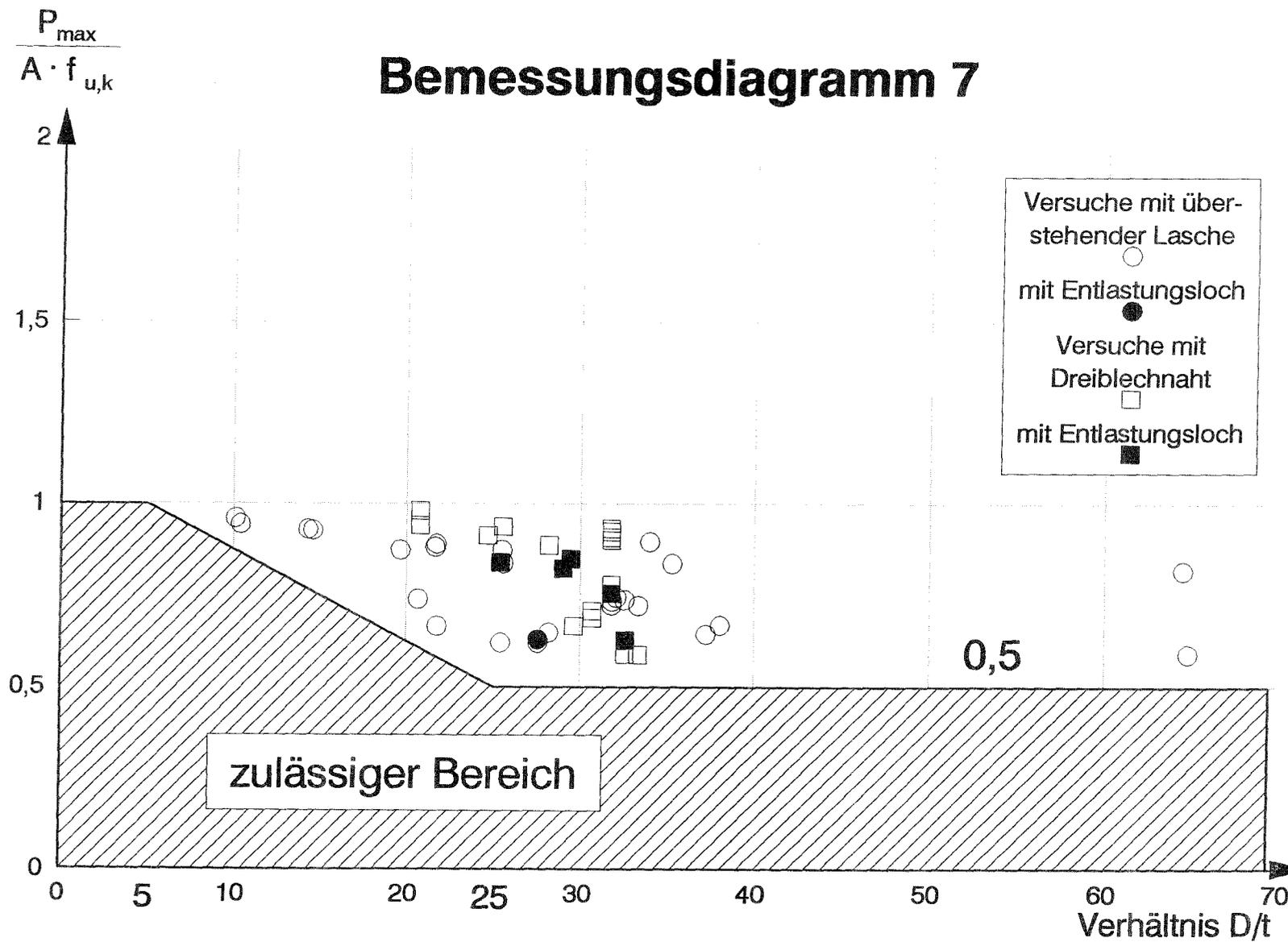
Bemessungsdiagramm 5



Bemessungsdiagramm 6



