

Untersuchungen zu Ursachen des Lockerns von Trägerklemmen

T 1207

T 1207

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

T 1207: Untersuchungen zu Ursachen des Lockerns von Trägerklemmen.

10.26

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG
INSTITUT FÜR STAHLBAU

o. Prof. Dr.-Ing. Joachim Scheer

Bericht Nr. 6068

Untersuchungen zu Ursachen
des Lockerns von Trägerklemmen

1.12.83

Auftraggeber

Institut für Bautechnik

Reichpietschufer 72 - 76

1000 Berlin 30

Dieser Bericht besteht aus 29 Seiten und 46 Anlagen

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 Allgemeines und Zielsetzung
 - 1.1 Problemstellung
 - 1.2 Ziel und Zweck

- 2 Grundlagen für die Planung
 - 2.1 Umfrageaktion; Ziel und Zweck
 - 2.2 Ergebnisse der Umfrageaktion
 - 2.3 Schlußfolgerungen für die durchzuführenden Untersuchungen

- 3 Versuchsplanung
 - 3.1 Klemmtyp, Klemmweite
 - 3.2 Versuchskörper
 - 3.3 Vorspannung
 - 3.4 Meßwerterfassung
 - 3.5 Art und Höhe der Belastung
 - 3.6 Übersicht über die durchgeführten Versuche

- 4 Versuchsdurchführung

- 5 Auswertung der Versuchsergebnisse
 - 5.1 Versuche auf Abscheren
 - 5.2 Versuche auf Maulaufbiegen

- 6 Theoretische Untersuchungen

- 7 Zusammenfassung

- 8 Literatur

1 ALLGEMEINES UND ZIELSETZUNG

1.1 PROBLEMSTELLUNG

Trägerklemmen sind im Gerüstbau seit vielen Jahren weit verbreitete und wirtschaftliche Verbindungsmittel. Ihre Verwendung ist aufgrund verhältnismäßig einfacher Montage bzw. Demontage nahezu unentbehrlich geworden.

Im Rahmen der Erteilung bauaufsichtlicher Zulassungen konnten hinsichtlich der Anwendungsgebiete von Trägerklemmen bisher lediglich Teilbereiche für die Verwendung erfaßt werden.

Im Sachverständigenausschuß "Gerüstbau" des Institutes für Bautechnik, Berlin, wurde berichtet, daß gelegentlich Lockern oder sogar Lösen von Trägerklemmen beobachtet werden konnte, jedoch Ursachen hierfür nur vermutet und nicht sicher beschrieben werden können. Als mögliche systematische Ursache für das Lockern wurden Beanspruchungen durch Lastwechsel angesehen. Darüber hinaus können Einbaufehler zu einem Lockern von Trägerklemmen führen.

1.2 ZIEL UND ZWECK

Mit Hilfe von Versuchen soll daher untersucht werden, ob und wieviel die Klemmenkraft der Trägerklemme abfällt, wenn die Klemme einer wiederholten Belastung ausgesetzt wird. Die Klemmverbindung wird hierbei auf unterschiedliche Art beansprucht, nämlich auf

- Abscheren bzw.
- Maulaufbiegen.

Der Begriff Abscheren ist der Terminologie der dornigen Verbindungsmittel entnommen. Er soll einen Beanspruchungszustand charakterisieren, bei dem die zusammengeklemmten Bleche parallel in ihrer Ebene gezogen werden. Der Versagensfall tritt durch Rutschen auf. Eine Beanspruchung auf Maul-

aufbiegen wird durch Kräfte senkrecht zur Klemmfläche hervorgerufen.

Die gewonnenen Ergebnisse sollen gegebenenfalls eine Basis für die Abgrenzung des Anwendungsbereiches liefern bzw. Grundlage für solche sinnvollen Auflagen schaffen, die in Abhängigkeit von ggf. vorhandenen baustellenspezifischen Einflüssen eine sichere und wirtschaftliche Verwendung ermöglichen. Oder es soll festgestellt werden, daß derartige Einflüsse im Rahmen der durch die Zulassung begrenzten Verwendbarkeit nicht existieren.

2 GRUNDLAGEN FÜR DIE PLANUNG

2.1 UMFRAGEAKTION; ZIEL UND ZWECK

Durch Umfragen bei Herstellerfirmen, Anwendern und Prüffingenieuren sollte zunächst festgestellt werden, ob und in welchem Maße Klemmenlockern beobachtet werden konnte.

Dabei interessieren neben der Art des Einbaues und der Beanspruchungsart im besonderen auch die Art der Belastungsaufbringung (statisch, dynamisch), die möglichen Belastungskombinationen und Alter bzw. Zustand der verwendeten Klemmen.

Ziel der Umfrageaktion sollte sein, Aufschlüsse über die Ursachen des Klemmenlockerns und ihre Auswirkungen auf die damit erstellten Verbindungen zu erhalten, um anhand dieser Unterlagen die theoretische Vielfalt der möglichen Versuchsparameter auf die maßgebenden und erforderlichen zu reduzieren. Der der Untersuchung zugrundeliegende Fragebogen ist in den Anlagen 1a und 1b wiedergegeben.

Die Ergebnisse der Umfrageaktion sind in Kapitel 2.2 zusammengefaßt.

2.2 ERGEBNISSE DER UMFRAGEAKTION

Von den insgesamt angeschriebenen 23 Adressaten antworteten insgesamt 11, davon lediglich 2 mit vollständig bzw. näherungsweise vollständig ausgefülltem Fragebogen.

Die Antworten können grundsätzlich 3 Gruppen zugeordnet werden:

Gruppe 1: Verfügt aufgrund eines zu geringen entsprechenden Rücklaufes von Schadensmeldungen von Baustellen und anderen Einsatzgebieten nicht über eine ausreichende Anzahl von Informationen.

Gruppe 2: Stellte eine geringe Fehlerhäufigkeit fest, deren Herkunft in der Regel aus Einbaufehlern oder "Schlamperei" resultierte. Da eine Überwachung der Klemmen - wenn überhaupt - nur vor der Aufbringung der Belastung erfolgte, konnten keinerlei Kausalitäten zwischen Belastung und Lockern konstatiert werden.

Gruppe 3: Nur Prüffingenieure hatten Kenntnisse über fehlerhafte Klemmverbindungen. Allerdings überwiegen auch hier die Einbaufehler als Gründe für gelockerte Verbindungen. In einer maßgeblichen Anzahl von Fällen war das Vorspannmoment nicht vollständig aufgebracht, wobei Unterschreitungen desselben von ca. 50% bis 100% (also gar nicht angezogen) angegeben wurden.

Der Regelfall für die Belastungsart war Abscheren, Maulaufbiegen, trat wenn, dann nur unplanmäßig auf. Die Aufbringung der Last erfolgte nach Kenntnis der Antwortenden im Regelfall annähernd gleichmäßig und ohne dynamische Effekte.

Die beobachteten Klemmen umfaßten gleichermaßen alte und neue Typen; der äußerliche Zustand wurde einhellig als gepflegt wiedergegeben, die Oberflächenbeschaffenheit der Klemmung als in der Regel sauber und rostfrei.

Klemmeneinbaufehler, wie in dem Fragebogen der Anlage 1b unter Frage 15 b dargestellt, wurden kaum beobachtet, wohl dagegen ein mangelhafter Klemmschluß aufgrund nicht ebener Auflagerflächen der zu verbindenden Teile (im einzelnen wurden dazu "verwundene Flansche bei gebrauchten Trägern" sowie plastische "Vorverformungen" genannt).

2.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE DURCHZUFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN

Aus den vorgestellten Umfrageergebnissen und aus Voruntersuchungen lassen sich fünf Hauptpunkte zusammenfassen, die im Rahmen des genannten

Forschungsvorhabens näher zu untersuchen sind:

- Auswirkung von Lastwechseln der Klemme,
- Auswirkung der Beanspruchungsrichtung (Abscheren, Maulaufbiegen),
- Auswirkung der Oberflächenbeschaffenheit,
- Auswirkung einer reduzierten Vorspannung,
- Auswirkung von Einbaufehlern, so kann ein Abfall der Vorspannkraft der Klemmen auch dann auftreten, wenn zwei Bauteile zwar durch mehrere Klemmen verbunden sind, die Bauteile sich im Bereich der gesetzten Klemmen aber nicht berühren. Beim Vorspannen weiterer Klemmen an dieser Verbindung fällt die Vorspannkraft der vorher angezogenen Klemmen ab. Zur Untersuchung dieses Einflusses wurde ein einfaches mechanisches Modell zugrundegelegt, an dem das Verhalten einer solchen Verbindung im Sinne einer Sensibilisierungsstudie untersucht werden kann.

Um die Ergebnisse statistisch abzusichern, wird jeder Versuch dreimal ausgeführt.

3 VERSUCHSPLANUNG

3.1 KLEMMTYP, KLEMMWEITE UND VORSPANNUNG

Die zur Zeit auf dem Markt befindlichen Klemmentypen sind Klemmen mit einem Zweifingermechanismus auf der Rückseite (Peiner AG) oder mit drei Fingern (Hünnebeck, Mannesmann, Layher). Im Rahmen dieses Programms wurden beide Konstruktionstypen untersucht (eine Skizze einer Dreifingerklemme ist in Anlage 2 dargestellt).

Zur Verwendung gelangten neuwertige Klemmen der Herstellerfirma Peiner AG und Hünnebeck. Die Entscheidung für die Verwendung neuwertiger Klemmentypen fiel aufgrund der Forderung nach eindeutiger Reproduzierbarkeit der Versuche. Rost, Verschmutzung und andere schwer zu reproduzierenden Einflüsse wurden in ihren Auswirkungen durch Reduzierung der Vorspannung simuliert. Die gewählten Klemmentypen stehen stellvertretend für einen Systemtyp (Zwei- bzw. Dreifingerverzahnung), jedoch nicht für eine Herstellerfirma im besonderen. Ein zusätzlicher versuchstechnischer Vorteil bei der Wahl dieser Klemmen ergibt sich aus der leichten Applizierbarkeit von Dehnmeßstreifen im zugänglichen glatten Schaftbereich der Schrauben. Alle verwendeten Klemmschrauben waren gebondert und geölt.

Um den Einfluß der Klemmweite l_K (siehe Anlage 2) zu erfassen, wurden die Versuche an den genannten Klemmentypen jeweils mit der maximalen und minimalen durch die Zulassung angegebenen Klemmweite l_K durchgeführt.

3.2 VERSUCHSKÖRPER

Die Versuchskörper für Versuche auf Abscheren bzw. auf Maulaufbiegen sind der Anlage 3 zu entnehmen. In beiden Fällen werden jeweils zwei der abgebildeten Versuchsteile zu einem Gesamtprüfkörper durch zwei Klemmen zusammengesetzt und in die Prüfmaschine eingebaut (siehe "Gesamtsystem" in Anlage 3). Die I-förmigen Prüfkörper werden insgesamt achtmal hergestellt, die flacheisenförmigen insgesamt sechzehnmal.

Die letztgenannte Gruppe, die für die Abscherversuche benötigt wird, setzt sich dabei aus je acht farbbehandelten bzw. acht metallisch blanken Blechen zusammen. Bei den Abscherversuchen ist diese Unterscheidung erforderlich, um den Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit auf den Reib-schluß und dessen mögliche Rückwirkung auf die Vorspannkraftabnahme beobachten zu können. Hierbei wurden die beiden unterschiedlichen Arten der Oberflächenbehandlung gewählt. Die metallisch blanke Oberfläche ist hierbei als Grenzfall des Oberflächenzustandes anzusehen. Die Farbbehandlung mit Tropenhaftgrund rotbraun (Kennung G 4467-23) sowie nachfolgend einmaligem Deckanstrich mit Tauchlackfarbe nach RAL 8004 (Kennung F 5182-537) wurde - zur Gewährleistung einer möglichst gleichmäßigen Oberflächenbeschaffenheit - im Rahmen eines serienmäßigen Lackiervorganges durch die Firma Peiner AG ausgeführt, sie entspricht einer üblich behandelten neuen Oberfläche.

Innerhalb einer Achtergruppe mit gleichartiger Oberflächenbeschaffenheit unterschieden sich die Prüfkörper durch die Dicke des geklemmten Blechteils.

Da immer zwei gleiche Teile gegeneinander gepreßt wurden, ergab sich für die benutzte Blechdicke die jeweils halbe Stärke des in der Tabelle 1 der genannten l_K -Wertes (siehe auch Anlage 3).

Die hierzu gehörenden Blechpaare für die Abscherversuche wurden doppelt hergestellt, um für das zweite Klemmenpaar vergleichbare Bedingungen mit unverletzter Reiboberfläche und damit unverändertem Reibungsbeiwert anbieten zu können. Versuchskörper und Klemmen sind in den Anlagen 3, 4, 5 und 6 dargestellt.

Die erwähnte, dreifache Wiederholung eines Einzelversuches wurde, um gleiche Oberflächenverhältnisse zugrundezulegen, durch Versetzen der Klemmen innerhalb des 150 mm langen Blechüberlappungsbereiches (siehe Anlage 3) realisiert.

Da sämtliche Untersuchungen an den vorliegenden Klemmen ausschließlich elastisches Materialverhalten voraussetzen, wurde eine Werkstoffanalyse sowohl für das Klemmen- als auch das Schraubenmaterial nicht vorgenommen.

Die Versuche wurden in der Universalprüfmaschine HUN 100 des Instituts für Stahlbau durchgeführt. Bei den Versuchen auf Abscheren wurde im Bereich der Spannbacken der Prüfmaschine eine Blechzulage vorgesehen, um die Wirkungslinie der Belastungsergebnisierenden in die Scherfläche des Versuchsblechpaares zu legen und damit gleichzeitig ein zwängungsfreies Einspannen zu ermöglichen. Bei Versuchen mit einer Klemmweite von $l_K > 40$ mm wurden die verwendeten Bleche an ihrem Ende zusätzlich abgehobelt, um sich der prüfmaschinenseitig vorgegebenen maximalen Spannbackenweite anzupassen.

3.3 VORSPANNUNG

Für die Grundversuche wird das durch die Zulassung jeweils vorgeschriebene Vorspannmoment M_V zu 100% aufgebracht. Um die Auswirkungen einer zu geringen Vorspannung, hervorgerufen beispielsweise durch Verschmutzung zwischen den Klemmböcken oder im Schraubengewinde, zu simulieren, bzw. um die Auswirkung eines nicht vollständig aufgebrachten Vorspannmomentes zu erfassen, wird in einer weiteren Gruppe der Abscherversuche das Vorspannmoment auf 80% bei den Hünnebeck bzw. 70% bei den Peiner Klemmen abgemindert. Dieses Vorgehen weist gegenüber einer möglichen Simulation von Verschmutzungs- bzw. Rostzuständen an den Versuchskörpern den Vorteil einer eindeutigen Reproduzierbarkeit auf. Die Werte entsprechen in etwa derjenigen Vorspannung bei der unter Beibehaltung der im Abschnitt 3.1 festgelegten Belastung die Verbindung gerade noch nicht rutscht.

3.4 MESSWERTERFASSUNG

Da eine direkte Messung der Klemmkraft schwierig ist, wurde die Dehnung der Vorspannschraube als proportionales Maß für die Klemmkraft zugrundegelegt. Die Dehnungsmessung machte die Applikation von jeweils 4 DMS im Bereich des Schraubenschaftes einer Klemme erforderlich. Für die vollständige Registrierung eines Dehnungs-Mittelwertes über den Querschnitt des Schaftes wären 3 DMS ausreichend gewesen, der 4. wurde jedoch aus Gründen der Redundanz zusätzlich angeordnet.

Die DMS wurden elektrisch so geschaltet, daß die Anzeige den Mittelwert der vier Meßsignale angibt. Die zeichnerische Darstellung der DMS-Anordnung ist der Anlage 7 zu entnehmen. Die Messung der Dehnungen erfolgte mit Hilfe eines manuellen Kompensators (Darstellung in Anlage 11).

Für die späteren theoretischen Untersuchungen wurden zusätzlich Federkennlinien der Klemmen gemessen. Hierbei wurde die Klemme mit Hilfe der Versuchseinrichtung für Maulaufbiegen beansprucht. Eine Vorspannung wurde hierbei nicht aufgebracht, da sonst die Federkennlinie des gesamten Verbundquerschnitts gemessen worden wäre. Hierzu wurden zusätzlich an Klemmenober- und -unterseite am vorderen Rand in der Mitte (siehe Anlage 8) Anschlußösen für die Befestigung eines Drahtes vorgesehen, der die Verschiebung an einen Wegaufnehmer überträgt. Die Versuchskörper mit der Meßeinrichtungsvorbereitung sind aus den Anlagen 8, 9 und 10 ersichtlich. Die Höhe der Prüfbelastung der Versuchseinrichtung wurde mit Hilfe einer analogen Kraftanzeige der Prüfmaschine verfolgt.

