

Einfluß der Spaltbreite auf die Tragfähigkeit von Kehlnahtverbindungen in Kontaktstößen

T 2352

T 2352

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

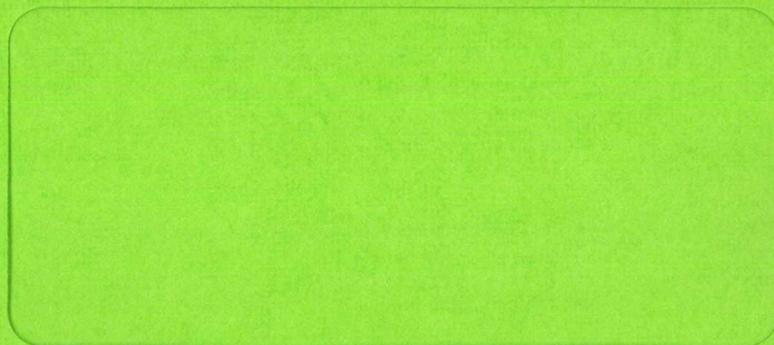
Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG
INSTITUT FÜR STAHLBAU

Direktor Prof. Dr.-Ing. Joachim Scheer



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG
INSTITUT FÜR STAHLBAU

Abteilung Stahlbau: Prof. Dr.-Ing. J. Scheer

Bericht Nr. 6 3 1 3

Einfluß der Spaltbreite auf die
Tragfähigkeit von Kehlnat^{sch}verbin-
dungen in Kontaktstößen

August 1991

Auftraggeber

Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 74 - 76

1000 Berlin 30

Dieser Bericht besteht aus 28 Seiten und 36 Anlagen

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 Problemstellung
- 2 Literaturlauswertung zu Versuchen
- 3 Versuchskörper
 - 3.1 Versuchsparameter
 - 3.2 Versuchskörperherstellung
 - 3.3 Kennzeichnung der Prüfkörper
 - 3.4 Materialproben und Zugversuche
 - 3.4.1 Materialproben
 - 3.4.2 Zugversuche
- 4 Versuche
 - 4.1 Versuchslasten
 - 4.1.1 Rechenwerte der Streckgrenze
 - 4.1.2 Oberlasten
 - 4.1.3 Unterlasten
 - 4.1.4 Spannungsamplituden und α - Werte
 - 4.2 Belastungseinrichtung
 - 4.3 Versuchsdurchführung und Auswertung
- 5 Ergebnisse
 - 5.1 Ertragene Lastwechsel
 - 5.2 Kontrolle der Schweißnähte auf Risse
 - 5.2.1 Sichtprüfung
 - 5.2.2 Rißprüfung mit Magnetpulver
 - 5.3 Luftspaltgröße nach der Belastung
 - 5.4 Untersuchungen an den Prüfkörpern 54 und 63
 - 5.5 Statische Zugversuche
- 6 Schlußfolgerungen
 - 6.1 Grundwerkstoff aus St 37
 - 6.2 Grundwerkstoff aus St 52
- 7 Aufbereitung der Versuchsergebnisse - Festlegung von Mindestkehlnahtdicken für die untersuchten Kontaktstöße
 - 7.1 Grundwerkstoff aus St37
 - 7.1.1 Vergleich der rechnerischen Grenznormalkräfte für Schweißnaht und Lamelle nach DIN 18800 mit den Versuchslasten
 - 7.1.2 Darstellung des mit den Versuchen abgedeckten Parameterbereiches
 - 7.1.3 Bemessungsvorschlag für Kehl­nähte in Kontaktstößen
 - 7.1.4 Näherungsformel für Mindestkehlnahtdicken
- 8 Normen
 - 8.1 Derzeitige Regelung in DIN 18800 Teil 1
 - 8.2 Vorschlag für die Einbindung der Versuchsergebnisse in DIN 18 800 Teil 1
 - 8.3 Vorschlag zur derzeitigen Verfahrensweise
- 9 Zusammenfassung

Forschungsvorhaben "Einfluß der Spaltbreite auf die Tragfähigkeit von Kehlnahtverbindungen in Kontaktstößen"
 Geschäftszeichen: IV 1-5-620/90
 Auftraggeber: Institut für Bautechnik, Berlin

ABSCHLUSSBERICHT

1 Problemstellung

In DIN 18 800 Teil 1 (Ausgabe Nov. 1990) wird erlaubt, Kräfte durch Kontakt zu übertragen. Dazu werden in den Elementen 505 und 837 folgende Ausführungen gemacht:

(505) Kontaktstoß

Wenn Kräfte aus druckbeanspruchten Querschnitten oder Querschnittsteilen durch Kontakt übertragen werden, müssen

- die Stoßflächen der in den Kontaktfugen aufeinander treffenden Teile eben und zueinander parallel und
- lokale Instabilitäten infolge herstellungsbedingter Imperfektionen ausgeschlossen oder unschädlich sein und
- die gegenseitige Lage der miteinander zu stoßenden Teile nach Abschnitt 8.6, Element 837, gesichert sein.

Bei Kontaktstößen, deren Lage durch Schweißnähte gesichert wird, darf der Luftspalt nicht größer als 0,5 mm sein.

Anmerkung 1: Herstellungsbedingte Imperfektionen können z.B. Versatz oder Unebenheiten sein. Lokale Instabilitäten können insbesondere bei dünnwandigen Bauteilen auftreten, siehe z.B. [2], [3].

Anmerkung 2: Die Anforderung für die Begrenzung des Luftspaltes gilt z.B. für den Anschluß druckbeanspruchter Flansche an Stirnplatten.

8.6 Druckübertragung durch Kontakt

(837) Druckkräfte normal zur Kontaktfuge dürfen vollständig durch Kontakt übertragen werden, wenn seitliches Ausweichen der Bauteile am Kontaktstoß ausgeschlossen ist.

Die Grenzdruckspannungen in der Kontaktfuge sind gleich denen des Werkstoffes der gestoßenen Bauteile.

Beim Nachweis der zu stoßenden Bauteile müssen Verformungen, Toleranzen und eventuelles Bilden einer klaffenden Fuge berücksichtigt werden.

Die ausreichende Sicherung der gegenseitigen Lage der Bauteile ist nachzuweisen. Dabei dürfen Reibungskräfte nicht berücksichtigt werden.

Anmerkung 1: Verformungen können hierbei Vorverformungen, elastische Verformungen und lokale plastische Verformungen sein.

Anmerkung 2: Toleranzen können einen Versatz in der Schwerlinie von Querschnittsteilen bewirken.

Anmerkung 3: Hinweise können der Literatur entnommen werden, z.B. [2] und [3].

- [2] Scheer, J., Peil, U., Scheibe, H.-J.: Zur Übertragung von Kräften durch Kontakt im Stahlbau. Bauingenieur 62 (1987), S.419-424.
- [3] Lindner, J., Gietzelt, R.: Kontaktstöße in Druckstäben. Stahlbau 57 (1988), S.39-50, S.384.

Im Eurocode 3 (Ausgabe 1 September 1989) sind im Anhang T zur Herstellung von Konstruktionsteilen Toleranzen über die Spaltbreite in der Kontaktfuge aufeinanderstoßender Bauteile enthalten. Diese Regelungen weichen geringfügig von denen in DIN 18 800 Teil 1 ab und enthalten weitergehende Einschränkungen bezüglich der Spaltbreite.

Von Stahlbaufirmen, Prüfbehörden und Prüfsingenieuren wird betont, daß die Feststellung der Spaltbreite beim fertigen Bauwerk nur mit größerem Aufwand und nur stichprobenartig möglich ist. Eine Kontrolle bei der Herstellung der Stahlkonstruktionen im Werk ist ebenfalls relativ aufwendig. Es wird daher angeregt, zu prüfen, ob die enge Begrenzung des Luftspaltes auf 0,5 mm nicht gelockert werden kann. Dies würde den Kontrollaufwand reduzieren und die Stahlbaufirmen zusätzlich in die Lage versetzen, Stirn- und Fußplatten mit gewissen Unebenheiten im angelieferten Zustand oder aus Schweißverzug zu verwenden.

Zur Beantwortung dieser Frage sind daher Versuche an T-förmigen Versuchskörpern vorgesehen, mit denen das Tragverhalten in Abhängigkeit von der Größe des Luftspaltes für verschiedene Bemessungssituationen (Stahlsorte, Blechdicke des zu stoßenden Teiles, Bemessung der Schweißnaht) festgestellt werden soll.

Darüber hinaus sieht die Praxis einen großen Vorteil der neuen Regelung in Fällen, in denen, abhängig von der Einwirkungssituation, in auf Kontakt gestoßenen Bauteilen auch Zugkräfte auftreten können (Bild 1). Die Bemessung der Schweißnähte auf Zugkräfte, die kleiner als die möglichen Druckkräfte sind, führt zu Schweißnähten, die die Druckkräfte zwangsläufig nicht mehr übertragen können. Gefragt wird nach einer u.U. gegebenen Schädigung der Schweißnähte, die durch die notwendige Verformung, bedingt durch die Schließung des Luftspaltes zur Erzielung der Kontaktwirkung, verursacht wird und die Zugtragfähigkeit der Verbindung herabsetzt.

Die Frage soll durch Versuche an T-förmigen Probekörpern beantwortet werden, die wiederholt abwechselnd mit den der Bemessungssituation entsprechenden Druck- und Zugkräften belastet werden.

Die Untersuchungen betreffen "vorwiegend ruhende Beanspruchung", d.h. die Beanspruchungen resultieren aus Lasten im Sinne von DIN 1055.

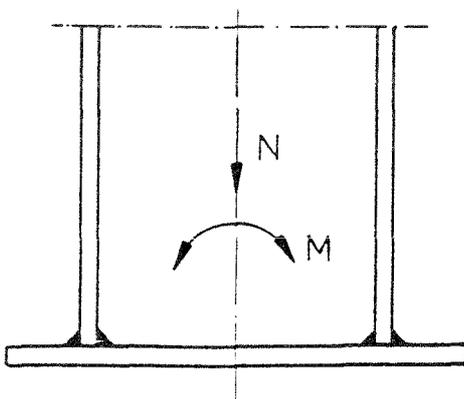


Bild 1 Beispiel für Kontaktstoß: Verbindung Stütze-Fußplatte

2 Literaturlauswertung zu Versuchen

In einem Aufsatz von Hofmann [1] werden Versuche an T-Stößen mit Kehlnähten und Luftspalt in der Fuge beschrieben. Die T-Stöße wurden durch eine Druckkraft zusammengepresst. Schweißnahttrisse sind bei einem Luftspalt von ca. 1,6 mm aufgetreten, während das bei einem Luftspalt von 0,6 mm nicht der Fall war. Detaillierte Angaben zu den Versuchen werden nicht gemacht.

Petersen beschreibt in [2] Versuche zur Ermittlung der Kurzzeitfestigkeit. Die Untersuchungen wurden für Prüfkörperformen mit 9 unterschiedlichen Kerbfällen durchgeführt, darunter ein Kreuzstoß mit Doppelkehlnaht. Die Herstellung des Kreuzstosses erfolgte mit einem planmäßigen Luftspalt von 1 mm, woraus geringere Kerb- und Schrumpfeigenspannungen resultieren. Es wurde eine Zugschwellbelastung, die weit im plastischen Bereich lag, aufgebracht. In den weiterhin durchgeführten Versuchen mit Wechselbeanspruchung lagen die Lasten im elastischen Bereich.

Literatur:

- [1] Hofmann, H.-G.: Kontaktwirkung an geschweißten Stützenfüßen. Schweißen und Schneiden 37 (1985), S.220-221.
- [2] Petersen, Ch. : Stahlbau. Vieweg-Verlag Braunschweig/Wiesbaden, 1988

3 Versuchskörper

3.1 Versuchsparmeter

Die Untersuchung der Tragfähigkeit von Kontaktstößen unter Wechsellasten wird mit doppelt-symmetrischen T-Stößen mit Doppelkehlnähten und einem über die gesamte Stoßlänge durchgehenden Luftspalt konstanter Größe durchgeführt. Diese Versuchskörper (Bild 2) werden mit einer Wechsellast beansprucht.

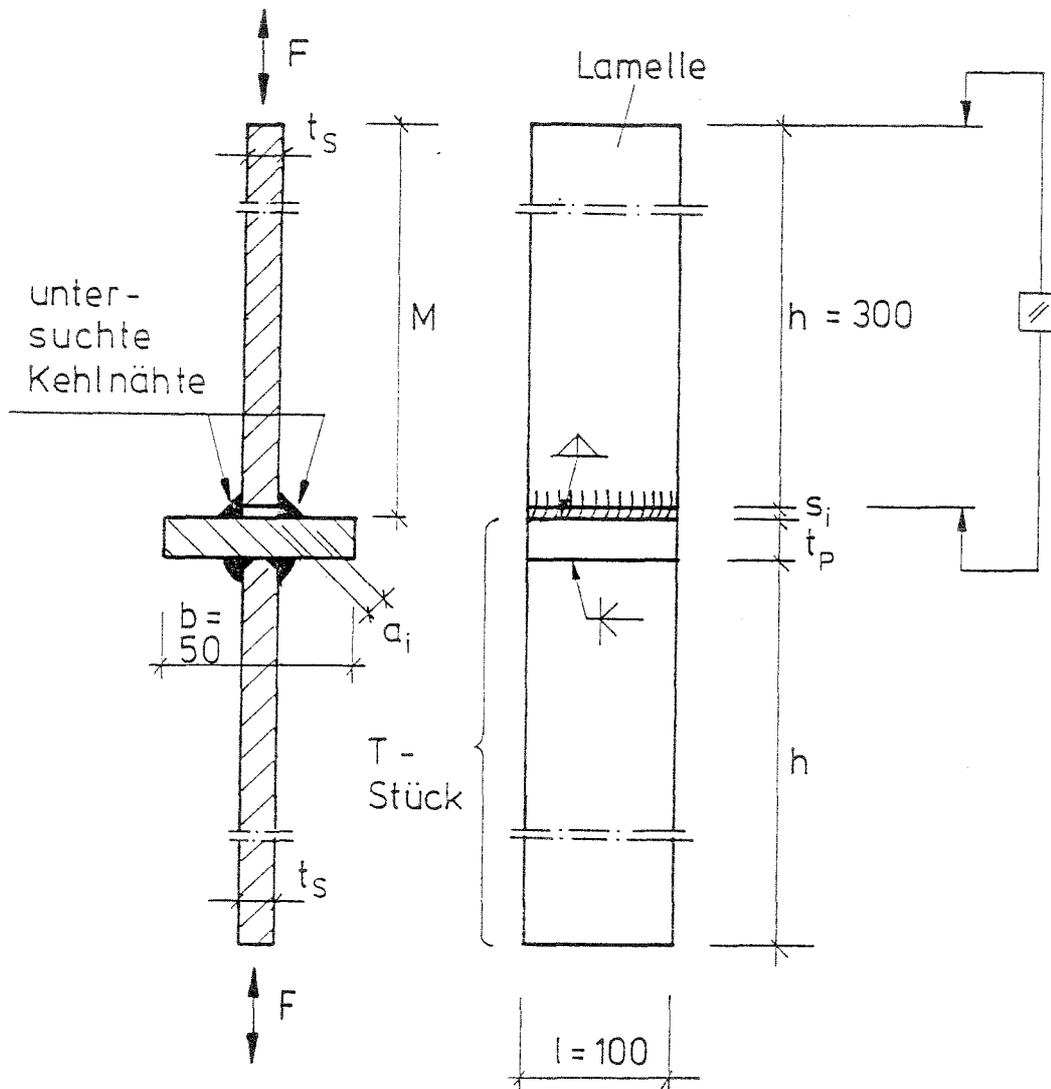


Bild 2 Versuchskörper

Folgende Parameter wurden variiert:

Werkstoff	St 37 und St 52
Lamellendicke	$t_S = 12 \text{ mm}$ und 25 mm
Plattendicke	$t_P = 20 \text{ mm}$ und 30 mm
Kehlnahtdicke	a_1, a_2, a_3 zwischen $\min a = 3 \text{ mm}$ für $t_S = 12 \text{ mm}$ bzw. $\min a = 5 \text{ mm}$ für $t_S = 25 \text{ mm}$ und $\max a = 0,5 \cdot \min t$ mit $a_1 = \min a$, $a_2 = 0,5 \cdot (a_1 + a_3)$ und $a_3 = 0,5 \cdot t_S$
Luftspalt	$s_1 = 0,5 \text{ mm}$, $s_2 = 1,0 \text{ mm}$ und $s_3 = 2,0 \text{ mm}$

Wegen einer statistischen Absicherung wurden jeweils 3 Versuche mit planmäßig gleichen Prüfkörpern durchgeführt.

Für den Werkstoff St 37 erhält man:

- für die Kombination $t_S = 12 \text{ mm} / t_P = 20 \text{ mm}$ mit jeweils 3 Kehl-
nahtdicken und Luftspaltgrößen $3 \times 3 \times 3 = 27$ Versuche und
- für die Kombination $t_S = 25 \text{ mm} / t_P = 30 \text{ mm}$ mit jeweils 3 Kehl-
nahtdicken und einer Luftspaltgröße $3 \times 3 \times 1 = 9$ Versuche.

Für den Werkstoff St 52 ergaben sich:

- für die Kombination $t_S = 25 \text{ mm} / t_P = 30 \text{ mm}$ mit jeweils 3 Kehl-
nahtdicken und Luftspaltgrößen $3 \times 3 \times 3 = 27$ Versuche und
- für die Kombination $t_S = 12 \text{ mm} / t_P = 20 \text{ mm}$ mit jeweils 3 Kehl-
nahtdicken und einer Luftspaltgröße $3 \times 3 \times 1 = 9$ Versuche.

3 weitere Versuche dienten der Bestimmung der Lastspielzahlbereiche, in denen erste sichtbare Risse an den Prüfkörperstirnseiten auftraten.

Da die Baubestimmungen DIN 18 800 Teil 1 nur für "vorwiegend ruhende Belastungen" gelten, wurden die Versuche unter wechselnden Lasten nur in einem beschränkten Lastspielbereich durchgeführt. Die Versuche wurden entweder bis zum Bruch oder bis zu einer Zahl von 100 Lastwechseln gefahren. Falls der Prüfkörper 100 Lastwechsel erreichte, wurden anschließend die Veränderungen in der Geometrie ausgemessen und außerdem im Bereich der Schweißnähte Rißprüfung vorgenommen. Einige Prüfkörper wurden, nachdem sie 100 Lastwechsel ertragen hatten, im statischen Zugversuch bis zum Versagen beansprucht.

3.2 Versuchskörperherstellung

Die Bleche und T-Stücke entsprechend den Anlagen 1 und 2 wurden von der Firma Donges Stahlbau GmbH, Darmstadt, in St 37 und St 52 gefertigt. Die zu untersuchenden Kehl-
nähte wurden im Institut für Stahlbau der TU Braunschweig mit einem planmäßigen Luftspalt in der Kontaktfläche hergestellt. Alle Kehl-
nähte wurden mit dem MAG-Schweißverfahren in der Position h unter Verwendung einer Massiv-

Draht-Elektrode 0,8 mm, S62 nach DIN 8559 (Firmenbezeichnung: CLOOS Typ C5) geschweißt. Als Schutzgas kam ein CO₂-Argon-Gemisch zum Einsatz.

Vor dem Schweißen der Kehlnähte wurden Kontaktfläche und die ihr gegenüberliegenden Flächen planparallel gefräßt. Zur Sicherung des Luftspaltes wurden Distanzbleche, deren Dicke vom herzustellenden Luftspalt abhängig war, in die Kontaktfläche eingelegt. Die Länge der Distanzbleche wurde derart gewählt, daß aus den geschweißten Werkstücken 3 Prüfkörper mit einer Länge von $l = 100$ mm herausgesägt werden konnten. Auf diese Weise erfolgte die Herstellung aller Prüfkörper (Bild 2).

Im Anschluß an die Fertigung wurden die Ist-Werte der Prüfkörperabmessungen aufgenommen:

- Die Nahtdicke "a" wurde mit Hilfe einer Kehlnahtlehre kontrolliert. Für jede Doppelkehlnaht wurde der arithmetische Mittelwert von 6 Messungen als Nahtdicke in die Meßwertetabelle aufgenommen.
- Zur Kontrolle der Spaltbreite "s" wurde als Meßwerkzeug ein "Spion" eingesetzt. Die Messungen zeigten, daß im mittleren Teil des Prüfkörpers die Spaltbreite ca. 0,2 mm geringer als am Rand war. Auch hier zählt der Mittelwert der Messungen als Spaltbreite.

Die Überprüfung ergab keine signifikanten Abweichungen der Ist-Werte von den Soll-Abmessungen.

Die Meßwerte sind in den Anlagen 3 bis 5 zusammengestellt.

3.3 Kennzeichnung der Prüfkörper

Zur Unterscheidung der Prüfkörper wurde eine Bezeichnungsweise gewählt aus der die wichtigsten Parameter, d.h. die maßgebenden Soll-Werte, ersichtlich sind. Des weiteren erfolgte eine fortlaufende Numerierung der Prüfkörper.

Kennzeichnungsschema:

xx x/x

Spaltbreite in [mm]
 Nahtdicke in [mm]
 Kleinbuchstabe zur Kennzeichnung der Blechdickenkombination
 "a" - $t_s = 12$ mm / $t_p = 20$ mm
 "b" - $t_s = 25$ mm / $t_p = 30$ mm
 Großbuchstabe zur Kennzeichnung der Stahlsorte
 "A" - St 37
 "B" - St 52

Beispiel:

Aa 4,5/2,0

Prüfkörper der Blechdickenkombination $t_s = 12$ mm / $t_p = 20$ mm aus St 37, Kehlnahtdicke $a = 4,5$ mm und Luftspalt $s = 2,0$ mm

3.4 Materialproben und Zugversuche

3.4.1 Materialproben

Vor dem Schweißen der Prüfkörper wurden aus einem Teil der gelieferten Lamellen Materialproben entnommen. Die Zuordnung der Materialproben zu den Prüfkörpern ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Für Bleche $t_s = 12$ mm wurden Flachproben, für Blechdicken $t_s = 25$ mm Rundproben nach DIN 50 125 angefertigt.

Zusätzlich zu diesen Materialproben wurden 3 Schweißgutproben nach DIN 32 525 hergestellt.

Es sei darauf hingewiesen, daß nur aus bestimmten Blechgruppen, nicht aber aus jedem Blech, Materialproben entnommen wurden und damit nicht jede Prüfkörpernummer in der Tabelle aufgeführt ist.

Tabelle 1: Zuordnung der Materialproben zu den Prüfkörpern

Nr. der Mat.-Probe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr. der Prüfkörper	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	28-30	34-36	40-42	46-48

Nr. der Mat.-Probe	10	11	12	13	14	15	16
Nr. der Prüfkörper	52-54	55-57	58-60	61-63	64-66	67-69	70-72

3.4.2 Zugversuche

Die Zugversuche wurden nach DIN 50 145 durchgeführt. Die Proben wurden dehnungsgeregelt bis ca. 5‰ mit einer Dehnungsgeschwindigkeit von 0,1‰ pro min. belastet. Danach wurde weggeregelt bis zum Bruch weitergefahren.

Die in den Zugversuchen festgestellten mechanischen Kennwerte sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt. Die grafische Darstellung ist den Anlagen 6 bis 24 zu entnehmen.

Tabelle 2: Materialproben aus Lamellen - Mechanische Kennwerte

Nr. der Mat.-Probe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_y in N/mm ²	284	232	290	287	293	348	355	357	355
f_u in N/mm ²	428	391	434	436	436	541	533	537	536

Nr. der Mat.-Probe	10	11	12	13	14	15	16
f_y in N/mm ²	360	429	425	458	219	218	262
f_u in N/mm ²	543	532	534	559	416	416	430

Tabelle 3: Schweißgutproben - Mechanische Kennwerte

Nr. der Schw.-probe	1	2	3	Mittelwert
$f_{y,w}$ in N/mm ²	424	411	415	417
$f_{u,w}$ in N/mm ²	522	511	524	519

$f_y, f_{y,w}$: obere Streckgrenze (upper yield stress)

$f_u, f_{u,w}$: Zugfestigkeit (ultimate tensile stress)

4 Versuche

4.1 Versuchslasten

Die Oberlast ist die Druckkraft, die sich aus der Kontaktfläche der Lamelle ($t_s \cdot l$) mit der Platte und einer definierten Spannung ergibt. Die Unterlast ergibt sich als Zugkraft aus der Schweißnahtfläche und der Schweißnahtspannung.

4.1.1 Rechenwerte der Streckgrenze

Für die Berechnung der Ober- und Unterlasten (Druck- und Zugkräfte) der Prüfkörper war die Festlegung eines Rechenwertes der Streckgrenze notwendig.

Um nicht ständig die Prüfmaschine auf neue Lasten einregeln zu müssen, sollten für bestimmte Gruppen von Prüfkörpern einheitliche Lasten festgesetzt werden. Daraus resultieren die in Tabelle 4 zusammengestellten Rechenwerte, wobei in diesem Zusammenhang erwähnt werden muß, daß bei der Festlegung dieser Werte keine im Sinne der Statistik strenge Mittelwertbildung erfolgte.

Tabelle 4: Rechenwerte der Streckgrenze für Lamellen

Nummern der Prüfkörper	1-27	28-54	55-60	61-63	64-69	70-72	75-77
f_y in N/mm^2	284	355	425	458	218	262	355

4.1.2 Oberlasten

Die Oberlasten werden mit 90% des Rechenwertes der Streckgrenze für Lamellen nach Tabelle 4 berechnet.

$$F_o = 0,9 \cdot (t_s \cdot 100 \cdot f_y / 1000) \quad [kN]$$

Für die Blechdicke t_s wurden die Sollwerte eingesetzt. Die Zahlenwerte der Oberlasten können Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Oberlasten (Druckkräfte) der Prüfkörper

Nummern der Prüfkörper	1-27	28-54	55-60	61-63	64-69	70-72	75-77
F_o in kN	306	800	459	493	490	587	800

4.1.3 Unterlasten

Die Unterlasten errechnen sich mit 90% der Streckgrenze nach Tabelle 4, der Schweißnahtfläche $\Sigma a_i \cdot l$ und $\alpha_w = 0,95$ nach Element 829 mit Tabelle 21 aus DIN 18 800 Teil 1, Ausgabe 11/90, zu:

$$F_u = 0,9 \cdot (0,95 \cdot 2 \cdot a_i \cdot 100 \cdot f_Y / 1000) \quad [\text{kN}].$$

Für die Nahtdicke a_i wurden die Sollwerte eingesetzt. Die Zahlenwerte der Unterlasten können Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Unterlasten (Zugkräfte) der Prüfkörper

Nummern der Prüfkörper	1-9	10-18	19-27	28-36	37-45	46-54	55-57
F_u in kN	145	218	291	303	546	759	218

Nummern der Prüfkörper	58-60	61-63	64-66	67-69	70-72	75-77
F_u in kN	327	468	186	335	557	303

4.1.4 Spannungsamplituden und α - Werte

Aus den Ober- und Unterlasten der Prüfkörper ergeben sich die auf die Schweißnahtfläche bezogenen Spannungen aus:

$$\sigma_{O,u} = \frac{F_{O,u} \cdot 1000}{2 \cdot a \cdot l} \quad [\text{N/mm}^2]$$

In der Tabelle 7 sind die Werte der Druckspannungen σ_o , der Zugspannungen σ_u , sowie der Spannungsbreite $\Delta\sigma = |\sigma_o - \sigma_u|$ und das Spannungsverhältnis $\alpha = \sigma_u / \sigma_o$ zusammengestellt.

Die für die Berechnung angesetzte Nahtdicke a ist aus der 2. Spalte der Tabelle 7 ersichtlich, für l wurden einheitlich 100 mm angesetzt.

Tabelle 7: Auf die Schweißnahtfläche bezogene Spannungswerte

Nr. der Prüfkörper	a [mm]	σ_o [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]	$\Delta\sigma$ [N/mm ²]	α
1 - 9	3,0	- 510	+ 242	752	- 0,75
10 - 18	4,5	- 340	+ 242	582	- 0,71
19 - 24	6,0	- 255	+ 242	497	- 0,95
25 - 27	6,4	- 239	+ 227	466	- 0,95
28 - 36	5,0	- 800	+ 303	1103	- 0,38
37	8,6	- 465	+ 317	782	- 0,68
38 - 39	8,2	- 488	+ 333	821	- 0,68
40 - 45	9,0	- 444	+ 303	747	- 0,68
46 - 52	12,0	- 333	+ 316	649	- 0,95
53 - 54	12,4	- 323	+ 306	629	- 0,95
55 - 57	3,1	- 765	+ 352	1117	- 0,46
58 - 60	4,1	- 560	+ 399	959	- 0,73
61 - 63	5,6	- 440	+ 418	858	- 0,95
64 - 66	5,2	- 471	+ 179	650	- 0,38
67 - 69	8,6	- 285	+ 195	480	- 0,68
70	11,4	- 257	+ 244	501	- 0,95
71	11,9	- 247	+ 234	481	- 0,95
72	12,4	- 237	+ 225	462	- 0,95
75 - 77	5,0	- 800	+ 303	1103	- 0,38

4.2 Belastungseinrichtung

Die Versuche wurden in der Universal-Prüfmaschine HUN 100 des Institutes durchgeführt, wobei die Bleche des Prüfkörpers unmittelbar in die Spannbacken der Prüfmaschine eingespannt wurden (Bild 3).

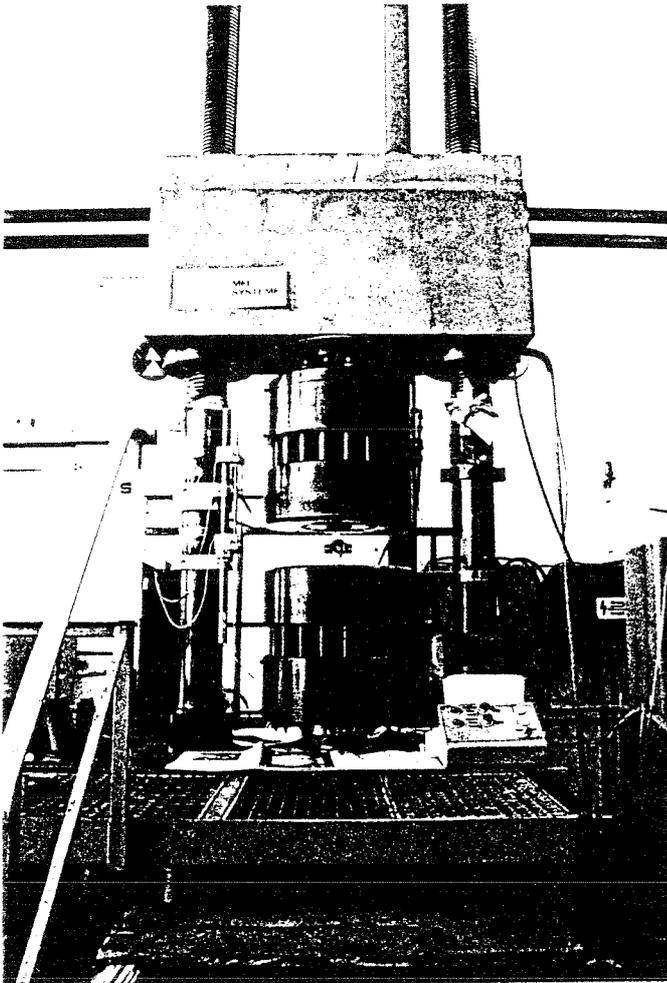


Bild 3: Belastungseinrichtung - Universalprüfmaschine HUN 100

4.3 Versuchsdurchführung und Auswertung

Alle Prüfkörper sollten zwischen Ober- und Unterlast 100 aufeinanderfolgenden Lastwechseln ausgesetzt werden. Mit der zur Verfügung stehenden Prüfmaschine wurde diese Lastwechselanzahl nach ca. 40 min erreicht, was etwa einer Frequenz von 0,04 Hz entspricht.