Bemessungsdiagramm 7



Bemessungsdiagramm 8

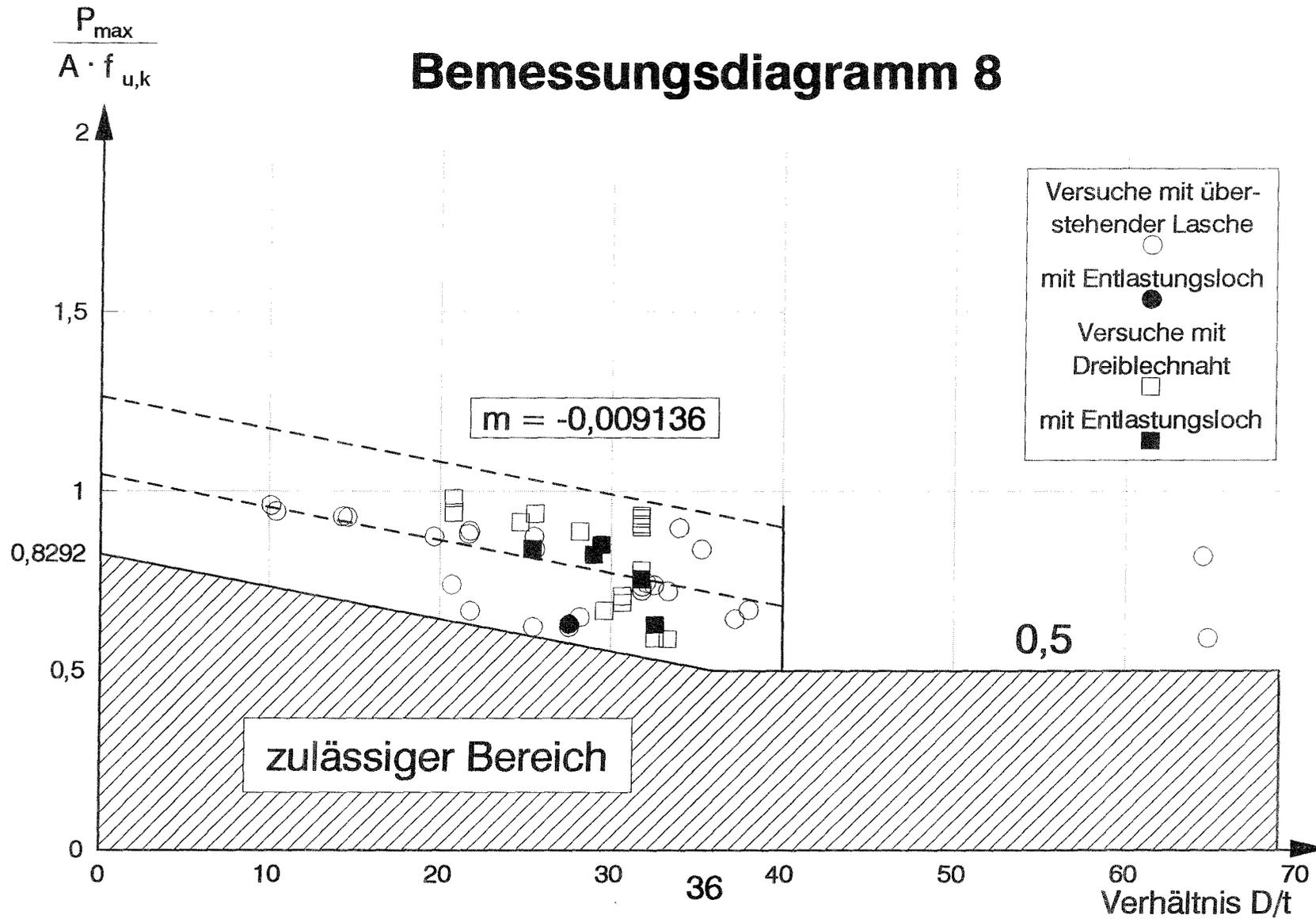