3.5 ART UND HÖHE DER BELASTUNG

Der übliche, auch durch Zulassung abgedeckte Anwendungsbereich einer Trägerklemme ist die Verbindung von auf Abscheren beanspruchten Laschen.

Zusätzliche Lasteinwirkungen in Richtung der Schraubenachse, die also die Klemmen auf Maulaufbiegen beanspruchen, können unplanmäßig, wie den

Umfrageergebnissen entnommen werden kann, durchaus auftreten.

Diese Beanspruchung ist bisher nicht Gegenstand bauaufsichtlicher Zulassungen. Da hierdurch jedoch verhältnismäßig starke lokale Belastungen in der Klemme auftreten können und damit auch die Gefahr lokalen Plastifizierens gegeben ist, wurde diese Beanspruchungsart ebenso wie die Abscherbelastung für das Versuchsprogramm vorgesehen.

Eine Untersuchung mit kombinierter Belastung Abscheren - Maulaufbiegen wird nicht durchgeführt, da die Versuchsergebnisse zu den beiden Grundbelastungsarten erwarten lassen, daß auch bei kombinierter Belastung keine Änderung des Ergebnisses eintritt.

Da die vorliegende Untersuchung die Überprüfung der Gebrauchsfähigkeit der Klemmen zur Aufgabe hat, wird für die Lasthöhe nicht von der zu erwartenden Traglast der Verbindung ausgegangen, sondern von dem für den jeweils verwendeten Klemmentyp in der Zulassung angegebenen Wert für den Lastfall HZ. Bei der Belastungsart Maulaufbiegen wird, ausgehend von den in /1/ ermittelten Lastverschiebungskurven, eine Grenzlast bestimmt, von der ab die Verformungen stark zunehmen und die Gebrauchslast mit einem Sicherheitsbeiwert von ca. $\gamma = 2,5$ daraus bestimmt.

Neben einer im Regelfall statisch bzw. quasistatisch wirkenden Lasteinwirkung auf geklemmte Konstruktionen bzw. Konstruktionsteile, werden diese durch Einwirkungen wie Windboen, Betonaufbringung, Absetzen von Kranlasten usw. ebenfalls impulsähnlich beansprucht. Dabei könnte die Häufigkeit dieser Art von Belastung - man denke an die Winddruckbelastung einer mit Klemmverbindungen ausgeführten Gerüstkonstruktion über einer stark befahrenen Bahnstrecke - für das Klemmverhalten eine durchaus maßgebende Größenordnung erreichen. Im Versuch soll dieser Problematik dadurch Rechnung getragen werden, daß die Belastung wiederholt in gleicher Höhe aufgebracht und wieder auf Null zurückgefahren wird.

Die stoßartige Belastung wird durch schlagartiges Öffnen bzw. Schließen des die hydraulische Belastungseinrichtung steuernden Ventils erreicht.

Dieses ist eine ungünstigere Beanspruchung, als ein vergleichsweise "glatter", etwa sinusförmiger Lastverlauf über der Zeit.

Für diese Art der wiederholten Belastung wird als obere Grenze eine Lastwechselzahl von 200 angesetzt.

Darüber hinausgehend wird an Einzelfällen der zu untersuchenden Verbindungen eine zusätzliche Untersuchung mit ca. 2000 Lastwechseln durchgeführt.

3.6 ÜBERSICHT ÜBER DIE DURCHGEFÜHRTEN VERSUCHE

In Tabelle 1 sind alle durchgeführten Versuche mit den zugehörigen, maßgebenden Parametern zusammengestellt.

Tabelle 1. Übersicht über die durchgeführten Versuche
(Grundangaben je Versuchsgruppe VG 1 - VG 4)

lfd. Nr.	Versuch	Klemmentyp/ Hersteller	Belastung auf	M_v [Nm] (100%-Wert)	l_K [mm]	Zug- kraft [kN]
1	P 16.1	Peine	Abscheren	200	16	9.2
2	P 16.2	"		"	16	"
3	P 16.3	"		"	16	"
4	P 70.1	"		"	70	"
5	P 70.2	"		"	70	"
6	P 70.3	"		"	70	"
7	H 16.1	Hünnebeck		80	16	4.6
8	H 16.2	"		"	16	"
9	H 16.3	"		"	16	"
10	H 40.1	"		"	40	"
11	H 40.2	"		"	40	"
12	H 40.3	"		"	40	"

Die in Tabelle 1 vorgestellte Versuchsgruppe wird insgesamt viermal durchgeführt. Bezeichnungen, bzw. variierte Parameter sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2. Durchgeführte Versuche (Variierte Parameter) mit Vereinbarung der Versuchsgruppenbezeichnung

	volle Vorspannung (100%-Wert)	beschränkte Vorspannung (Peine: 70% des Grundwertes Hünnebeck 80% des Grundwertes)
metallisch blank	VG 1	VG 2
farb- behandelt	VG 3	VG 4

Für die Versuche auf Maulaufbiegen (Versuchsgruppe VG 5) sind die korrespondierenden Angaben in Tabelle 3 zusammengestellt.

Bei der VG 5 wird - da diese Einflüsse hier von untergeordneter Bedeutung sind - weder die Oberflächenbeschaffenheit des Versuchskörpers noch die Vorspannung variiert.

Tabelle 3. Durchgeführte Versuche der VG 5

lfd. Nr.	Versuch	Klemmentyp/ Hersteller	Belastung auf	M_v [Nm] (100%-Wert)	l_K [mm]	Zug- kraft [kN]
1	PM 16.1	Peine	"Maulaufreißen"	200	16	50
2	PM 16.2	"		"	16	"
3	PM 16.3	"		"	16	"
4	PM 70.1	"		"	70	"
5	PM 70.2	"		"	70	"
6	PM 70.3	"		"	70	"
7	HM 16.1	Hünnebeck		80	16	"
8	HM 16.2	"		"	16	"
9	HM 16.3	"		"	16	"
10	HM 40.1	"		"	40	"
11	HM 40.2	"		"	40	"
12	HM 40.3	"		"	40	"

4 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Um ein einfaches Vorspannen der Klemmen zu ermöglichen, wurden die Versuchskörperteile außerhalb der Prüfmaschine in einem Schraubstock durch die Klemmen verbunden (siehe Anlage 11). Die Versuche auf Maulaufbiegen lassen sich in der Prüfmaschine vorspannen.

Das Vorspannmoment wird in Inkrementen gleicher Größe (siehe Anlagen 12 bis 25) bis zum Erreichen des Endsollwertes mit Hilfe eines Momentenschlüssels aufgebracht. Die zugehörigen Dehnungsanzeigen werden registriert. Sie sind in den Anlagen mit ihrem doppelten Wert wiedergegeben. Sie liefern die Grundlage für die in den Anlagen 12 bis 13 dargestellten Kraft/Vorspannmoment-Beziehungen in der Klemmschraube. Nach dem Einbau des Versuchskörpers in die Belastungseinrichtung (siehe Anlage 5) wird der Dehnungs- bzw. Wegnullwert im kraftfreien Belastungszustand erneut registriert.

Um Aufschlüsse über die Auswirkung eines Vorspannkraftabfalls durch Querdehnungseinflüsse der Laschen bei den Abscherversuchen zu erhalten, werden alle Messungen zweifach - Prüfkörper unbelastet bzw. unter Vollast stehend - durchgeführt. Diese Messungen werden jeweils nach Durchführung einer bestimmten Anzahl von Lastwechseln (Aufbringung der Vollast und Entlastung) wiederholt. Die diesbezüglichen Schrittweiten sowie die Ergebnisse in Abhängigkeit von der registrierten Klemme vom Belastungszustand und von der Anzahl der durchgeführten Lastwechsel sind den Anlagen 26 bis 41 zu entnehmen.

Aus der ersten Messung nach Einbau in die Prüfmaschine lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf einen möglichen Klemmkraftabfall der zuerst vorgespannten Klemme, bedingt durch die bei Vorspannen der zweiten Klemme entstehende Zusatzstauchung der zu klemmenden Bleche, ziehen.

Bei der Versuchsgruppe 5 (Maulaufbiegen) wurde beim ersten bzw. letzten Belastungsvorgang die Last schrittweise aufgebracht, um den Funktionszusammenhang zwischen Last und Klemmenaufweitung besser approximieren zu

können. Zusätzlich wurden auch hier die zugehörigen Dehnungen registriert. Die Ergebnisse der VG 5 sind in den Anlagen 42 bis 45 zusammengestellt.

Dabei wurde die Last zunächst auf die vorgespannte Verbindung aufgebracht und die Messungen nach 0 bzw. 200 Lastwechseln durchgeführt.

Für die Bestimmung des Federkennwertes c der Feder wurde anschließend die Belastungsaufbringung an der nicht vorgespannten Klemme wiederholt. Die Dehnungen im Schraubenschaft sowie die gemessenen Wege sind gesondert ausgewiesen.

Um die bei den Abscherversuchen gewonnenen Erkenntnisse auch für den Fall einer wesentlich höheren Lastwechselzahl abzusichern, wurde für einen Fall (Peiner Klemmen, farbbehandelte 8 mm Bleche, Abscherversuch, $M_V = 200 \text{ Nm}$ (100%), Zugkraft 9,2 kN) die Lastwechselzahl auf 2000 erhöht. Die Ergebnisse sind der Anlage 46 zu entnehmen.

Die Aufbringung des Vorspannmomentes wurde nicht weiter wiedergegeben, da sie sich nicht von dem bereits durchgeführten Versuch mit geringerer Lastwechselzahl unterscheidet.

5 AUSWERTUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

5.1 VERSUCHE AUF ABSCHEREN

Die graphischen Beziehungen zwischen Vorspannmoment und resultierender Schraubenkraft sind in den Anlagen 12 bis 23 aufbereitet. Der Ordinatenskalierung ist sowohl der angezeigte Meßwert als auch die Umrechnung über die elastische Steifigkeit des Schraubenschaftes in Kräfte zu entnehmen. Die Kräfte sind mit dem Faktor 2 überhöht dargestellt.

Die Klemmenbezeichnungen 1 bzw. 2 in den Anlagen 12 - 25 beziehen sich auf die Peiner-Klemmen, die jeweils links und rechts in der Versuchseinrichtung eingebaut waren, die Bezeichnungen 3 bzw. 4 auf die Hünnebeck-Klemmen.

Erwartungsgemäß ist der Zusammenhang zwischen aufgebrachtem Moment M_v und Zugdehnungen im Schraubenschaft über den gesamten betrachteten Bereich annähernd linear und für das betrachtete Klemmenpaar in den meisten Fällen näherungsweise gleich. Vereinzelt auftretende größere Unterschiede und Knicke in den Kurvenverläufen resultieren aus dem verhältnismäßig großen Fehler bei der Einstellung von kleinen Vorspannmomenten am verwendeten Momentenschlüssel bzw. "Schmutzeffekten" an den verwendeten Klemmschrauben bzw. -muttern, durch die das Reibverhalten der Verbindung beeinflusst wurde.

Das Verhalten der Dehnungen in den Schrauben vor, während bzw. nach Aufbringung der wiederholten Belastung ist in den Anlagen 26 bis 45 tabellarisch zusammengestellt. Änderungen der Vorspannung über der Anzahl der durchgeführten Lastwechsel sind unabhängig von der verwendeten Größe des Vorspannmomentes und der betrachteten Oberflächenbeschaffenheit nur in geringen Grenzen zu beobachten.

Entsprechend kann auch der Einfluß der möglichen Beeinflussung der Vorspannung durch Querdehnungen beurteilt werden. Die Abweichungen der Vorspannkraft im belasteten und unbelasteten Zustandes liegen zu meist innerhalb des üblichen Meßfehlerbereiches der verwendeten Ver-

suchsapparaturen. Dies wird auch durch das geringfügige Oszillieren der Werte gegenüber dem Anfangswert bestätigt. Eine Auswirkung auf das Tragverhalten konnte nicht festgestellt werden.

Zwischen dem Endwert der gemessenen Kraft nach Aufbringen des Vorspannmomentes M_V und dem Anfangswert des in die Prüfmaschine eingebauten und unbelasteten Prüfkörpers treten an einigen Stellen Abweichungen nach oben wie nach unten auf. Diese resultieren aus dem zeitlich versetzten Ausbau aus der Vorspanneinrichtung und Einbau in die Prüfmaschine und den daraus resultierenden Beanspruchungen des Prüfkörpers. Um innerhalb des Versuches einen eindeutigen Anfangswert als Bezug zu schaffen, wurden die entsprechenden Dehnungsanzeigen vor Beanspruchung des Prüfkörpers durch die Lastwechsel ebenfalls in den angegebenen Tabellen aufgenommen.

Im Falle des in Anlage 46 ergebnismäßig zusammengefaßten Einzelversuches unter insgesamt 2000 Lastwechseln konnte der schon bei den vorbeschriebenen Versuchen auf Abscheren beobachtete Trend bestätigt werden. Die Ergebnisse lassen deutlich erkennen, daß der weitere Abfall der Vorspannung über der Lastwechselanzahl ebenfalls nur verhältnismäßig gering ist.

5.2 VERSUCHE AUF MAULAUFBIEGEN

Die Auftragung der Vorspannmoment-Schraubenkraft-Beziehung für den jeweils ersten Versuch einer Versuchsdreiergruppe ist in den Anlagen 24 und 25 dargestellt.

Die Dehnungsmessungen wurden bei diesen Versuchen lediglich am Anfang und am Ende der Wechselbelastung durchgeführt, da hier keine wesentlichen Unterschiede in den prinzipiellen Kurvenverläufen gegenüber den Scherversuchen zu erwarten waren. Auch hier wurde bestätigt, daß die durchgeführten Lastwechsel nur einen verhältnismäßig geringen Abbau der Vorspannungen bewirken. Neu aufgenommen in diese Versuchsgruppe wurde die Ermittlung der Federsteifigkeiten. Art und Ort der Messung sind im Kapitel 3 und 4 beschrieben worden. Wie erwähnt, wurden die Auslenkungen sowohl

unter aufgebrachter Klemmvorspannung als auch ohne diese registriert. Die Wege der ersten Meßreihe fielen erwartungsgemäß erheblich kleiner aus als die der zweiten. (s. Anlagen 42 bis 45). Bei der vorgespannten Verbindung ließ sich beobachten, daß die festgestellten Wege fast ausschließlich erst nach Aufbringung der letzten Lastinkremente auftraten. Dieses resultiert aus der durch die Klemmvorspannung zwischen den Versuchskörperkontaktflächen hervorgerufenen Kontaktpressung, die durch die aufgebrachte Zugkraft erst abgebaut werden muß.

Die Verschiebungswerte der Spalten "ohne Vorspannung" (Anlagen 42 bis 45) wurden bei nur handfest angezogenen Klemmschrauben registriert und stellen die Grundlage für die in Kapitel 6 zugrundegelegten Ersatzfedersteifigkeitswerte dar.

6 THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN

Bei Bauteilen, die im Bereich der Klemmen nicht plan aufeinanderliegen, werden beim Zusammenspannen mit mehreren Klemmen die zuerst gesetzten und vorgespannten Klemmen durch das Nachfedern der Bauteile beim Vorspannen weiterer Klemmen wieder entspannt.

Um qualitative Abhängigkeiten in der gegenseitigen Beeinflussung von gleichzeitig verwendeten Klemmen an einem Bauteil besser abschätzen zu können, wurde ein einfaches Rechenmodell entwickelt und mit diesem mehrere Parameter beispielhaft durchgerechnet.

Das untersuchte System ist prinzipiell in Bild 1 dargestellt.

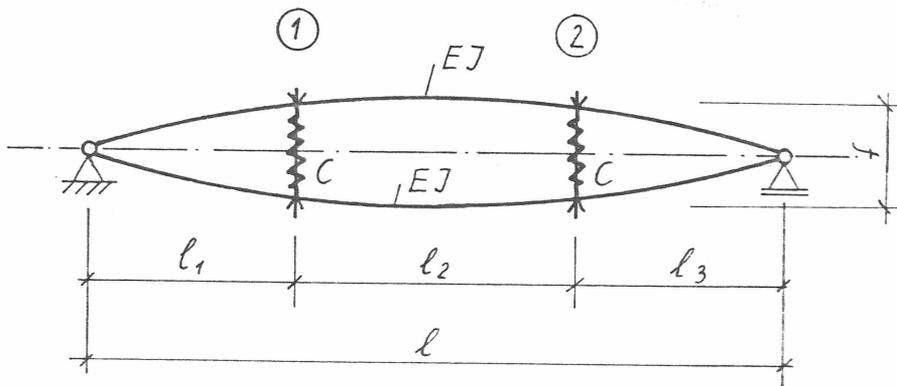


Bild 1. Idealisiertes System

Die beiden Biegestäbe mit der Steifigkeit $E-J$ repräsentieren zwei Bauteile, die mit einem Stab f aufeinanderliegen. Die beiden Federn in ① und ② stellen modellhaft die Klemmen dar, die nacheinander auf das System gesetzt werden.