Nach ertragener Belastung erfolgte in der Regel der Ausbau der Prüfkörper mit anschließender Vermessung des Luftspaltes und einer Sichtprüfung der Schweißnähte auf Risse in der Nahtoberfläche

sowie an den Stirnseiten.

Diese Vorgehensweise wurde für einige Prüfkörper durch weitere Untersuchungen ergänzt.

Die Prüfkörper 54 und 63 wurden nach ertragenen 100 Lastwechseln bis zum Eintreten des Bruches weiterbelastet.

Für die Prüfkörper 75 bis 77, die speziell dafür aus Restblechen nachgefertigt worden waren, erfolgte nach jeweils 20 Lastwechseln eine Sichtkontrolle der Prüfkörperstirnseiten auf Anrisse der Schweißnähte, um einen Anhaltspunkt für das erste sichtbare Auftreten von Schweißnahtrissen zu erhalten.

Die Prüfkörper mit den Nummern 7, 17, 26, 35, 44, 53, 57, 60, 64, 67 und 70 wurden nach den Regeluntersuchungen, Vermessung des Schweißnahtspaltes und Sichtprüfung der Nähte, im statischen Zugversuch bis zum Bruch belastet.

5 Ergebnisse

5.1 Ertragene Lastwechsel

Bis auf die Prüfkörper 61 und 62, die nach 13 bzw. 48 Lastwechseln versagten, wurden in allen Versuchen die 100 Lastwechsel ohne Zerstörung der Schweißnähte ertragen.

Die bis zum Bruch belasteten Prüfkörper 54 und 63 erreichten die folgenden Bruchlastwechselzahlen:

- Prüfkörper 54 394 Lastwechsel und
- Prüfkörper 63 118 Lastwechsel.

5.2 Kontrolle der Schweißnähte auf Risse

5.2.1 Sichtprüfung

Alle Schweißnähte wurden einer Sichtprüfung (z.T. mit Lupe) bei Tageslicht unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Die Risse erreichten z.T. Ausdehnungen bis 3 mm, ausgehend von der Stirnseite des T-Stückes. Zumeist waren beide Kehlnähte angerissen. Eine detaillierte Wiedergabe der Rißgrößen und Lagen an den Stirnseiten der Prüfkörper ist auf Grund der anfallenden Datenmenge und keiner feststellbaren Korrelation mit einem der untersuchten Parameter wenig aussagekräftig und erschien im Rahmen der Zielstellung des Vorhabens nicht angebracht.

Tabelle 8: Sichtprüfung der Schweißnähte - Rißbefunde

Nummern der Prüfkörper	1-27	28-54	55-63	64-68	69	70-72	75-77
Rißbefund	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja

Die Untersuchung an den Prüfkörpern 75 bis 77 hinsichtlich des Rißbeginns ergab an allen Prüfkörpern erste sichtbare Risse zwischen dem 40. und 60. Lastwechsel.

Auch diese Ergebnisse geben aufgrund der bei allen Untersuchungen festgestellten Streuungen nur einen groben Anhaltspunkt.

5.2.2 Rißprüfung mit Magnetpulver

Die Rißprüfung mit einem Magnetpulververfahren kam bei den Prüfkörpern zur Anwendung, bei denen keine sichtbaren Risse festgestellt werden konnten.

Die Prüfkörper 1 bis 27 wurden mit dem Trockenmagnetpulver "Ferrolux" behandelt und mit einem Wechselstrom-Handmagneten "JWM 220" der Firma Tiede geprüft.

Es zeigte sich, daß mit Hilfe dieses Verfahrens, das vornehmlich für die Prüfung auf Oberflächenrisse geeignet ist, keine weitergehenden Erkenntnisse gewonnen werden konnten, da der Beginn der Rißausbreitung vom Luftspalt zur Nahtaußenfläche hin verläuft und

nach 100 Lastwechseln noch keine Anrisse auf der Nahtoberfläche nachweisbar waren.

Aufgrund dieser Erfahrung wurde auf die Untersuchung der Prüfkörper 64 bis 68 mit dieser Methode verzichtet.

Die Prüfkörper 7 bis 9 wurden zusätzlich zur oben beschriebenen Prüfung einer Untersuchung mit fluizierendem Magnetpulver unter UV-Lichtbestrahlung ausgesetzt. Diese Prüfkörper schienen wegen der Kombination kleinste Nahtdicke / größter planmäßiger Luftspalt am meisten gefährdet. Der Prüfmodus mußte aber auf wenige Versuchskörper beschränkt bleiben, da eine derartige Schweißnahtkontrolle nur am Institut für Schweißtechnik der TU Braunschweig möglich war. Es konnten bei den betrachteten Prüfkörpern Mikrorisse, ausgehend von der Nahtecke an der Stirnseite des T-Stückes, festgestellt werden.

5.3 Luftspaltgröße nach der Belastung

Die Größe des planmäßigen Luftspaltes wurde nach den Versuchen gemessen.

Die Werte können den letzten Spalten der Meßwertetabellen in den Anlagen 3 bis 5 entnommen werden. Die Messungen erfolgten entsprechend den in Pkt.2.1 getroffenen Vereinbarungen.

Die Bilder 4 und 5 zeigen exemplarisch den Prüfkörper 76 nach der Beanspruchung durch 100 Lastwechsel. Der planmäßige Luftspalt ist fast geschlossen.

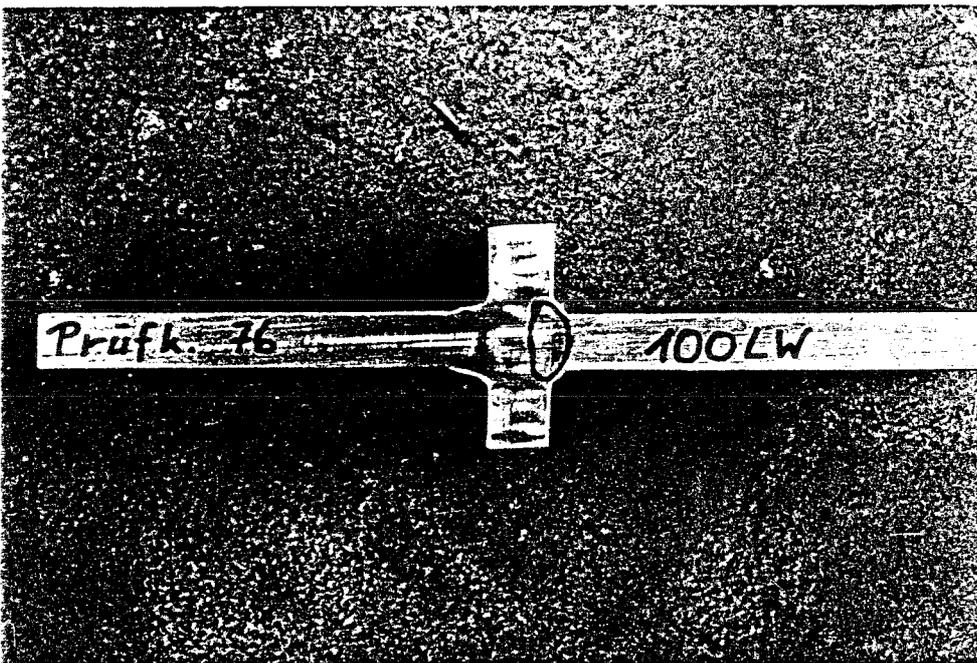


Bild 4: Prüfkörper 76 nach 100 Lastwechseln

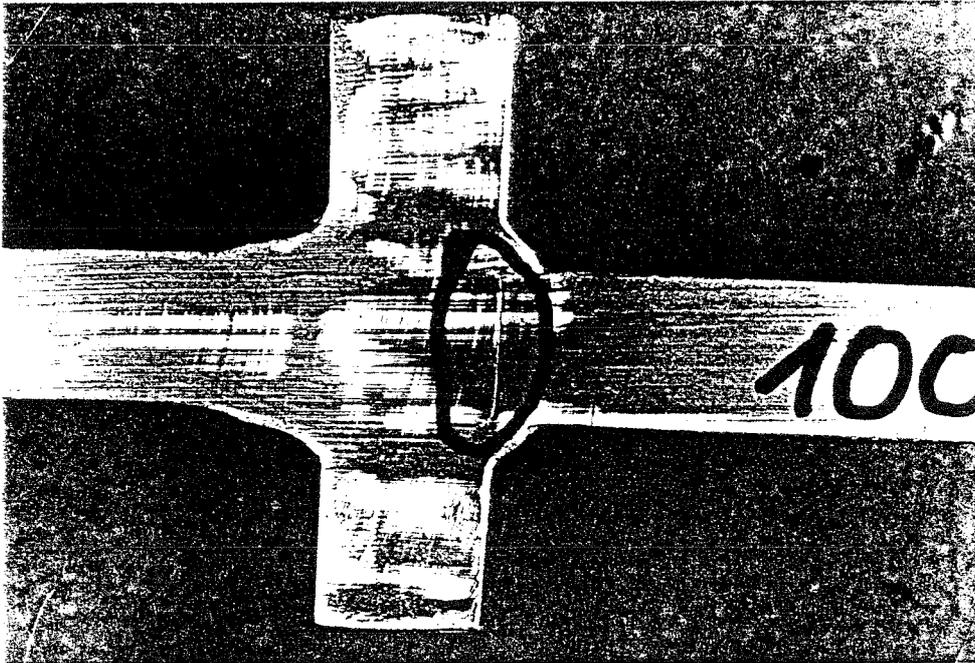


Bild 5: Detail Luftspalt

5.4 Untersuchungen an den Prüfkörpern 54 und 63

Die Versuche der Prüfkörper 54 und 63 wurden nicht nach Erreichen des Regellimits von 100 Lastwechseln abgebrochen, sondern bis zum Bruch weitergefahren. Einerseits sollten diese Versuche einen Anhaltspunkt für die erreichbaren Bruchlastspielzahlen (siehe Pkt.4.1) ergeben, andererseits wurden so Bruchbilder der Schweißnähte erhalten, die eine Beurteilung der Rißausbreitung in der Naht zuließen.

Die Bilder 6 und 7 zeigen den Prüfkörper 54 nach dem Bruch der Schweißnaht.

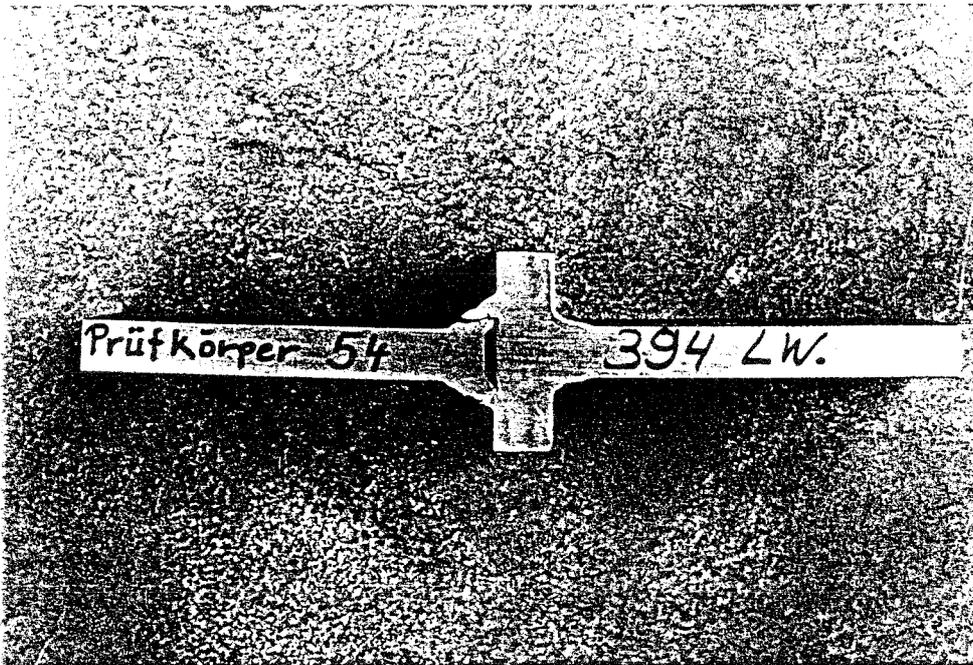


Bild 6: Prüfkörper 54 nach dem Bruch der Schweißnaht (394 Lastwechsel)

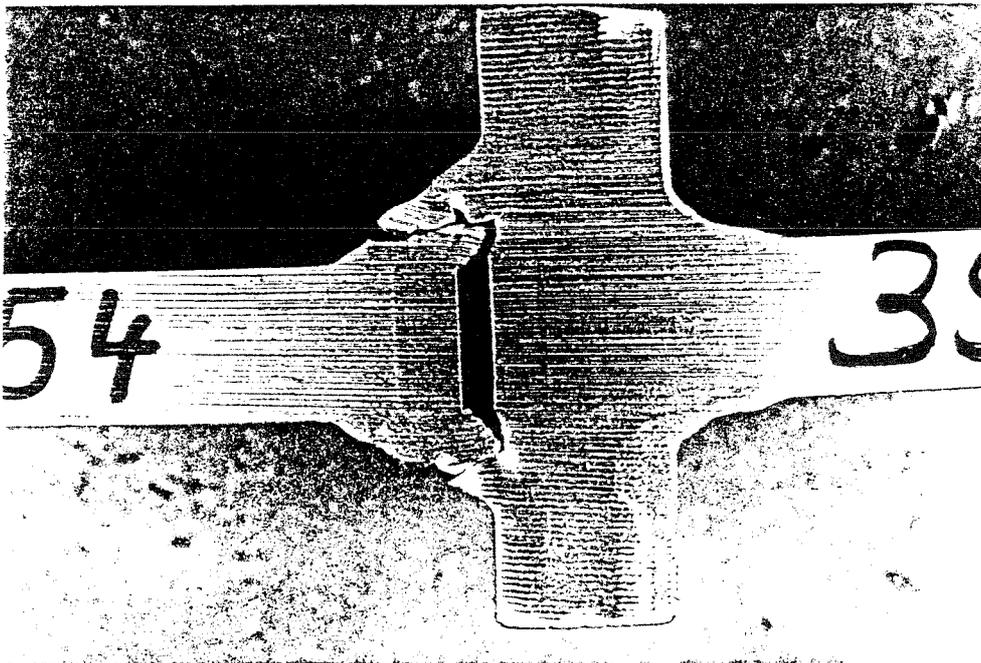


Bild 7: Prüfkörper 54 - Detail Nahtbereich

Der Nahtbereich im Bild 6 zeigt das typische Rißbild, das auch in ähnlicher Weise bei den Prüfkörpern 61 bis 63 erkennbar ist.

Die Risse breiten sich von den Ecken an der Stirnseite des T-Stückes seitlich aus.

Die im Bild 6 untere Kehlnaht versagte ab einer bestimmten Rißlänge durch Gewaltbruch, die Bruchfläche ist in etwa 60° geneigt.

Die Bruchfläche der oberen Kehlnaht liegt in Richtung der Prüfkörperachse. Eine Erklärung dafür sind die Anzeichen für einen Rißbeginn (deutliche Rasterlinien) von der Nahtoberfläche aus nach innen (im Bild 6 nicht erkennbar). Ausgangspunkt dieses Risses ist die Kerbe zwischen zwei Decklagen der Kehlnaht, die, aufgrund der bei dieser Nahtdicke notwendigen Mehrlagenschweißung, fast unvermeidlich sind.

Ein ähnlicher Effekt trat bei den einlagig geschweißten Prüfkörpern 61 bis 63 auf. Durch das Schweißen in Position h kam es z.T. zur Ausführungsform Wölbnaht. Die Kerbe am Übergang Naht-Grundwerkstoff war dann ebenfalls Ausgangspunkt für einen Riß. In den Bildern 8 und 9 wird das verdeutlicht.

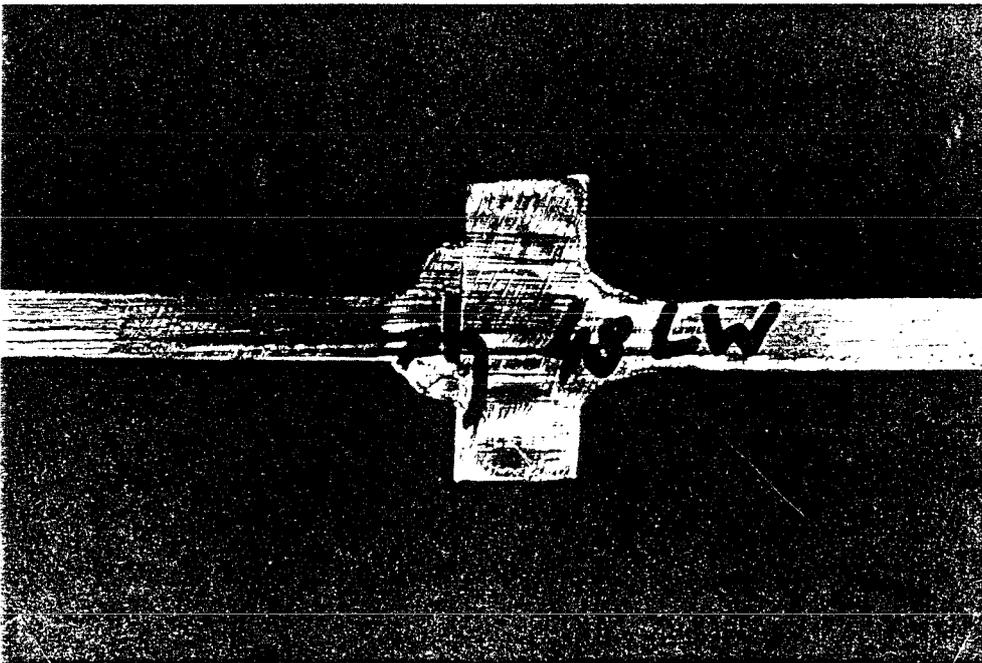


Bild 8: Prüfkörper 62 nach 48 Lastwechseln, Detail Nahtbereich

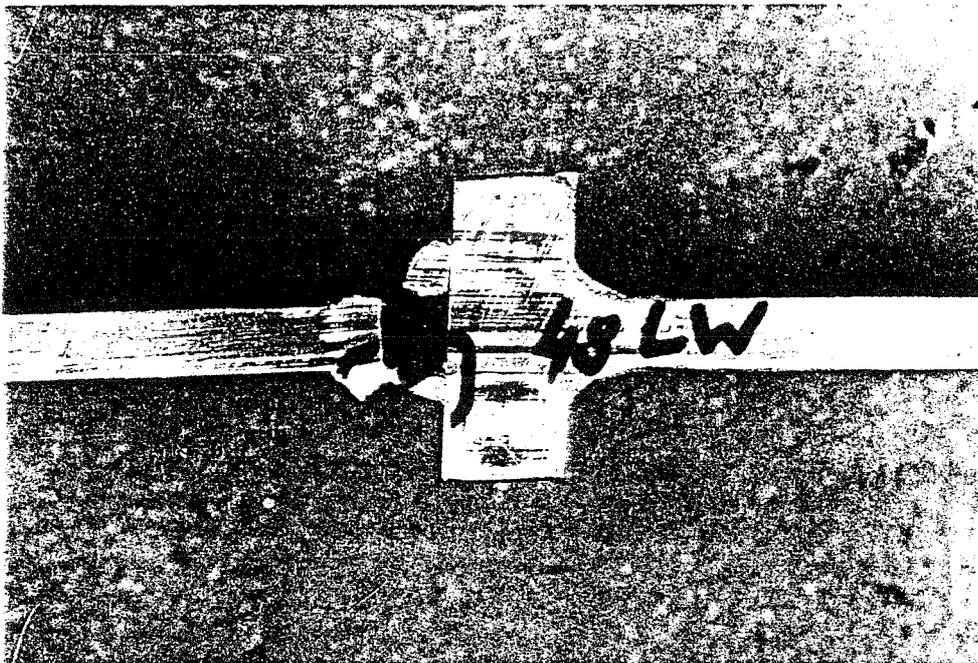


Bild 9: Prüfkörper 62, Detail Bruchflächen

5.5 Statische Zugversuche

Für die im Anschluß an die Prüfkörperuntersuchungen durchgeführten statischen Zugversuche wurden nur Prüfkörper mit 2,0 mm Luftspalt ausgewählt, um aus der Spaltbreite resultierende Einflüsse auszuschalten und einen Vergleich hinsichtlich des Einflusses der Schweißnahtdicken zu erhalten. Das Ziel der statischen Zugversuche bestand in der Beantwortung folgender Fragestellungen:

1. Wie groß ist die Traglast der Verbindung nach 100 Lastwechseln ?
2. Über welche Duktilität verfügt die Verbindung noch nach 100 Lastwechseln ?

Die Versuche wurden weggeregelt mit einer Geschwindigkeit von 2,5 mm/min gefahren und das Kraft-Weg-Diagramm in einem Datenfile aufgezeichnet. Die so ermittelten Kurven sind in den Anlagen 25 bis 33 dokumentiert.

Die Traglasten und, falls im Versuch nachweisbar, die Lasten an der Fließgrenze sind in Tabelle 9 gemeinsam mit den sich daraus ergebenden Spannungen sowie den für diese Auswertung notwendigen Parametern zusammengestellt.

Alle Prüfkörper versagten im Nahtquerschnitt.

Tabelle 9: Ergebnisse der statischen Zugversuche

Prüf- körper Nr.	Naht- dicke mm	Stahl- sorte	Fließ- last kN	Bruch- last kN	Fließ- spanng. N/mm ²	Bruch- spanng. N/mm ²
7	3,0	St 37	280	388	467	647
17	4,5	St 37	286	387	318	430
26	6,4	St 37	286	429	223	335
35	5,0	St 52	---	366	---	366
44	9,2	St 52	758	796	412	433
53	12,4	St 52	766	1051	309	424
57	3,1	St 52	422	463	681	747
60	4,0	St 52	425	478	531	598
64	5,3	St 37	---	486	---	458
67	8,5	St 37	500	726	294	427
70	11,4	St 37	514	823	225	361

Für die Nahtdicke wurden die gemessenen Ist-Werte angesetzt (siehe Anlagen 3 bis 5), als Prüfkörperlänge wurden einheitlich $l = 100$ mm angesetzt.

Die Spannungen sind auf den Ausgangsnahtquerschnitt bezogen, d.h. vorhandene Querschnittsminderungen infolge Rißausbreitung sind nicht berücksichtigt, so daß diese Werte nur bedingt aussagekräftig sind.

Auffällig ist, daß für Prüfkörper mit gleicher Blechdickenkombination, unabhängig von der Nahtdicke, fast gleiche Fließlasten erreicht werden.

Für die Bruchlasten kann eine derart allgemeine Feststellung nicht getroffen werden. Hier stimmen nur noch die Lasten für die Blechdickenkombination "a", Prüfkörper 7, 17, 26 (max. Abweichung ca. 11%) aus St 37 und Prüfkörper 57, 60 aus St 52 überein.

Aus den Kraft-Weg-Diagrammen läßt sich folgendes Verhalten ablesen.

Innerhalb einer Blechdickenkombination nimmt, unabhängig von der Stahlsorte, die Duktilität der Verbindung mit zunehmender Nahtdicke zu. Diese Feststellung schließt die Prüfkörper 35 und 64, Blechdickenkombination "b" aus St 52 und St 37, aus. Bei diesen Prüfkörpern trat kein Fließen ein. Das Kraft-Weg-Diagramm weist auf eine starke Versprödung der Verbindung hin, wobei dieser Effekt nur bei Lamellendicken von $t_s = 25$ mm auftrat.

6 Schlußfolgerungen

6.1 Grundwerkstoff aus St 37

Alle Prüfkörper aus St 37 überstanden die 100 Lastwechsel ohne Versagen. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte eine negative Auswirkung eines größeren Luftspaltes als 0,5 mm auf die Tragfähigkeit nicht nachgewiesen werden.

Das vereinfachte mechanische Modell - Druckkräfte werden durch Kontakt, Zugkräfte durch die Schweißnähte übertragen - liefert im Zusammenhang mit der Berechnung der Nahttragfähigkeit nach DIN 18 800 Bemessungslasten, die in den durchgeführten Versuchen nicht zum vorzeitigen Versagen der Verbindung führten.

Betrachtet man die gemessenen Spaltbreiten nach den Versuchen, so ist aber offensichtlich, daß diese Modellvorstellung mit der Realität nicht übereinstimmt. Aus den Meßergebnissen läßt sich weiterhin schlußfolgern, daß die plastischen Stauchungen der Kehlnähte, trotz hoher Beanspruchung, nur sehr geringe Größen erreicht haben.

Im Laufe der Belastungswechsel wird eine Schädigung der Schweißnähte eintreten, die jedoch im durch die Versuche abgesicherten Bereich unbedenklich bleibt.

Die Ursache dafür könnte darin bestehen, daß die Schweißnähte selbst eine höhere Festigkeit (vergleichbar mit St 52, siehe auch die Anlagen 21 bis 23) als der Grundwerkstoff haben, rechnerisch aber immer mit den Werten des Grundwerkstoffes gearbeitet wird. Andererseits steht diese Überlegung im Widerspruch zu dem in [2, S.74, Bild 108] aufgeführten Zugversuch an einem Kreuzstoß, bei dem im Vergleich zum Grundwerkstoff niedrigere Fließ- und Bruchlasten erreicht werden.

In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß die im Zugversuch an den Schweißnahtproben erhaltenen Festigkeitskennwerte nicht ohne weiteres auf die hier untersuchten Kehlnähte übertragen werden können. Das liegt zum einen daran, daß die Zugproben aus der Mitte einer mehrlagig geschweißten Stumpfnäht entnommen wurden und damit ein anderes Gefüge aufweisen als die Kehlnähte, die einlagig geschweißt wurden (Kehlnähte bis $a = 5$ mm). Einlagig geschweißte Nähte bzw. die Decklage von mehrlagig geschweißten Nähten weisen ein Widmannstättensches Gefüge (Gußstruktur) auf, das in den mechanischen Eigenschaften schlechtere Werte als ein Normalgefüge liefert. Eine quantitative Aussage läßt sich hierzu nicht treffen. Zum anderen ist nicht bekannt, ob sich bei Belastung rechtwinklig zur Schweißnaht andere mechanische Kennwerte ergeben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß für St 37 die Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit bezüglich des zulässigen Luftspaltes abgeschwächt werden können und, daß die Anwendung des oben erwähnten mechanischen Modells zulässig erscheint, wenn der durch die Versuche abgesicherte Bereich nicht verlassen wird.

Aussagen über das Verhalten der Verbindungen bei einer Anzahl von Belastungswechseln die über 100 hinausgeht, können mit dem aus den durchgeführten Versuchen gewonnenen Ergebnismaterial nicht gemacht

werden. Gleiches gilt für andere Spannungsbreiten und Spannungsverhältnisse.

6.2 Grundwerkstoff aus St 52

Bis auf die Prüfkörper 61 und 62, die nach 13 bzw. 48 Lastwechseln versagten, ertrugen alle Verbindungen 100 Beanspruchungswechsel. Der Prüfkörper 63 verlor jedoch schon nach 18 weiteren Lastwechseln seine Tragfähigkeit, d.h. es lag nur eine geringe Überschreitung des festgelegten Regellimits vor. Selbst wenn man unterstellt, daß es sich im Fall des Prüfkörpers 61 um einen Ausreißer handelte, weist die Tatsache, daß ein Teil der Prüfkörper vorzeitig versagte, darauf hin, daß hier mehr Vorsicht als bei einem Grundwerkstoff aus St 37 geboten ist.

Das wird auch durch die Ergebnisse der Sichtprüfungen der Kehlnähte, die bei allen Prüfkörpern aus St 52 Risse anzeigte (siehe Tabelle 8), bestätigt.

Betrachtet man die gemessenen Spaltbreiten nach den Versuchen, so ist zu erkennen, daß zumindest im Bereich der kleinsten und mittleren Nahtdicke ein Teil der aufgebrachten Last durch Kontakt übertragen wird (siehe auch Bild 4). Eine Aussage über die Größe der Kraft, die durch Kontakt übertragen wird, kann nicht getroffen werden.

Diese Wirkungsweise der Verbindung führt zu größeren plastischen Stauchungen der Kehlnähte. Das vorzeitige Versagen trat an Prüfkörpern auf, die mit einem planmäßigen Luftspalt von 2 mm gefertigt worden waren, d.h., an denen die größten plastischen Deformationen auftraten.

Vergleicht man die in Tabelle 7 zusammengestellten Spannungsbreiten und Spannungsverhältnisse, so fällt auf, daß bei festgehaltenem Spannungsverhältnis $\sigma = - 0,95$ die Prüfkörper 61 bis 63 der Belastung mit der größten Spannungsbreite ausgesetzt waren. Es läßt sich auf der Grundlage der Versuchsergebnisse nicht entscheiden, welcher der Faktoren den dominierenden Einfluß hatte.

Bezüglich Nahtfestigkeit und Extrapolierung der Ergebnisse auf nicht durch die Versuche abgesicherte Bereiche gilt das unter Pkt.5.1 gesagte.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß aufgrund der Versuchsergebnisse die Minderung der Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit (2 mm Luftspalt in der Kontaktfuge) für St 52 nicht empfohlen werden kann.

7 Aufbereitung der Versuchsergebnisse - Festlegung von Mindestkehlnahtdicken für die untersuchten Kontaktstöße

7.1 Grundwerkstoff aus St37

7.1.1 Vergleich der rechnerischen Grenznormalkräfte für Schweißnaht und Lamelle nach DIN 18800 mit den Versuchslasten

Die in den Versuchsreihen aufgebrauchten Prüfkörperlasten (Tabellen 5 und 6) liegen über den in einer Bemessung nach DIN 18800 Teil 1, Ausg.11/90, rechnerisch ermittelbaren Grenznormalkräften für Kehl Nähte und Lamellen, da nach der Norm eine Streckgrenze von $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$ in die Berechnung einfließt. Damit ist gesichert, daß in der praktischen Anwendung Querschnitte durch Bemessungslasten nicht planmäßig höher beansprucht werden, als das in den Versuchsreihen geschehen ist.