Diagramm 9

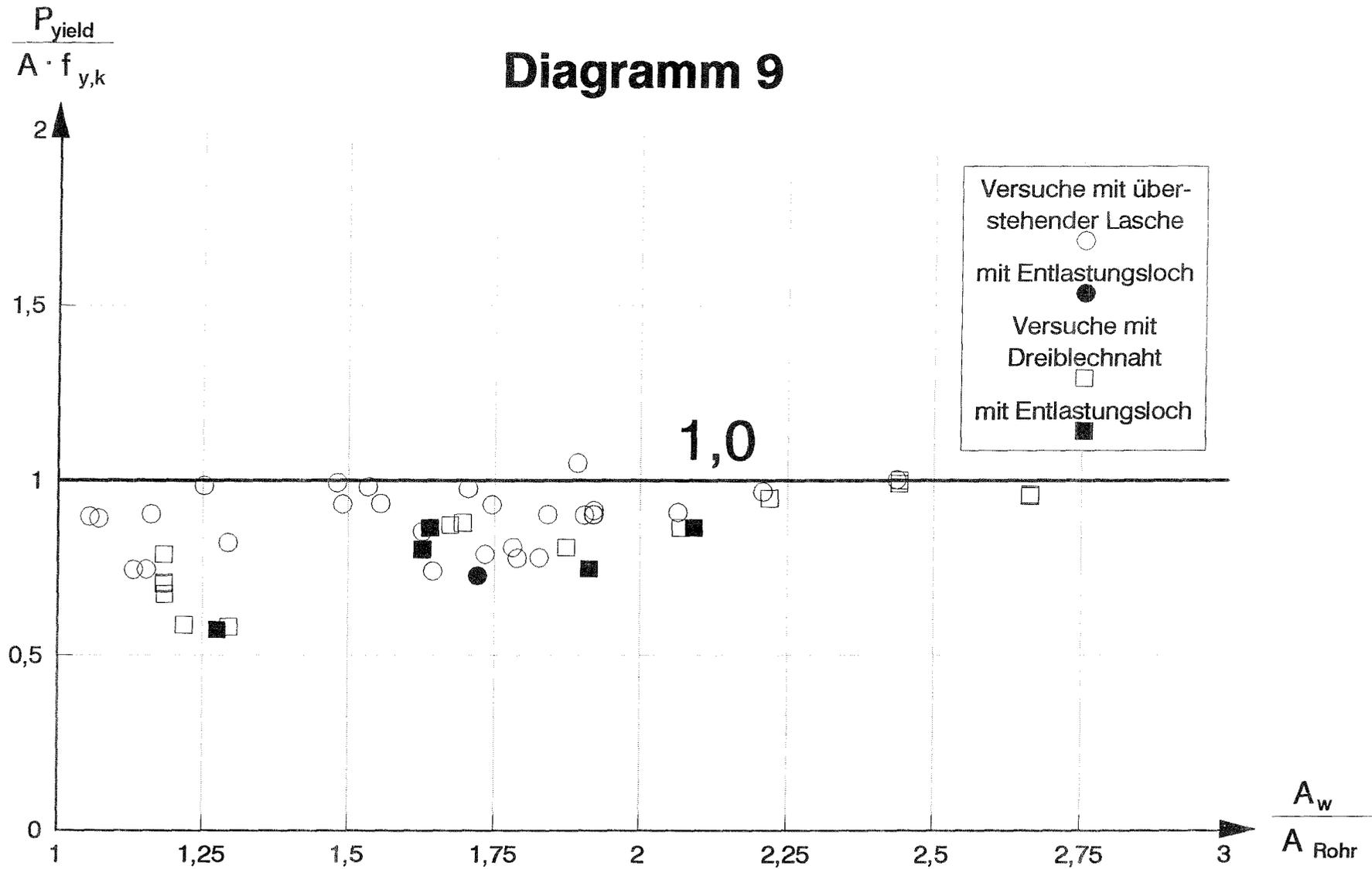
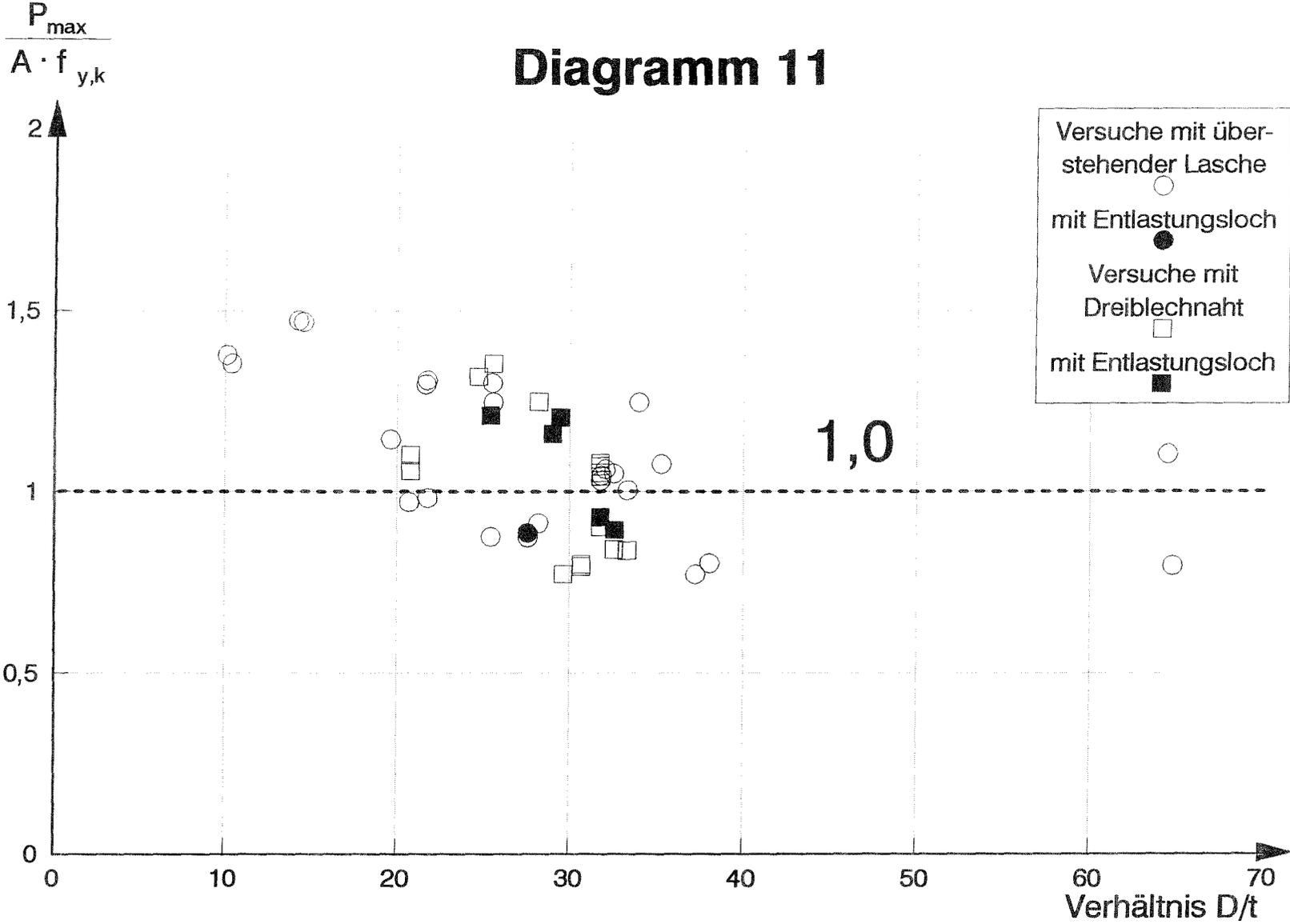