Außermittige Klemmenanordnungen senkrecht zur Zeichenebene werden außer acht gelassen. Die Federn in ① und ② repräsentieren also mittig angeordnete Einzelklemmen.

Für das Rechenmodell wird vorausgesetzt, daß beim Aufbringen beider Klemmen noch eine Restklaffung verbleibt, der Vorspannvorgang darf nicht zu einer veränderlichen Gliederung des Systems führen. Nach dem vollständigen Aufbringen der Vorspannung in ① wird Klemme (Feder) ② gesetzt und vorgespannt. Mit Hilfe des Rechenmodelles soll der während des Anziehens der Klemme ② entstehende Abbau der Vorspannkraft in ① abschätzbar werden. Dazu muß auch nach vollständigem Vorspannen der Feder ② noch die bereits erwähnte Restklaffung vorausgesetzt werden, ebenso wie eine Restvorspannkraft in ①, die größer/gleich Null ist.

Unter der weiteren Voraussetzung, daß der Gesamtstich der aufeinander geklemmten Bleche klein ist im Verhältnis zur Länge l , kann das System nach dem Superpositionsprinzip durch die beiden in Bild 2 dargestellten Teilsysteme berechnet werden. Vom System wird wegen Symmetrie nur die obere Hälfte betrachtet.

Da die gemessenen Federkennlinien mit der Relativverschiebung beider Klemmenbacken bestimmt wurden, wurde für das symmetrisierte System der doppelte Wert der in Tabelle 4 angegebenen gemessenen Federsteifigkeit eingesetzt.

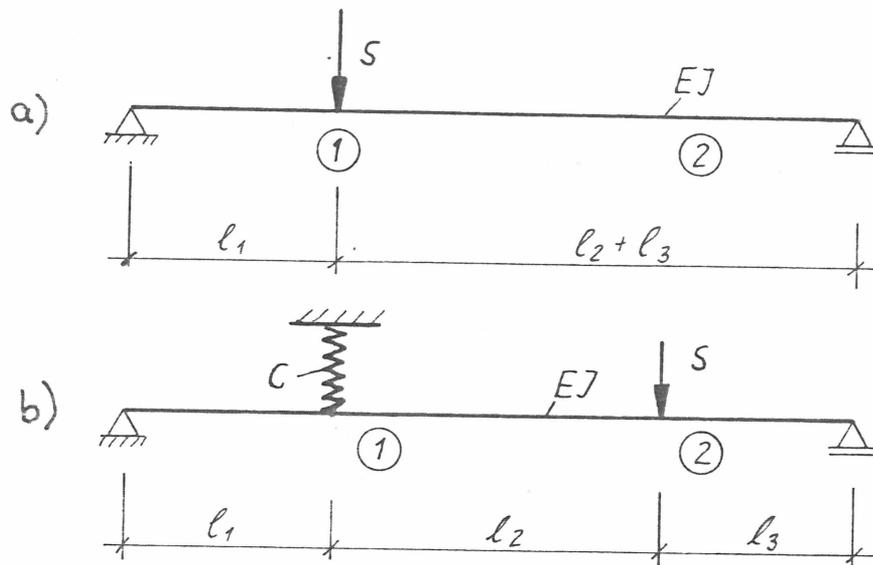


Bild 2. Zerlegung in Teilsysteme

Hierbei wird das Anbringen und Vorspannen der Klemme in ① durch das Aufbringen der zur Vorspannkraft gehörenden Klemmkraft simuliert. Dabei verformt sich das Bauteil mit der Steifigkeit EJ (Bild 2). Ein Aufsetzen und Vorspannen der Klemme ② führt nun zu einem Anwachsen der Verformungen unter ① und damit zu einem Abbau der Vorspannkraft.

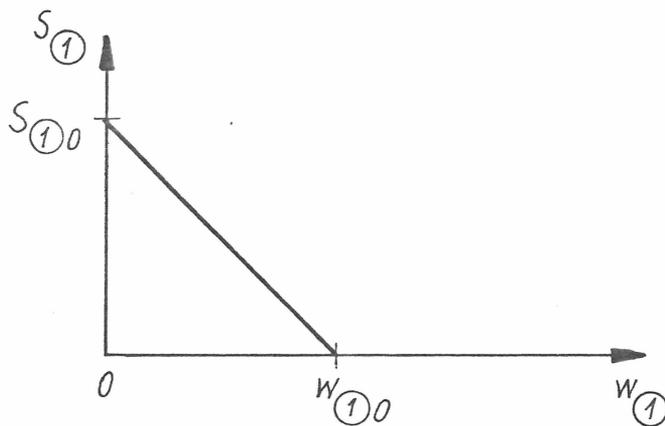


Bild 3. Abbau der Federvorspannung in ①

Für die Federbeiwerte c ergeben sich als Mittelwerte aus den jeweils durchgeführten Versuchsdreiergruppen der Versuchsgruppe VG 5 (Bestimmung im nicht vorgespannten Zustand, siehe Kapitel 5.2) die in Tabelle 4 zusammengestellten Werte in Abhängigkeit von der Klemmweite l_K (jeweils bezogen auf den Höchstwert der auf eine Klemme entfallenden Last: 25 kN).

Tabelle 4. Mittlere Ersatzfedersteifigkeit c /kN/cm/ je Klemme

$\begin{array}{l} l_k \\ \text{Fabr.} \end{array}$	16 mm	40 mm	70 mm
Peine	228	-	253
Hünnebeck	338	430	-

Als Beispiele werden die folgenden Parameterfälle durchgerechnet:

- a) Zwei Bleche mit ∇ 300/8 und $l = 1000$ mm, Peiner Klemmen in den Drittelpunkten,
- b) wie a, jedoch mit Klemmenfabrikat Hünnebeck,
- c) zwei Träger IPE 180 und $l = 3000$ mm, wiederum Peiner Klemmen in den Drittelpunkten,
- d) wie c, jedoch mit Klemmenfabrikat Hünnebeck,
- e) zwei Bleche mit ∇ 300/20 und $l = 2000$ mm, Hünnebeck Klemmen in den beiden äußerden Viertelpunkten.

Die Rechenparameter sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5. Rechenparameter für die durchgeführten Beispiele

Fall (s.o)	a)	b)	c)	d)	e)
l_1 [cm]	33,3	33,3	100	100	50,0
l_2 [cm]	33,4	33,4	100	100	100,0
l_3 [cm]	33,3	33,3	100	100	50,0
EJ [kNcm ²]	$2,69 \cdot 10^4$	$2,69 \cdot 10^4$	$2772 \cdot 10^4$	$2772 \cdot 10^4$	$42 \cdot 10^4$
c [kN/cm] (gem. Tab. 4)	228	338	228	338	430

Die Beziehungen zwischen der in (2) aufgebrachten Kraft S und dem Abfall der Vorspannung in (1) sind fallabhängig im Bild 4 aufgetragen.

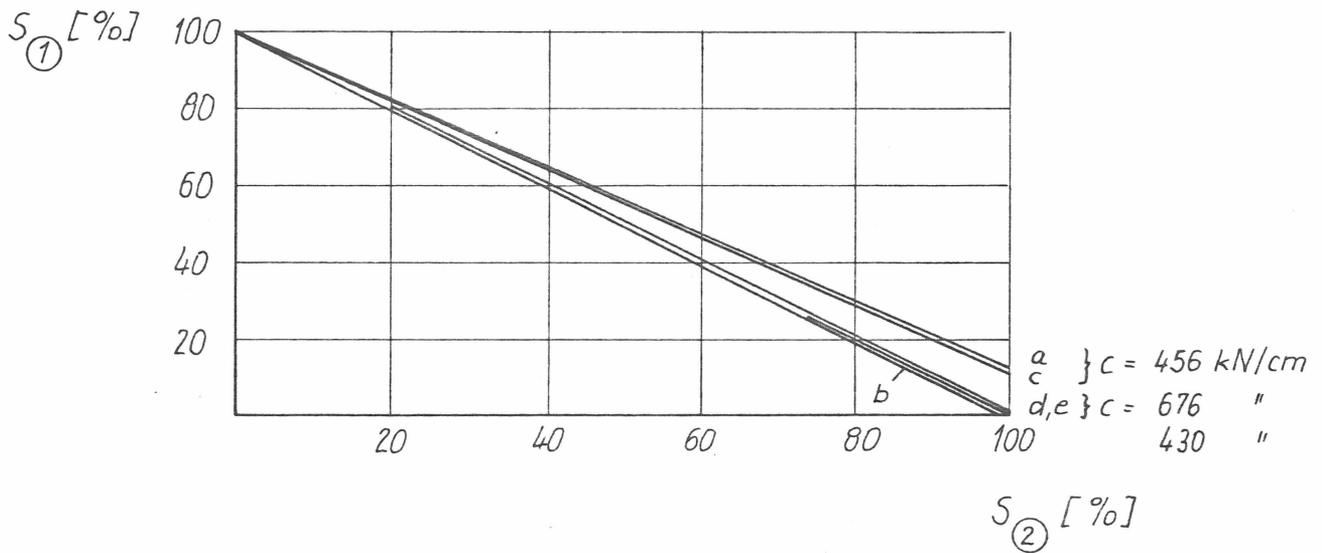


Bild 4. Abfall des Anfangswertes S_0 als $f(S)$

Das Rechenmodell zeigt seine qualitative Übereinstimmung mit der Wirklichkeit anhand der Grenzwertbetrachtungen für $EI = \infty$ bzw. $c = 0$.

Man erkennt, daß auch bei verhältnismäßig starker Änderung der Grundparameter (siehe Tabelle 5) das "Ergebnisband" nur in einem relativ kleinen Bereich (Bild 4) schwankt. Insgesamt ist der Abfall der Vorspannkraft beträchtlich, bei einigen Parameterverhältnissen erreicht die Vorspannkraft in der Klemme ① den Wert Null, die Klemme ist theoretisch gelöst.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegenden Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Verhalten vorgespannter Flanschklemmen. Es wurde untersucht, ob und inwieweit sich Abhängigkeiten zwischen Höhe und Anzahl erfolgter Lastwechsel und einer Abnahme der Klemmenvorspannung ergeben.

Dazu wurden Versuche auf Abscheren einer Blechverbindung unter verschiedenen Oberflächenanstrichen und Vorspannmomenten ebenso wie Versuche mit einer Beanspruchung senkrecht zur Klemmenpressungsfläche (Maulaufbiegen) durchgeführt. Beide Versuchsreihen ließen übereinstimmend erkennen, daß ein Vorspannungsabbau unter wiederholter Be- und Entlastung nur in einem verhältnismäßig kleinen Maß (maximal ca. 10% des aufgebrauchten Anfangswertes) auftrat.

Bei der erstgenannten Versuchsreihe konnte zusätzlich nachgewiesen werden, daß der Einfluß der Blechquerdehnung auf eine Abnahme der Vorspannung einen vernachlässigbar geringen Einfluß hat.

Weitere Überlegungen anhand eines theoretischen Rechenmodells beschäftigten sich mit der gegenseitigen Beeinflussung von Klemmen untereinander. Im Falle der Verwendung von zwei Klemmen zum Zusammenspannen zweier Bauteile in der in Kapitel 6 dargestellten Art, ist im Rahmen der zugrundegelegten Parameterverhältnisse ein Vorspannungsabbau durch die gegenseitige Verformungsbeeinflussung bis auf ca. 10 % des Anfangswertes möglich. Dies zeigt, daß häufig Nachspann- bzw. Passungskontrollen einer Klemmverbindung notwendig werden können.

Allgemein muß festgestellt werden, daß gegeneinander gespannte Teile, die sich unabhängig voneinander verschieben, bzw. verdrehen können (siehe linker Teil von Bild 5), für die Verwendung von Klemmen aufgrund des möglichen Vorspannungsabbaues ungeeignet sind.

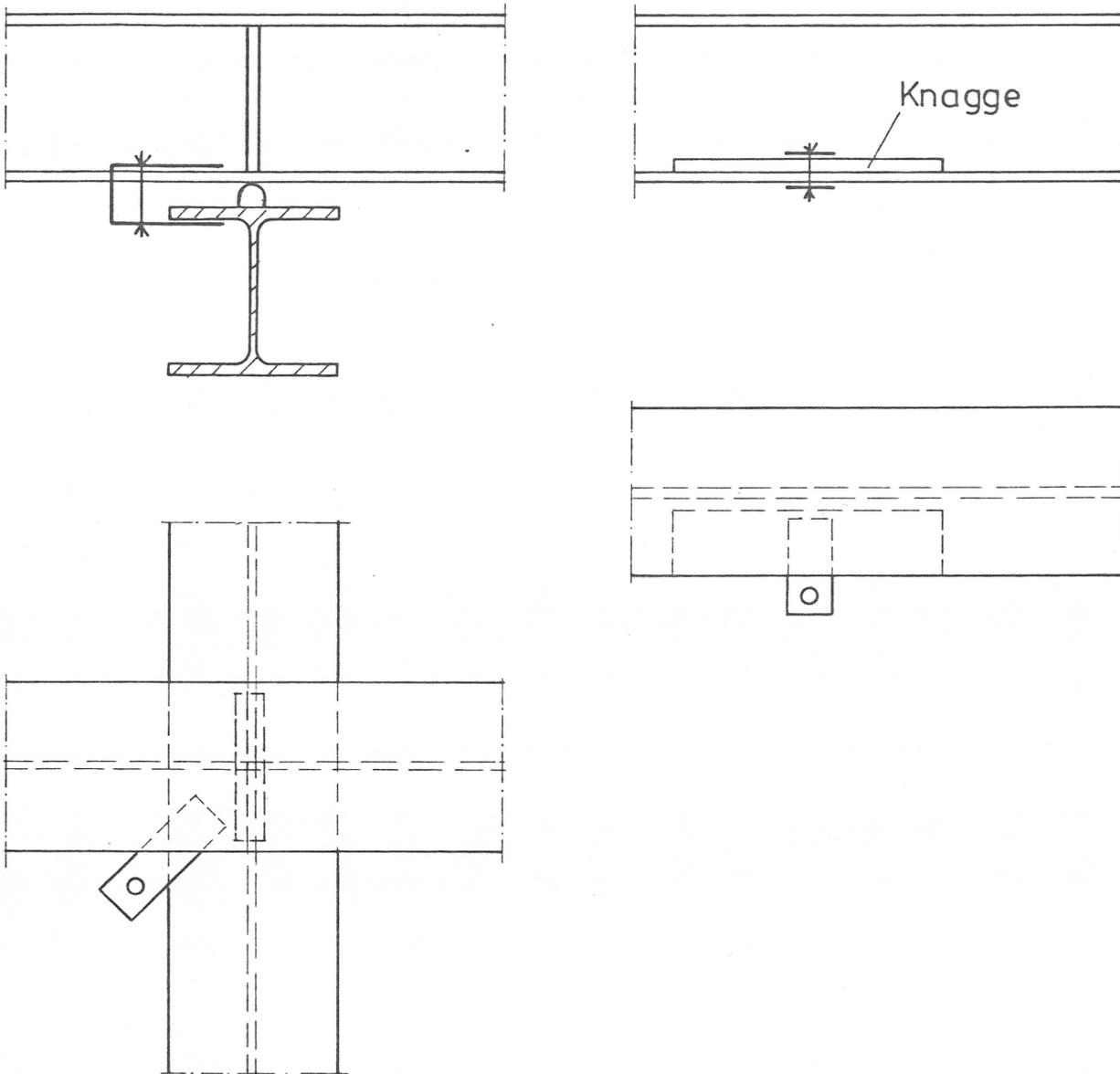


Bild 5. Beispiel für ungeeignete und geeignete Klemmenverbindungen

Die Möglichkeit für eine empfehlenswerte Verbindung dagegen ist beispielhaft im rechten Teil von Bild 5 dargestellt.

Die gemessenen Schraubenvorspannkkräfte entsprechen nicht den in der Zulassung angegebenen Größen. Weitere Informationen hierzu sind in /1/ enthalten.