7.1.2 Darstellung des mit den Versuchen abgedeckten Parameterbereiches

Im Bild 10 ist der durch die Versuche an Verbindungen aus St37 abgegrenzte Parameterbereich schraffiert dargestellt.

Die linke, steiler ansteigende, Grenzgerade wird durch die Punkte - Kehl nahtdicke 3 mm, Lamellendicke 12 mm und Kehl nahtdicke 5 mm, Lamellendicke 25 mm - definiert. Es sind die innerhalb einer Blechdickenkombination kleinsten Kehl nahtdicken. Für diese Kehl Nähte ergab sich die höchste Beanspruchung infolge der Oberlast (Druckkraft).

Die rechte, flacher ansteigende, Gerade wird durch die Punkte - Kehl nahtdicke 6 mm, Lamellendicke 12 mm und Kehl nahtdicke 12,5 mm, Lamellendicke 25 mm - definiert. Es sind die innerhalb einer Blechdickenkombination größten Kehl nahtdicken. Für diese Kehl Nähte ergab sich die geringste Beanspruchung infolge der Oberlast (Druckkraft).

Anhand der Versuche kann abgeschätzt werden, daß eine Extrapolierung nach unten bis zum Schnittpunkt der beiden Geraden und nach oben bis zu einer Lamellendicke von 30 mm vertretbar ist.

Damit geben alle auf der linken Gerade liegenden Punkte die zu einer bestimmten Lamellendicke gehörende statisch erforderliche Mindestkehl nahtdicke bei voller Auslastung der Verbindung auf Druck und Zug an. In diesem Zusammenhang sei betont, daß damit Fragen der Schweißsicherheit nicht berührt werden. Es wird auf DIN 18800 Teil 1, Ausg.11/90, Element 519 hingewiesen, daß die Nichteinhaltung der mit Gleichung (5) verbundenen Forderung nach einer Mindestkehl nahtdicke in Abhängigkeit von der größten in der Schweißverbindung auftretenden Blechdicke erlaubt, wenn die Schweißbedingungen die Herstellung der qualitativ erforderlichen Schweißnaht sichern (siehe dazu auch der im Element 519 angegebene Literaturhinweis).

Die rechte Gerade ist für die Zielsetzung, geringe Zugkräfte durch die Schweißnaht und die Druckkräfte durch Kontakt zu übertragen, weniger interessant, da die aufnehmbare Grenzzugkraft der Schweißnaht 95% der von der jeweiligen Blechdicke aufnehmbaren Grenz-

druckkraft beträgt. Die 95% sind durch den Faktor $\alpha_w = 0,95$ bedingt, sonst wären beide Kräfte gleich. Alle auf dieser Geraden liegenden Punkte veranschaulichen die bisher übliche Bemessungspraxis bei Nichtinanspruchnahme der Kraftübertragung durch Kontakt, nach der die Druckkraft vollständig von der Schweißnaht aufgenommen werden mußte.

Gemäß den Ausführungen unter Pkt.6.2 sind diese Ergebnisse im untersuchten Lastspielbereich von der Spaltbreite unabhängig.

Kehlnahtdicken in Abhängigkeit von den Lamellendicken bei voller Auslastung der Verbindung auf Druck und Zug

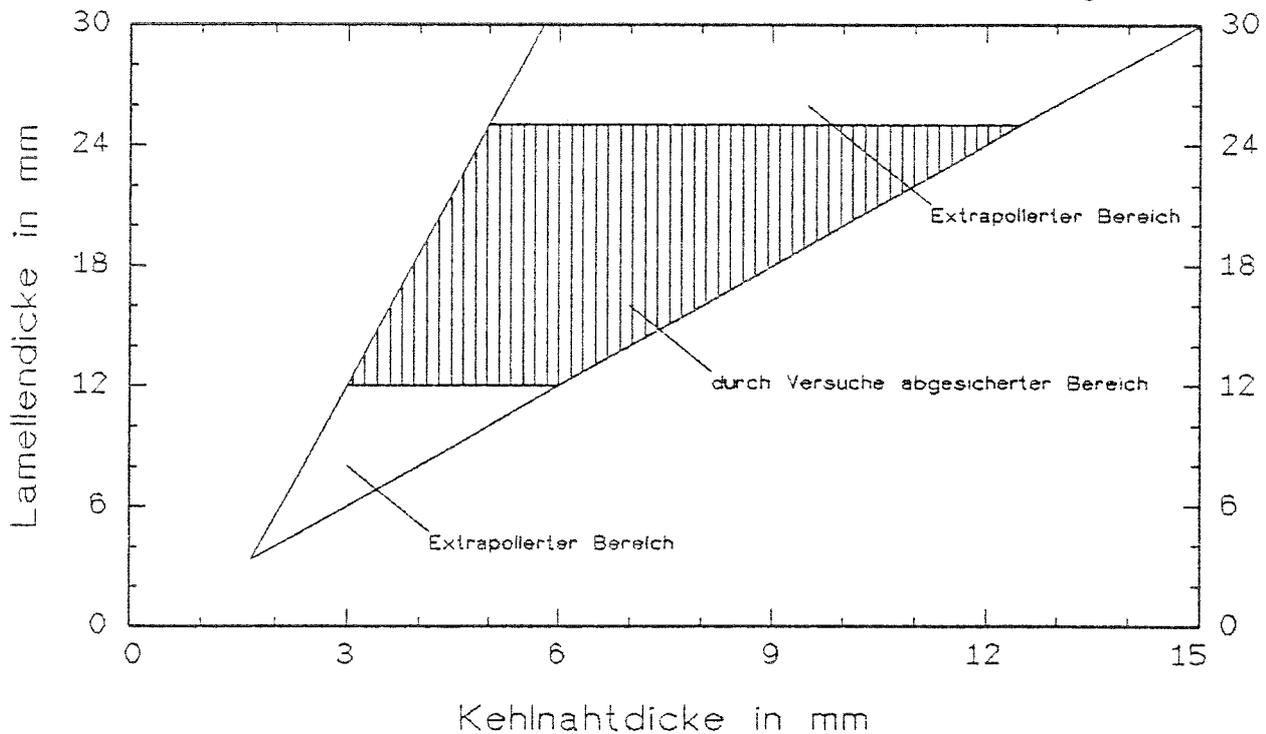


Bild 10: Darstellung des erfaßten Parameterbereiches

Das obige Diagramm ist für die Anwendung als Bemessungshilfsmittel zur Ermittlung der Mindestkehlnahtdicke in Kontaktstößen zu unhandlich. Desweiteren wird es in der Bemessungspraxis nicht immer möglich sein, den Querschnitt der Blechlamelle, die die Druckspannungen durch Kontakt übertragen soll, bis zum Bemessungswert der Streckgrenze $f_{y,d}$ auszunutzen. Aus diesem Grund wird eine Näherungsbeziehung angegeben, mit der auch die Berücksichtigung der in der Lamelle vorhandenen Druckspannung $\sigma_{c,d}$ infolge Bemessungslasten möglich ist.

7.1.3 Bemessungsvorschlag für Kehlnähte in Kontaktstößen

Ziel der Bemessung ist die Kehlnahtdicke a_i mit der der Kontaktstoß ausgeführt werden muß.

Der Berechnungsgang zur Ermittlung des Querschnittes der Blechlamelle, die die Druckspannung durch Kontakt übertragen soll, sowie der erforderlichen Schweißnahtdicke $a_{i,d}$ zur Übertragung der Zugspannung unterscheidet sich nicht von der üblichen und gewohnten Verfahrensweise.

Im Anschluß daran ist die in der Berechnung ermittelte Kehlnahtdicke $a_{i,d}$ mit der Mindestkehlnahtdicke $\min a_i$ zu vergleichen. Der größere der beiden Werte ist maßgebend und ergibt den erforderlichen Wert für a_i .

$$a_i = \begin{cases} a_{i,d} \\ \min a_i \end{cases}$$

Damit wird erreicht, daß die durch Versuche abgesicherten Verhältnisse Oberlast (Druckkraft) zu Unterlast (Zugkraft) nicht überschritten werden.

7.1.4 Näherungsformel für Mindestkehlnahtdicken

Es wird eine Näherungsbeziehung vorgestellt, mit der eine schnelle und einfache Ermittlung der Mindestkehlnahtdicken $\min a_i$ in Kontaktstößen in Abhängigkeit von der Bemessungsspannung in der Lamelle $\sigma_{c,d}$ möglich ist.

Grundlage der Näherungsformel für $\min a_i$ sind die in Bild 10 dargestellten Parameterbereiche. Die linke, steiler ansteigende, Gerade wird in der Form

$$\min a_i = f(\bar{t}_s) \quad \text{mit} \quad \bar{t}_s = t_s \cdot \frac{\sigma_{c,d}}{f_{y,d}} = t_s \cdot \frac{\gamma_m \cdot \sigma_{c,d}}{f_{y,k}} ; t_s \text{ [mm]}$$

beschrieben.

Die Gerade wird näherungsweise durch die Funktion

$$\min a_i = 0,15 \cdot \bar{t}_s + 1,15 \quad \min a_i \text{ [mm]}$$

dargestellt.

Die damit erhaltenen Werte sollten immer auf halbe Millimeter aufgerundet werden.

Wie in Pkt.7.1.2 erwähnt, wird damit eine von DIN 18800 Teil 1, Ausg.11/90, Element 519, Gleichung (5) abweichende Regelung vorgeschlagen. Die in diesem Element enthaltene Bedingung,

$$\min a_i = 2 \text{ mm} \quad (\text{Gleichung (4) im Element 519}),$$

wird durch die hier vorgeschlagene Gleichung zur Ermittlung von $\min a_i$ nicht ersetzt und muß eingehalten werden.

Damit lauten die vollständigen, für die Bemessung des untersuchten Kontaktstoßes einzuhaltenen Schranken für $\min a_i$:

$$\min a_i = \begin{cases} 2 \text{ mm nach DIN 18800, Element 519, Gleichung (4)} \\ 0,15 \cdot \bar{t}_s + 1,15 \quad \text{mit } \bar{t}_s \text{ in [mm]} \end{cases}$$

Der größere der beiden Werte ist maßgebend.

8 Normen

8.1 Derzeitige Regelung in DIN 18800 Teil 1

Die derzeitige Fassung der DIN 18800 Teil 1 beschränkt die Luftspaltbreite auf 0,5 mm und liegt damit, wie die Versuchsergebnisse zeigen, auf der sicheren Seite.

8.2 Vorschlag für die Einbindung der Versuchsergebnisse in DIN 18 800 Teil 1

Die im Element (505) Kontaktstoß hinsichtlich der Größe des Luftspaltes bei Lagesicherung durch Schweißnähte getroffene und derzeit gültige Regelung sollte aufgrund der Versuchsergebnisse bei der Weiterentwicklung des Regelwerkes modifiziert werden.

Der entsprechende Absatz 2 im Element (505) sollte durch folgende Formulierung ersetzt werden:

Bei Kontaktstößen, deren Lage durch Kehlnähte gesichert wird, darf die Größe des Luftspaltes den Grenzwert s nicht überschreiten. Dieser beträgt für gestoßene Bauteile aus St37 $s = 2$ mm, für St52 und höherfeste Stähle $s = 0,5$ mm.

Als zugehörige Anmerkung ist zu ergänzen:

Anmerkung 3: Die Grenzwerte s sind Ergebnis verschiedener Bauteilversuchsreihen, siehe [1].

[1] Bericht Nr.6313, Institut für Stahlbau, TU Braunschweig

Aus der Modifizierung der Regelungen zur Luftspaltgröße im Element (505) ergeben sich Erweiterungen im dazu korrespondierenden Element (837).

Als zusätzlicher 5. Absatz ist zu ergänzen:

Wird die gegenseitige Lage der miteinander zu stoßenden Teile durch Kehlnähte gesichert, so gilt der Nachweis der Lagesicherung als erbracht, wenn die auszuführende Kehlnahtdicke a die Bedingung (77a) erfüllt.

$$\frac{a}{\min a} \geq 1 \quad (77a)$$

mit

$$\min a = 0,15 \cdot \bar{t}_s + 1,15 \quad [\text{mm}], \text{ jedoch } \min a \geq 2 \text{ mm} \quad (77b)$$

$$\bar{t}_s = t_s \cdot \frac{\sigma_{c,d}}{f_{y,d}} = t_s \cdot \frac{\gamma_m \cdot \sigma_{c,d}}{f_{y,k}}$$

\bar{t}_s in Abhängigkeit von der Spannungsauslastung abgeminderte Blechdicke

$\sigma_{c,d}$ Druckspannung im Blech, z.B. Flansch, infolge Bemessungslasten

t_s Blechdicke des die Druckkraft übertragenden Teiles der Verbindung [mm]

f_y Streckgrenze der miteinander zu stoßenden Teile

Als zugehörige Anmerkungen sind zu ergänzen:

Anmerkung 4: Treten aus anderen Einwirkungskombinationen in der Verbindung Zugkräfte auf, so ist zusätzlich der Nachweis nach Element (825) zu führen.

Anmerkung 5: Die für $\min a$ angegebene Formel wurde aus den Ergebnissen verschiedener Bauteilversuchsreihen abgeleitet, siehe dazu [1]. Die mit (77b) erhaltenen Werte sollten auf halbe Millimeter aufgerundet werden.

8.3 Vorschlag zur derzeitigen Verfahrensweise

Die nach den Gleichungen (77a) und (77b) ermittelte Kehlnahtdicke a ist nach Auffassung der Bearbeiter dieses Vorhabens ausreichend, um für Kontaktstöße von Bauteilen aus St37 eine Luftspaltgröße $s = 2,0$ mm zuzulassen.

9 Zusammenfassung

An Prüfkörpern, die als doppelt-symmetrische T-Stöße mit Doppelkehlnähten ausgebildet waren, wurden Versuche mit wechselnder Belastung mit dem Ziel durchgeführt, Aussagen über eine mögliche Kraftübertragung durch Kontakt im Stoßbereich zu erhalten.

Die Prüfkörper wurden mit planmäßigem Luftspalt in der Kontaktfuge hergestellt. Die Untersuchungen erfolgten an Stoßblechen unterschiedlicher Blechdicke aus St 37 und St 52, die mit Kehl Nähten, deren Dicke variiert wurde, angeschlossen waren.

Die Belastung ergab sich aus der aufnehmbaren Zugkraft der Schweißnähte nach DIN 18 800 Teil 1, Ausg. 11/90 und der aufnehmbaren Druckkraft des Stoßbleches.

Während alle Prüfkörper aus St 37 die vorgegebenen 100 Lastwechsel ohne Bruch ertrugen, wurden 2 Prüfkörper aus St 52 vor dem Erreichen diese Limits zerstört.

Im Bereich der durchgeführten Untersuchungen konnte für St 37 keine Korrelation zwischen Luftspaltbreite und Tragfähigkeit der Verbindung festgestellt werden.

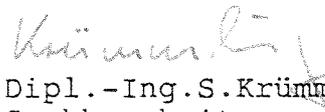
Die Prüfkörper aus St 52, die vorzeitig versagten, wiesen einen planmäßigen Luftspalt von 2 mm auf. Es ließ sich an Hand des vorliegenden Versuchsmaterials nicht feststellen, ob das der dominierende Faktor für den vorzeitigen Bruch war.

Für die Umsetzung der in den Versuchsreihen mit St37 gewonnenen Erkenntnisse in die Stahlbaupraxis wird ein Bemessungsvorschlag zur Bestimmung der Kehl nahtdicke gemacht.

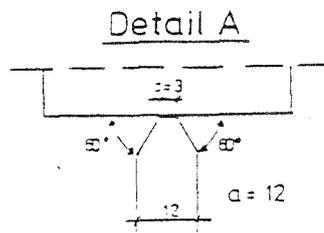
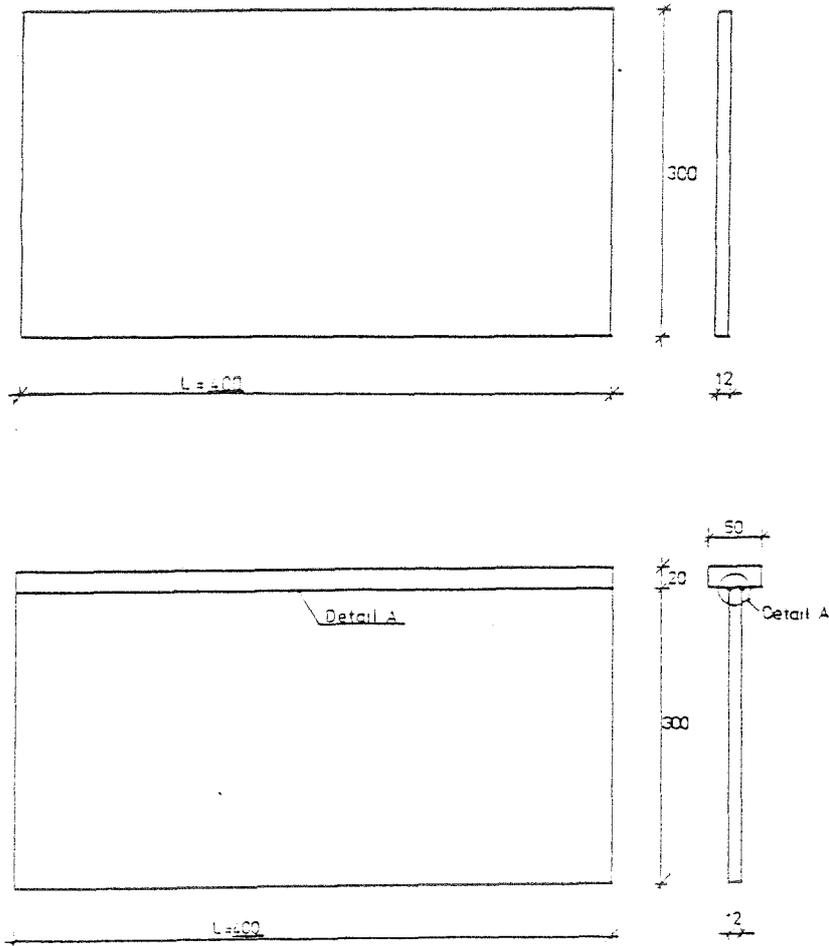
Für St52 sind weitere Untersuchungen notwendig, um zu einer ähnlichen Auswertungsform wie für St37 zu kommen.



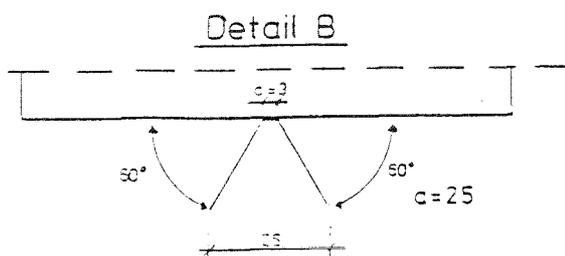
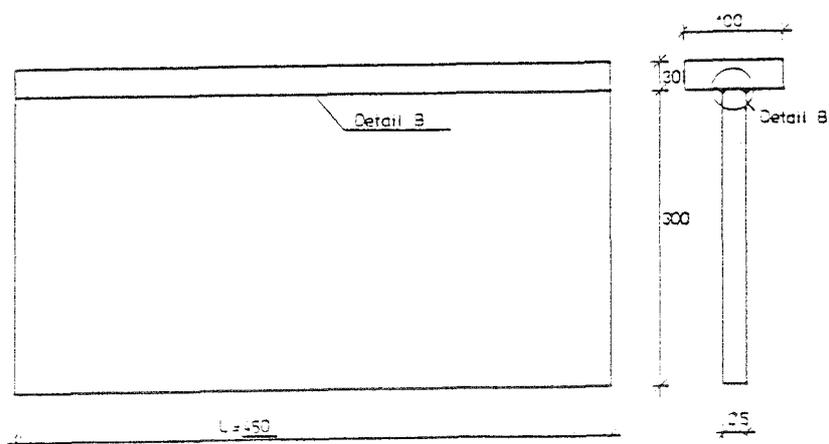
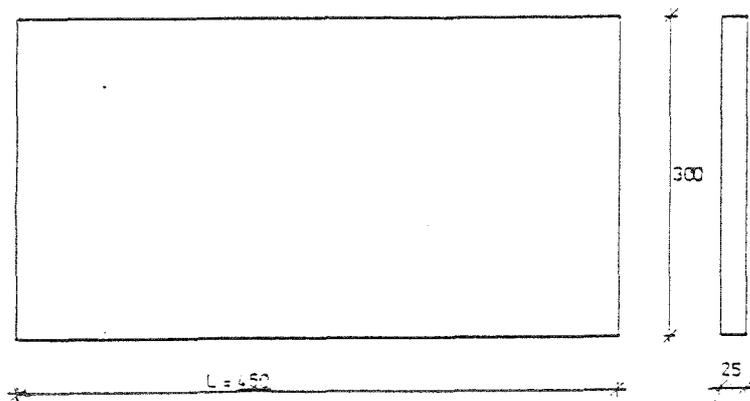
Prof. Dr. - Ing. J. Scheer

Dr. - Ing. K. Plumeyer
ProjektleiterDipl. - Ing. S. Krümming
Sachbearbeiter

Abmessungen der Prüfkörperbauteile -- Blechdickenkombination a



Abmessungen der Prüfkörperbauteile - Blechdickenkombination b



Meßwertetabellen der Prüfkörper 1 - 27

lfd. Nr.	Bezeichnung des Prüfstck.	Ist-Werte vor dem Versuch				Spaltbreite n. Versuch
		t _s [mm]	l [mm]	s [mm]	a [mm]	s [mm]
1	Aa 3 /0,5	12,2	100,0	0,5	2,5	0,25
2	Aa 3 /0,5	11,6	101,0	0,5	2,8	0,25
3	Aa 3 /0,5	11,9	99,8	0,5	3,2	0,3
4	Aa 3 /1,0	12,4	100,0	0,8	3,0	0,8
5	Aa 3 /1,0	12,3	100,0	0,8	2,9	0,8
6	Aa 3 /1,0	12,3	100,9	0,8	3,0	0,8
7	Aa 3 /2,0	12,2	100,4	2,0	3,0	1,7
8	Aa 3 /2,0	12,2	100,9	2,0	3,0	1,7
9	Aa 3 /2,0	12,5	103,2	1,9	3,0	1,7
10	Aa 4,5/0,5	12,2	100,4	0,4	4,6	0,2
11	Aa 4,5/0,5	12,0	100,2	0,4	4,4	0,2
12	Aa 4,5/0,5	12,1	100,8	0,4	4,4	0,2
13	Aa 4,5/1,0	11,8	101,3	0,8	4,7	0,75
14	Aa 4,5/1,0	11,8	100,5	0,8	4,5	0,75
15	Aa 4,5/1,0	12,0	101,0	0,9	4,5	0,75
16	Aa 4,5/2,0	12,1	101,0	1,9	4,4	1,6
17	Aa 4,5/2,0	12,2	100,6	1,9	4,5	1,6
18	Aa 4,5/2,0	12,1	100,0	1,8	4,5	1,6
19	Aa 6 /0,5	12,2	100,4	0,4	6,0	0,25
20	Aa 6 /0,5	12,1	100,4	0,4	5,8	0,25
21	Aa 6 /0,5	12,0	100,1	0,4	5,9	0,25
22	Aa 6 /1,0	12,1	100,9	0,7	6,0	0,65
23	Aa 6 /1,0	12,2	101,1	0,8	6,0	0,7
24	Aa 6 /1,0	12,1	99,6	0,7	5,8	0,6
25	Aa 6 /2,0	12,0	100,2	1,7	6,4	1,7
26	Aa 6 /2,0	12,1	100,8	1,6	6,4	1,55
27	Aa 6 /2,0	12,0	101,0	1,7	6,1	1,55

Meßwertetabellen der Prüfkörper 28 - 54

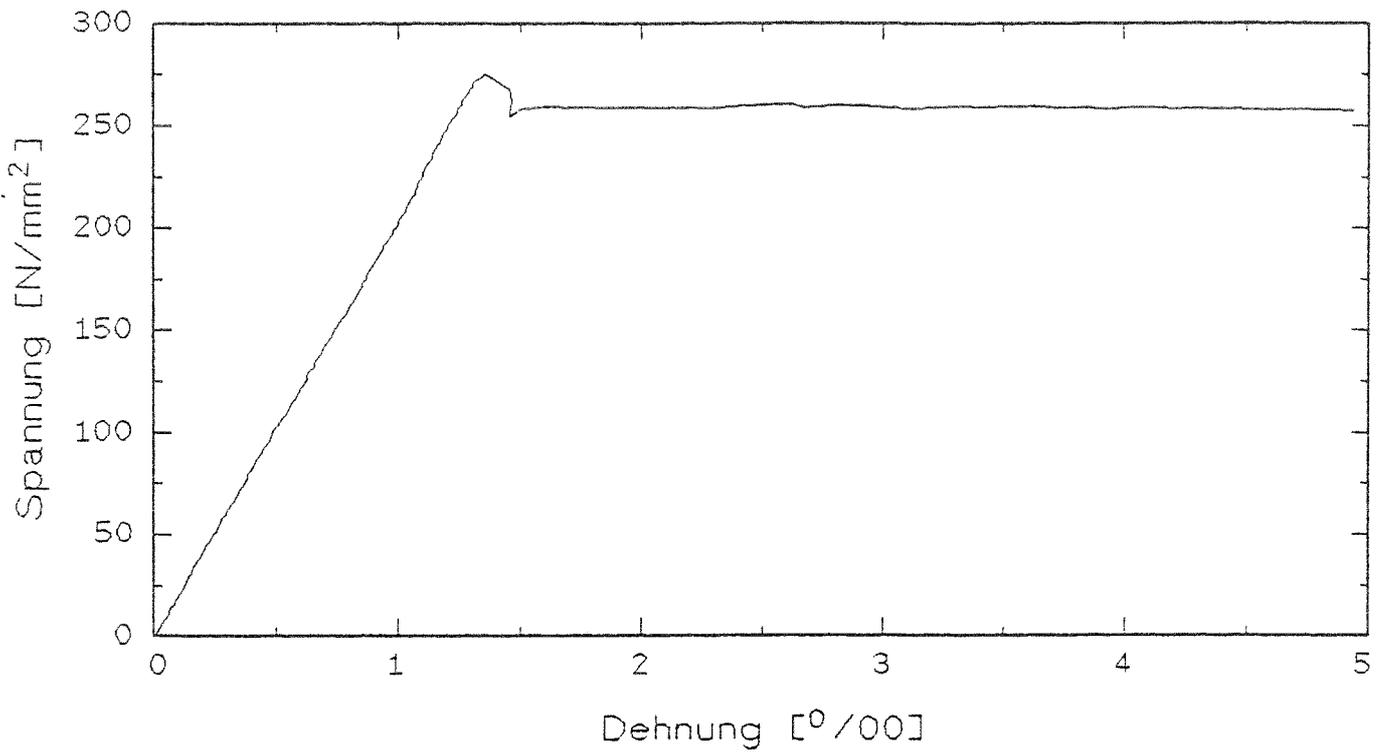
lfd. Nr.	Bezeichnung des Prüfstck.	Ist-Werte vor dem Versuch				Spaltbreite n. Versuch
		t _s [mm]	l [mm]	s [mm]	a [mm]	s [mm]
28	Bb 5 /0,5	25,5	100,4	0,5	4,9	0,0
29	Bb 5 /0,5	25,5	100,7	0,5	5,0	0,0
30	Bb 5 /0,5	25,5	100,0	0,5	5,0	0,0
31	Bb 5 /1,0	25,4	100,4	1,0	5,1	0,0
32	Bb 5 /1,0	25,3	100,6	1,0	5,2	0,0
33	Bb 5 /1,0	25,2	101,0	0,9	5,2	0,0
34	Bb 5 /2,0	25,4	100,3	1,9	5,1	0,0
35	Bb 5 /2,0	25,4	100,1	2,0	5,0	0,0
36	Bb 5 /2,0	25,4	100,2	1,8	4,9	0,0
37	Bb 9 /0,5	25,8	101,6	0,5	8,6	0,0
38	Bb 9 /0,5	25,3	101,2	0,5	8,3	0,0
39	Bb 9 /0,5	25,4	101,3	0,5	8,2	0,0
40	Bb 9 /1,0	25,5	100,2	1,0	8,9	0,0
41	Bb 9 /1,0	25,5	100,6	1,0	9,0	0,0
42	Bb 9 /1,0	25,6	101,1	1,0	9,0	0,1
43	Bb 9 /2,0	25,5	100,0	2,0	9,0	1,0
44	Bb 9 /2,0	25,5	100,6	2,0	9,2	1,1
45	Bb 9 /2,0	25,5	100,0	2,0	9,1	1,0
46	Bb 12,5/0,5	25,5	100,1	0,4	12,1	0,0
47	Bb 12,5/0,5	25,5	100,4	0,4	12,0	0,0
48	Bb 12,5/0,5	25,5	100,4	0,5	11,8	0,0
49	Bb 12,5/1,0	25,6	101,2	1,0	12,0	0,4
50	Bb 12,5/1,0	25,6	100,2	1,0	12,2	0,3
51	Bb 12,5/1,0	25,7	101,0	1,0	12,3	0,3
52	Bb 12,5/2,0	25,3	100,7	2,0	12,2	1,3
53	Bb 12,5/2,0	25,8	100,4	2,0	12,4	1,3
54	Bb 12,5/2,0	25,5	99,8	2,0	12,4	---

Meßwertetabellen der Prüfkörper 55 - 72 und 75 - 77

lfd. Nr.	Bezeichnung des Prüfstck.	Ist-Werte vor dem Versuch				Spaltbreite n. Versuch
		t_s [mm]	l [mm]	s [mm]	a [mm]	s [mm]
55	Ba 3 /2,0	11,9	99,8	1,7	3,2	1,55
56	Ba 3 /2,0	11,9	100,0	1,7	3,1	1,6
57	Ba 3 /2,0	11,9	100,4	1,6	3,1	1,55
58	Ba 4,5/2,0	11,8	99,7	1,6	4,2	1,55
59	Ba 4,5/2,0	11,8	100,1	1,6	4,1	1,55
60	Ba 4,5/2,0	11,8	99,7	1,6	4,0	1,55
61	Ba 6 /2,0	11,8	100,0	1,5	5,5	----
62	Ba 6 /2,0	11,8	99,7	1,5	5,7	----
63	Ba 6 /2,0	11,8	99,4	1,5	5,5	----
64	Ab 5 /2,0	24,7	99,7	1,7	5,3	1,4
65	Ab 5 /2,0	24,7	99,8	1,7	5,2	1,5
66	Ab 5 /2,0	24,7	99,9	1,7	5,2	1,4
67	Ab 9 /2,0	24,8	98,9	1,5	8,5	1,5
68	Ab 9 /2,0	24,8	99,6	1,4	8,6	1,3
69	Ab 9 /2,0	24,8	99,8	1,5	8,7	1,45
70	Ab 12,5/2,0	25,0	99,5	1,4	11,4	0,05
71	Ab 12,5/2,0	25,0	100,0	1,3	11,9	0,05
72	Ab 12,5/2,0	25,0	99,5	1,3	12,4	0,05
75	Bb 5 /2,0	25,4	98,7	1,6	5,0	0,05
76	Bb 5 /2,0	25,4	100,2	1,6	4,9	0,05
77	Bb 5 /2,0	25,4	100,1	1,6	5,1	0,05