Diagramm 11



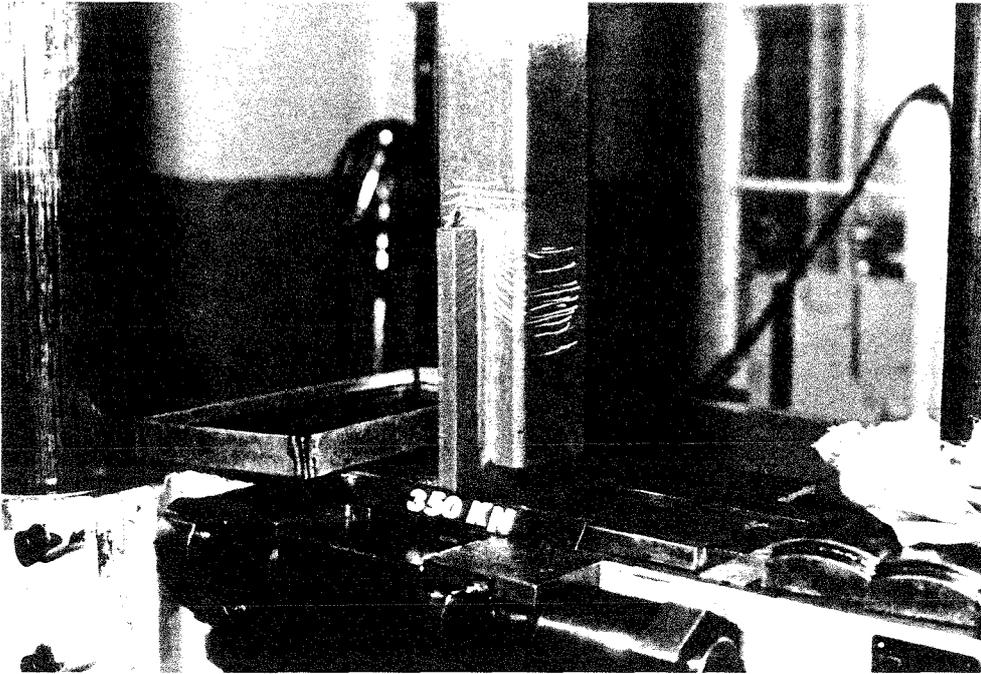


Bild A1: Probekörper 100*100*8b
Laststufe 350 kN
erste größere Anrisse des Reißblacks sind zu erkennen

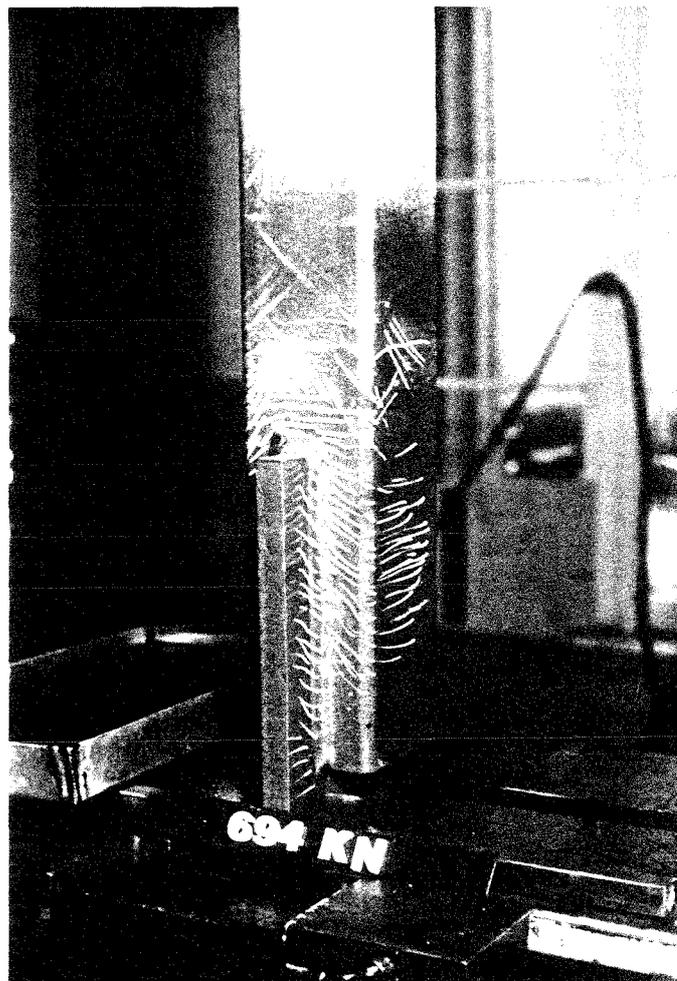


Bild A2: Probekörper 100*100*8b
Laststufe 694 kN
Deutlich ausgeprägtes
Rißbild

Bild A3:

Probekörper 100*100*8b
Laststufe 720 kN
Beginnender Fließbereich
Deutliches Abplatzen
des Reißblatts