J. Scheer

Prof. Dr.-Ing. J. Scheer

U. Peil

Dr. Ing. U. Peil, Akad. Oberrat

A. Grüter

(Dipl.-Ing. A. Grüter)

8 LITERATUR

- 1 Scheer, J. und O. Paustian: Versuche mit Trägerklemmen.
Bericht Nr. 7904 des Instituts für Stahlbau der TU Braunschweig
(1982)

- 2 Völkel, G.: Probleme der Anwendung von Trägerklemmen.
Handbuch Traggerüstbau - Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf
Bemessung und Ausführung - Lehrgang in Stuttgart am 5. u. 6.12.1977
VDI-Gesellschaft Bautechnik.
VDI-Bildungswerk, Düsseldorf

- 3 Zimmermann, W.: Tragverhalten von Gerüstklemmen (Probleme und
Versuchsergebnisse).
VDI-Berichte Nr. 245, 1975, S. 125-126. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf

Absender:

An das
 Institut für Stahlbau
 z.Hd. Herrn Dr.-Ing. U. Peil
 Beethovenstraße 51
 3300 Braunschweig

Betr.: Lockern von Trägerklemmen

	ja	nein
1. Lockern von Trägerklemmen ist in unserem Bereich bereits beobachtet worden?		
2. Vermuten Sie die Ursache durch Einbau vor Belastung und anschließender Lastumlagerung mit Verformung des Klemmenbereiches? Oder:		
3. War das planmäßige Anzugsmoment aufgebracht? Falls nein, um wieviel Prozent war es ca. unterschritten?		
4. War die Klemme planmäßig auf "Abscheren" beansprucht?		
5. Könnte die Klemme planmäßig auf "Maulaufbiegen" beansprucht worden sein?		
6. Könnte die Klemme planmäßig auf "Abscheren" und "Maulaufbiegen" beansprucht worden sein?		
7. Könnte die Belastung stoßartig aufgebracht worden sein?		
8. Wurde die Belastung annähernd gleichmäßig aufgebracht?		
9. Traten Kombinationen der Belastungen nach 7) oder 8) auf?		

10. Könnten die Klemmen durch Wind, Rüttler, Autos etc. einer dynamischen Beanspruchung unterworfen worden sein?

ja	nein

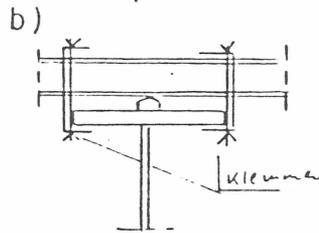
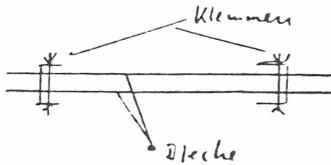
11. Können Sie den Klemmentyp angeben?
Bitte Nennung:

12. Klemmenalter:
neu
alt

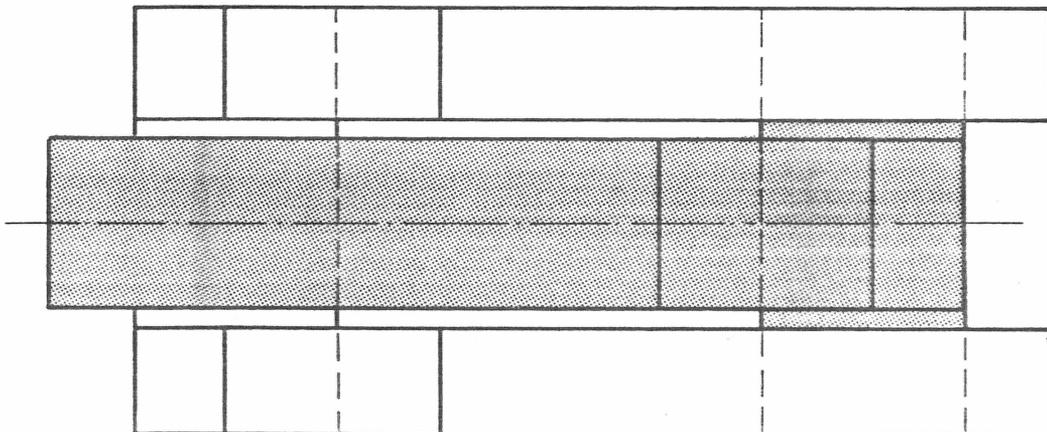
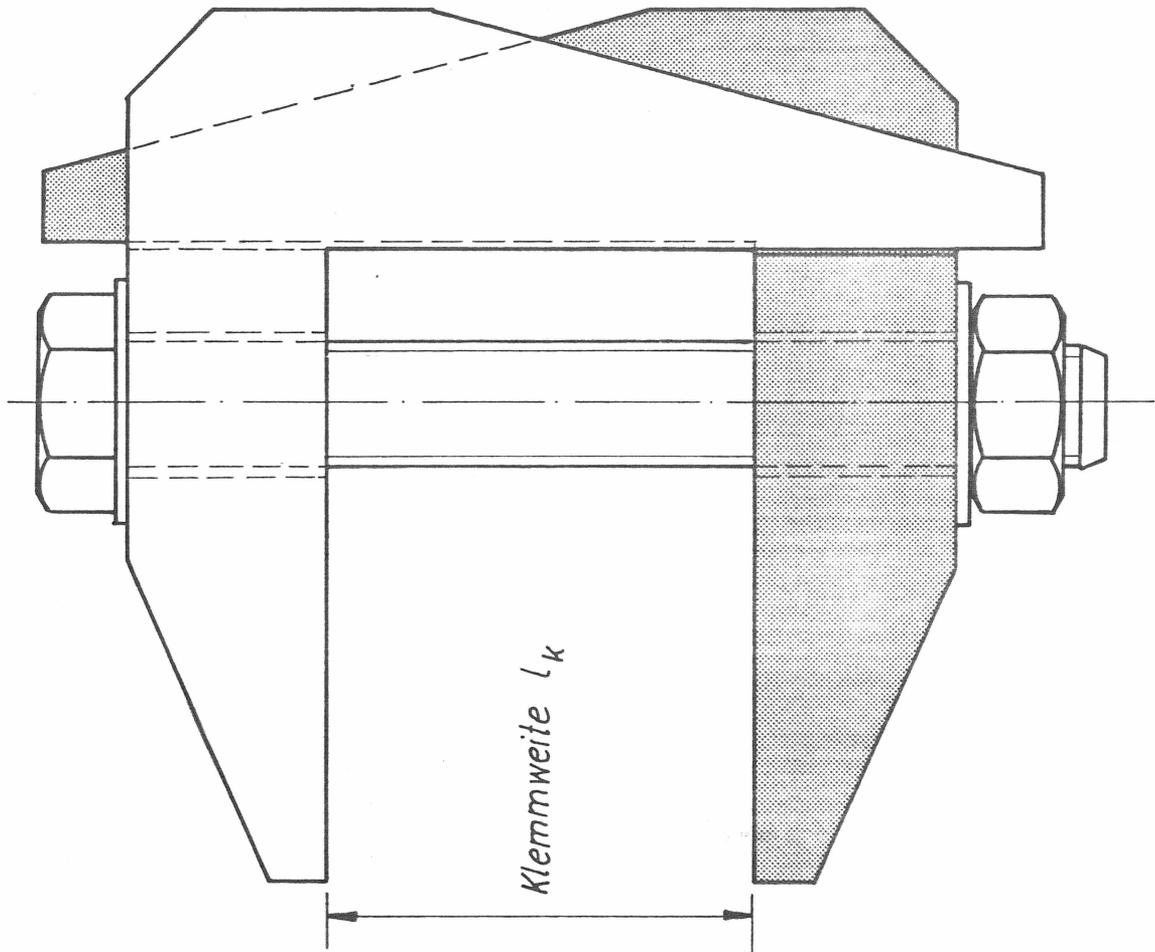
13. Klemmenzustand
gepflegt
ungepflegt

14. Machen Sie bitte Angaben über die Oberflächenbeschaffenheit der Klemmung:

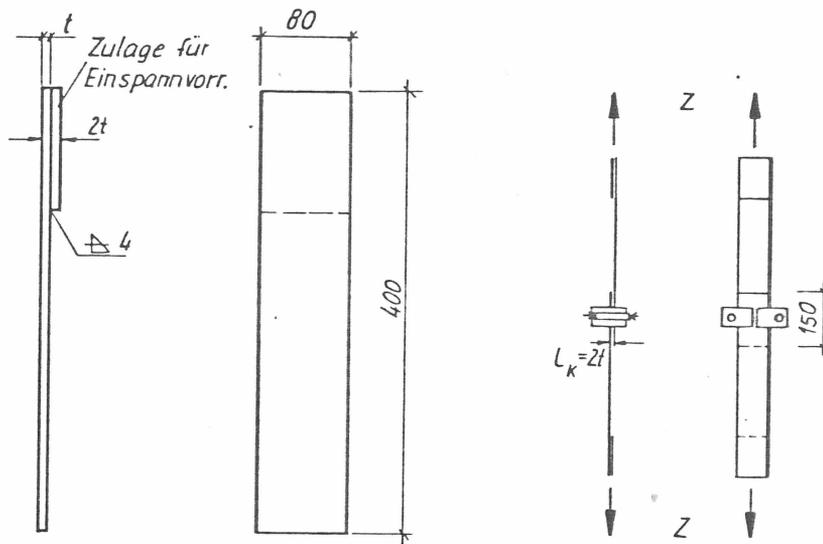
15. Wurden die Klemmen innerhalb eines in a) bzw. b) dargestellten Systems beansprucht?



16. Ergänzende Informationen?

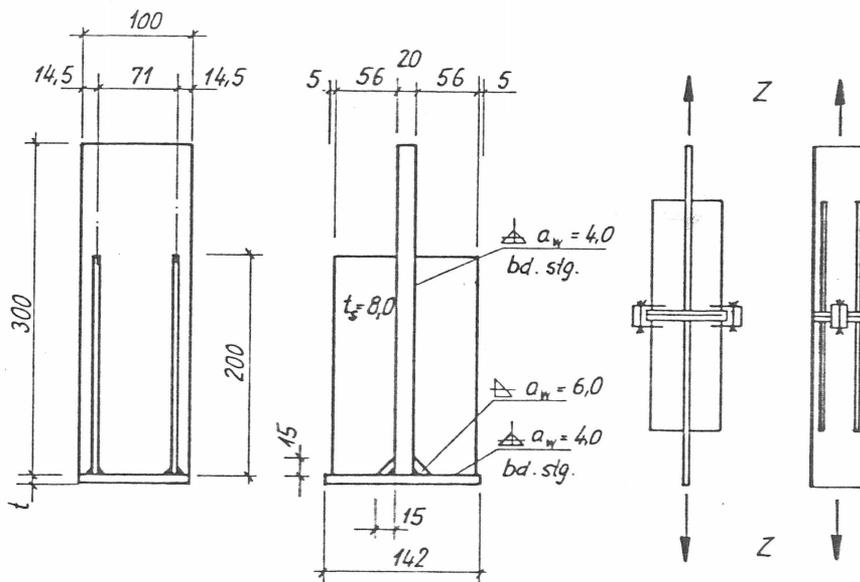


Schematische Darstellung einer Trägerklemme (Dreifingersystem)



Versuchskörper für Versuche auf Abscheren

Gesamtsystem

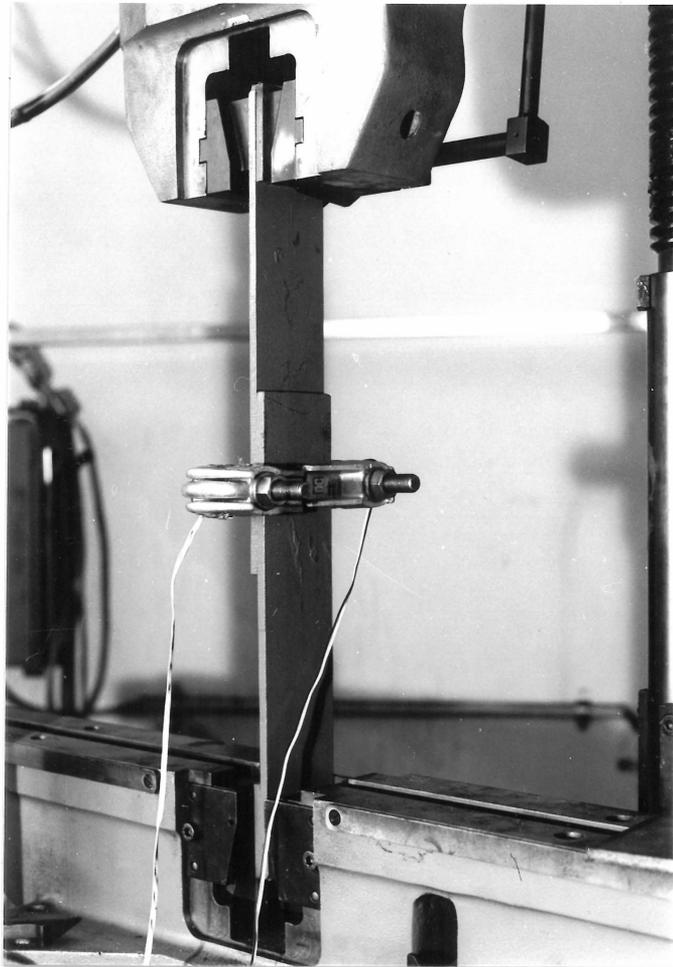


Versuchskörper für Versuche auf „Maulaufreißen“

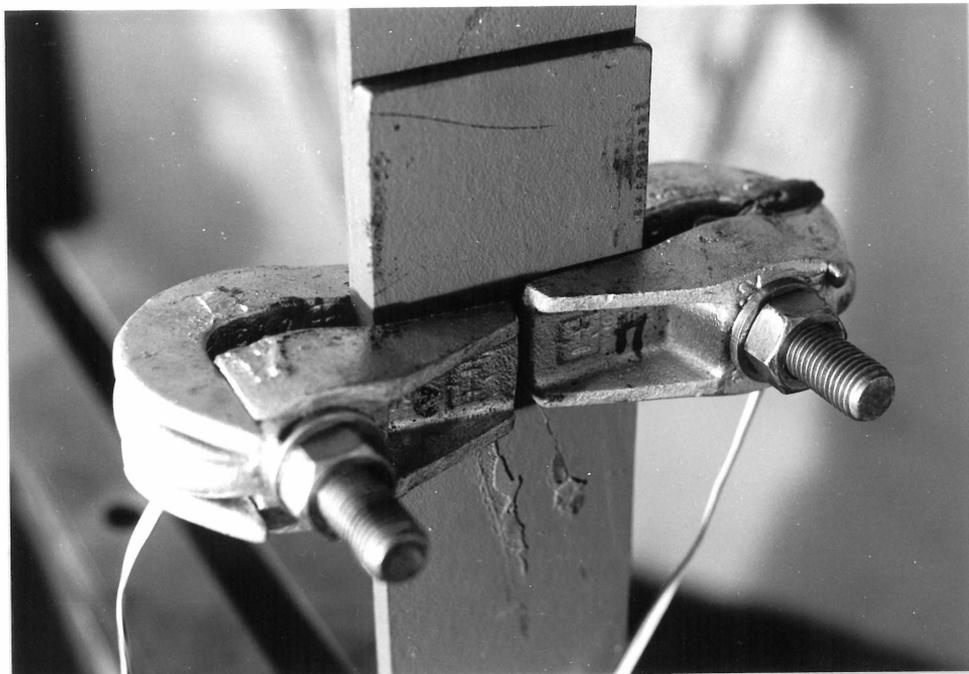
Gesamtsystem

zu t:

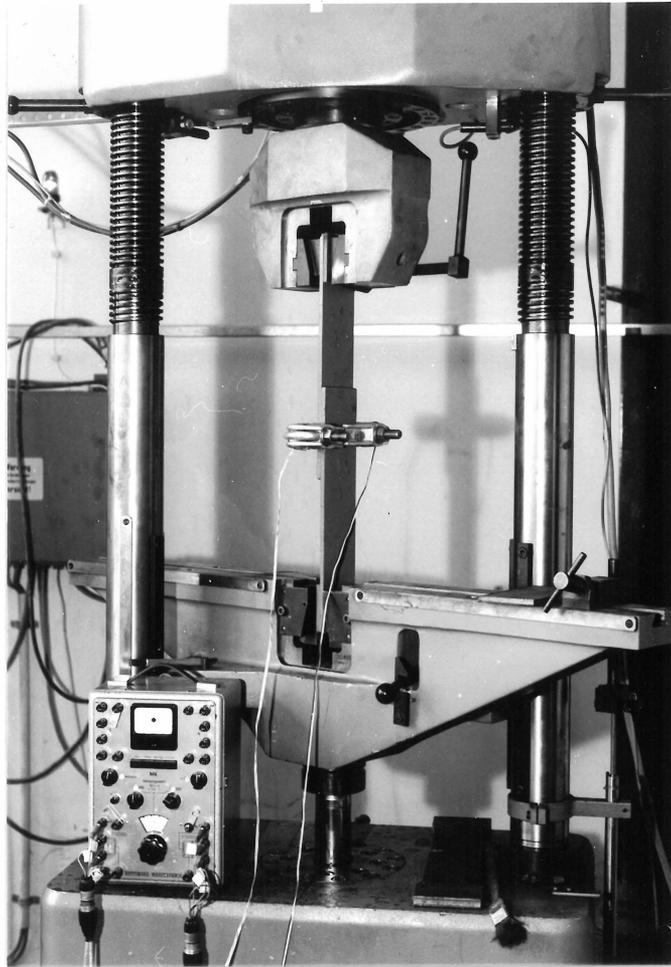
Körper für Versuche mit Klemmen des Fabrikates	t /mm/
Peine	8 und 35
Hünnebeck	8 und 20