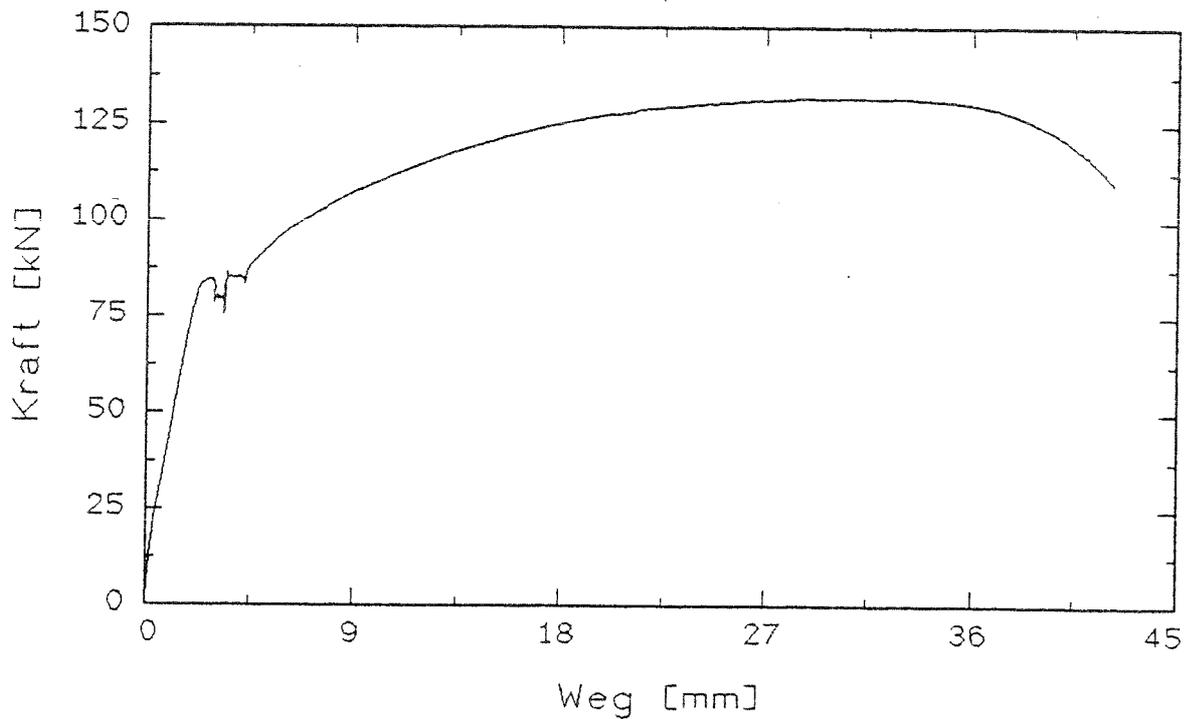
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 1



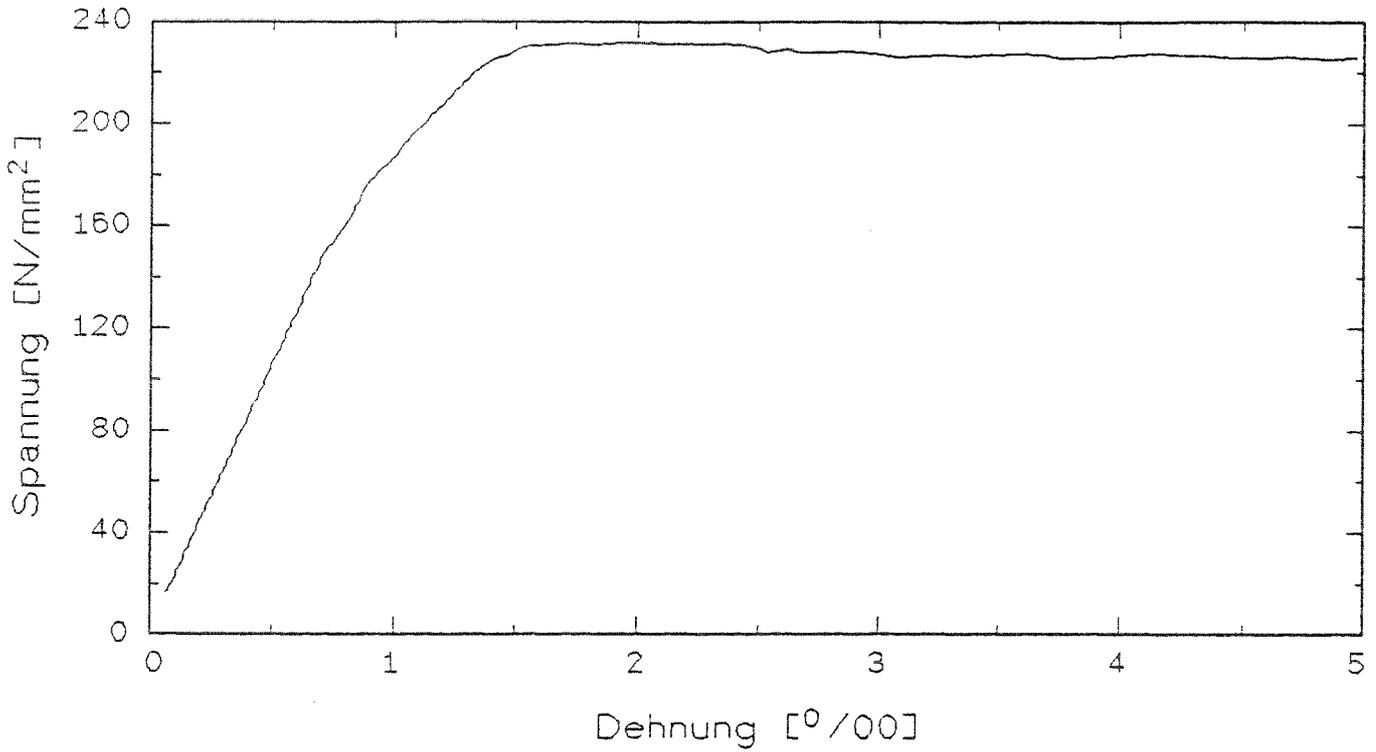
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 1



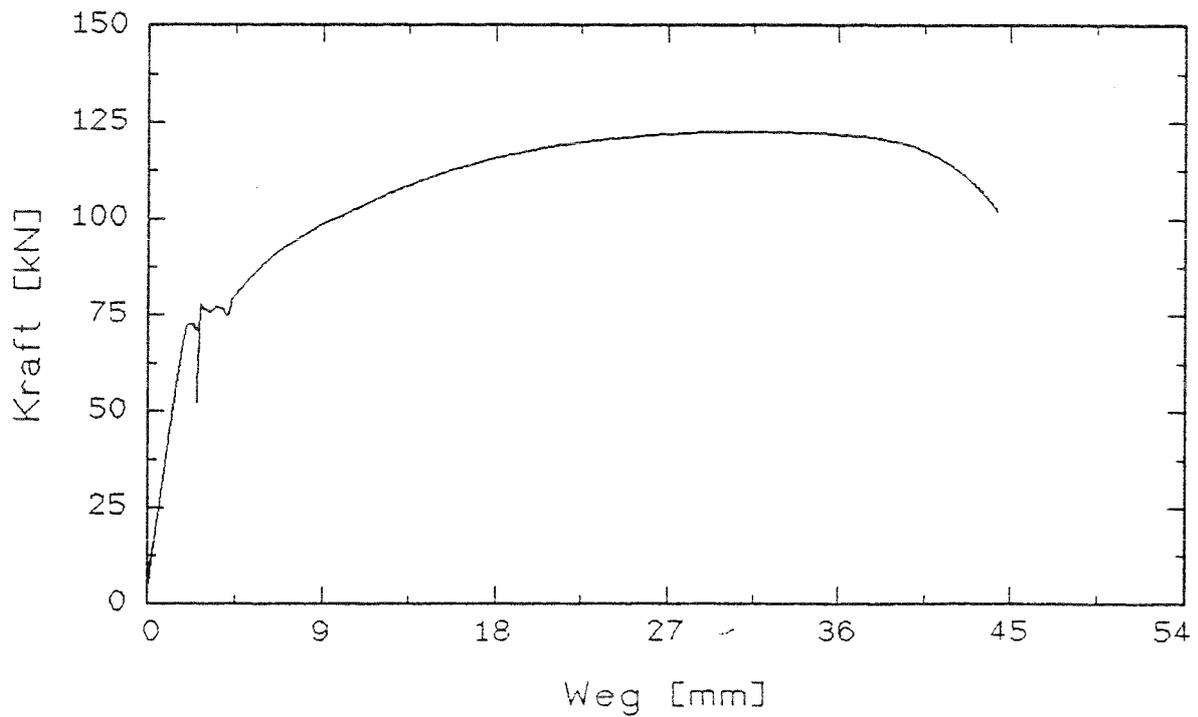
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 2



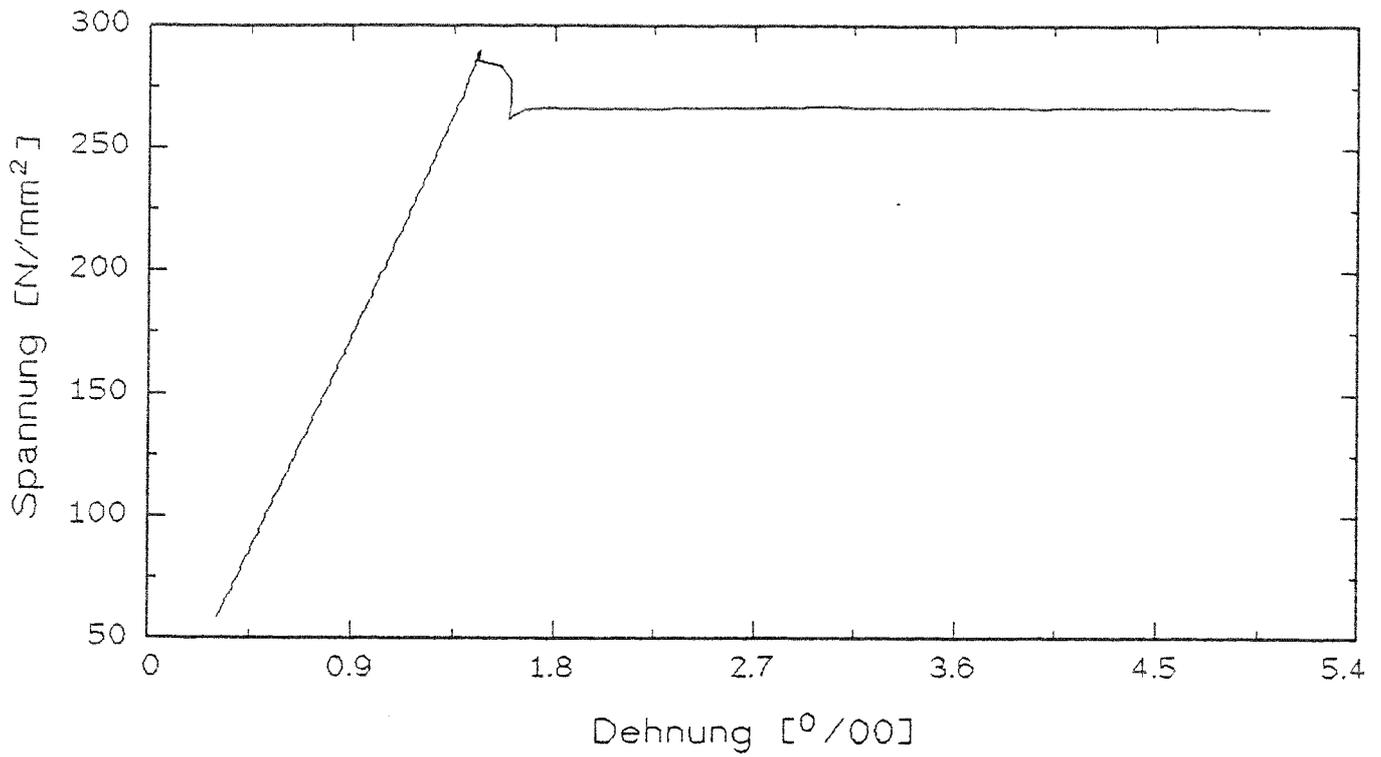
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 2



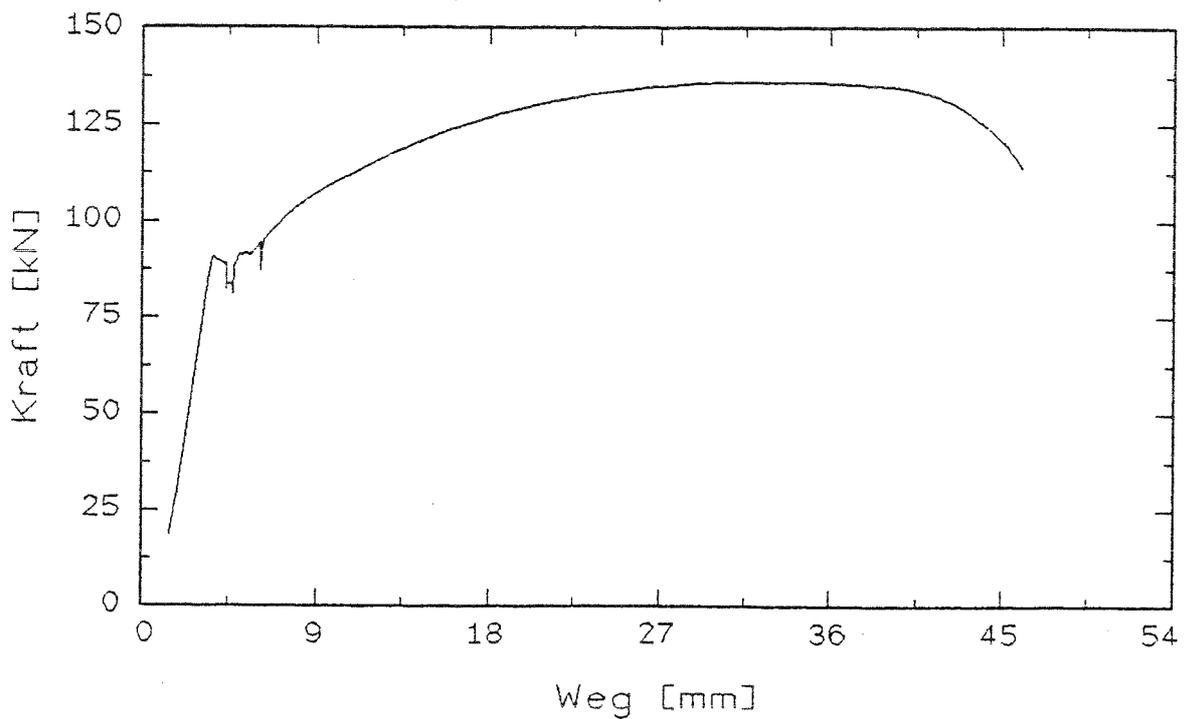
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 3



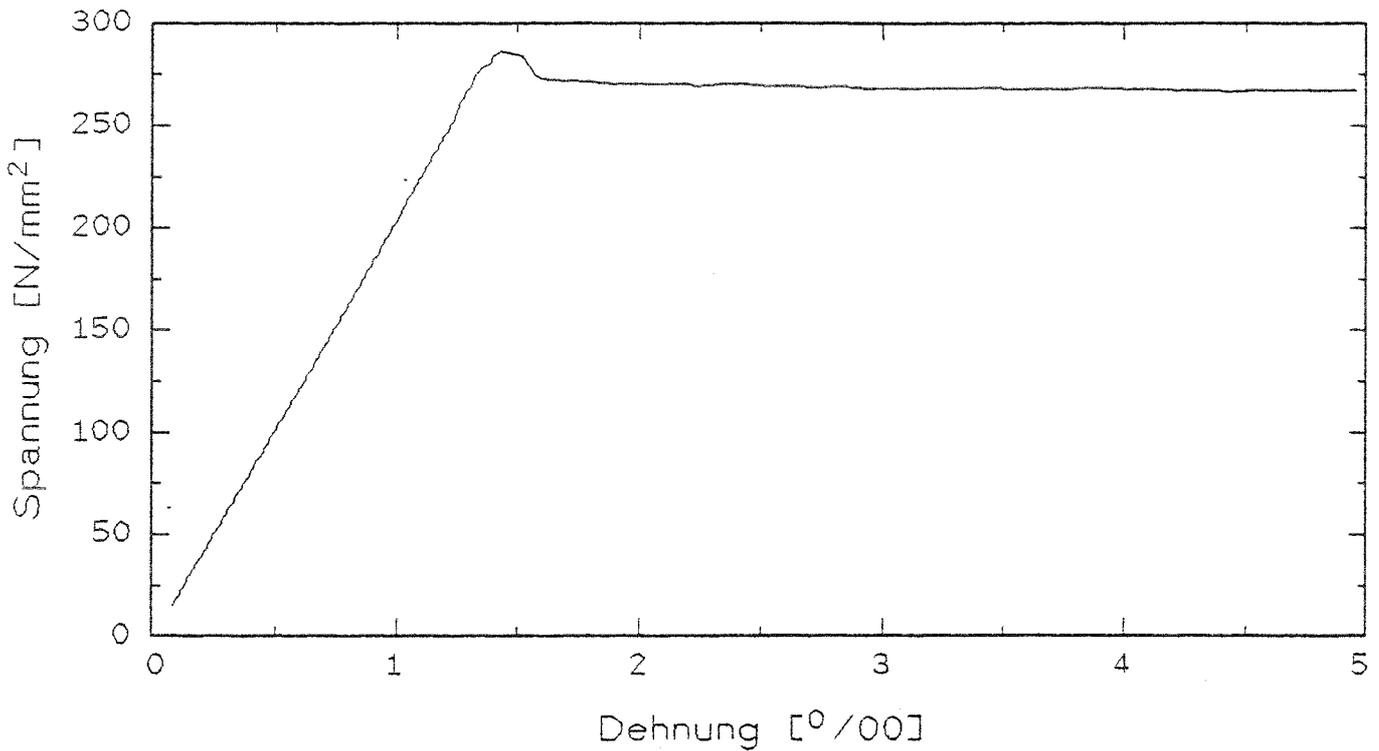
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 3



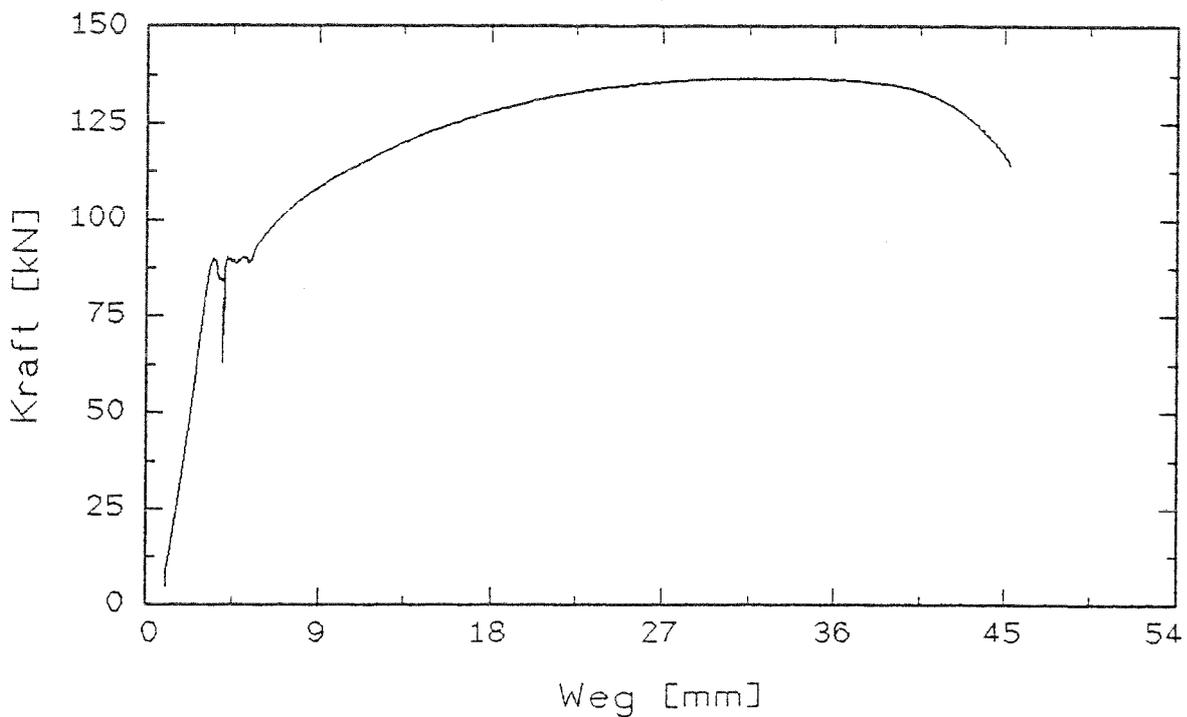
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 4



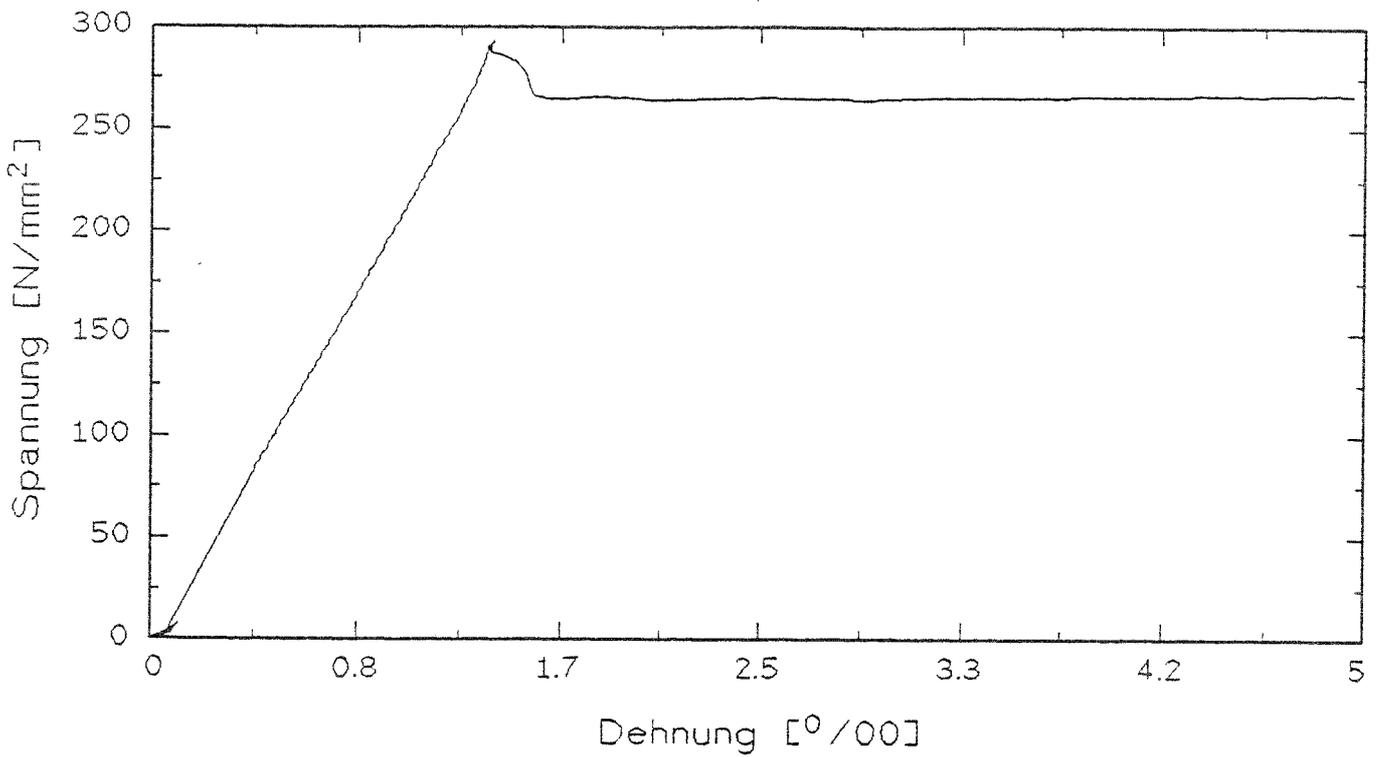
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 4



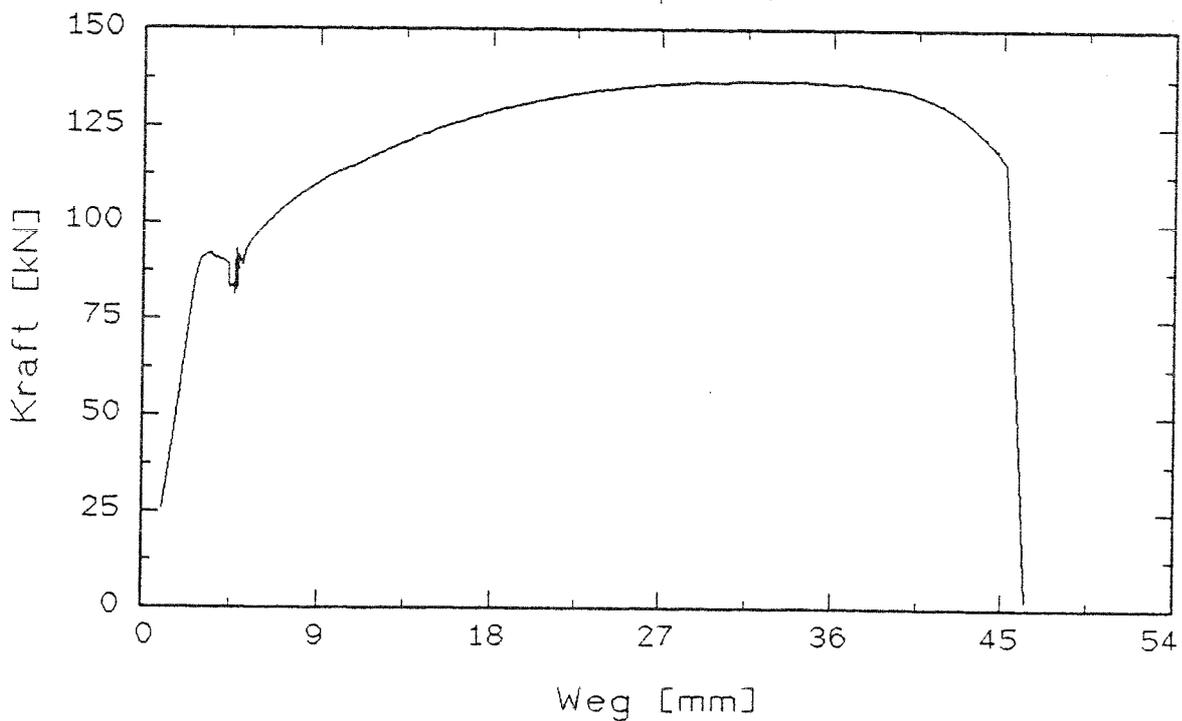
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 5



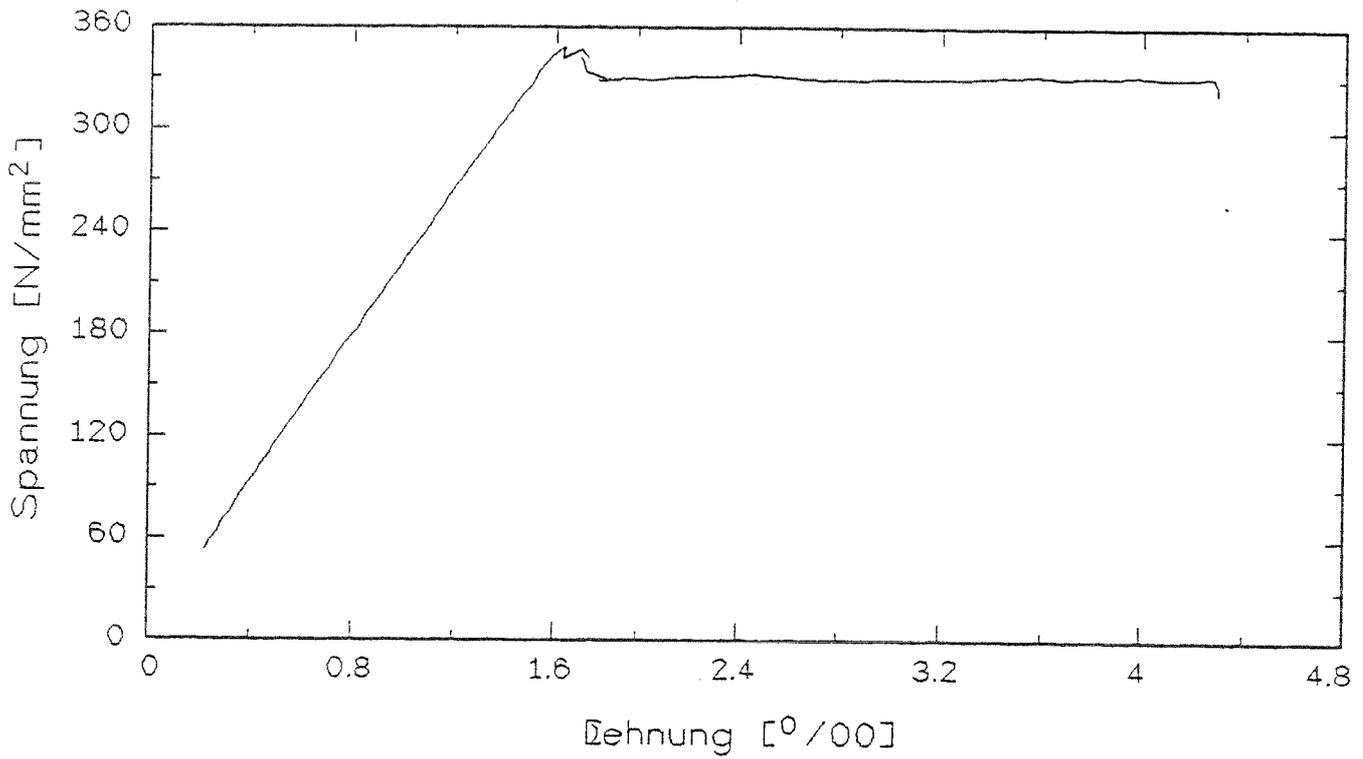
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 5