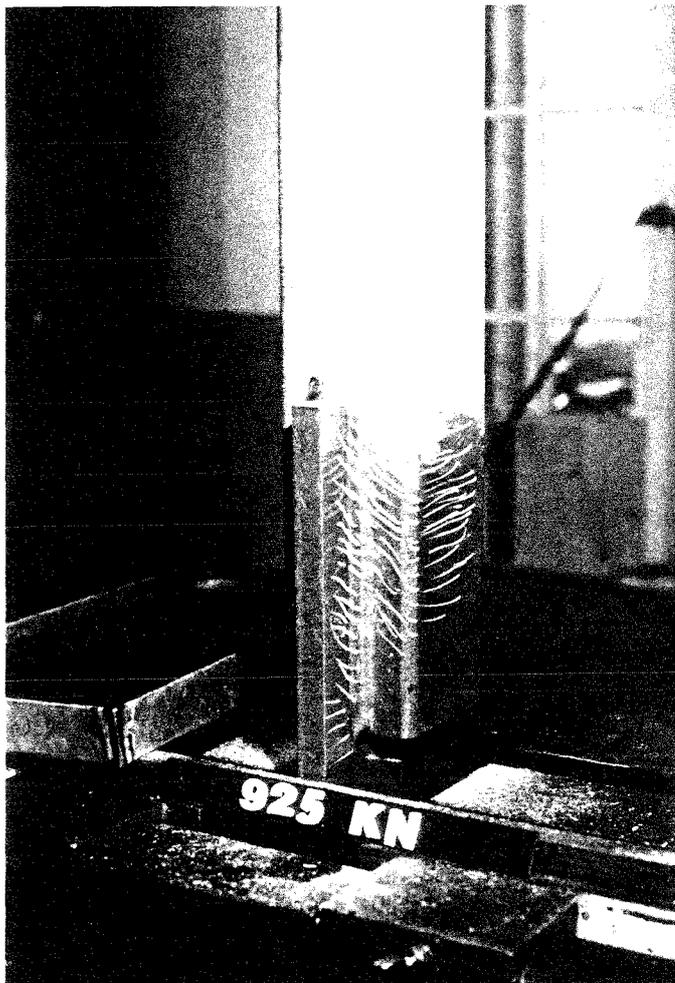
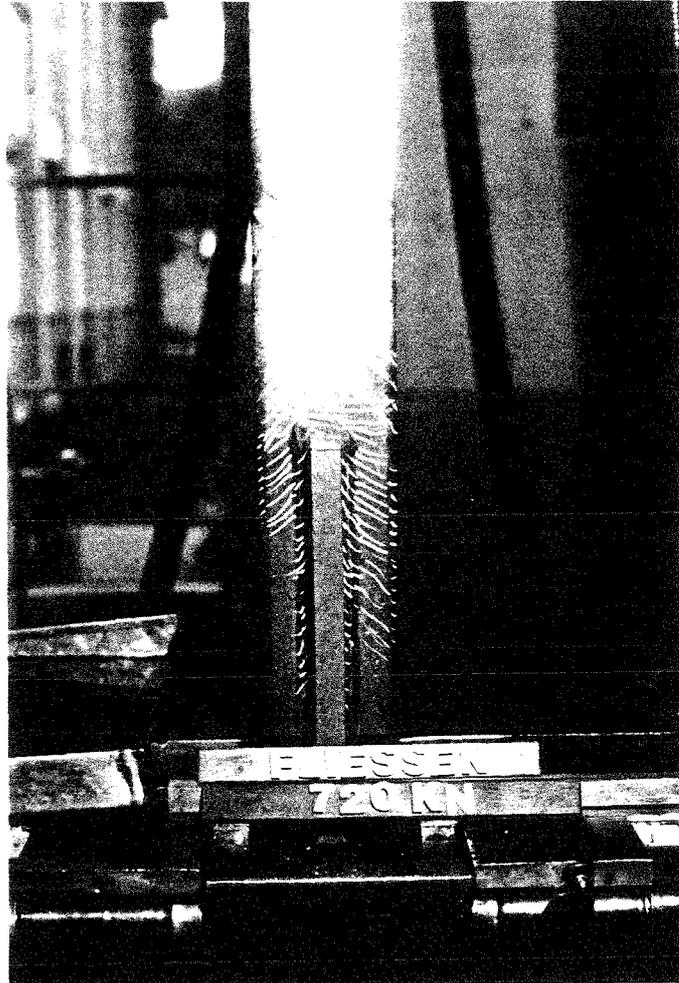


Bild A4:

Probekörper 100*100*8b
Laststufe 925 kN
Maximallast der
Prüfmaschine
wird erreicht

Bild A5:
Lage der DMS-Kette
bei der Stirnkehlnaht

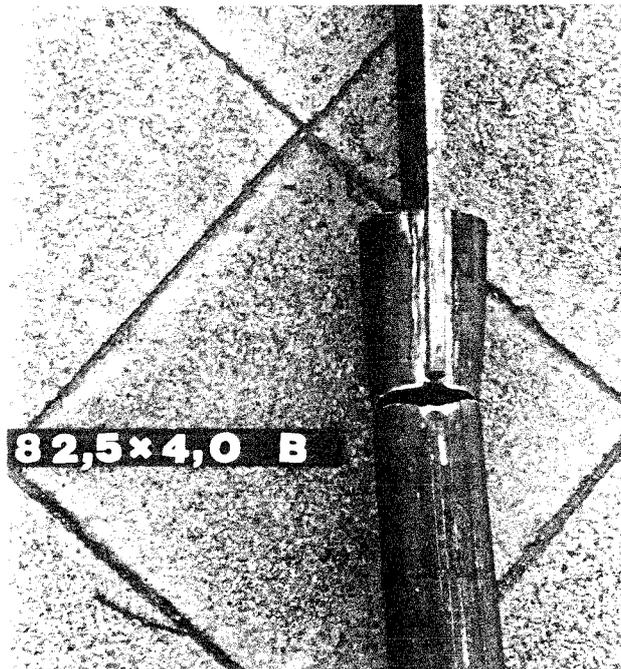
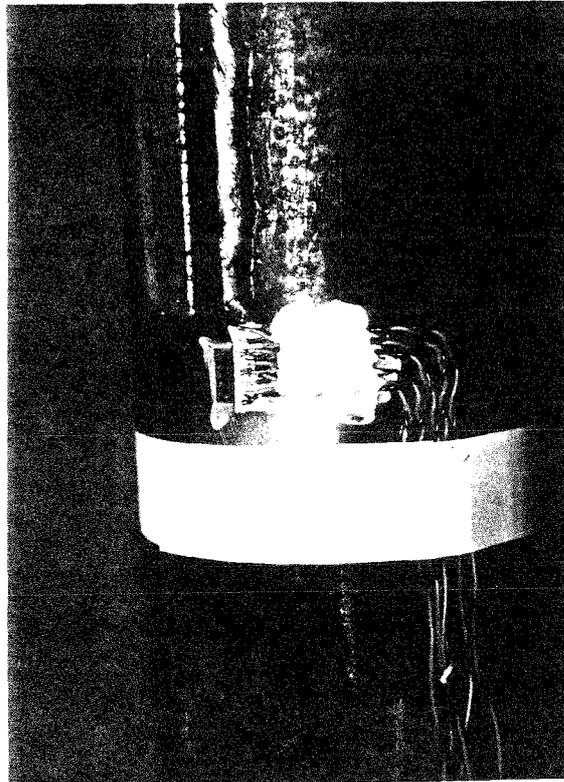