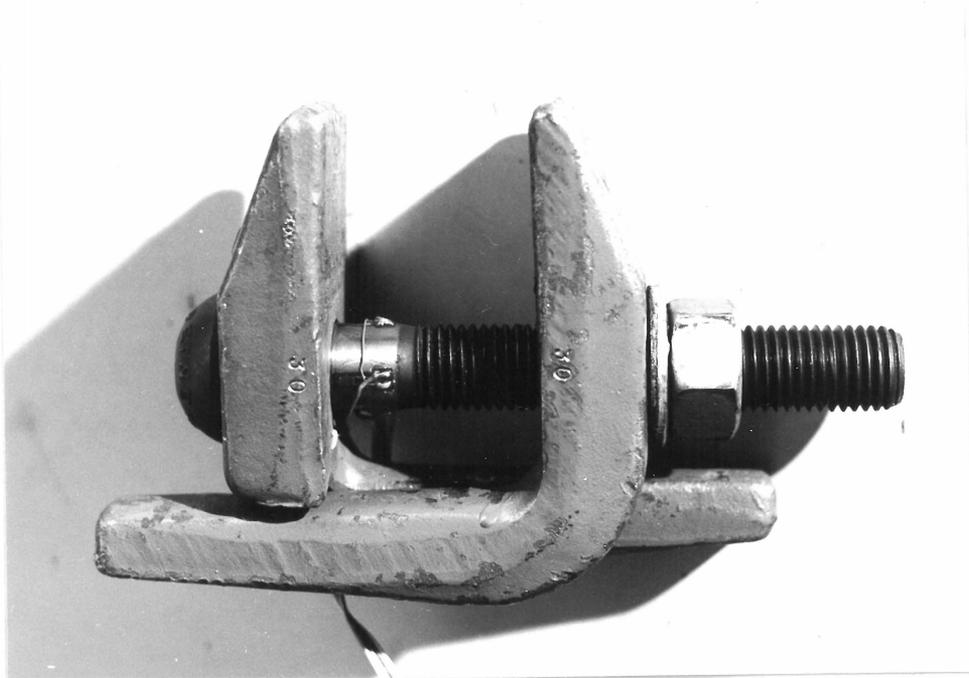
Abscherversuch



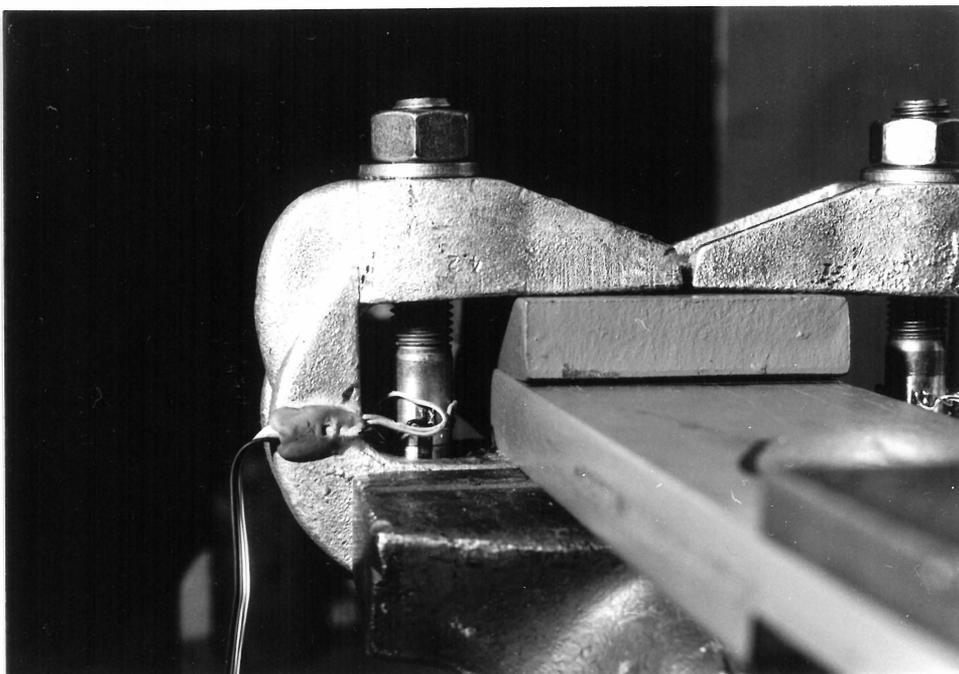
Versuchskörper mit aufgebauten Klemmen
INSTITUT FÜR STAHLBAU DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
Beethovenstraße 51 · 3300 Braunschweig



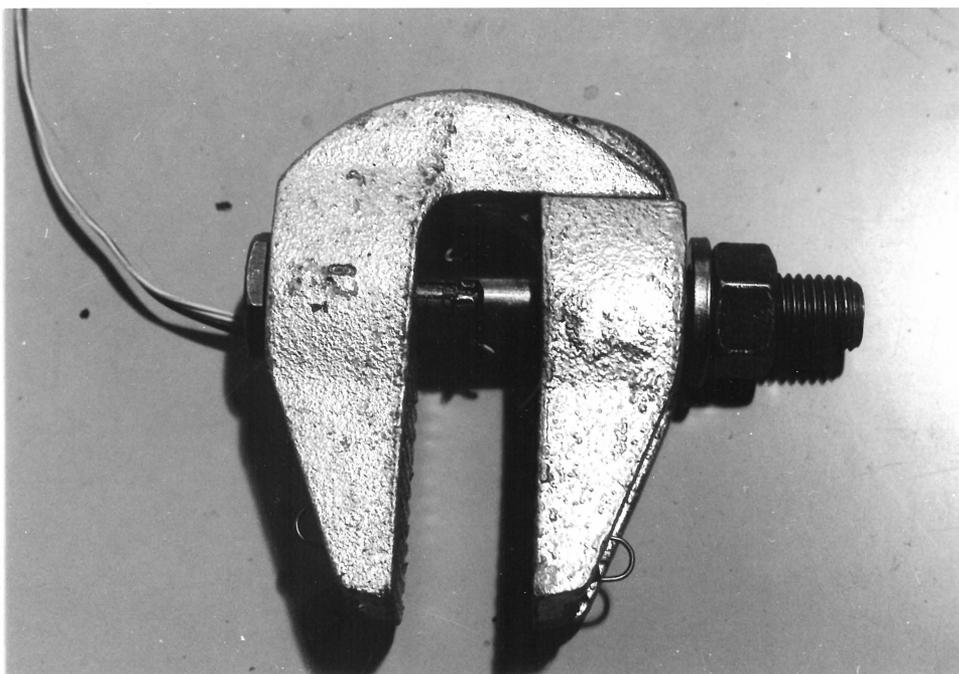
Gesamtansicht Versuchseinrichtung für Abscherversuche



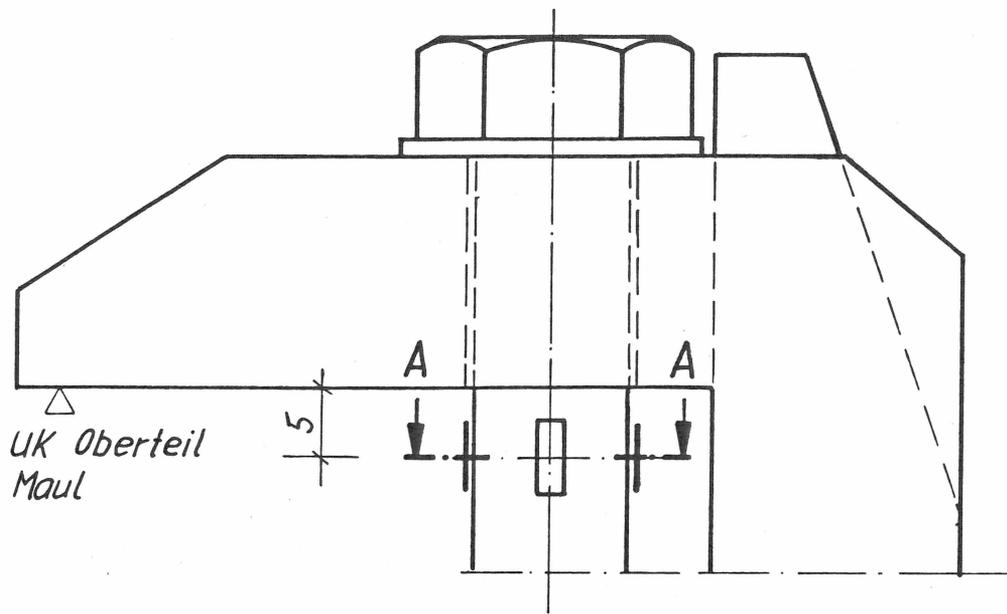
Klemme, Fabrikat Peine



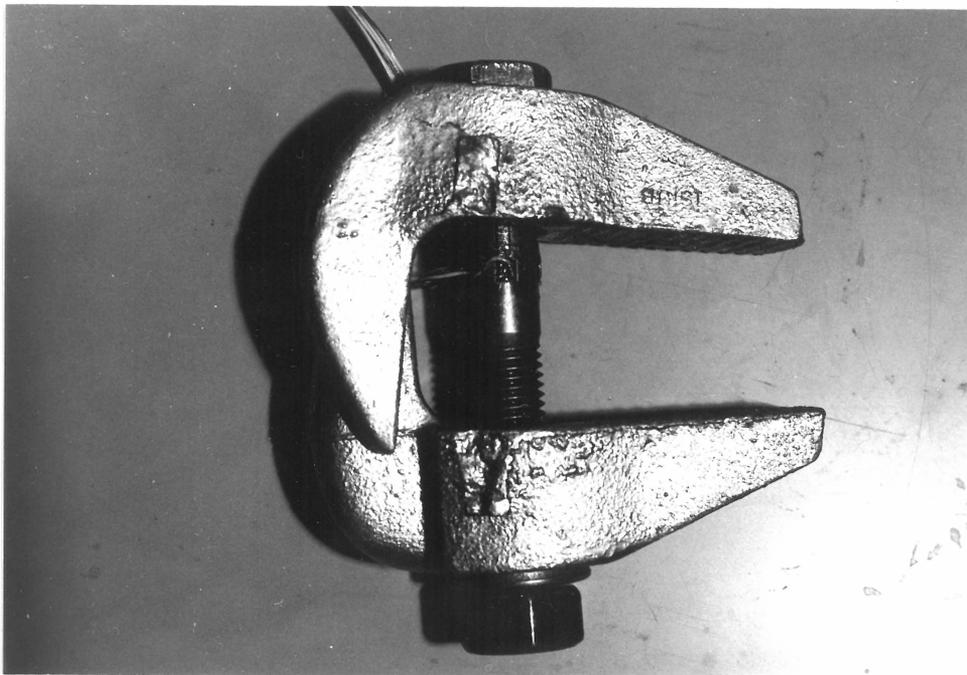
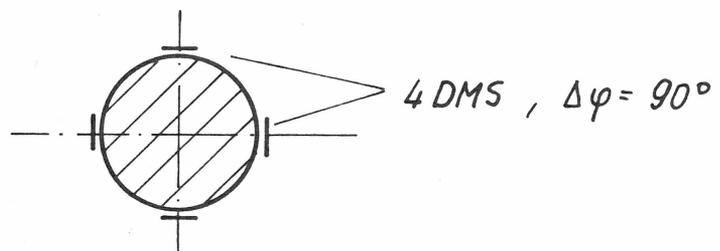
Geklemmte Bleche bei Abscherversuch



Klemme, Fabrikat Hünnebeck



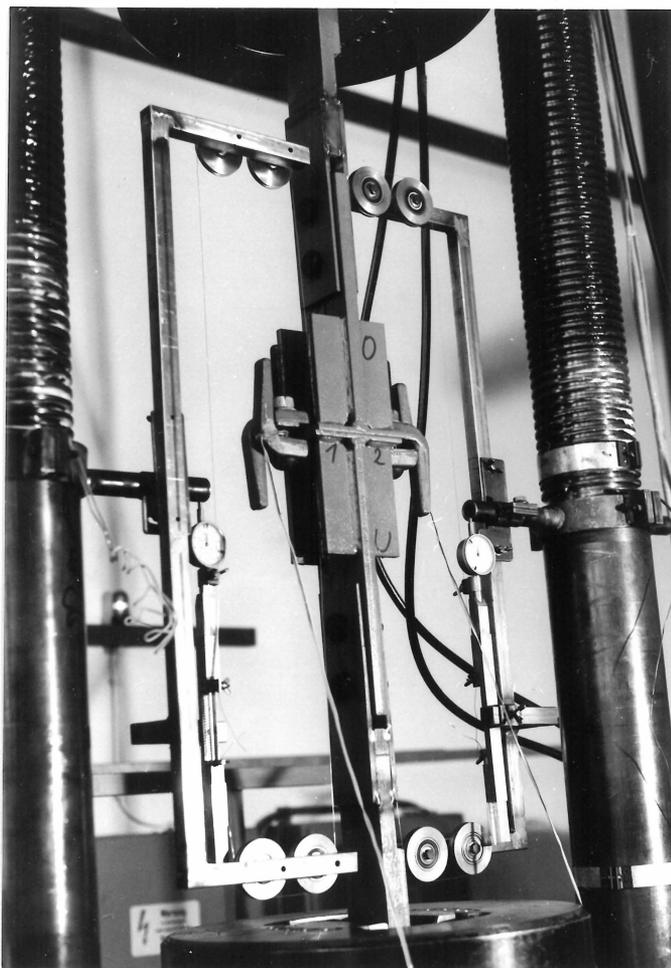
Schnitt A-A Schraubenschaft



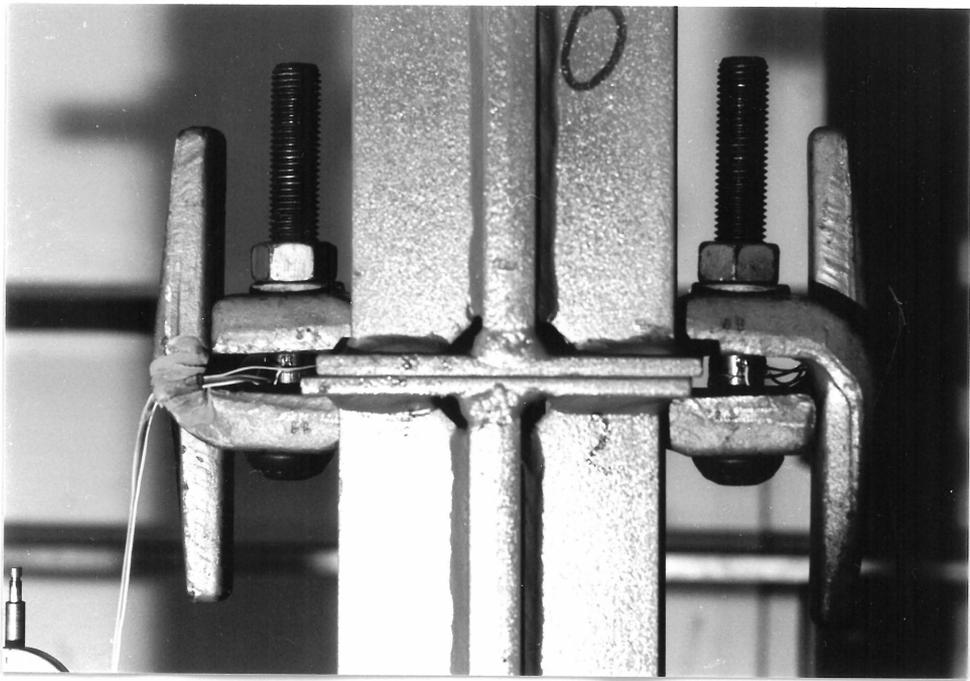
Klemme mit applizierten DMS



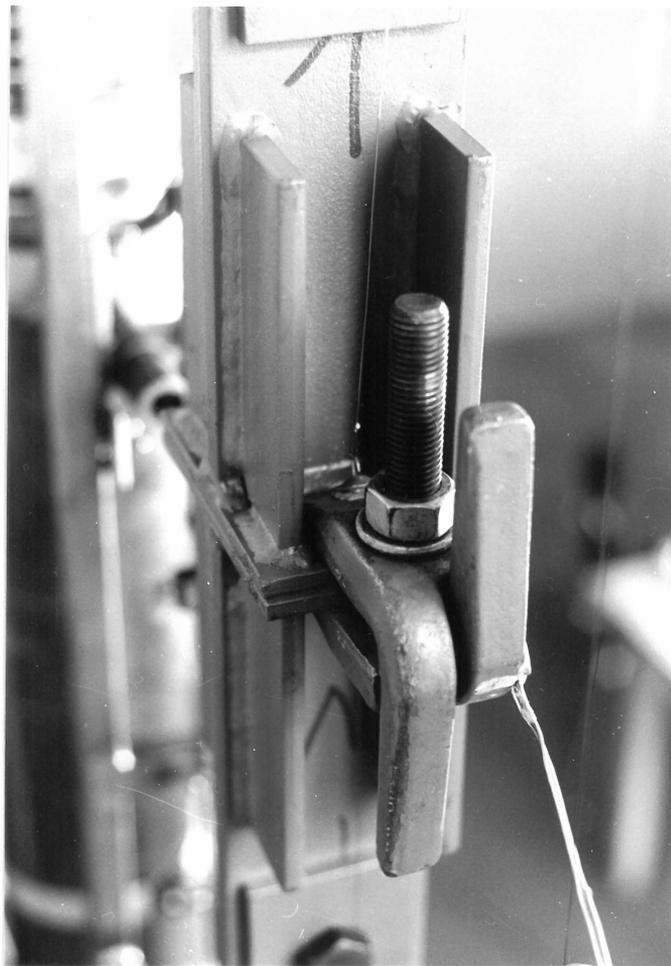
Klemmen mit Anschlußösen für die Wegmessung