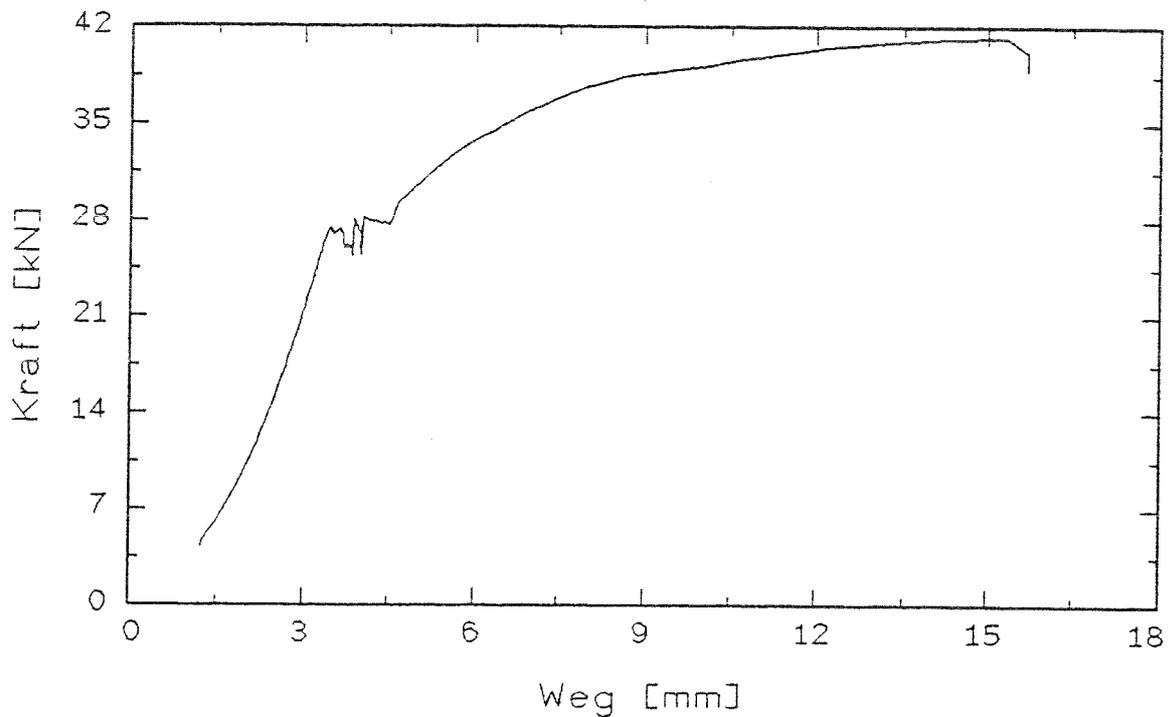
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 6



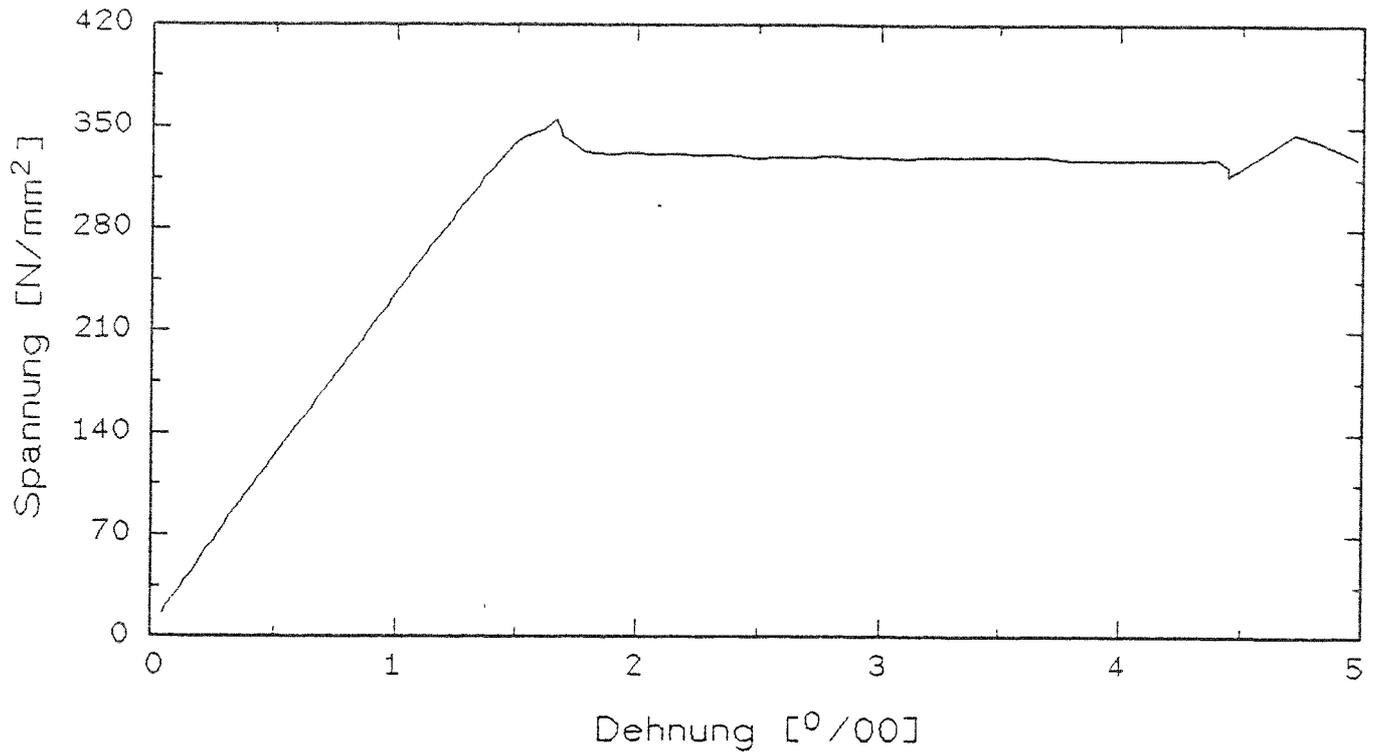
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 6



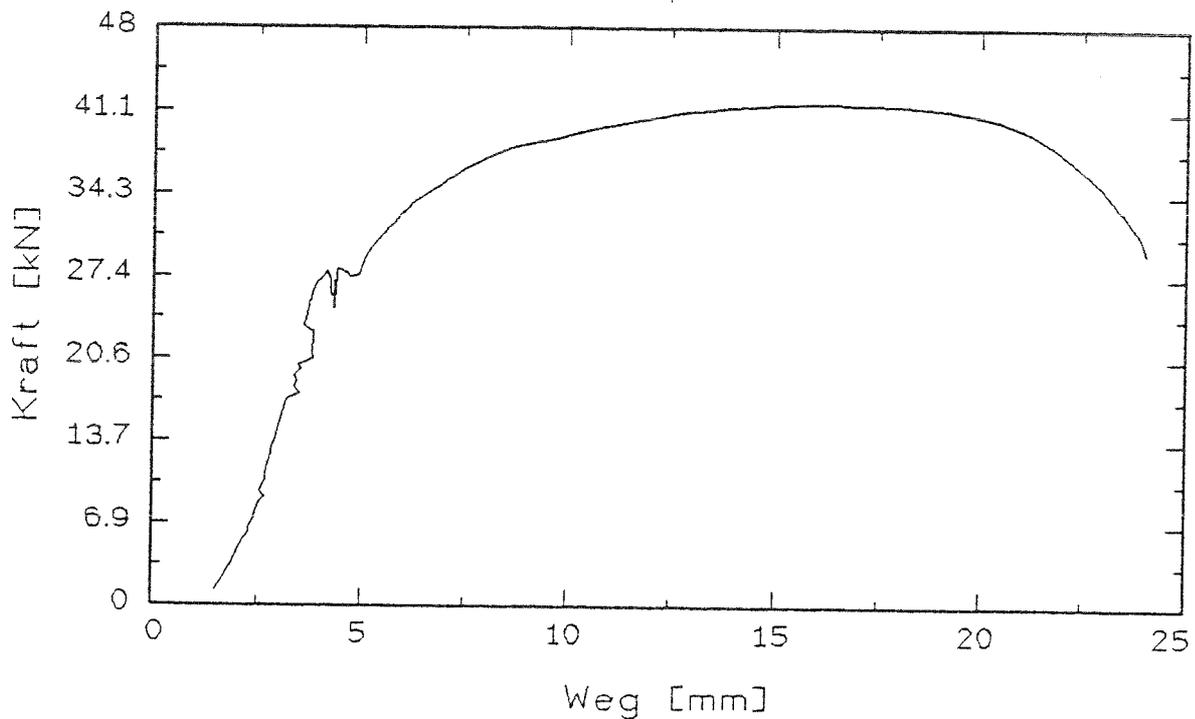
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 7



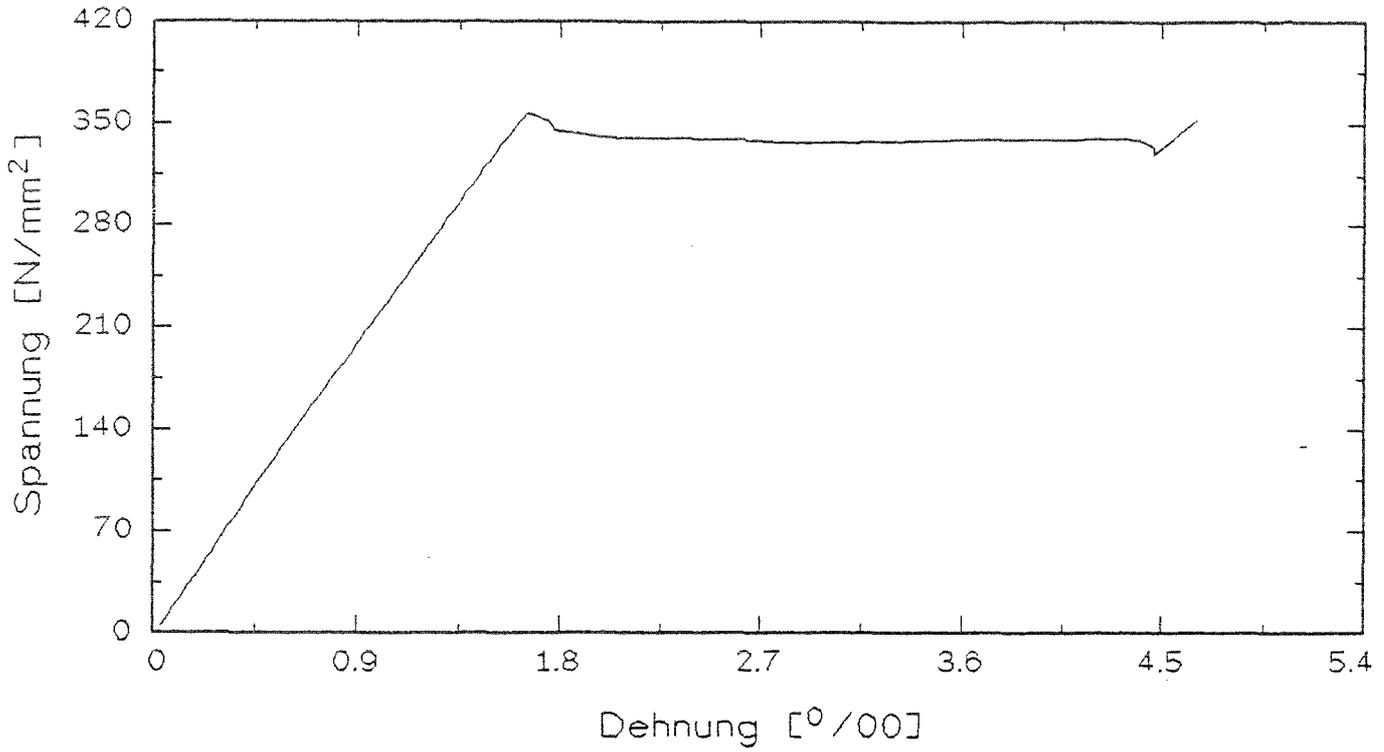
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 7



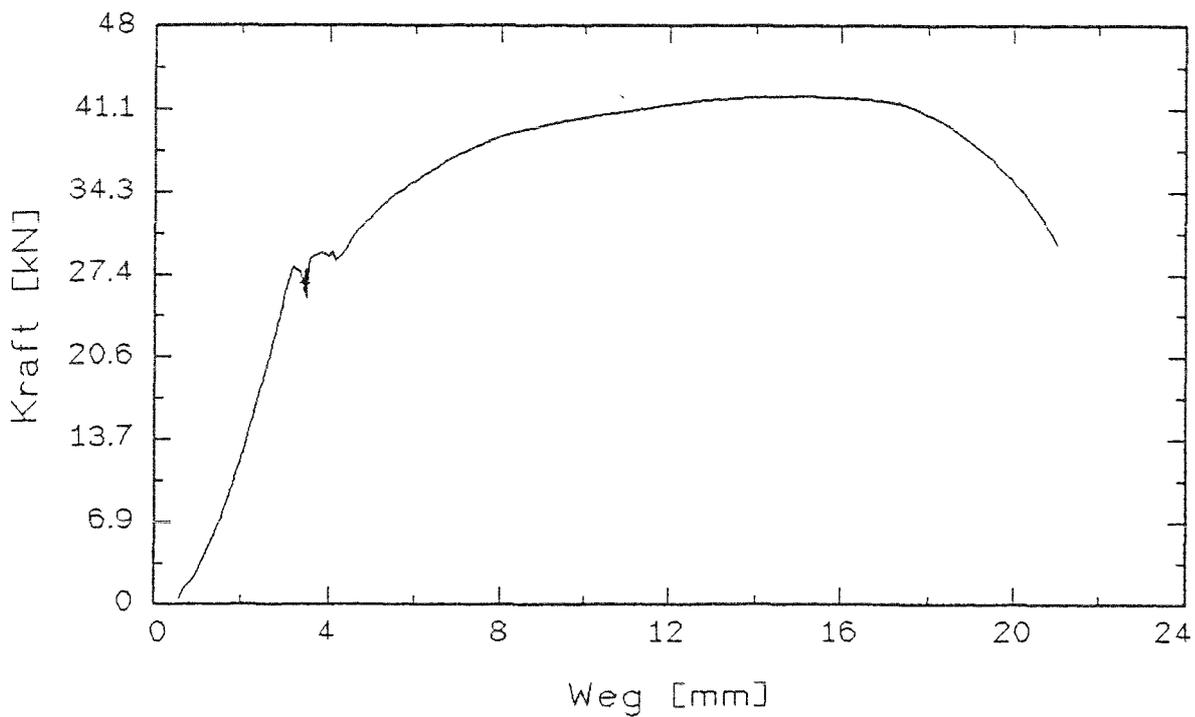
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 8



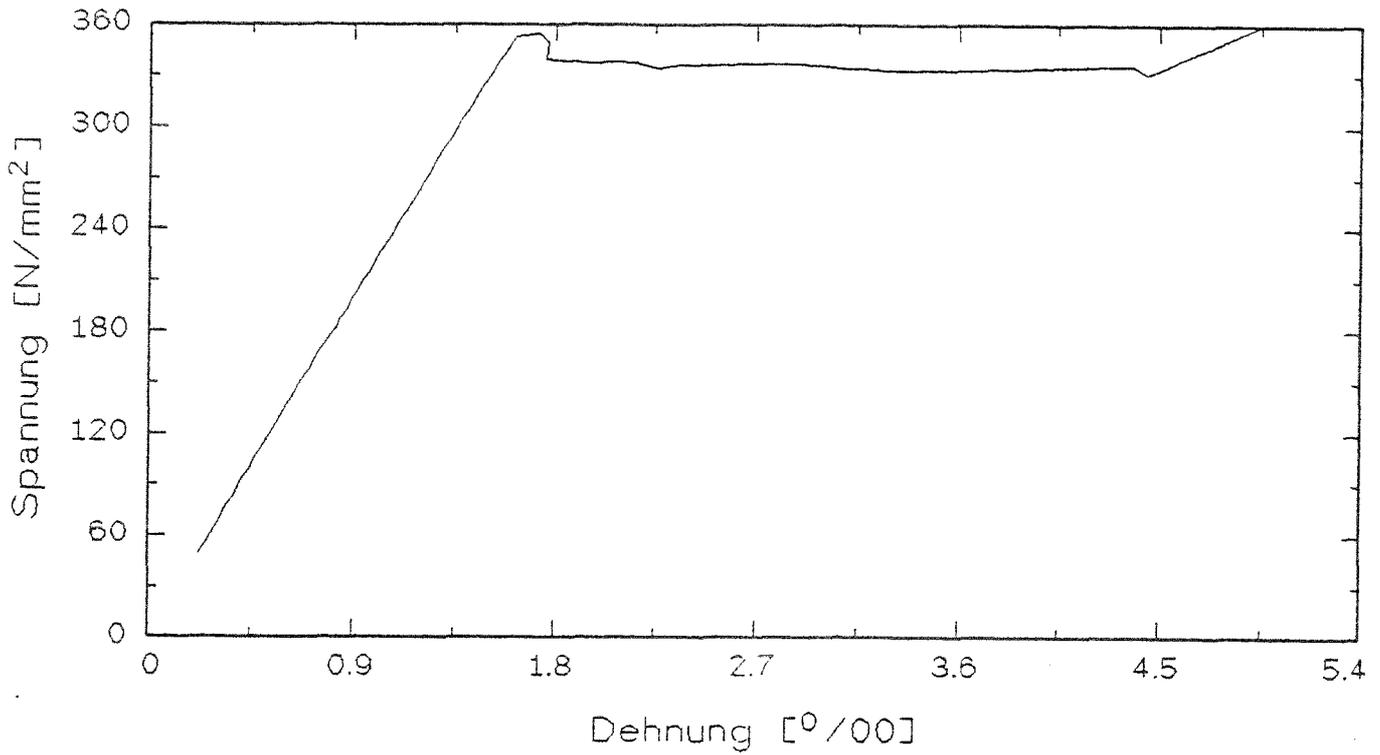
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 8



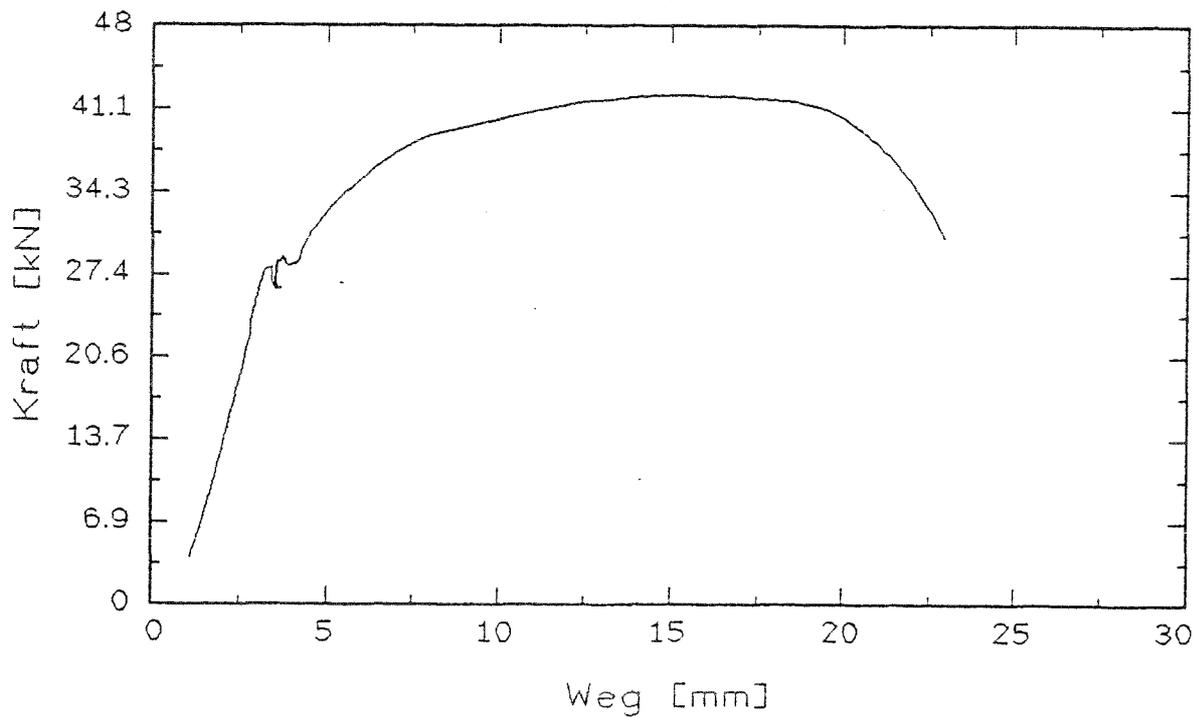
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 9



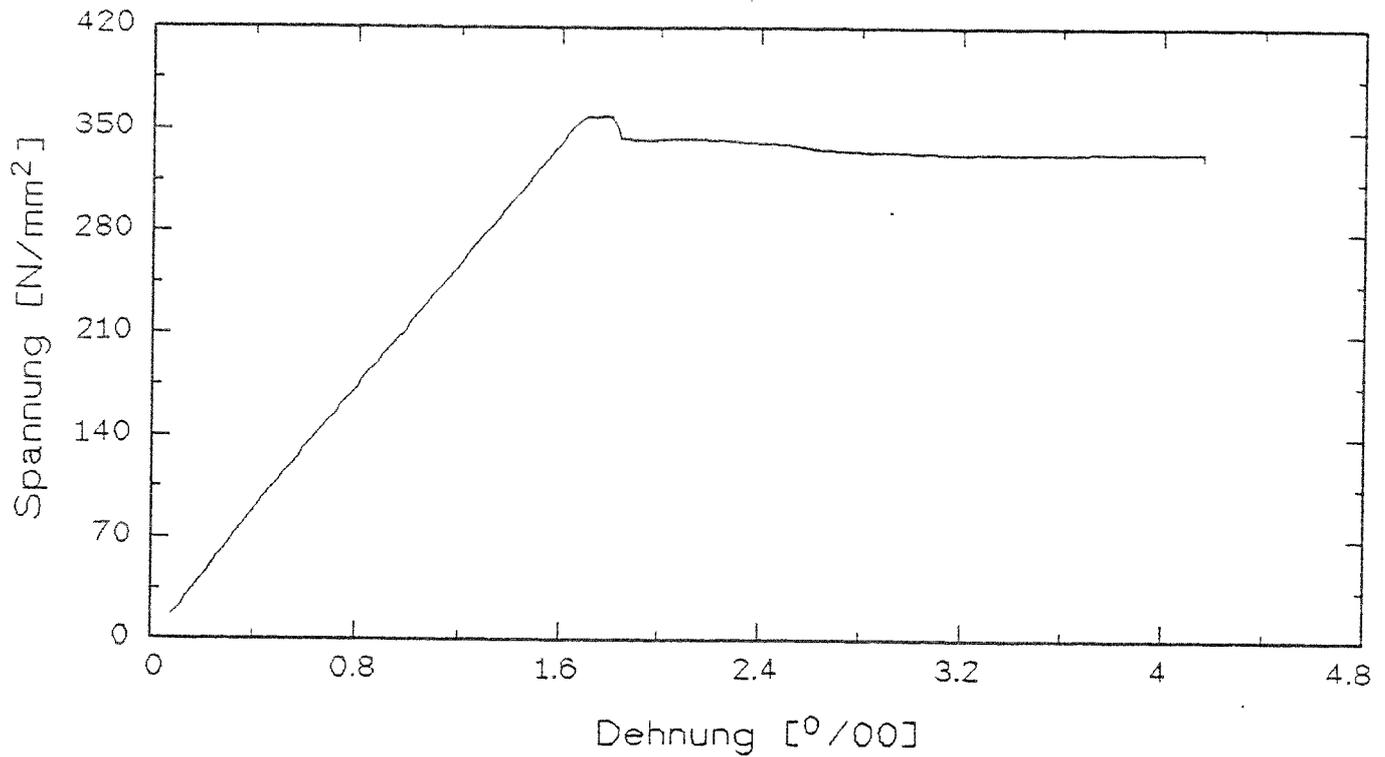
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 9



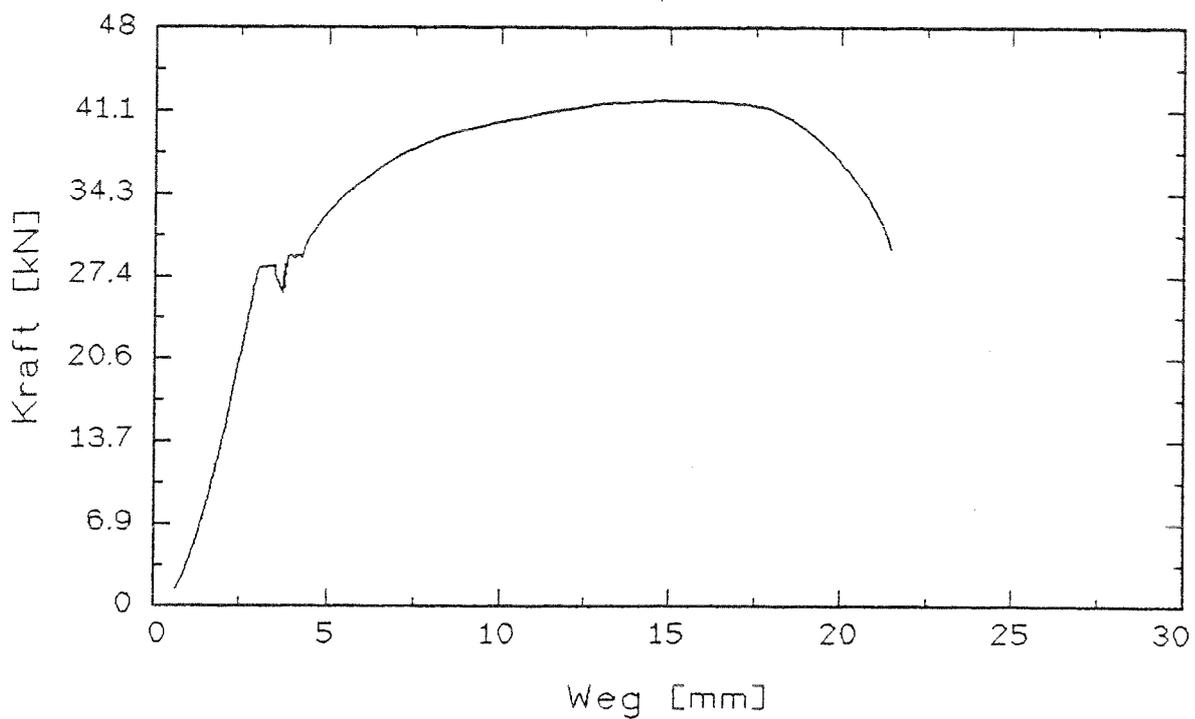
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 10



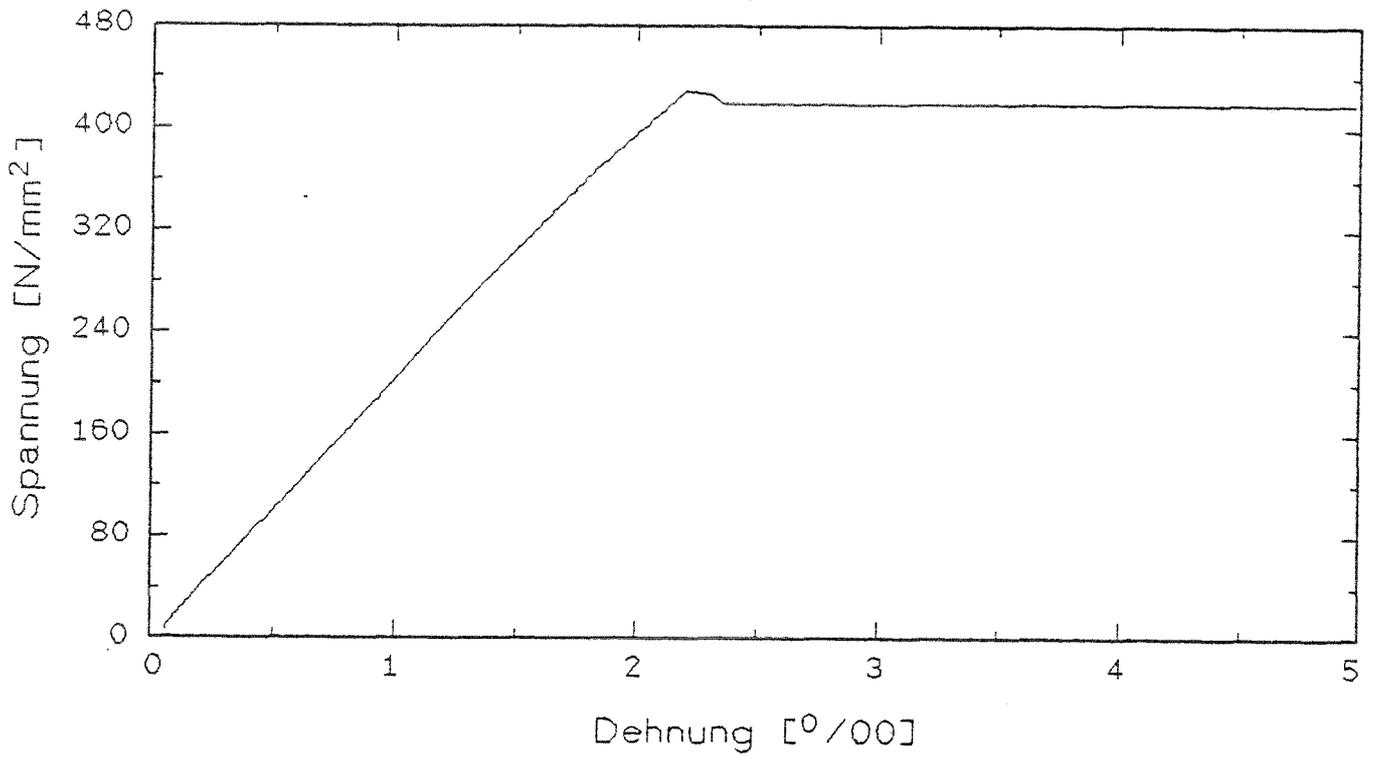
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 10



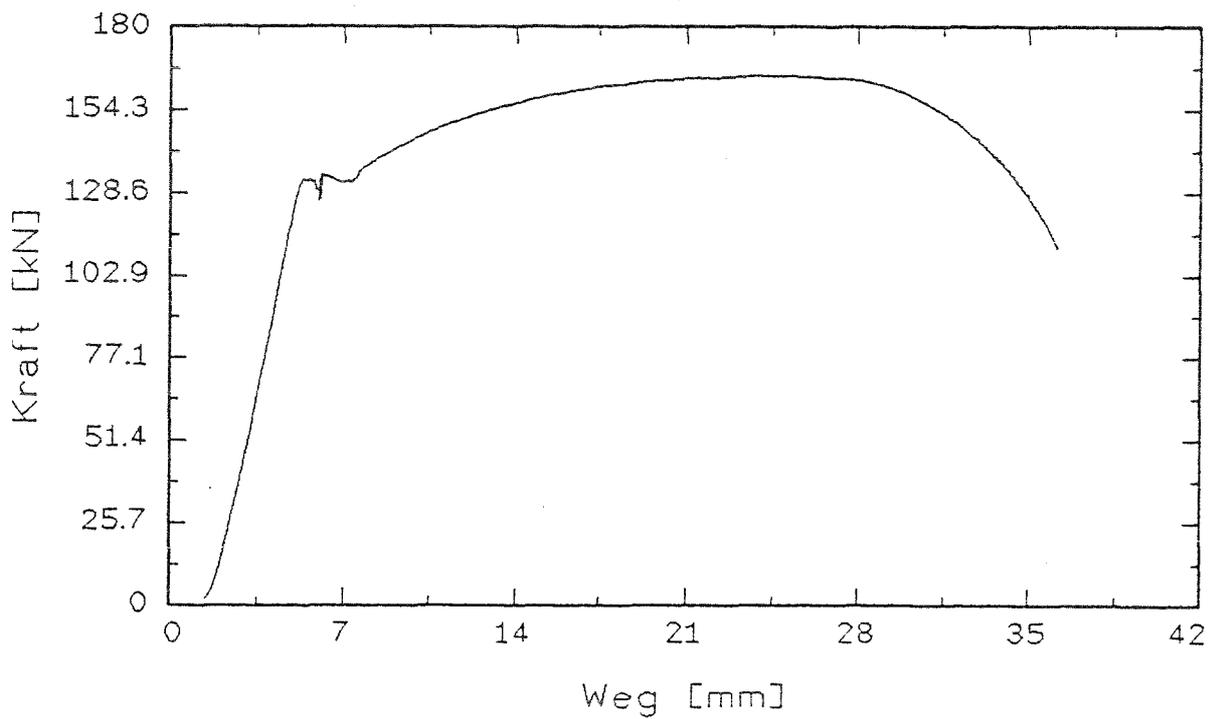
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 11