Bild A6:
Bruchbild des Probekörpers 82,5*4,0b



Bild A7:

Bruchbild des Probekörpers 101,6*4,0b

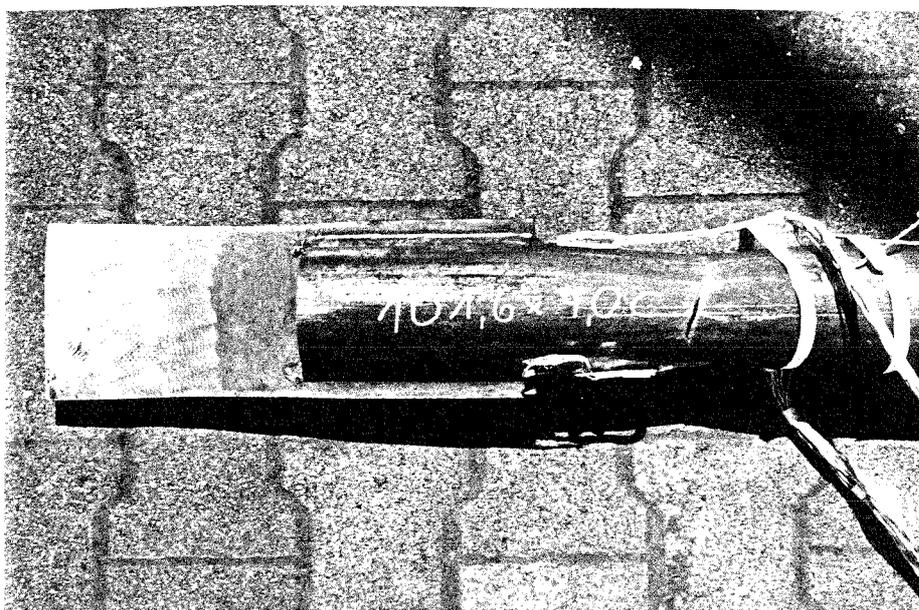


Bild A8:

Bruchbild des Probekörpers 101,6*4,0c



Bild A9:

Bruchbild des Probekörpers 82,5*8,0b

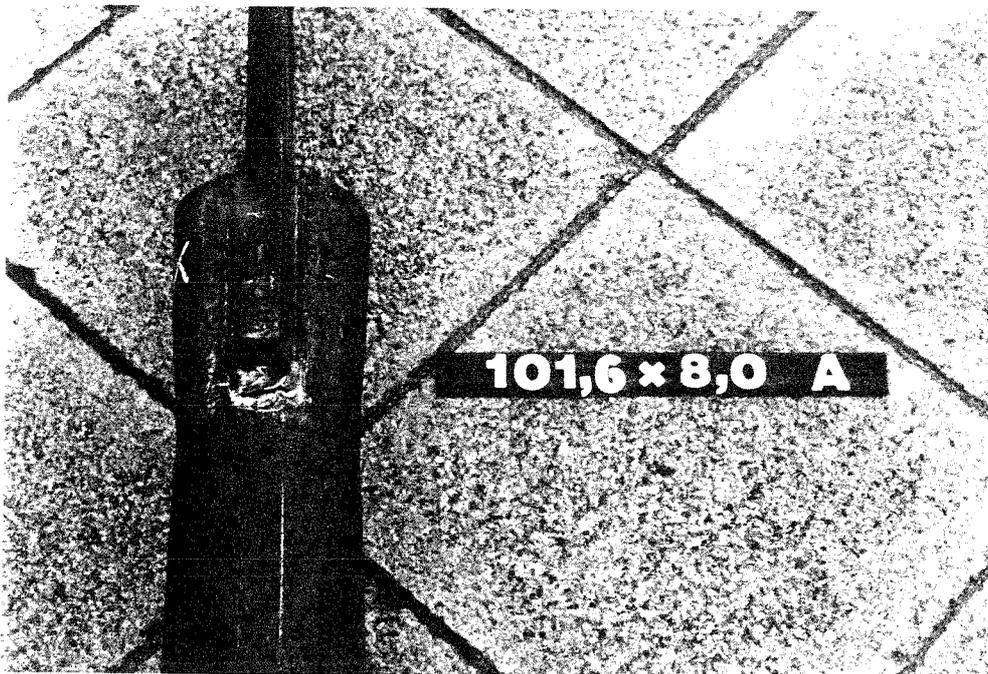


Bild A10:

Bruchbild des Probekörpers 101,6*8,0a

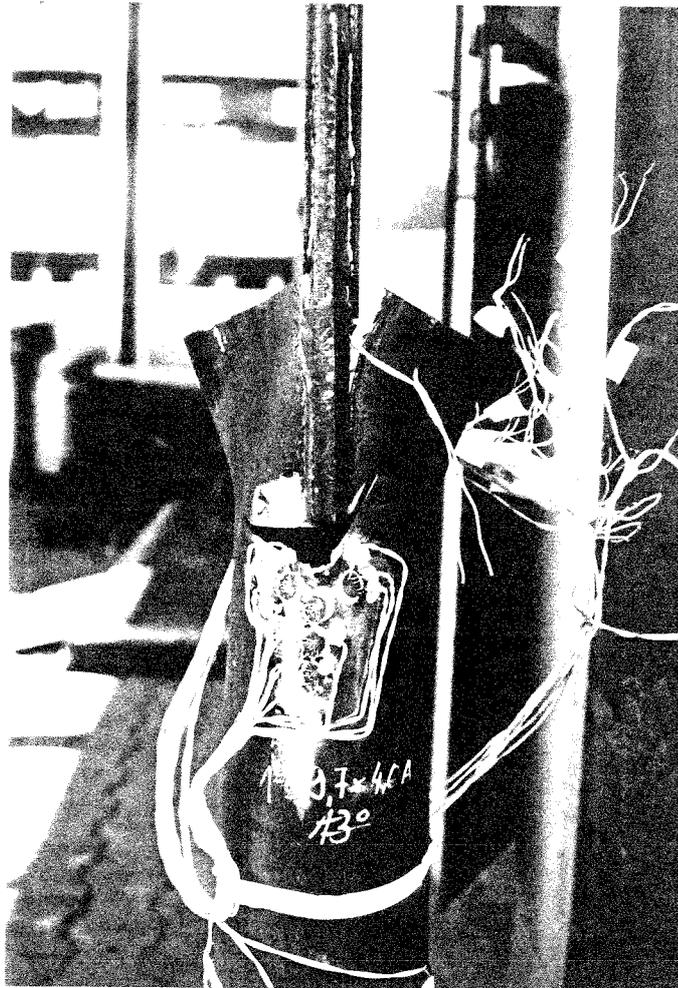


Bild A11:

Bruchbild des Probekörpers 139,7*4,0a

Lage der dreiaxialen DMS ist ebenfalls zu erkennen

VERSUCHSANSTALT
FÜR STAHL, HOLZ UND STEINE
(Amtliche Materialprüfungsanstalt)
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
PROF.DR.-ING. FRIEDRICH MANG

7500 Karlsruhe 1
Postfach 6980
Kaiserstraße 12
Telefon (07 21) 6 08 22 12
Teletex 72 11 66 = UNIKar
Telefax 607 389

Abridged Version

on the Research Project

**Load-Bearing Behaviour
of
Hollow Sections
with
inserted Plates**

1 General

In the last years, the application of hollow sections increased continuously. Hollow sections are increasingly applied for the construction of halls, cranes and bridges. In the German standard DIN 18 808, edition 10.84, presently valid for the design of hollow section structures, up to now only hollow section joints are regulated which are connected in the joint area (K-, N-, KT- and L-joints respectively) without changing their form. For the application of gusset plate joints and joints with inserted plates which can be easily fabricated regarding construction and manufacturing technique, general regulations of the Steel construction are referred to which do not consider the strength depending on design. Up to now, investigations in more detail of such tube jointing sleeve connections are only available occasionally. This research programme is to inform about such tube jointing sleeve connections in order to elaborate the basis for a simple design procedure. The experiences gained shall have some influence on Eurocode 3 and on the standard DIN 18 808.

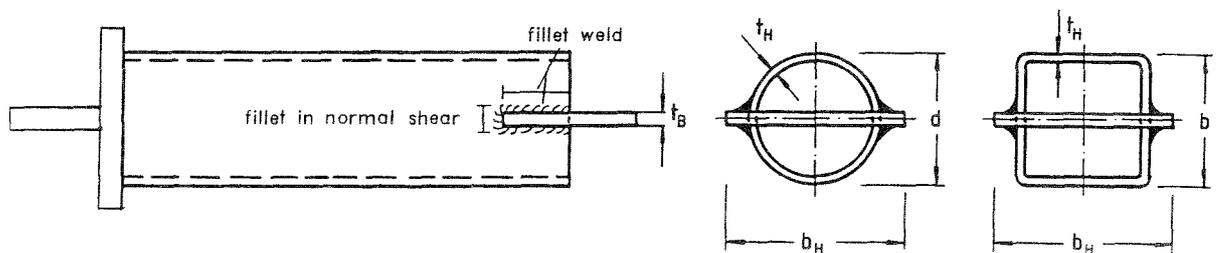


Figure 1: Form of the test specimen

2 Tests and test evaluation

Altogether, 20 tests with test specimens made of circular hollow sections and 6 tests with test specimens made of rectangular hollow sections have been carried out at the Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine (Testing Center for Steel, Timber and Stones) of the University of Karlsruhe. Former tests at the Versuchsanstalt have been carried out in the scope of student works as well as of orders from industry. In figure 1 a test specimen is presented. Tensile tests under static load have been carried out. The maximum supportable load bearing capacity as well as the course of the force lines (force spread) were of special interest in the tests. It becomes evident from the test results that the load-bearing capacity was always below the calculated load-bearing capacity of the undisturbed tubular section.

The ratio $P_{\max}/A \cdot f_{u,k}$ decreased in dependence on the geometrical parameters of diameter/wall thickness of the tube. No considerable increase of the load could be achieved by a longer weld. This is due to the given load spread from the tube to the plate (stress concentration at the end of the inserted plate). A large part of the load is transferred from the tube to the plate in the area of the fillet in normal shear. The weld only contributes to a small extent to the load transfer on its total length. Only for about one third of the yield load of the tube, the area of the fillet in normal shear comes to yielding. A considerable load transfer through the total weld can only be ascertained near the yield load. This has been determined by the application of strain gauges and crackle lacquer as well as by a finite element calculation. The tests were evaluated with regard to the load-bearing capacity, the course of the force lines (load spread) and the stress concentration. In section 3, the design is made based on this evaluation.

3 Dimension

The tests available have been evaluated with regard to the strength depending on design and have been recorded in diagrams. With this, the ratio of actually achieved load and theoretically achievable load of the total hollow section ($P_{\max}/A \cdot f_{u,k}$ respectively $P_{0,2}/A \cdot f_{y,k}$) have been recorded via the non-dimensional value diameter/wall thickness.