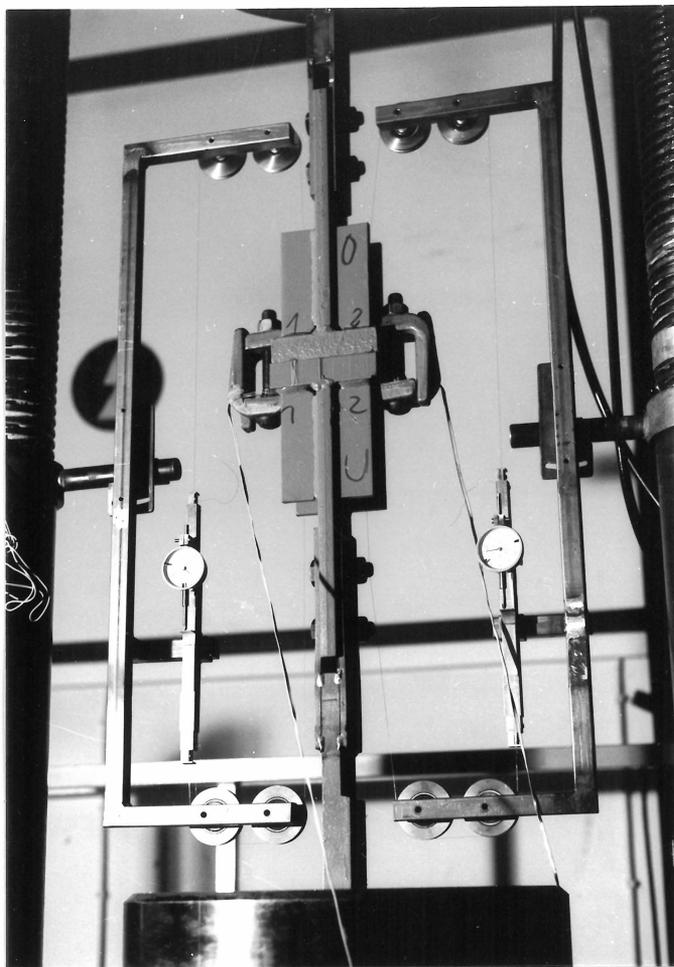
Gesamtansicht Versuchseinrichtung für Versuche auf "Maulaufreißen"



Geklemmte Bleche bei Versuch auf "Maulaufreißen"

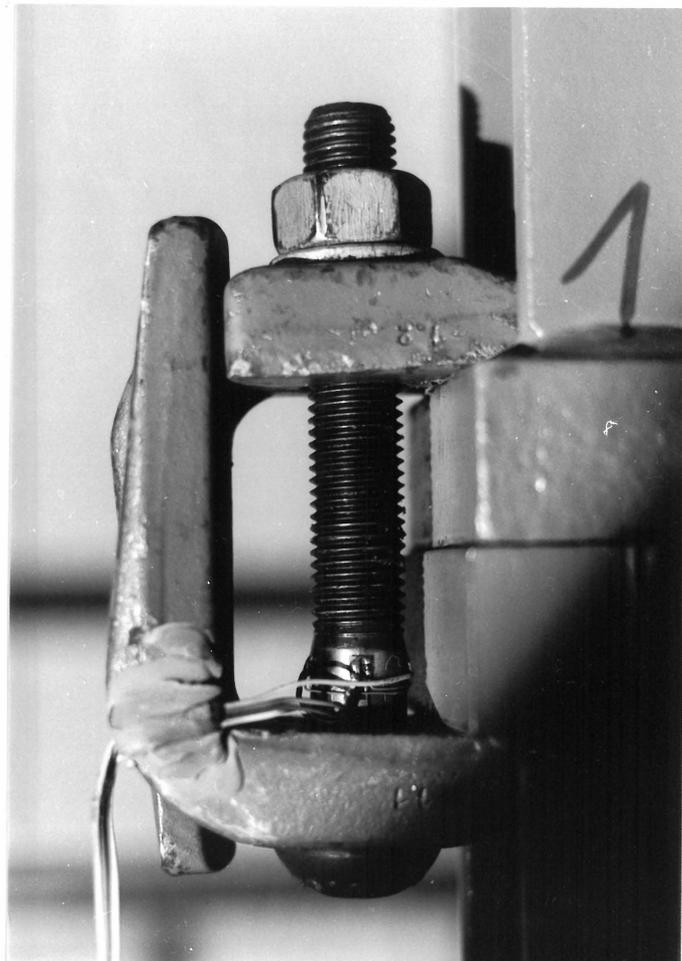


Versuchskörper mit Klemmen



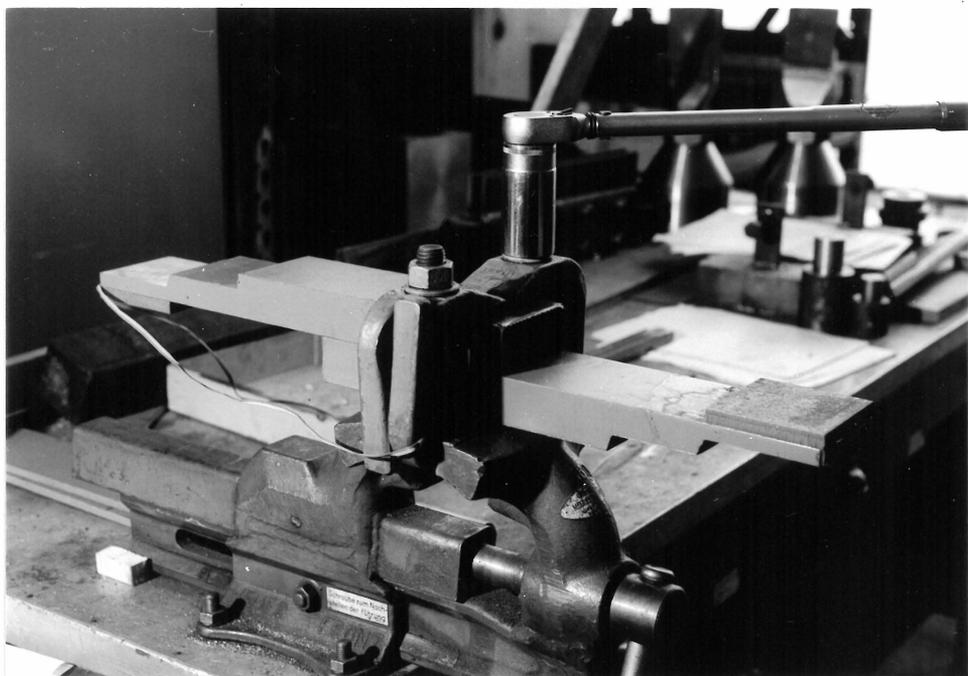
Versuchseinrichtung mit
Versuchskörper für maxi-
males l_K (70 mm)

Detail des o.a. Versuches

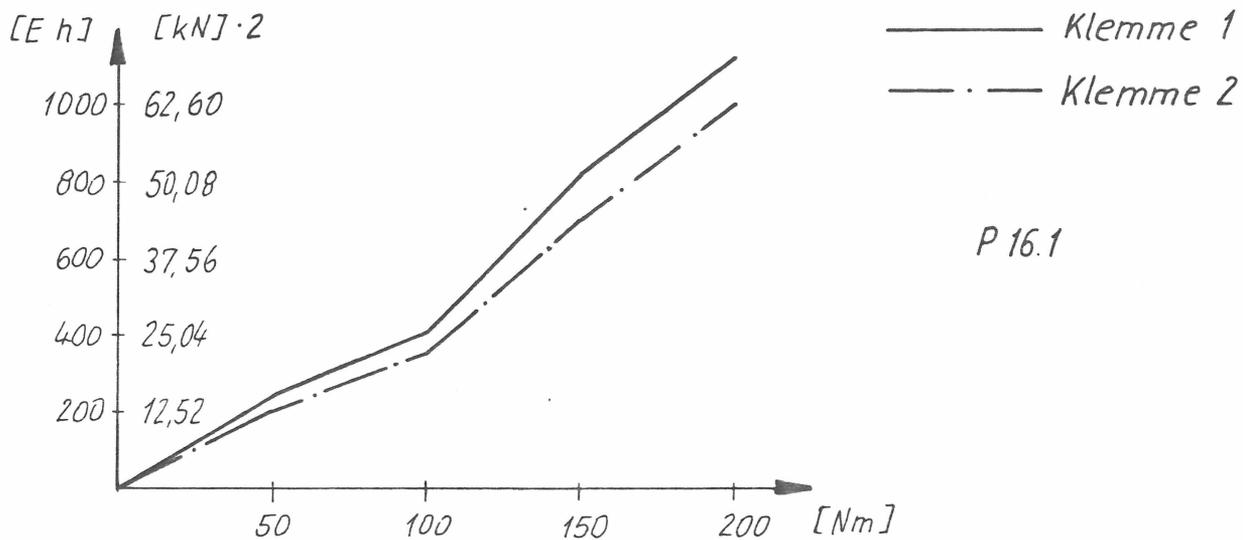




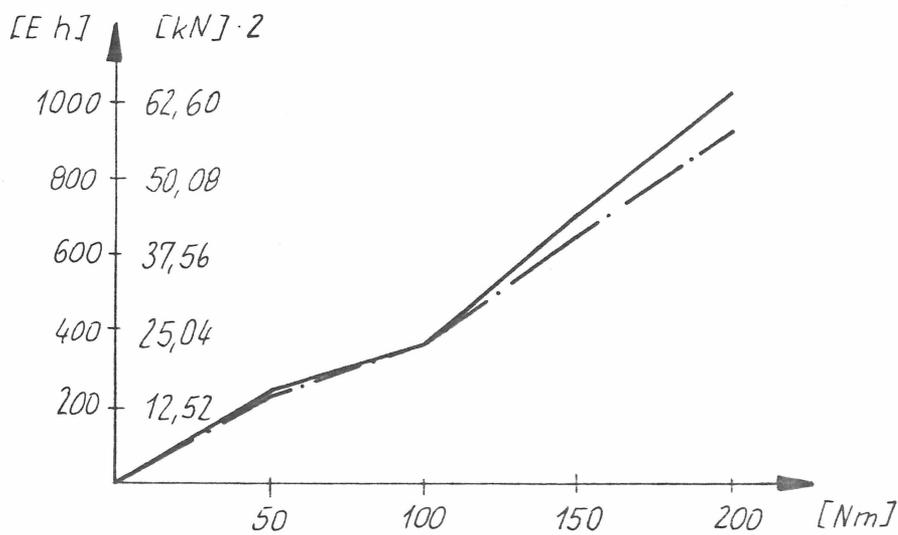
Versuchseinrichtung mit Meßgeräten



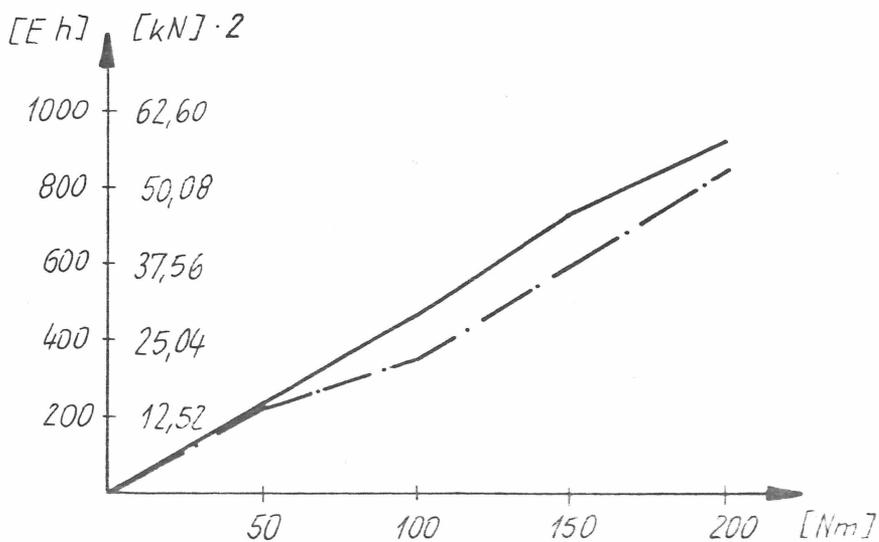
Vorspannen der Versuchskörper auf Abscheren im Schraubstock