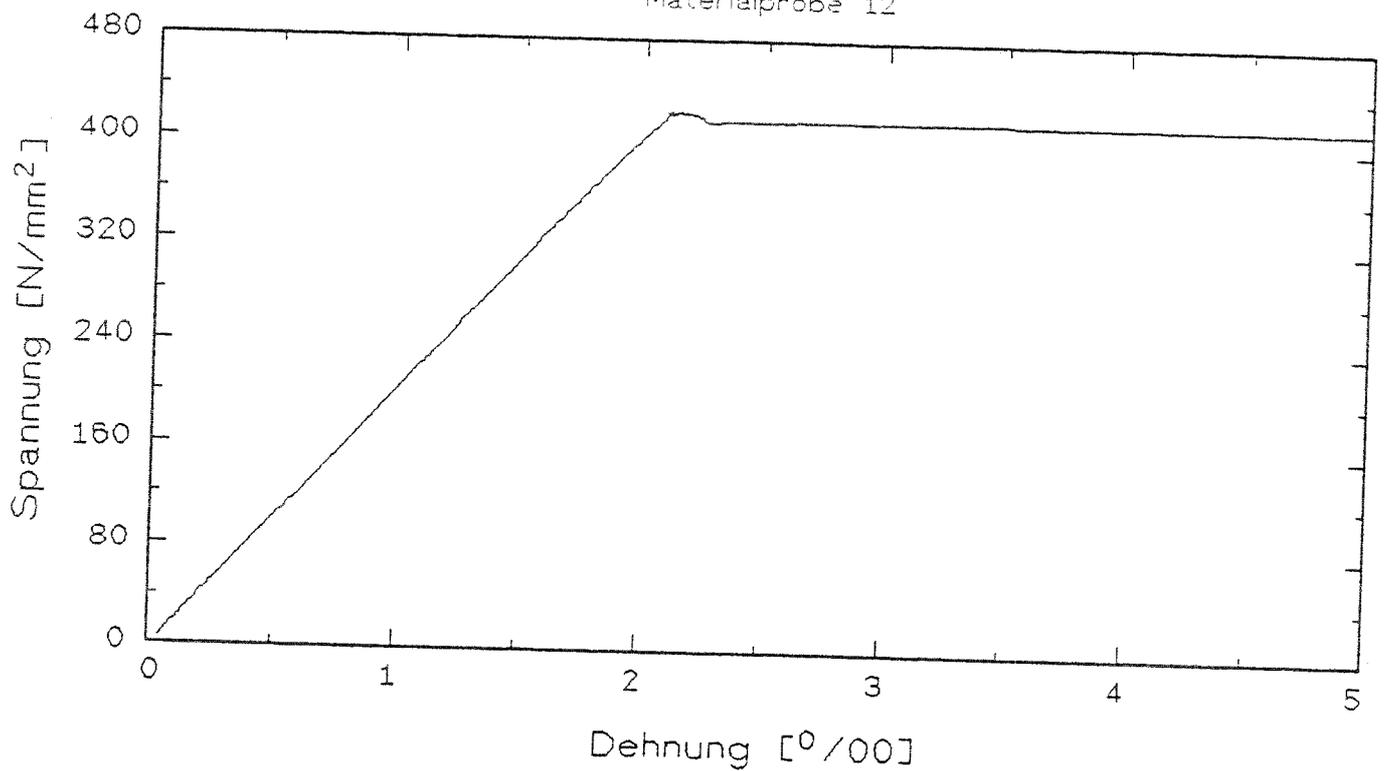
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 11



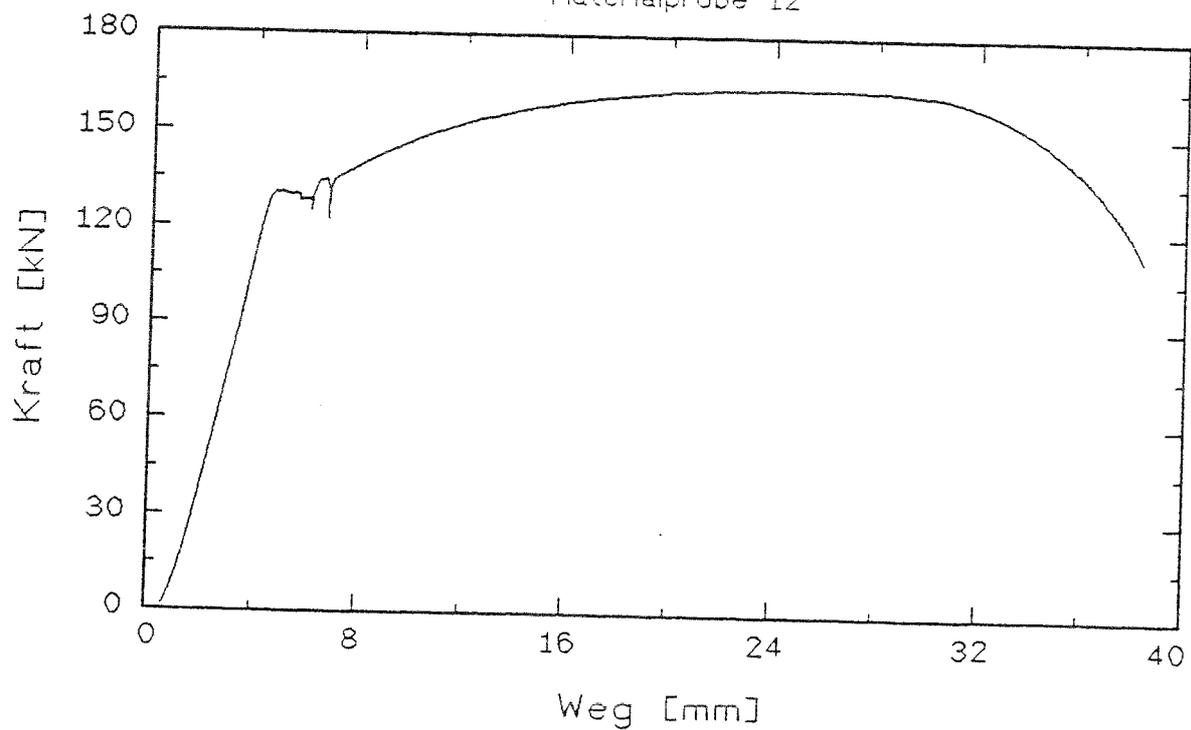
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 12



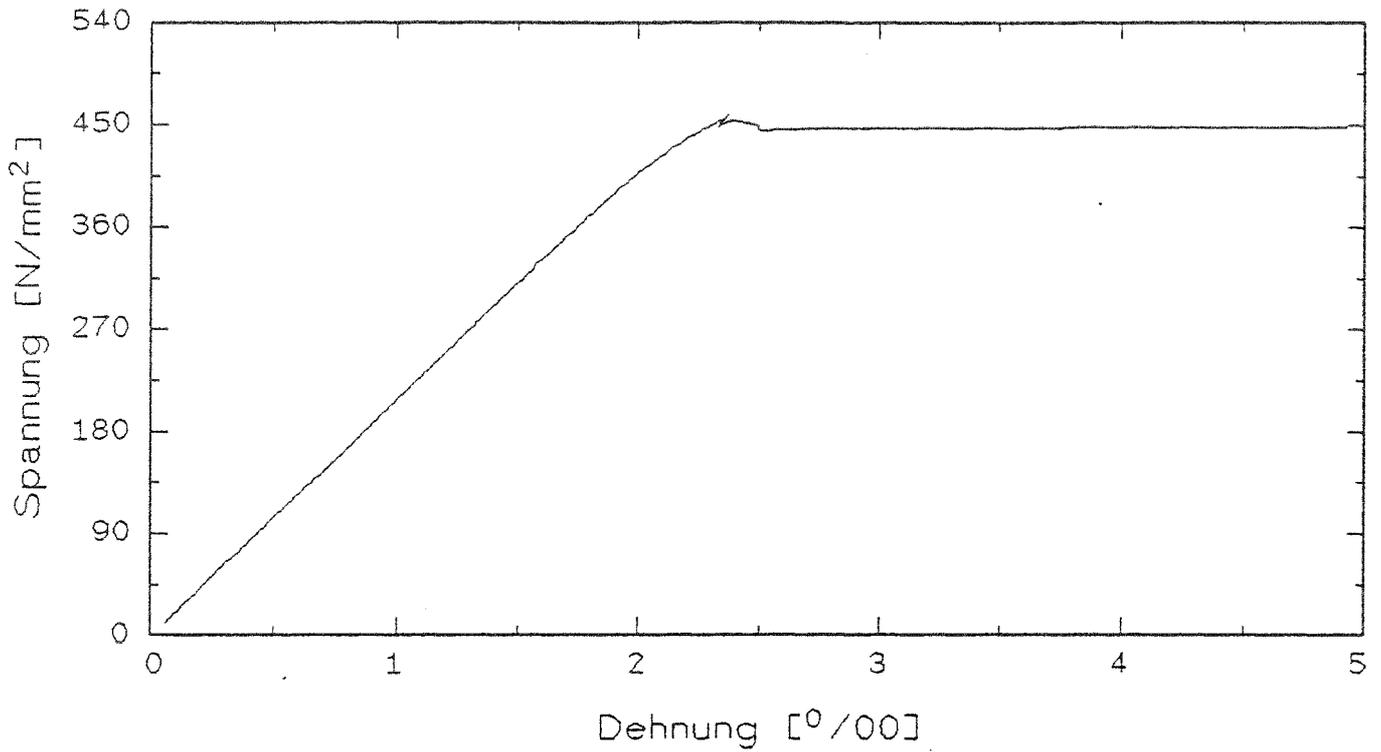
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 12



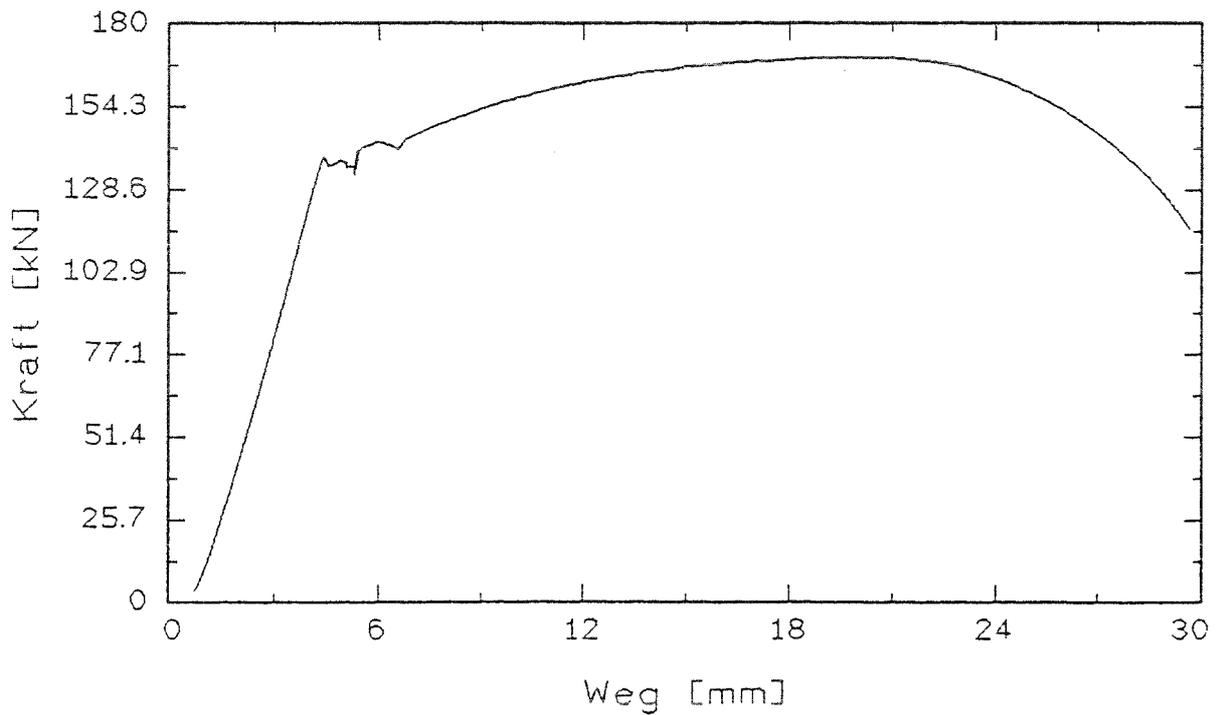
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 13



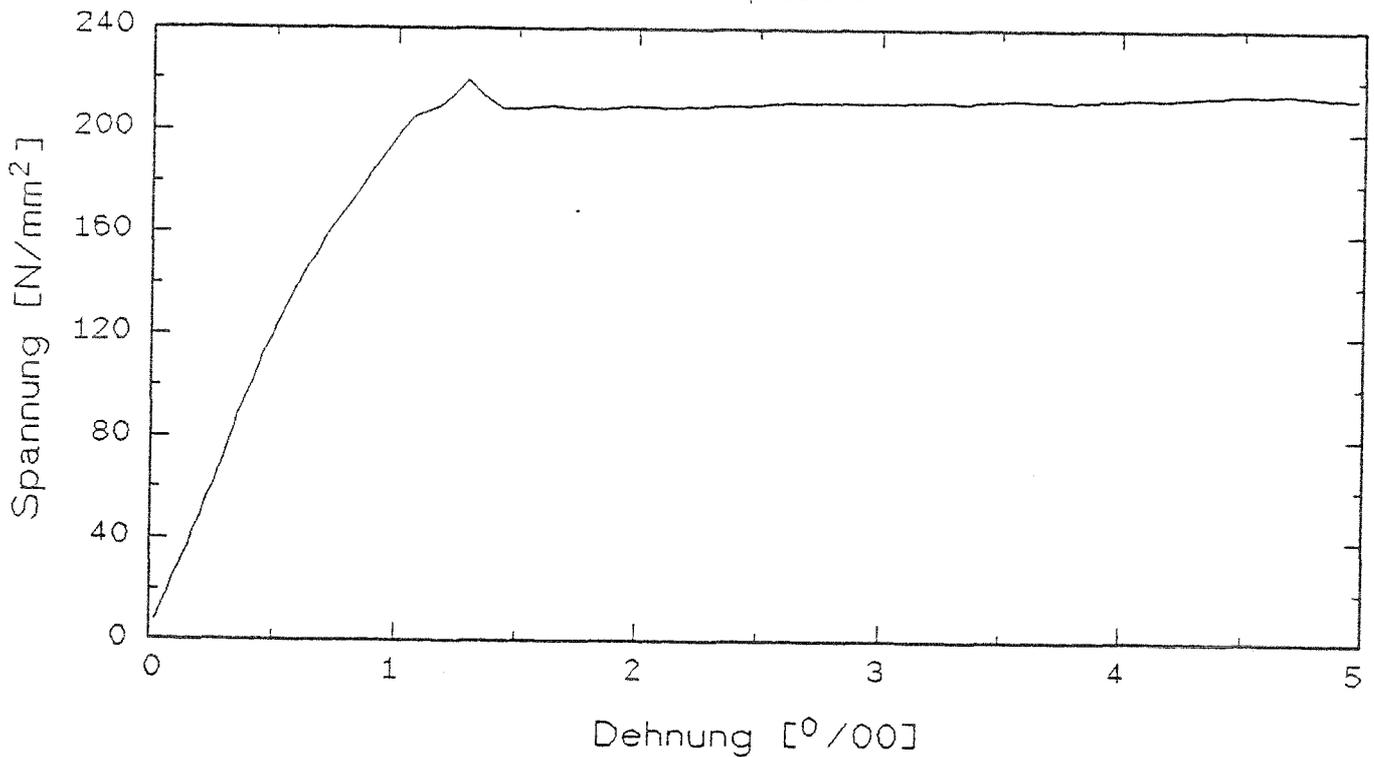
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 13



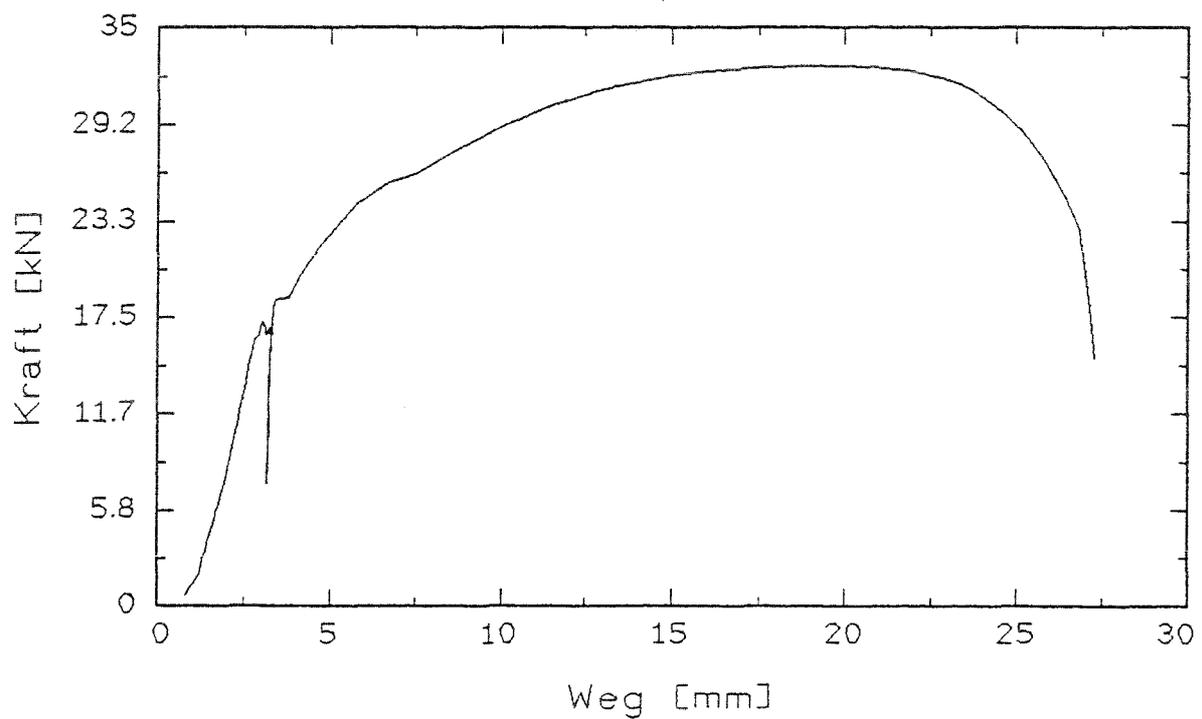
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 14



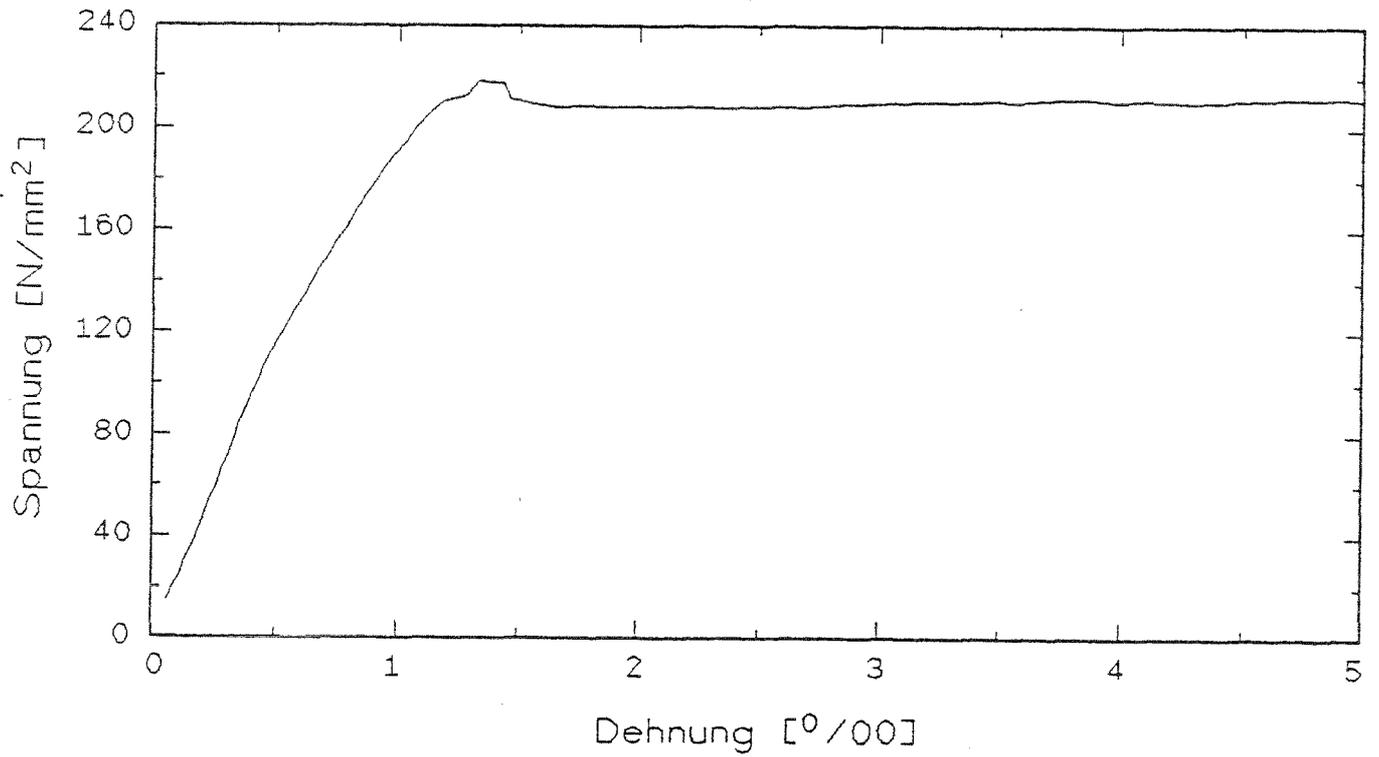
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 14



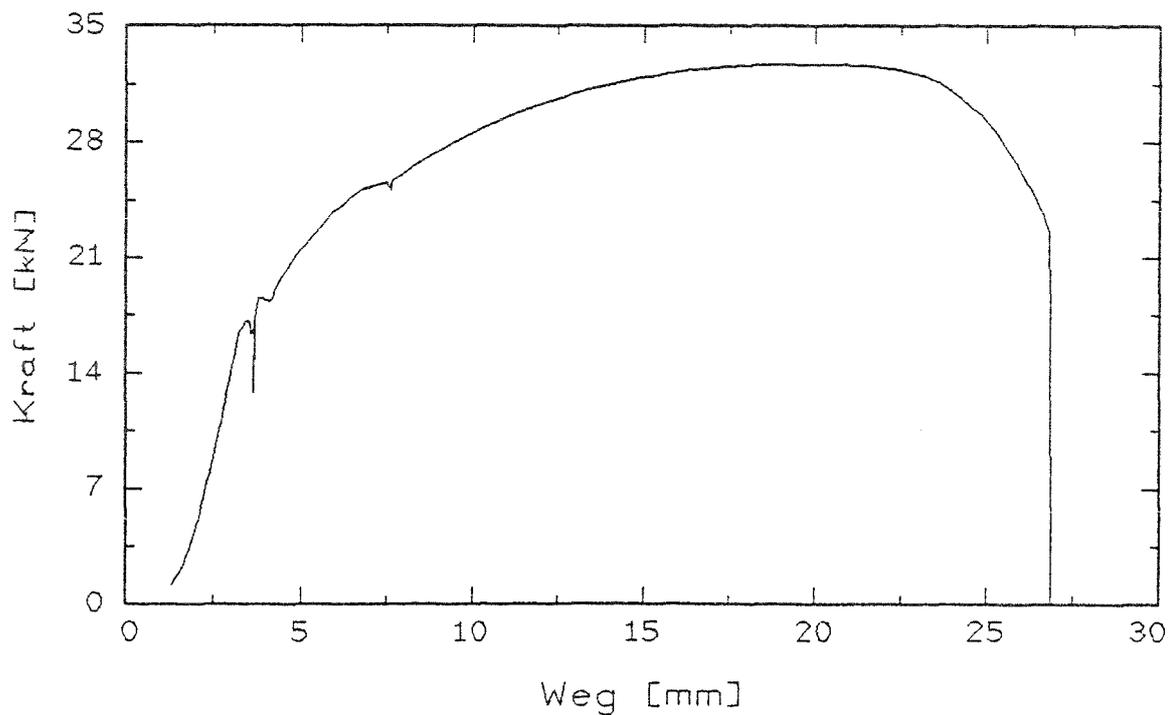
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 15



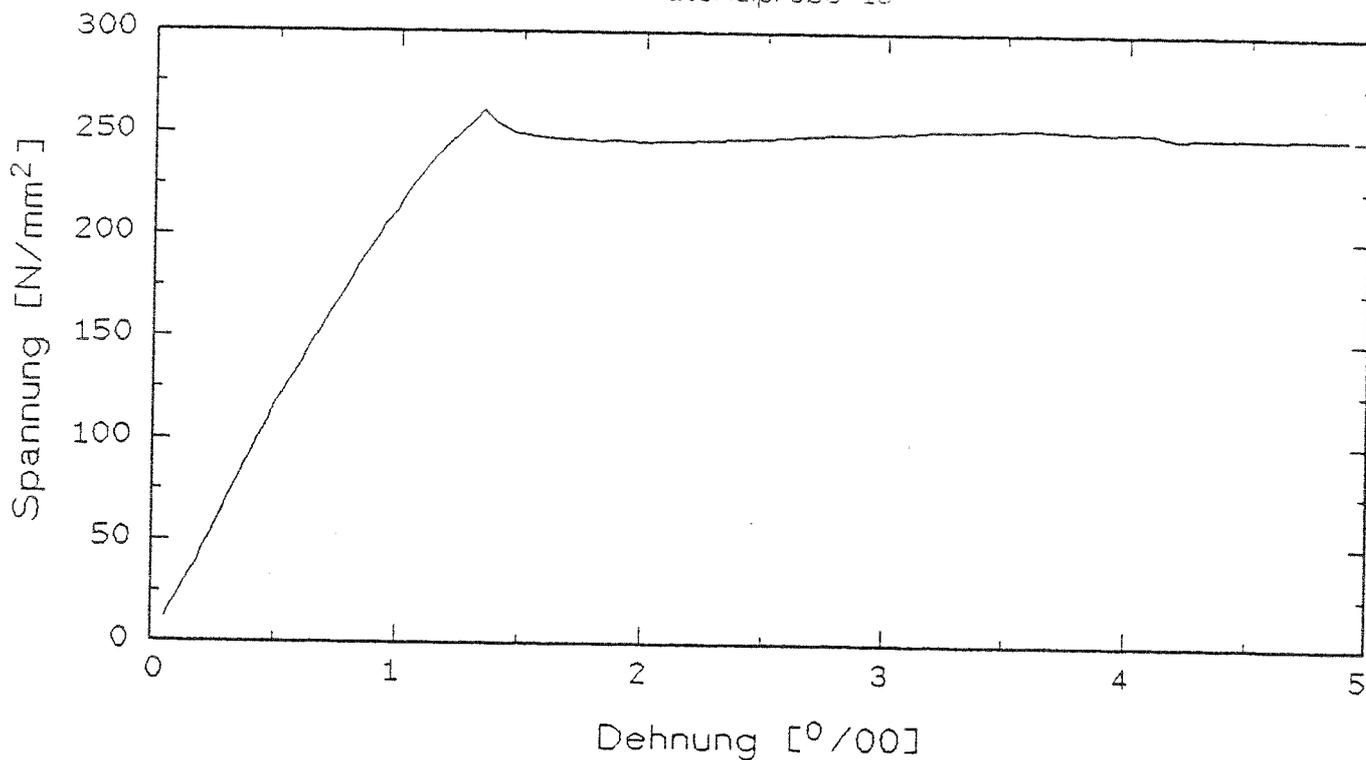
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 15



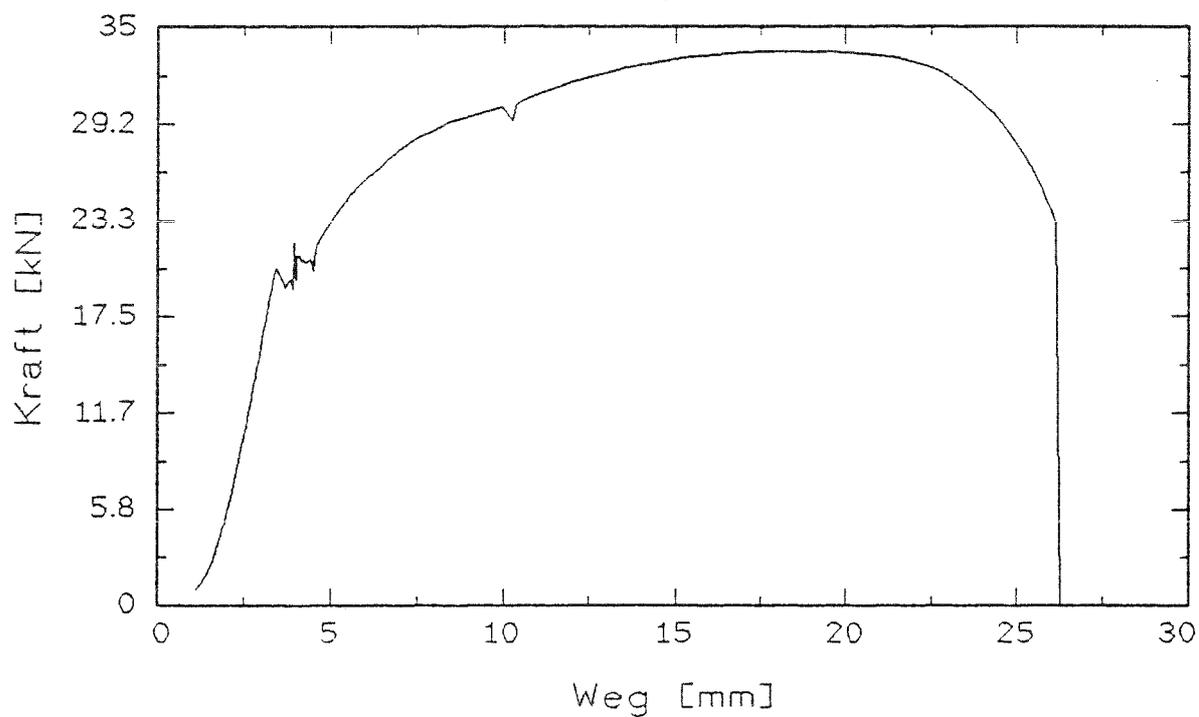
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Materialprobe 16