In two diagrams, the achieved yield load of the test specimen (strength depending on design) has been related to the theoretical yield load of the hollow section ($P_{0,2}/A \cdot f_{y,k}$). In two further diagrams, the ratio load-bearing capacity/theoretical ultimate load at rupture of the hollow section ($P_{\max}/A \cdot f_{u,k}$) has been recorded. These diagrams are presented in the attachments 1 and 2.

In the diagrams 1 and 3 a generating curve of an envelope has been defined above which are all test values. In the diagrams 2 and 4, all results of a statistical evaluation are given.

The design is realized by common methods. The inserted plate, the weld and the hollow section are calculated. Only for the allowable load of the hollow section a reduction is made in dependence on the ratio D/t . The reduction factor can be taken from the diagrams. It becomes evident from the diagrams that a reduction has to be made since the theoretical yield or load bearing capacity of the tube cannot be reached. The diagrams represent a first evaluation of such tests. These diagrams are to be extended in their range of validity through further tests.

In the following, an example for the handling of the proposed calculation method by means of diagrams is given.

Example

Additional calculation of a test specimen. The calculation is performed according to DIN 18800, part 1. The corresponding number of the elements are given in brackets.

- stress-resultant component from the statical calculation:
tensile strength $P_k = 150 \text{ kN}$
- circular hollow section (CHS) selected 82,5 x 4,0
- tube dimensions: $\varnothing 82,5 \times 4,2$ $A_{\text{tube}} = 1033 \text{ mm}^2$
- characteristic values of the material $f_{y,k} = 335 \text{ N/mm}^2$
 $f_{u,k} = 439 \text{ N/mm}^2$
- plate: $b_L \times t_L = 123 \times 10 \text{ mm}$
characteristic values of the material of the tube are used
thickness $t_L \geq 0,5 \cdot \sqrt{(D_{\text{tube}}^2/16 + A_{\text{tube}})} - 0,125 \cdot D_{\text{tube}}$
 $\geq 0,5 \cdot \sqrt{(82,5^2/16 + 1033)} - 0,125 \cdot 82,5 = 8,8 \text{ mm}$
 $t_L = 10 \text{ mm} \geq 8,8 \text{ mm}$
width $b_L \geq D_{\text{tube}} + 4 \cdot 8,8 \text{ mm}$
 $\geq 82,5 + 4 \cdot 8,8 = 117,7 \text{ mm}$
 $b_L = 123 \text{ mm} \geq 117,7 \text{ mm}$
- weld length: $l = 110 \text{ mm}$
throat thickness: $a = 4 \text{ mm}$
DIN 18800, T 1,
 $\text{min}a \geq 2 \text{ mm}$
 $\text{min}a \geq \sqrt{(\text{max}t)} - 0,5 = \sqrt{(10)} - 0,5 = 2,66 \text{ mm}$
 $\text{max}a \leq 0,7 \cdot \text{min}t = 0,7 \cdot 4 \text{ mm} = 2,8 \text{ mm}$ (519)
according to DIN 18808 the throat thickness should be equal to the smaller wall thickness $t = 4 \text{ mm}$

weld length:

$$l \geq 6,0 \cdot a = 24 \text{ mm resp. } l_{\min} = 30 \text{ mm} \quad (820)$$

$$l \leq 150 \cdot a = 600 \text{ mm} \quad (823)$$

calculations:

$$P_d = P_k \cdot \gamma_f = 150 \text{ kN} \cdot 1,35 = 202,5 \text{ kN}$$

$$\text{plate: } \sigma = P_d/A = 202,5/1230 = 164 \text{ N/mm}^2 \leq 305 \text{ N/mm}^2$$

$$= f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_m = 335/1,1$$

$$\text{weld: } A_w = \Sigma a \cdot l = 4 \cdot 4 \cdot 110 = 1760 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 202,5/1760 = 115 \text{ N/mm}^2 \leq 207 \text{ N/mm}^2$$

$$= \sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot f_{y,k}/\gamma_m = 0,95 \cdot 240/1,1 \quad (829)$$

tube: $D/t = 19,6$

$$\text{- design diagram 1} \quad k_{y1} \approx 0,8$$

$$\text{- design diagram 2} \quad k_{y2} = -0,005626 \cdot 19,6 + 0,8666 = 0,756$$

$$\rightarrow P_{y,d} = \min k_y \cdot A \cdot f_{y,d} = 0,756 \cdot 1033 \cdot 305 = 238,3 \text{ kN}$$

$$P_k = 202,5 \text{ kN} \leq 238,3 \text{ kN} = P_{y,d}$$

$$\text{- design diagram 3} \quad k_{u3} \approx 0,64$$

$$\text{- design diagram 4} \quad k_{u3} = -0,008750 \cdot 19,6 + 0,7875 = 0,616$$

$$\rightarrow P_{u,d} = \min k_u \cdot A \cdot f_{u,d} = 0,616 \cdot 1033 \cdot 439/1,1 = 254 \text{ kN}$$

$$P_k = 202,5 \text{ kN} \leq 254 \text{ kN} = P_{u,d}$$

4 Conclusion

In the scope of the research project "load-bearing capacity of hollow sections with inserted plates", altogether 26 static tensile tests have been carried out on circular and rectangular hollow sections at the Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine (testing center for steel, timber and stones) of the University of Karlsruhe. These tests form the basis for an appropriate elaboration of the corresponding standards.

The most important parameter for the load-bearing capacity of such joints is the geometry of the tube. A dependence of the load-bearing capacity could be established by means of the non-dimensional parameter D/t . This dependence is presented by diagrams, from which a reduction factor for the load-bearing capacity of such tube-plate connections can be determined. A detailed description of the research project can be found in the final report (No. 890553) of the Versuchsanstalt dated May 1992.