P 16.1



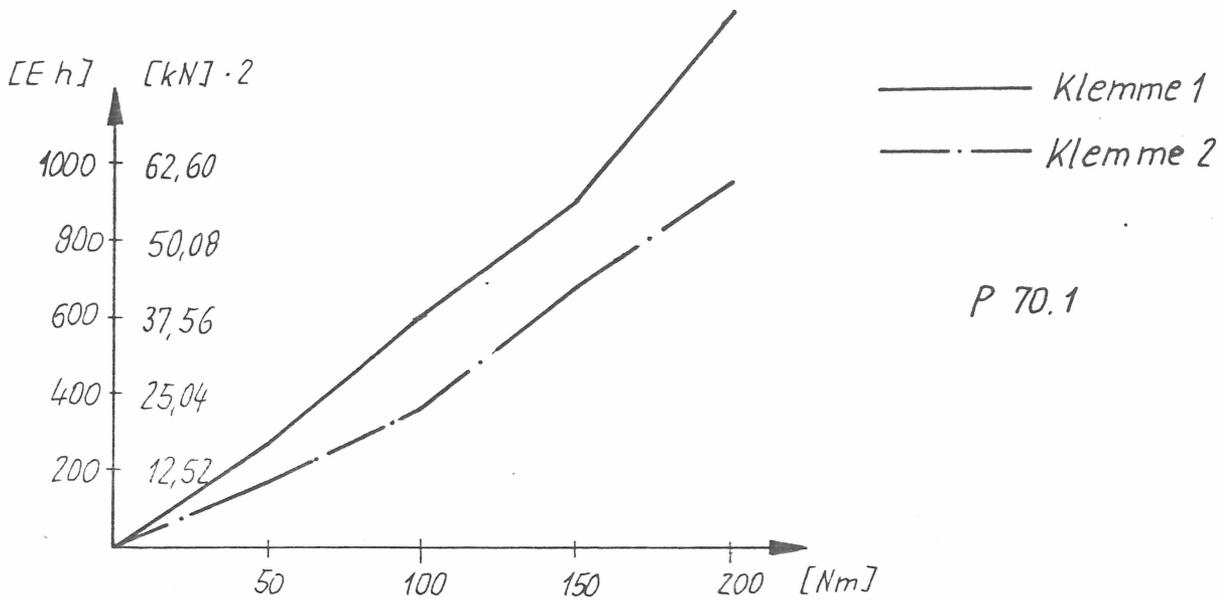
P 16.2



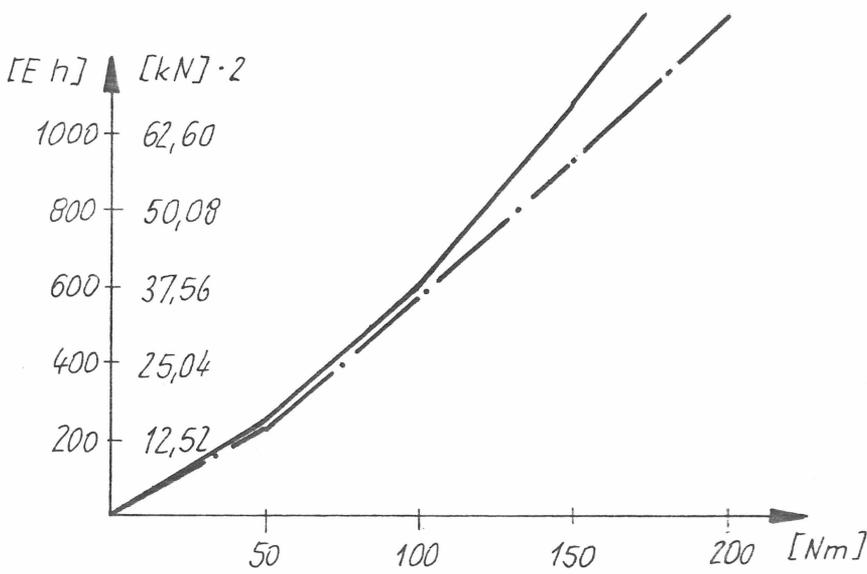
P 16.3

$2000 Eh \approx 952 [\mu D]$

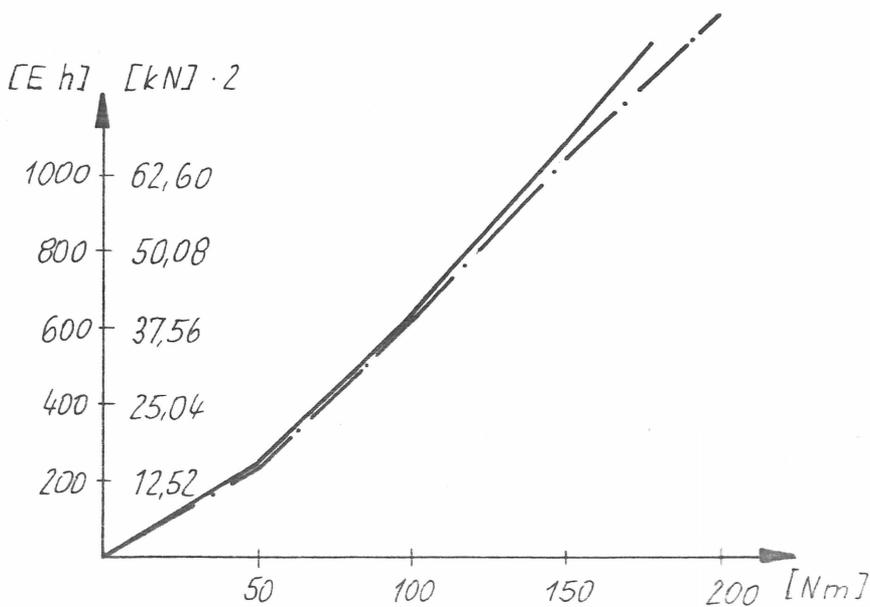
Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 1



P 70.1



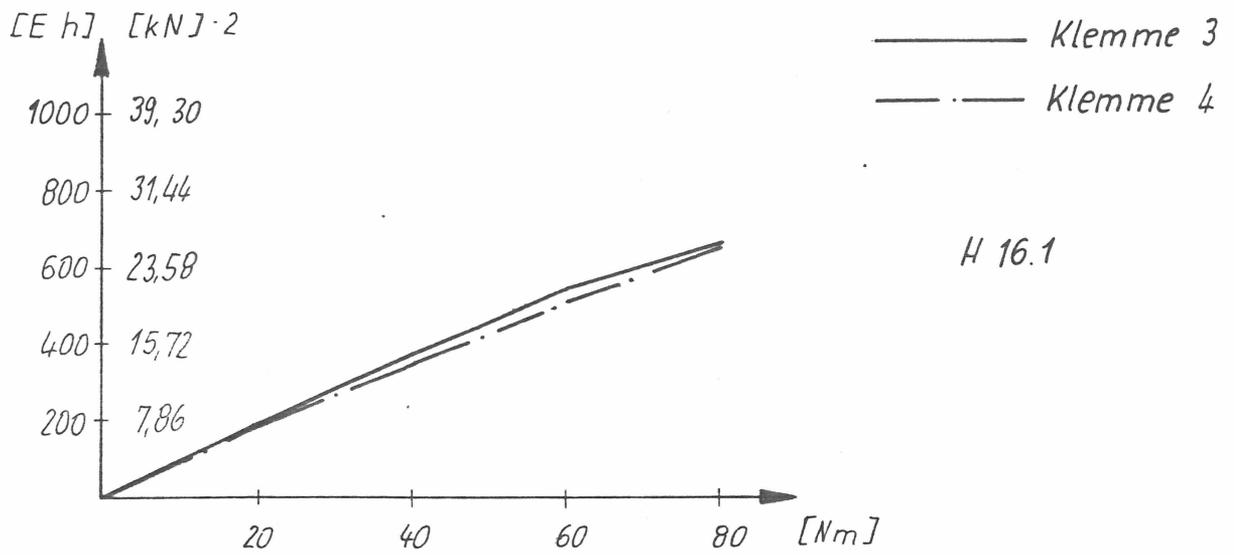
P 70.2



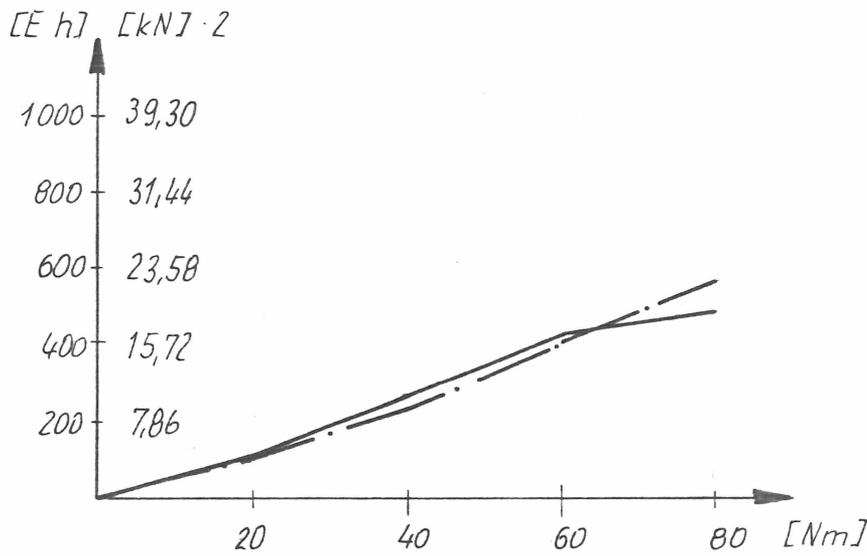
P 70.3

2000 Eh \approx 952 $[\mu D]$

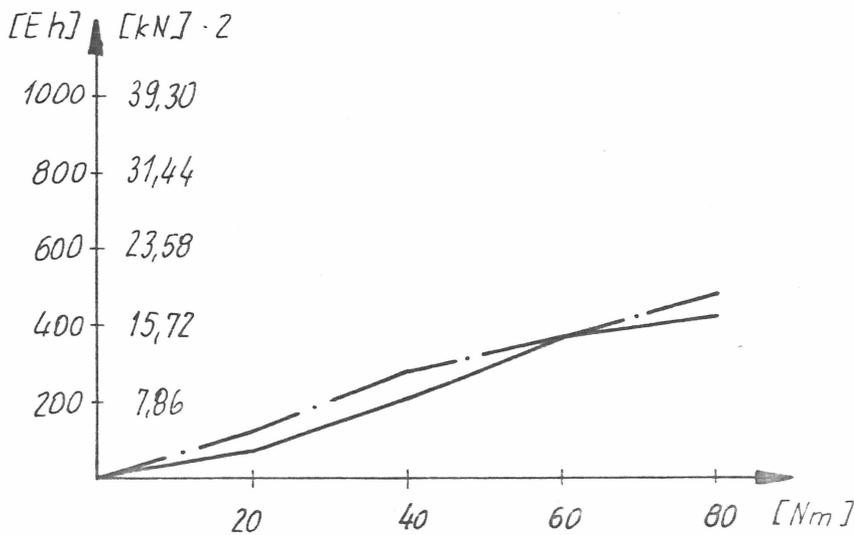
Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 1



H 16.1



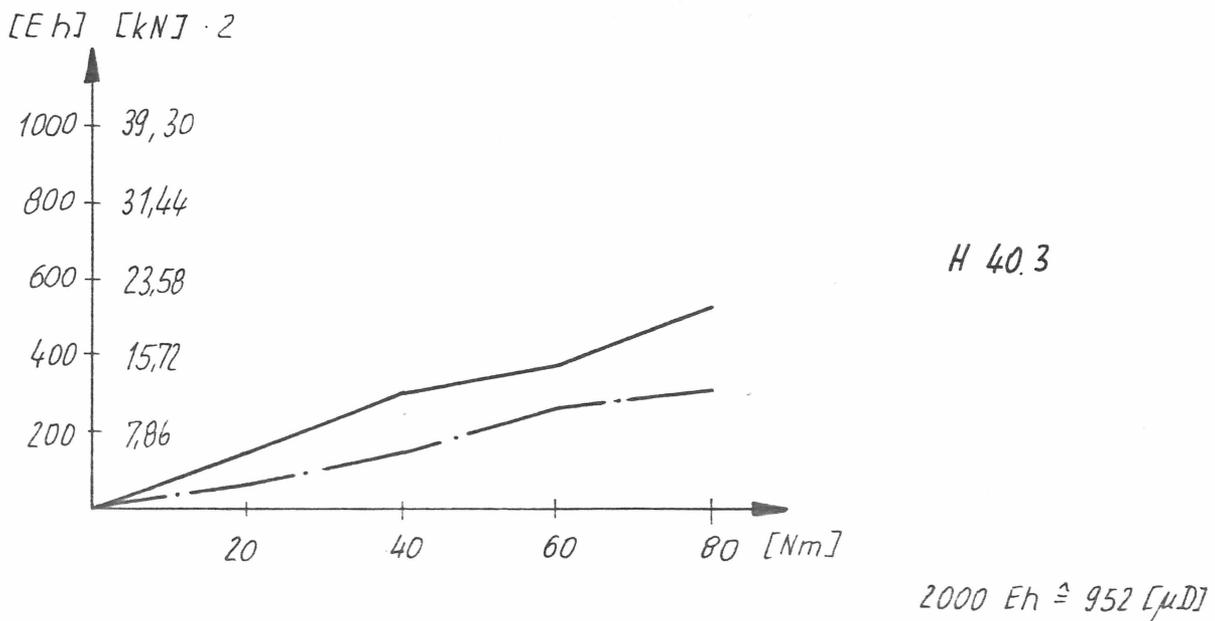
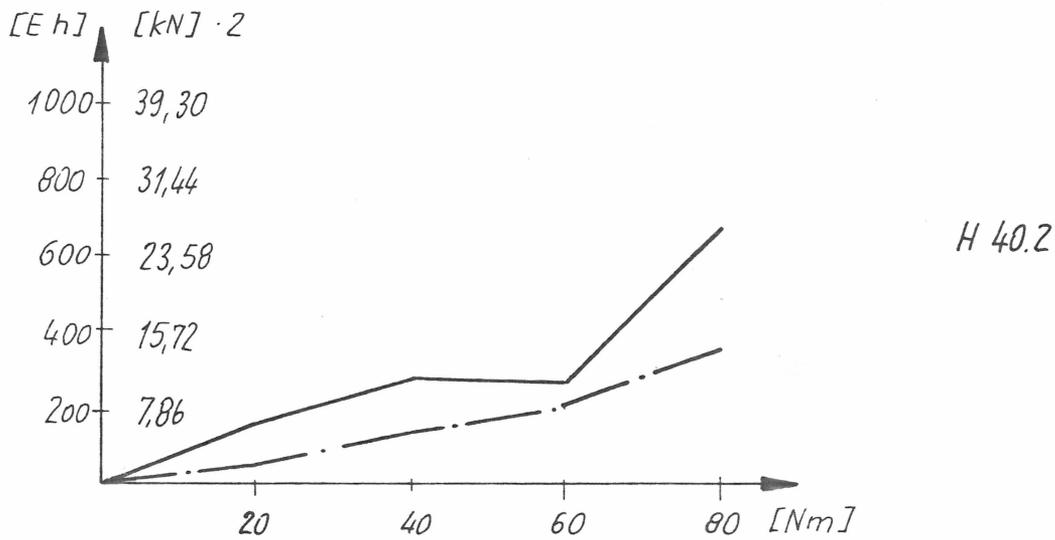
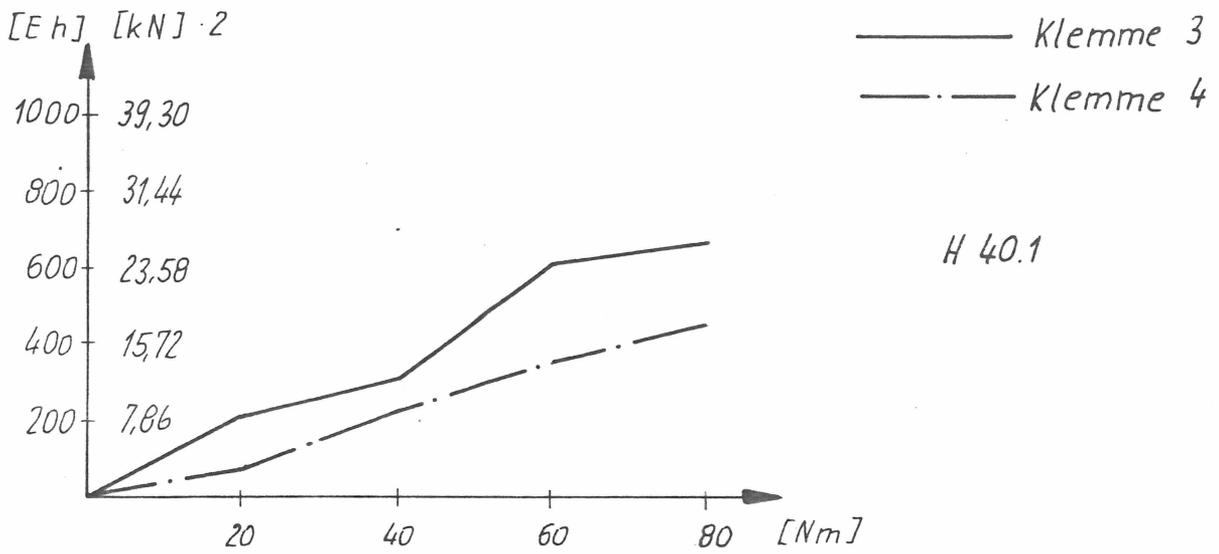
H 16.2