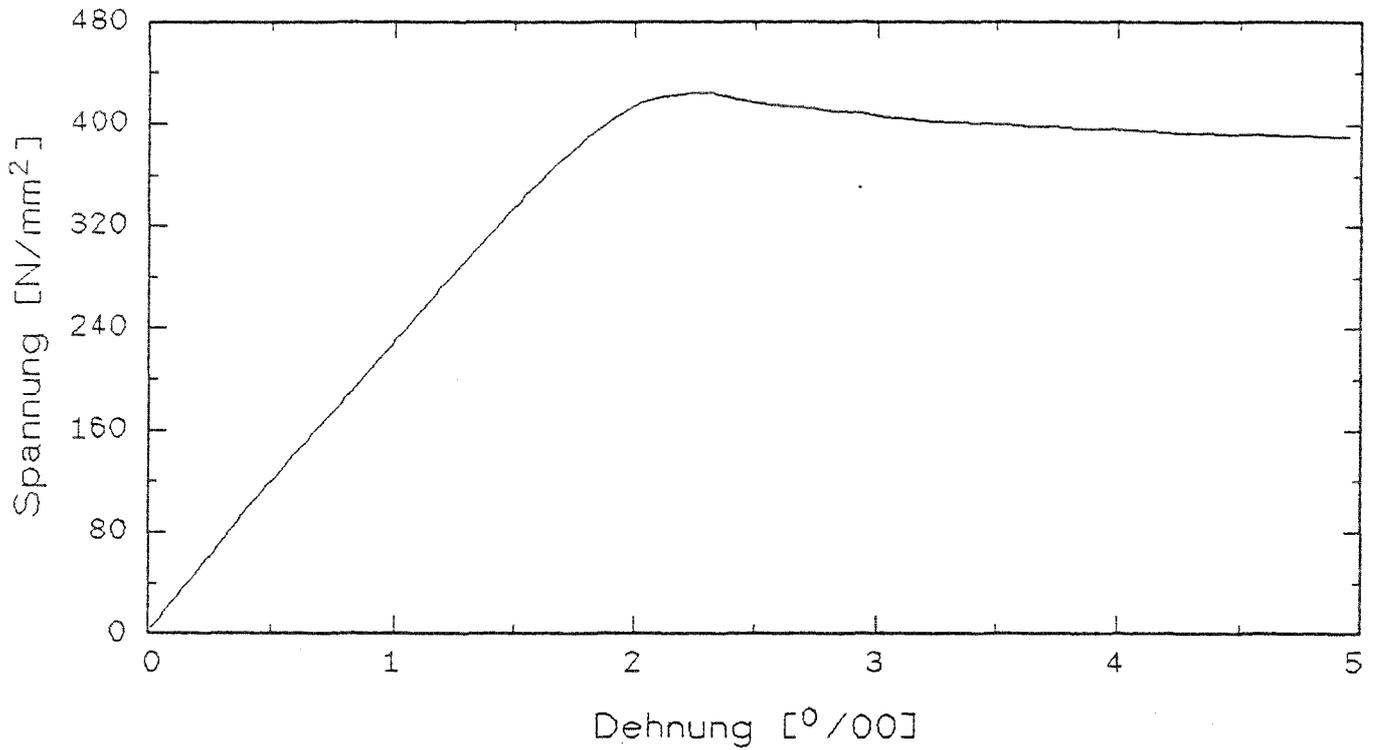
Kraft - Weg - Diagramm

Materialprobe 16



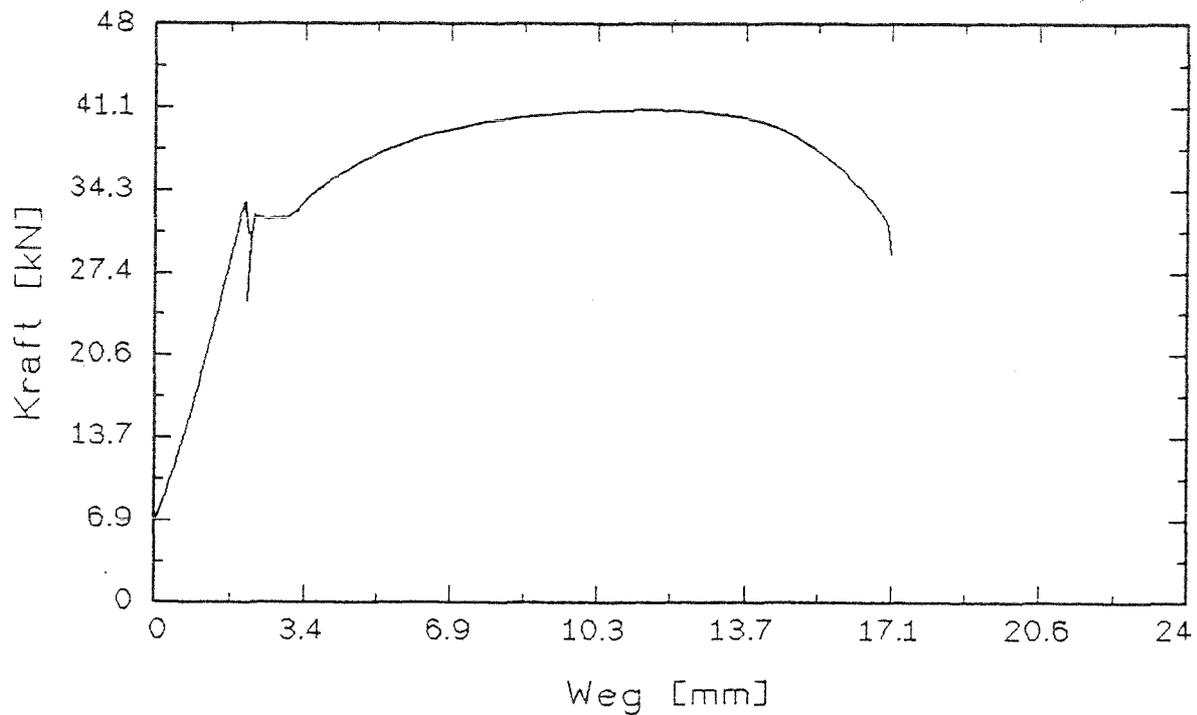
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Schweißgutprobe 1



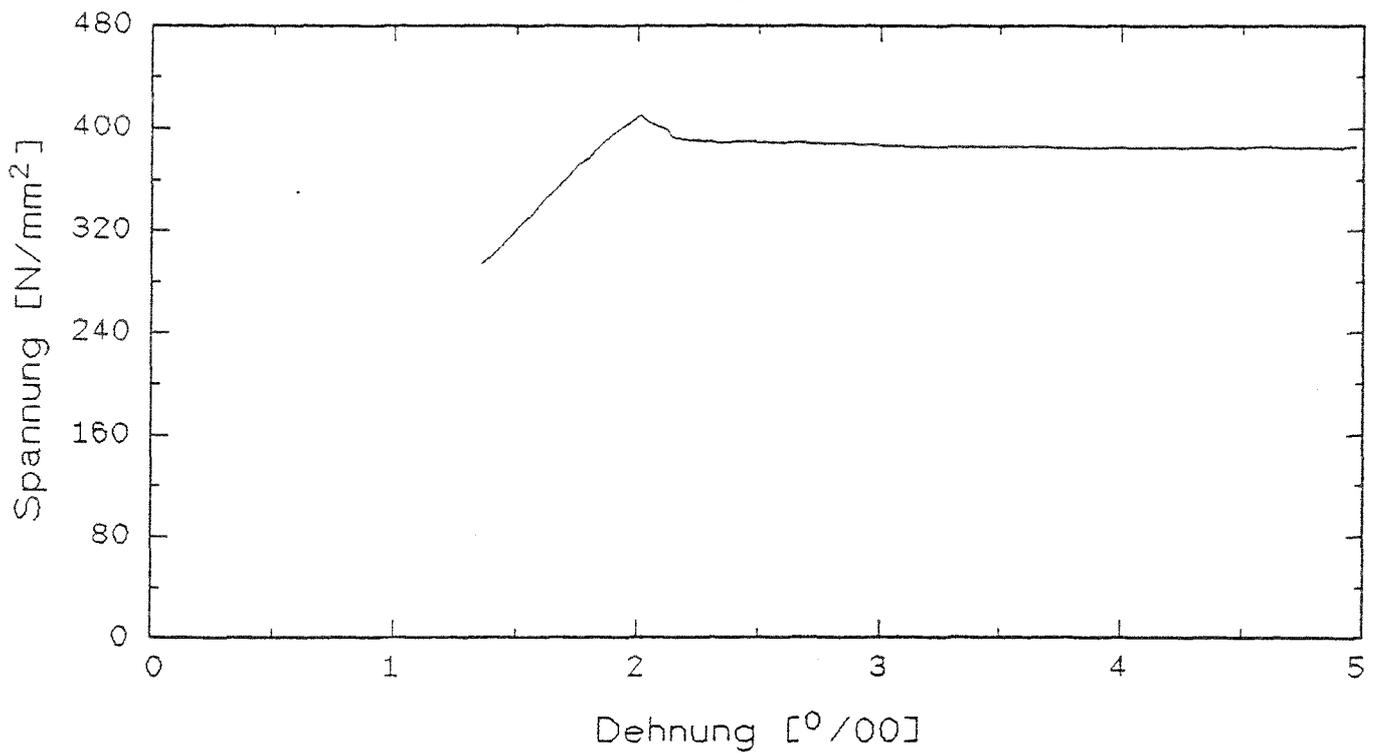
Kraft - Weg - Diagramm

Schweißgutprobe 1



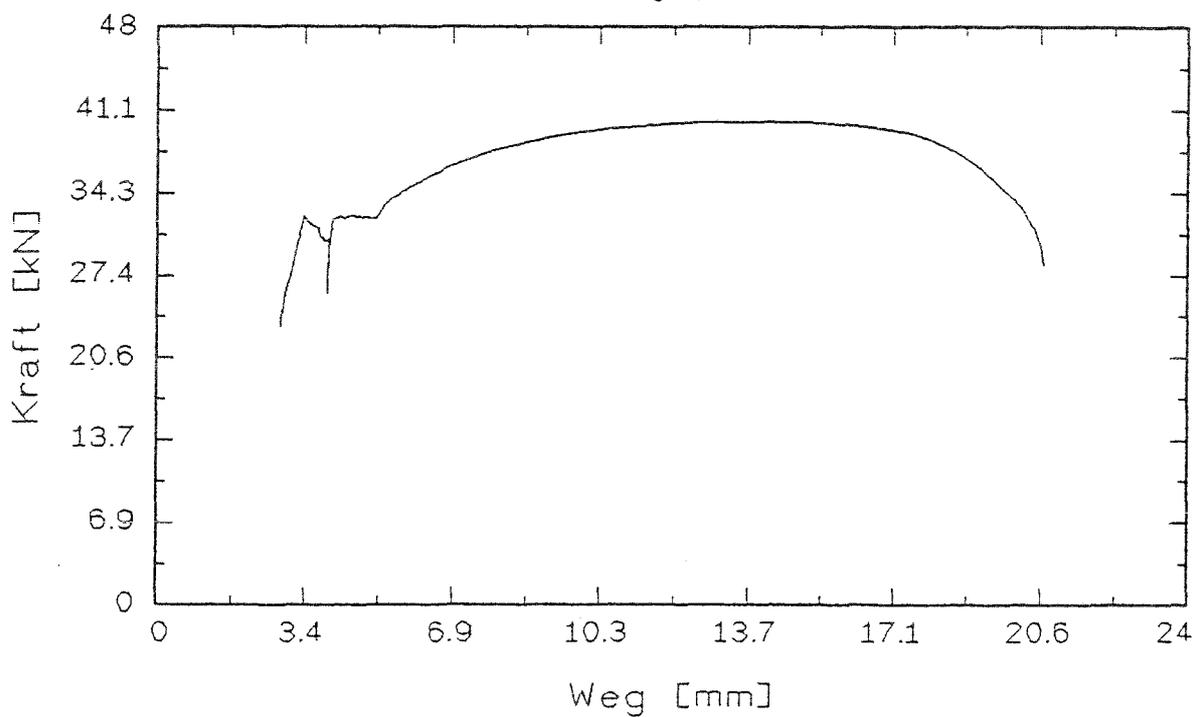
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Schweißgutprobe 2



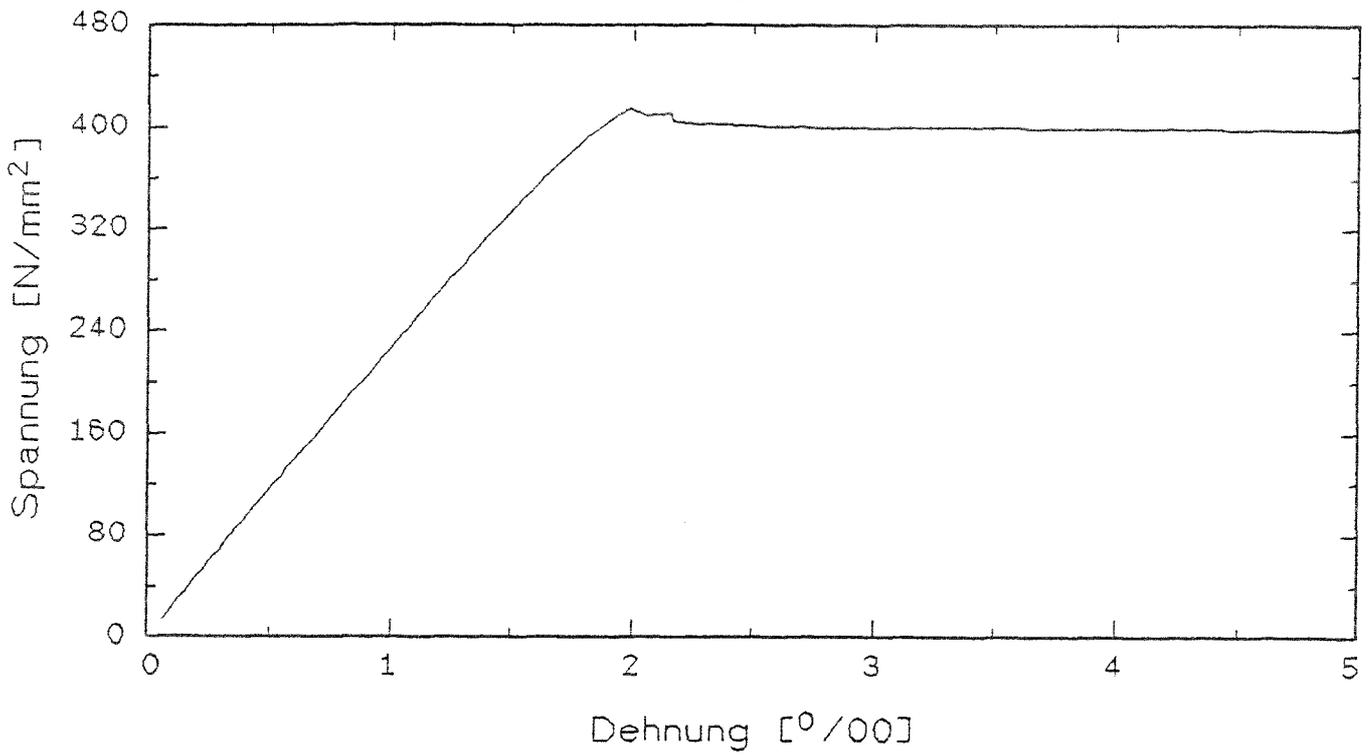
Kraft - Weg - Diagramm

Schweißgutprobe 2



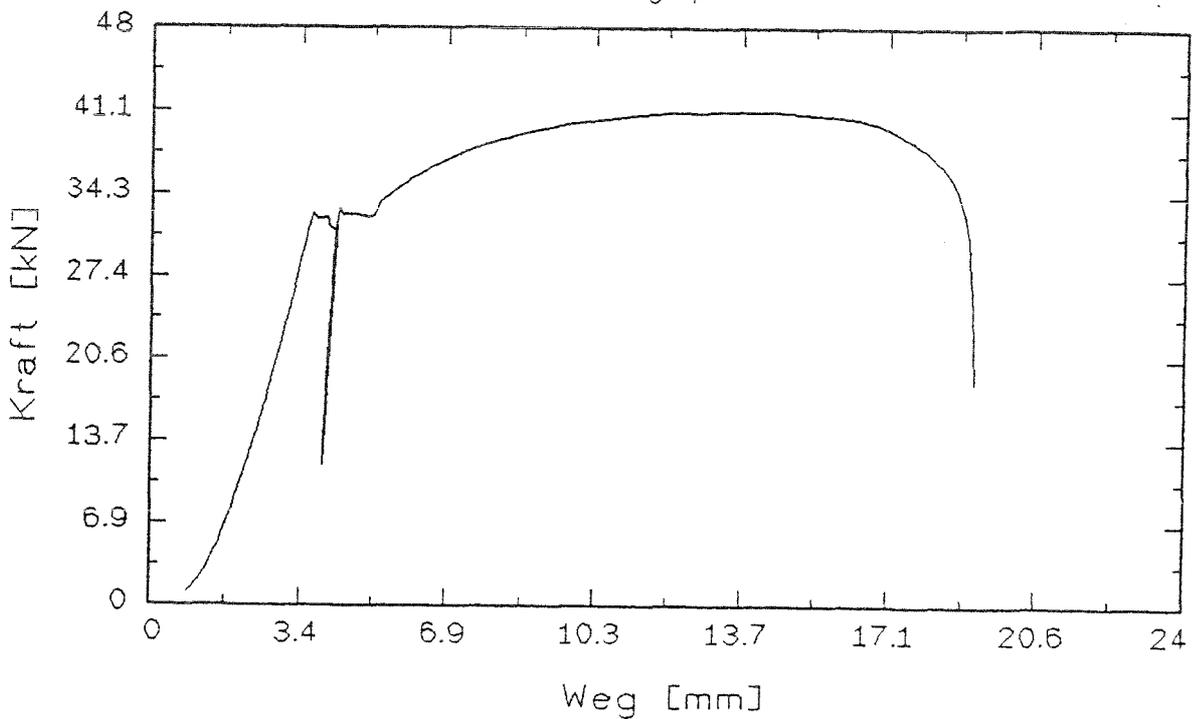
Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Schweißgutprobe 3



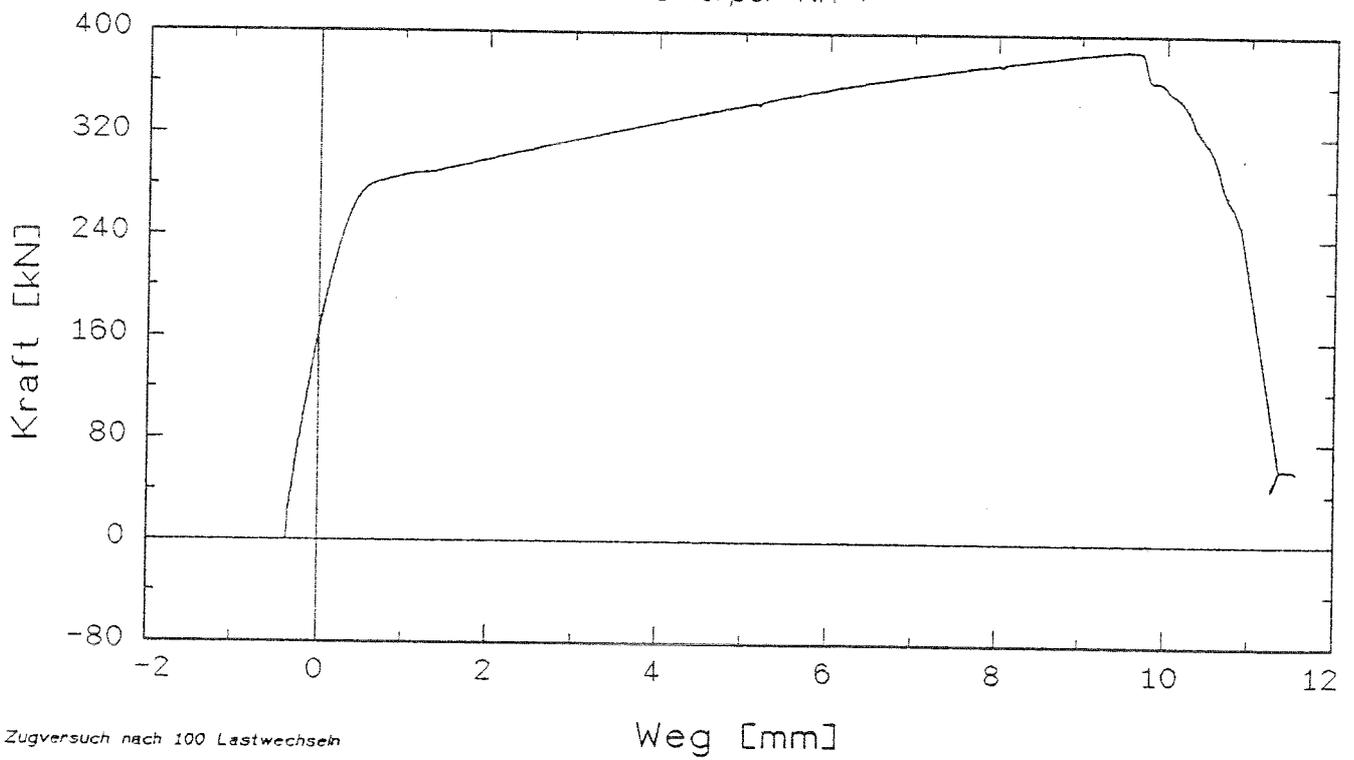
Kraft - Weg - Diagramm

Schweißgutprobe 3



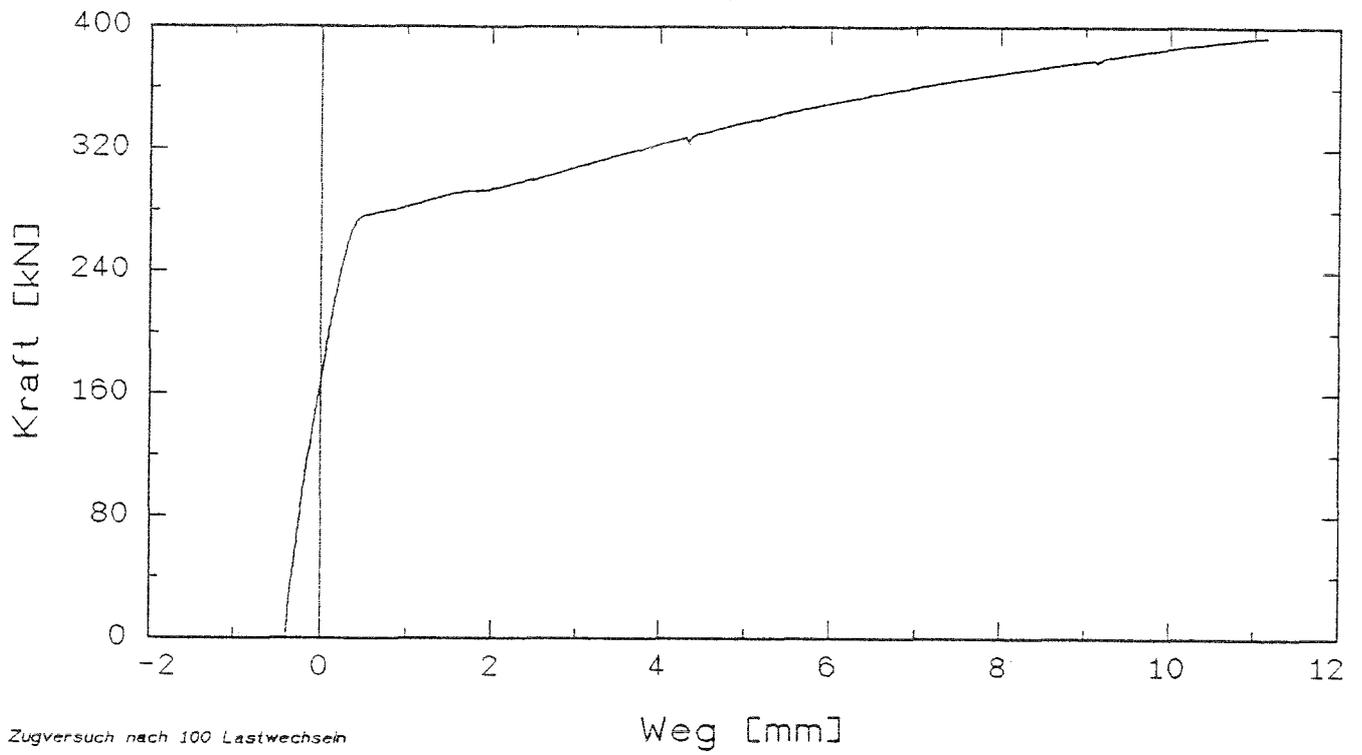
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 7



Kraft - Weg - Diagramm

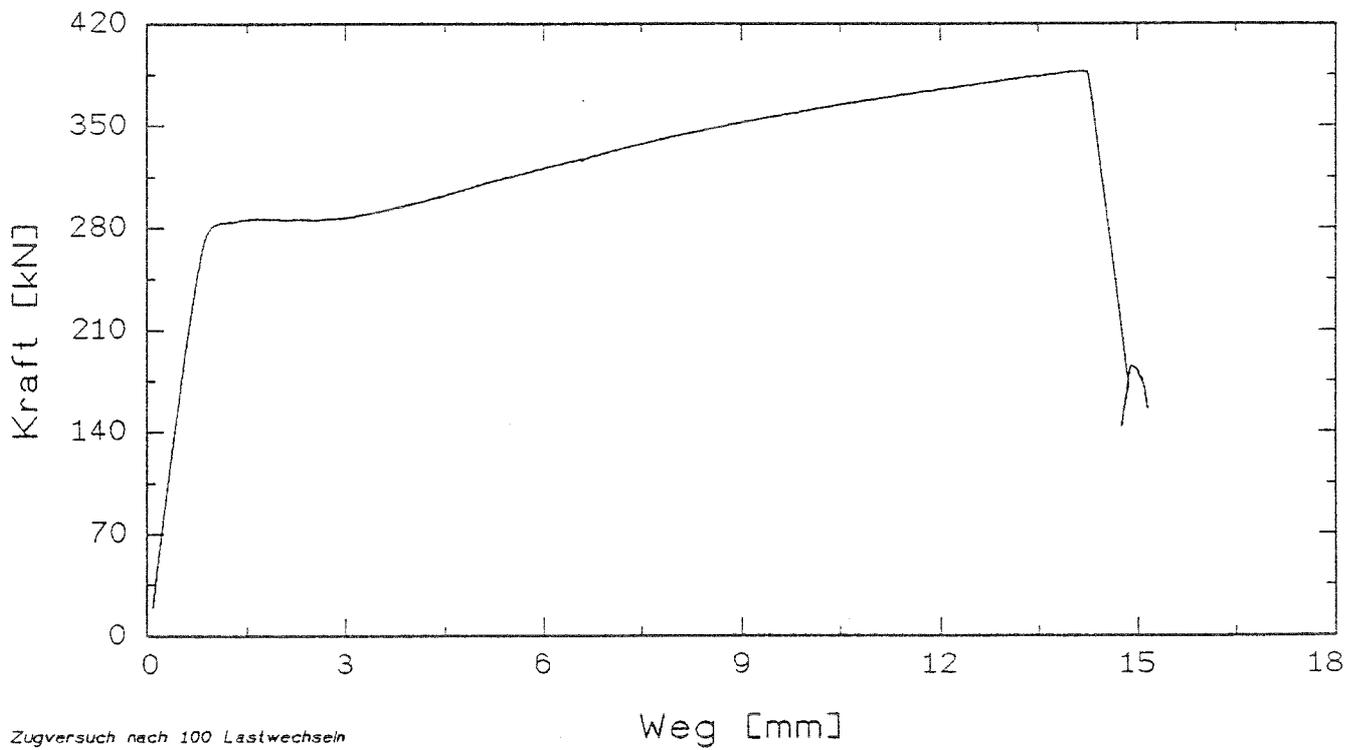
Prüfkörper Nr. 8



Zugversuch nach 100 Lastwechseln

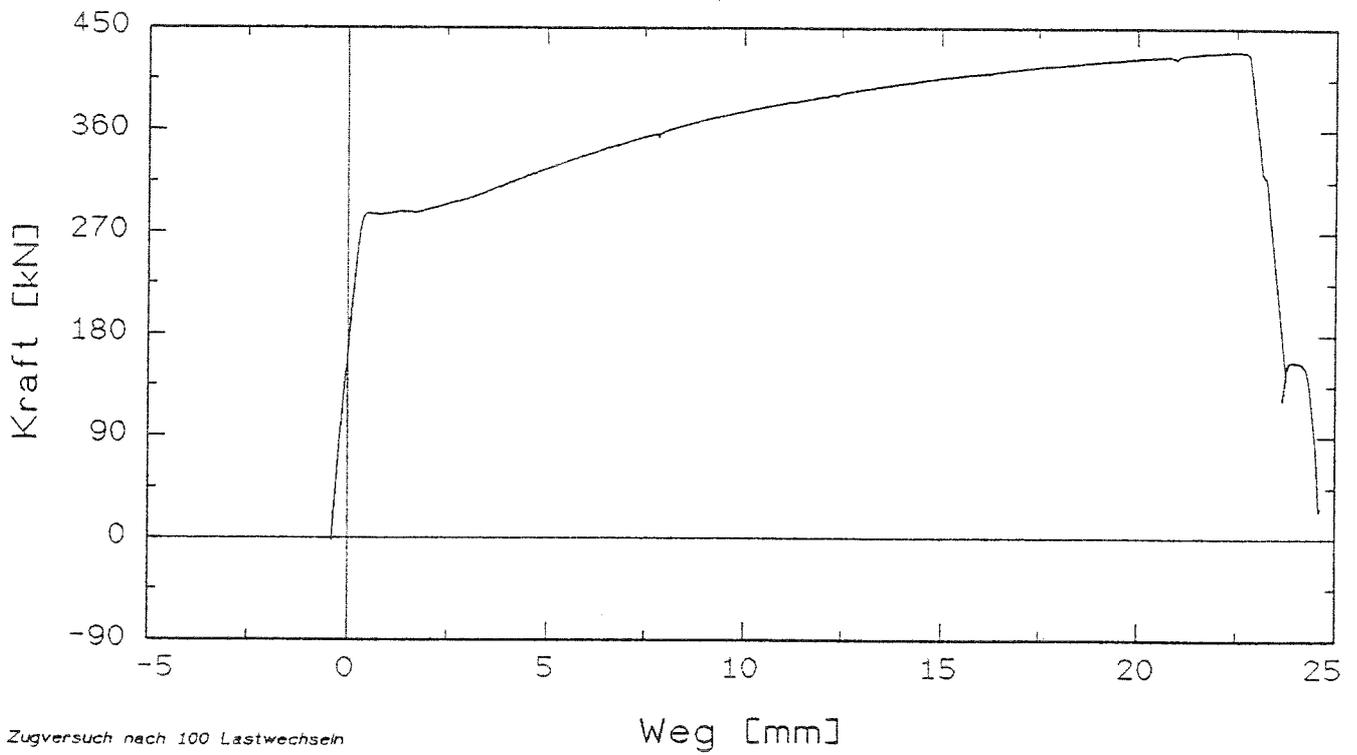
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 17



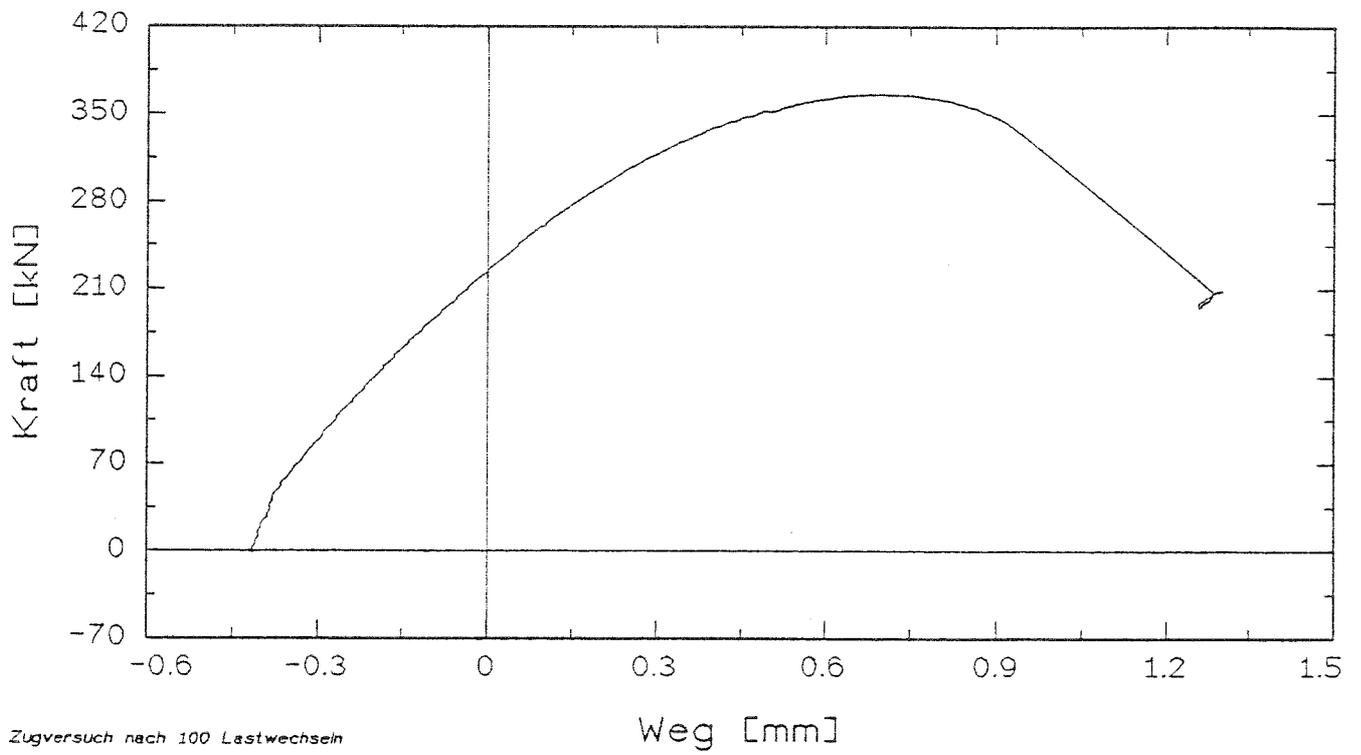
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 26



Kraft - Weg - Diagramm

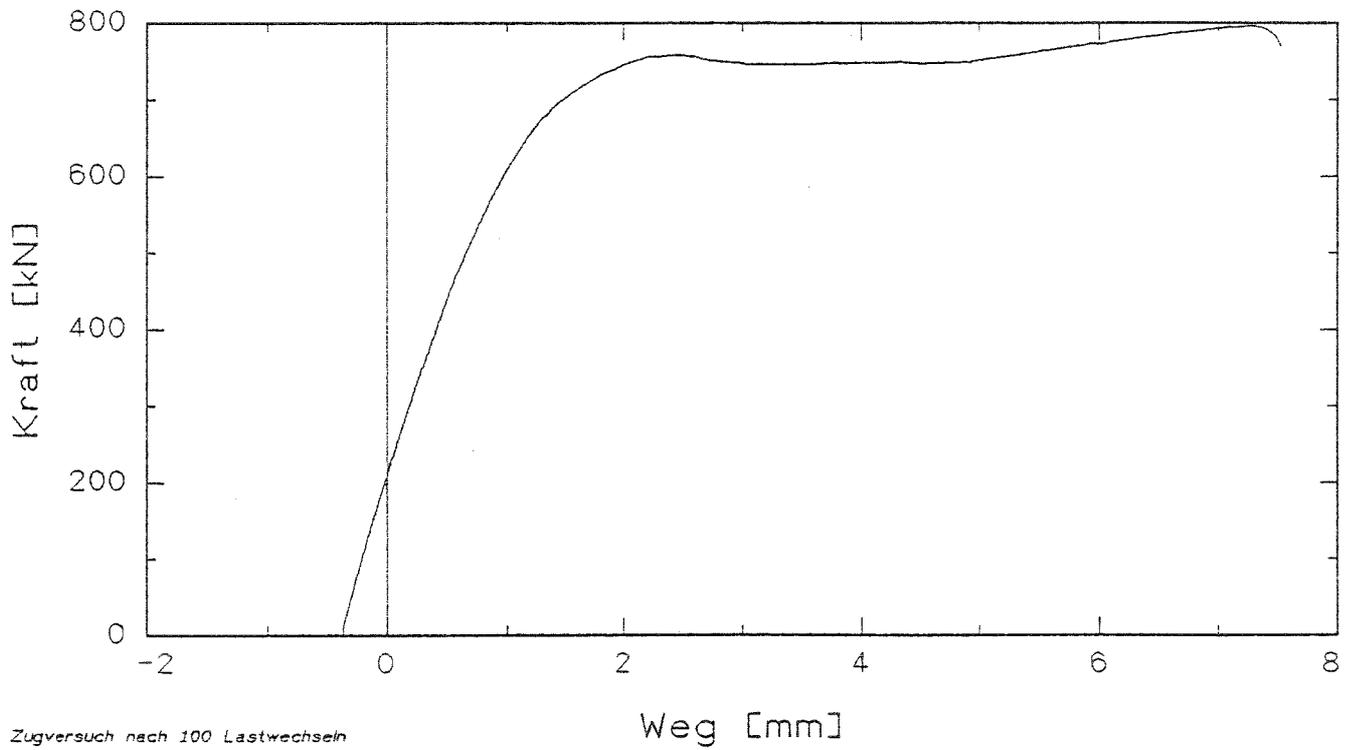
Prüfkörper Nr. 35



Zugversuch nach 100 Lastwechseln

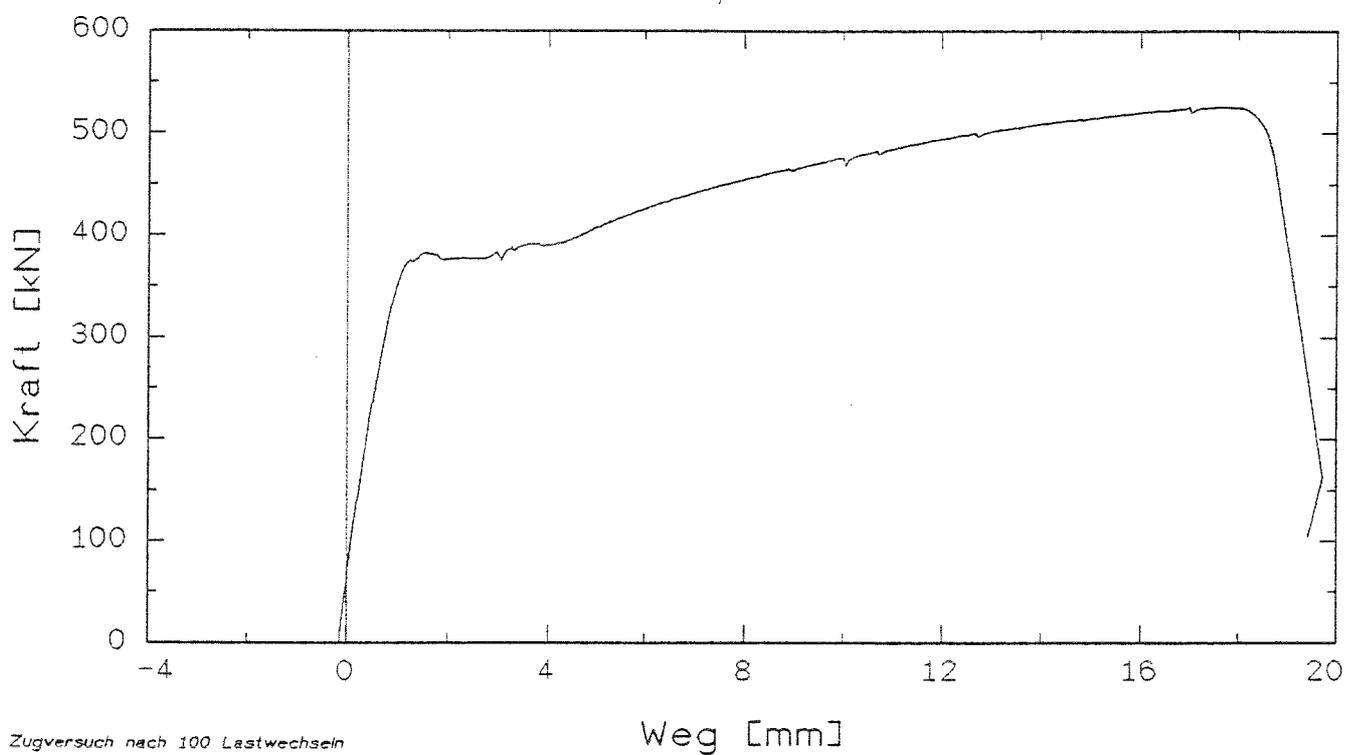
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 44



Kraft - Weg - Diagramm

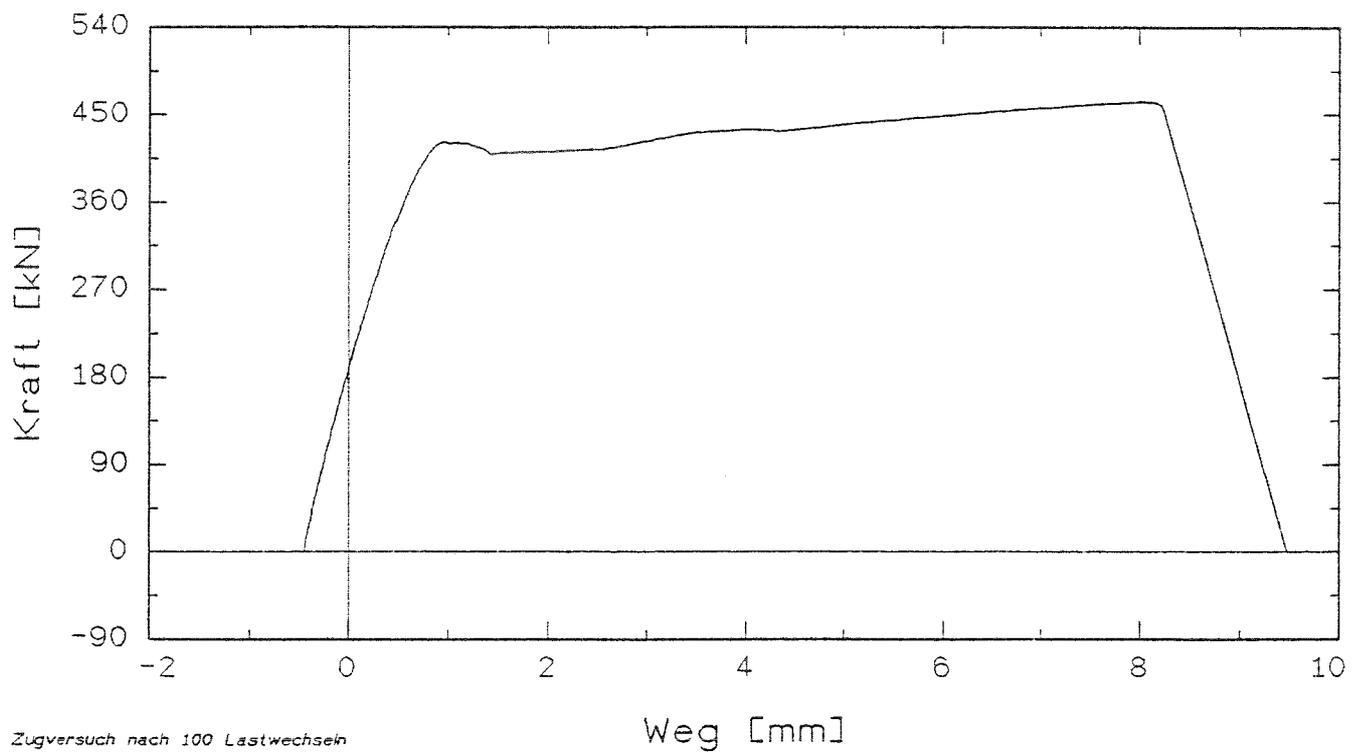
Prüfkörper Nr. 53



Zugversuch nach 100 Lastwechseln

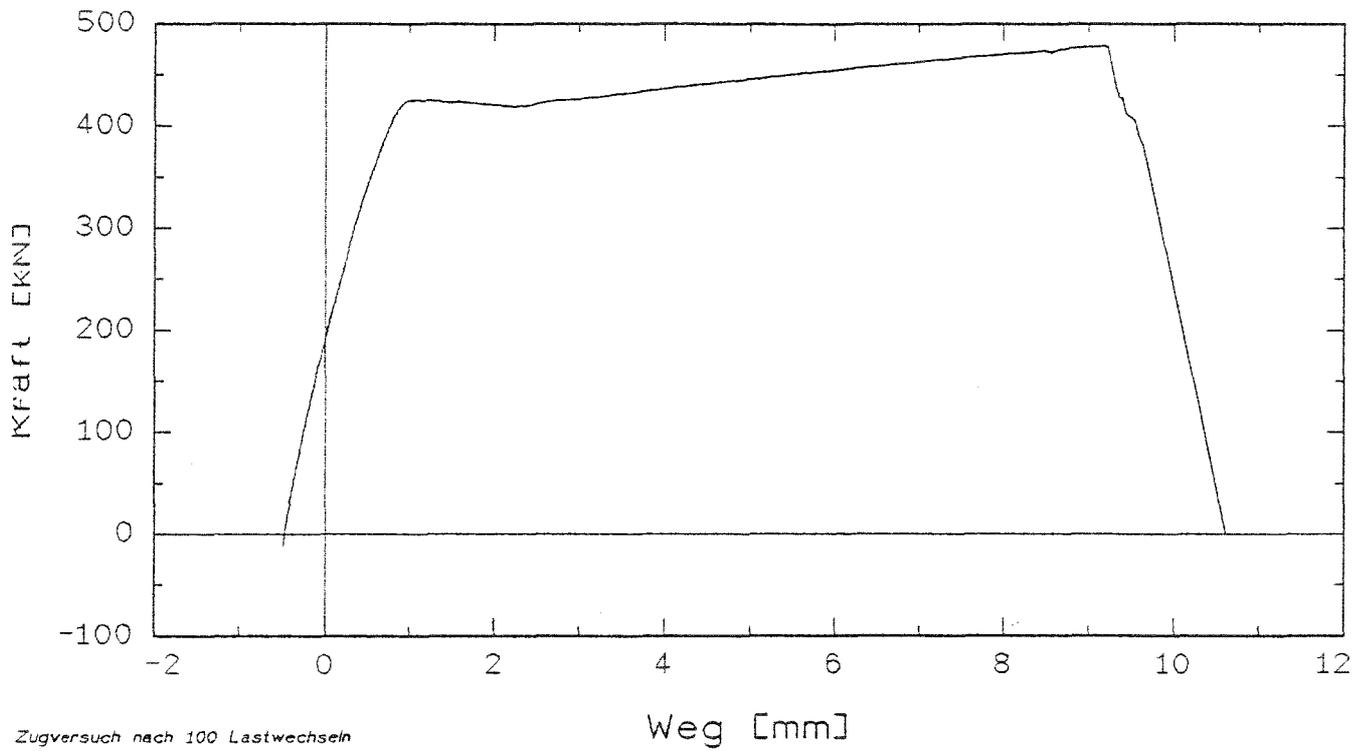
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 57



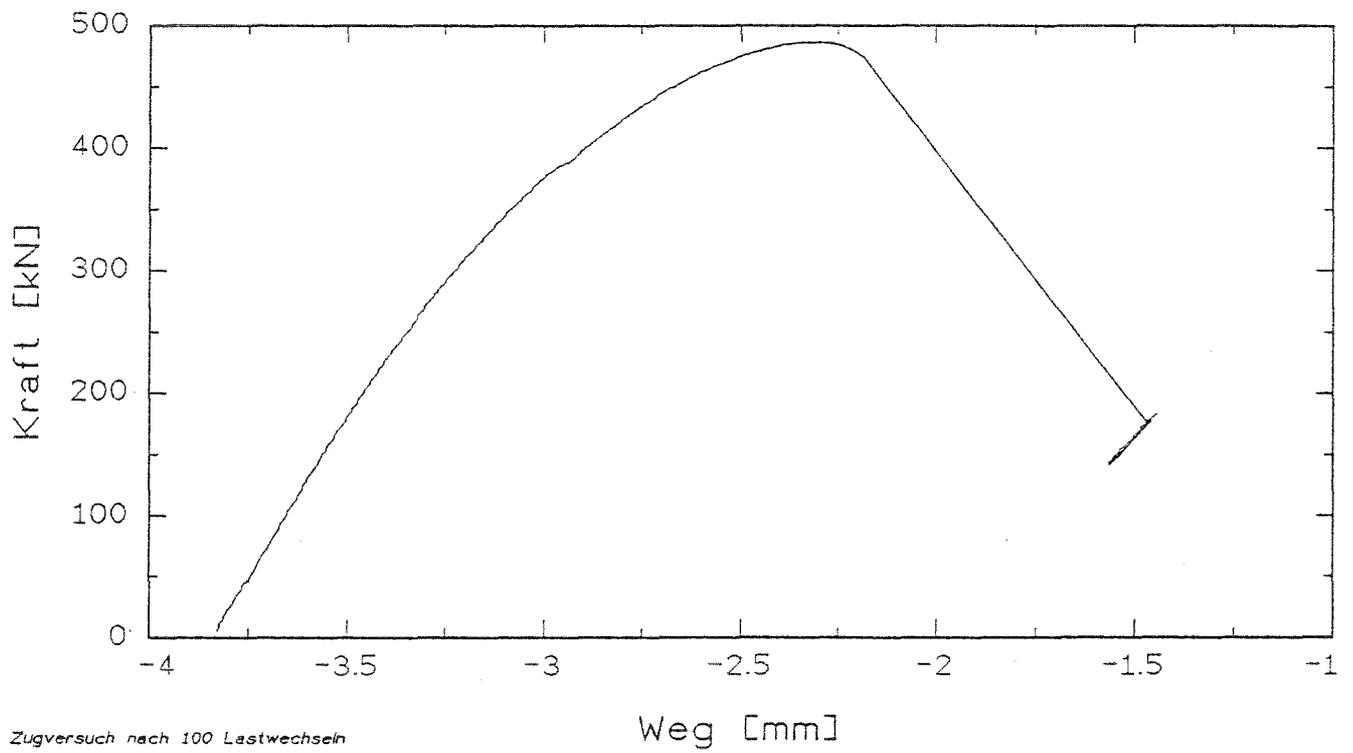
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 60



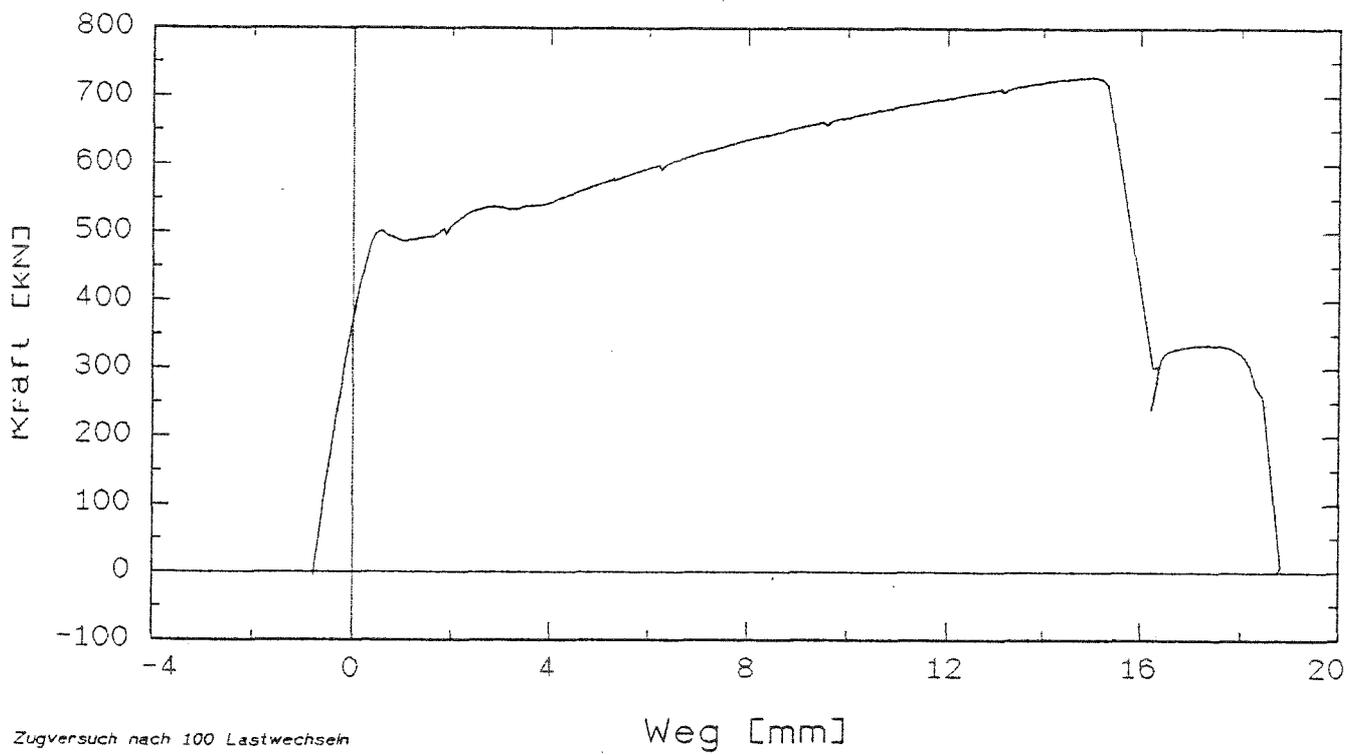
Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 64



Kraft - Weg - Diagramm

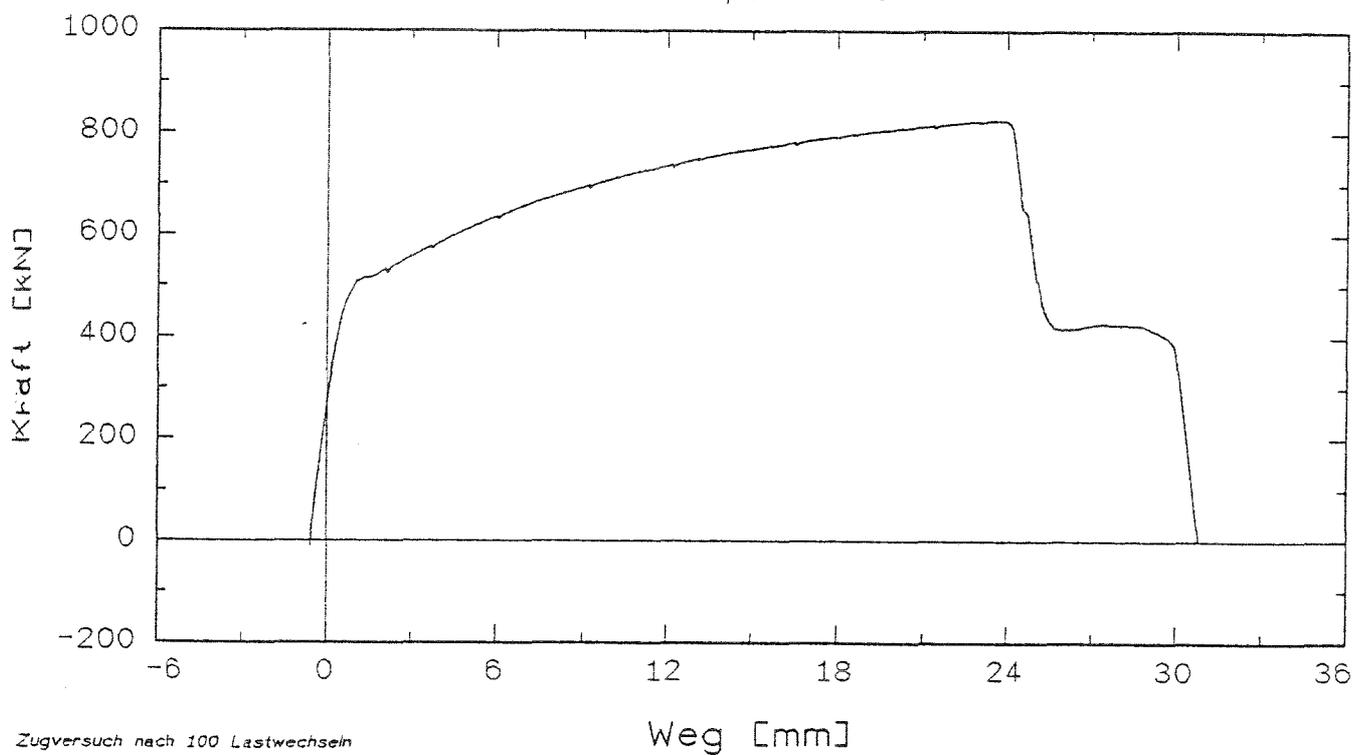
Prüfkörper Nr. 67



Zugversuch nach 100 Lastwechseln

Kraft - Weg - Diagramm

Prüfkörper Nr. 70



Research Project: "Influence of the Gap Width on Load Carrying Capacity of Fillet Weld Connections in Contact Joints

Summary

The pressure transmission due to contact represents the most economical solution for jointed construction elements. The presently strict requirements for the construction of contact joints which are secured by welded joints, lead to high production costs. Slackening of these requirements necessitates a clarification of the carrying behaviour of such connections.

At the Institute of Steel Construction at the Technical University at Braunschweig, experiments with varying loads were conducted on test samples which were constructed as double-symmetric T-joints with double fillet welds, with the objective of obtaining evidence concerning a possible force transmission due to contact in the joint area.

The test specimens were produced with a regular bearing gap in the contact seam. The experiments were carried out on splice plates of varying plate thickness made of St37 and St52, and which were connected by fillet welds of varying thickness.

The load resulted from the measurable tensile force of the welded seams according to DIN 18 800 part 1, edition 11/90 and from the measurable pressure force of the splice plate.

While all test samples of St37 supported the given 100 load fluctuations without failure, 2 test samples of St52 were destroyed before reaching these limits.

Within the framework of the conducted experiments, a correlation between the width of the bearing gap and the load carrying capacity of the connections could not be determined for St37.

The test specimens of St52 which prematurely failed, had a regular bearing gap of 2 mm. On the basis of the experimental material under consideration, it could not be determined whether this was the determining factor for the premature failure.

For the conversion of the experimental findings with St52 into practice in the field of steel construction, a design recommendation for the determination of the fillet weld thickness will be made.

Further experiments are necessary for St52, in order to arrive at a similar evaluation as for St37.

Projet de recherche: "Influence de la largeur de fente sur la force portante des points de soudure d'angle concave en joints d'assemblage".

Résumé

Le transport en pression effectué par contact représente la solution la plus économique en ce qui concerne les matériaux de construction à percussion. La construction de joints d'assemblage, dont la position est assurée par une soudure d'angle concave, réclame à l'heure actuelle de telles exigences, que ses coûts sont très élevés. L'atténuation de ces exigences nécessite la clarification du comportement des différentes charges de ce mode d'assemblage.

A l'Institut de Techniques de Construction de l'Université Technique de Braunschweig, des expériences sur échantillons sont pratiquées avec des charges variables. Ces échantillons ont été fabriqués comme des joints symétriques, dont les deux côtés sont en forme de T, avec une double soudure d'angle concave. Ces expériences à charges variables ont pour dessein de nous apporter un certain nombre d'informations quant à la transmission possible de force, obtenue par assemblage dans la zone du joint.

Les échantillons avaient été produits avec un jeu régulier de coussinet dans le joint d'assemblage. Les recherches furent pratiquées sur des plaques de joints de calibres différents (St 37- St 52) assemblées grâce à des soudures d'angle concave, d'une épaisseur variable.

La charge fut fournie par la force de traction mesurable de la soudure, conformément au DIN 18 800, Partie 1, Edition 11/90, et par la force de pression mesurable de la plaque de joint.

Tous les échantillons de calibre St 37 acceptèrent une charge fluctuante de 100 sans se briser, ce qui ne fut pas le cas des deux échantillons de calibre St 52, qui se cassèrent avant même d'avoir atteint cette limite.

Tout au court de ces expériences, il ne fut pas possible de remarquer pour le St 37, une corrélation entre la largeur du jeu de coussinet et la force portante des points d'attache.

Les échantillons de calibre St 52, qui se brisèrent prématurément, présentaient un jeu de coussinet régulier de 2mm. On ne put déceler, avec le matériel utilisé, si celui-ci était la cause déterminante occasionnant la brisure précoce.

On a procédé à une proposition de calculs pour déterminer l'épaisseur de la soudure pour ce qui est de la transposition des résultats acquis lors des expériences effectuées sur le St 37, en matière de technique de construction.

D'autres recherches seront cependant nécessaires pour le St 52, afin d'obtenir un mode d'interprétation semblable à celui du St 37.