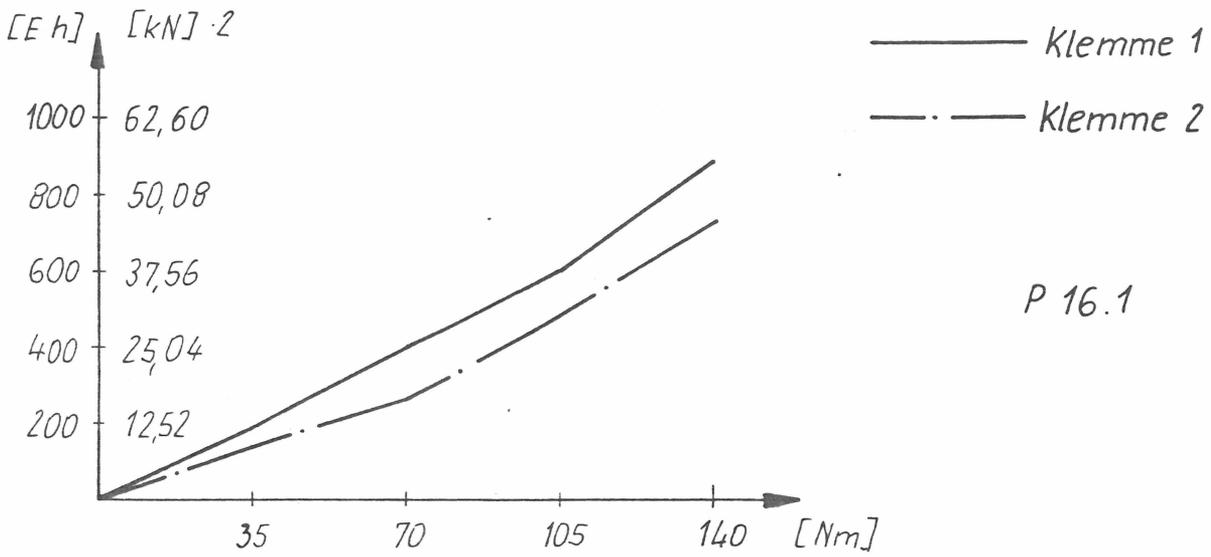
H 16.3

2000 Eh \approx 952 $[\mu D]$

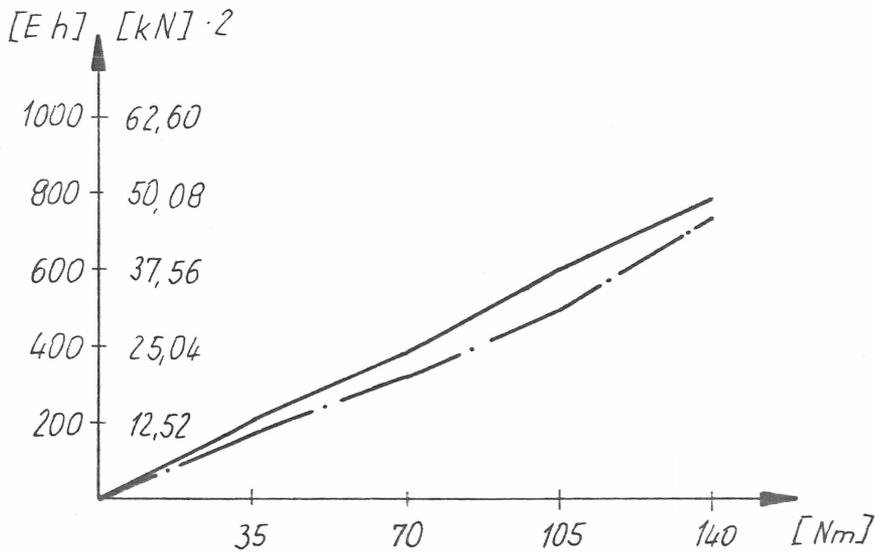
Kraft- Vorspannmomentbeziehung VG 1



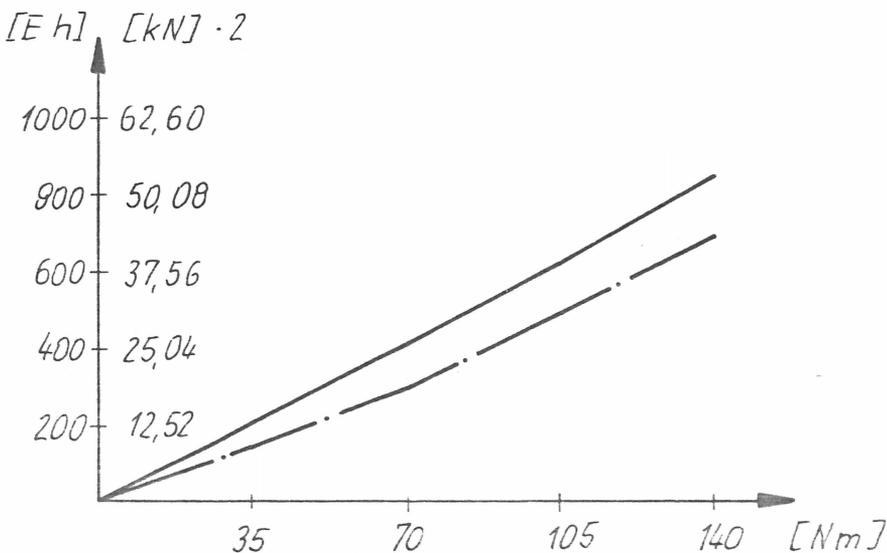
Kraft- Vorspannmomentbeziehung VG1



P 16.1



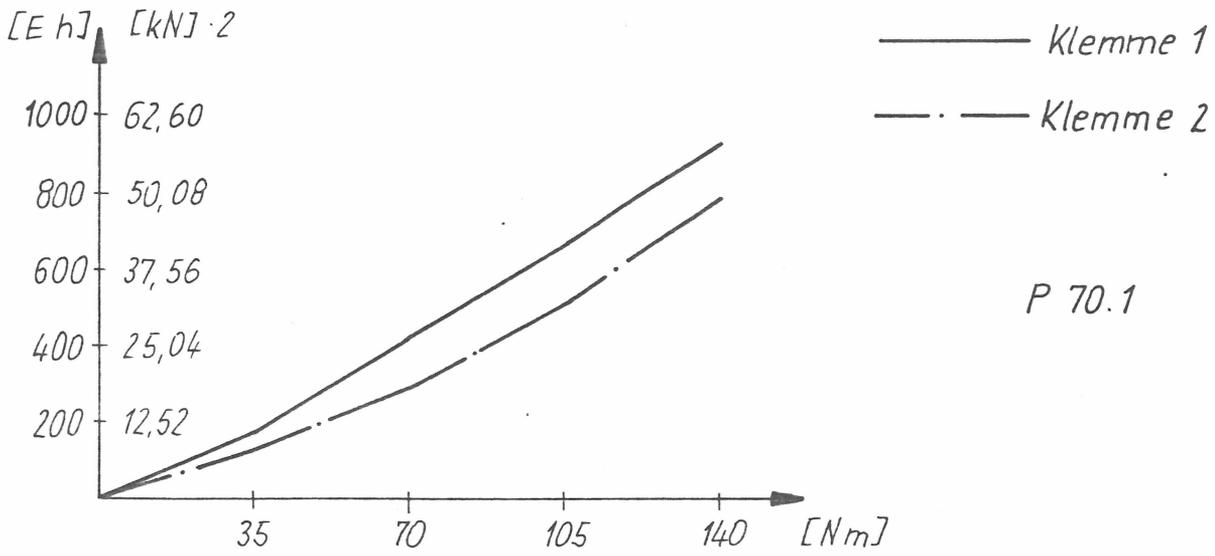
P 16.2



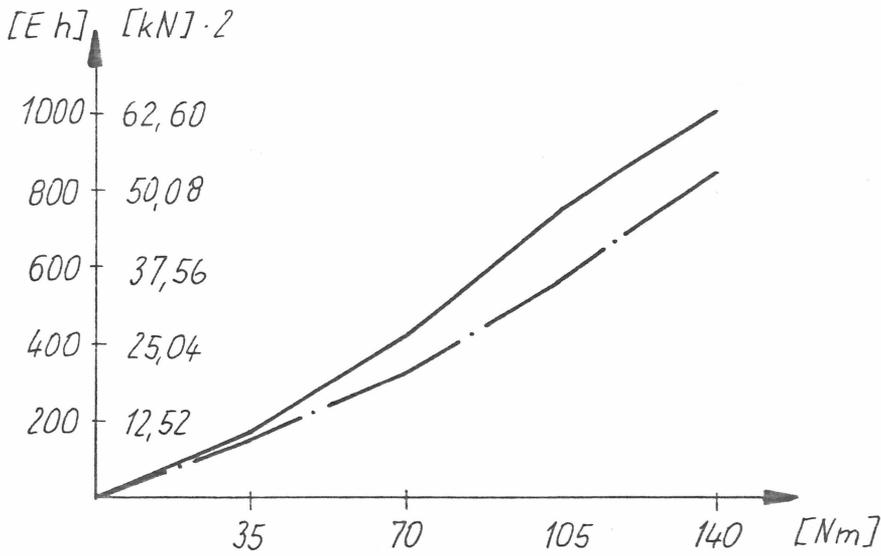
P 16.3

2000 Eh \approx 952 $[\mu D]$

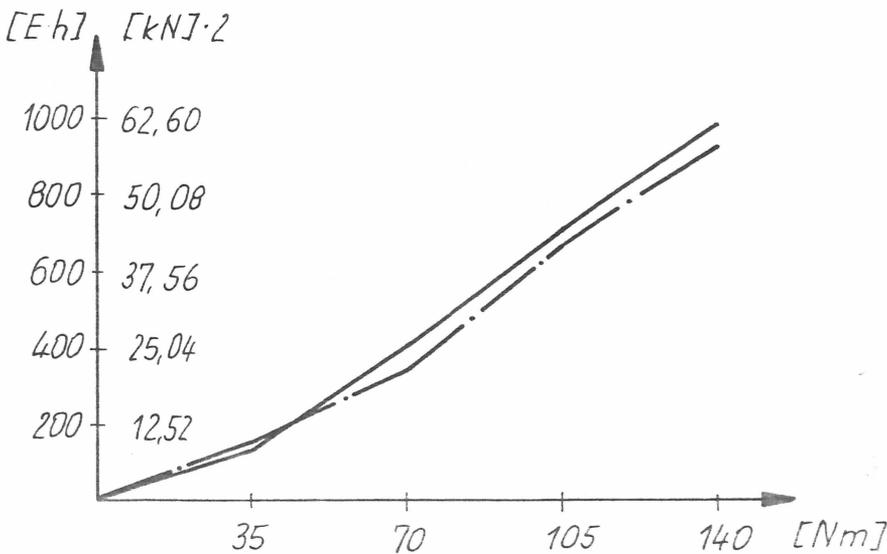
Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG2



P 70.1



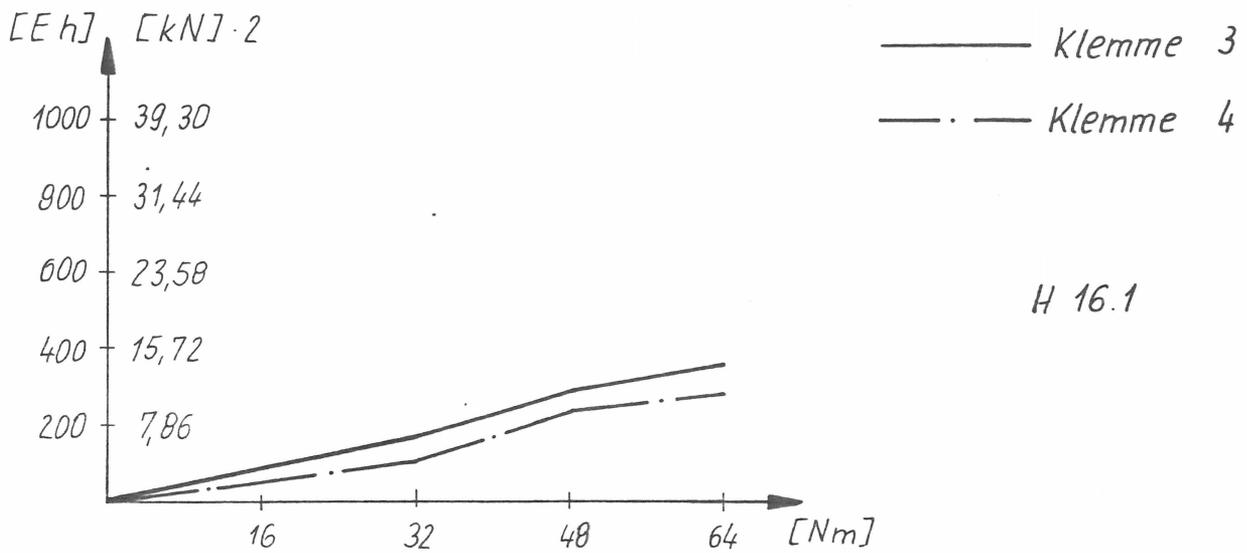
P 70.2



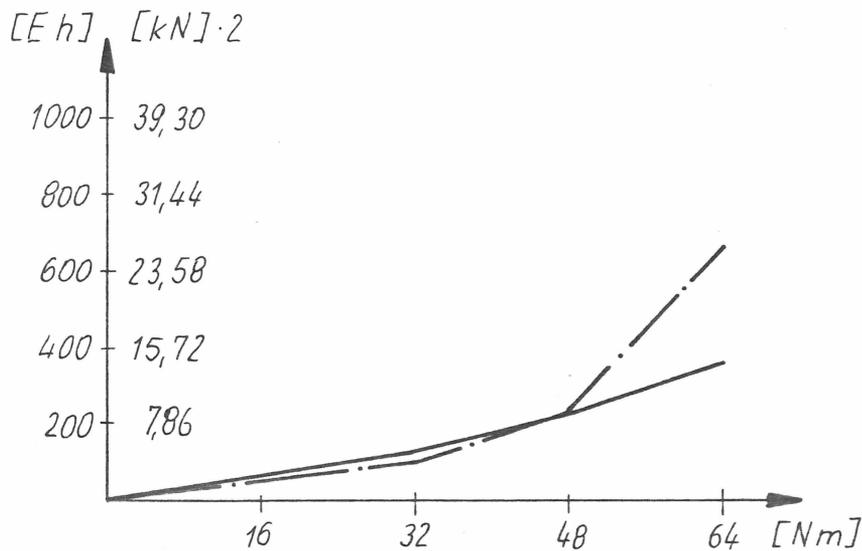
P 70.3

2000 Eh \approx 952 $[\mu D]$

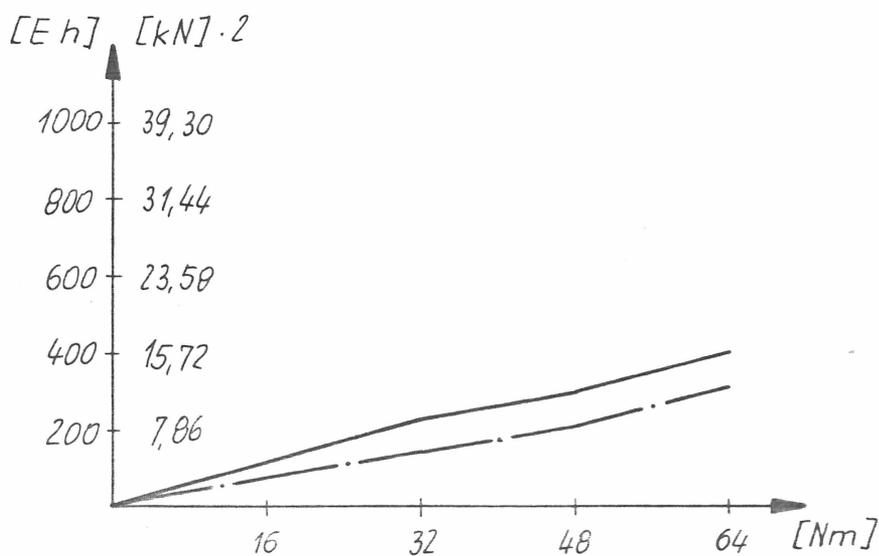
Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG2



H 16.1



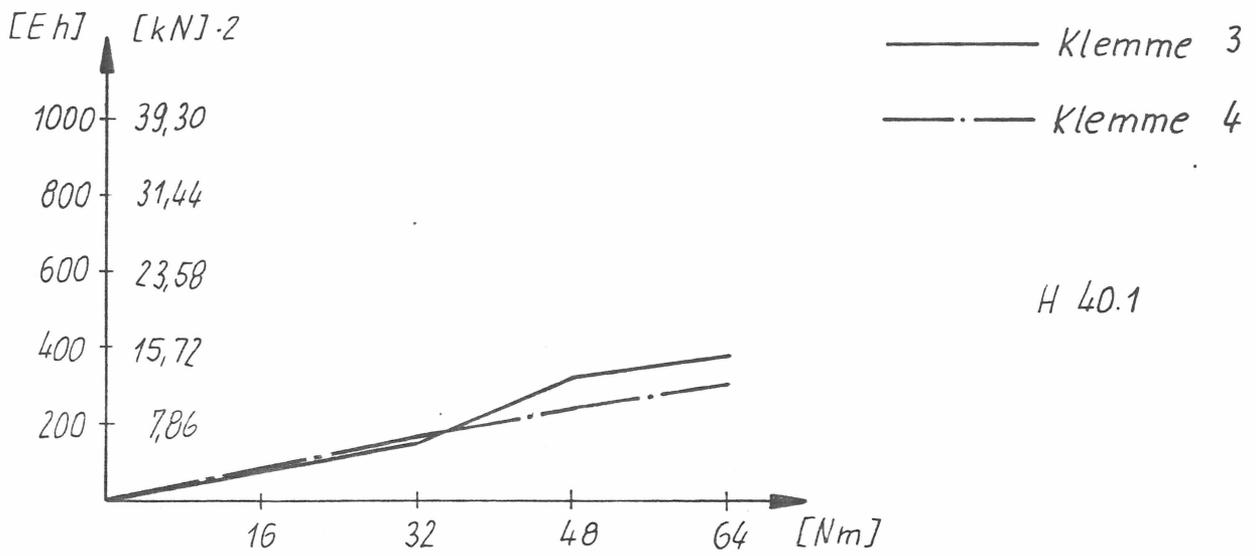
H 16.2



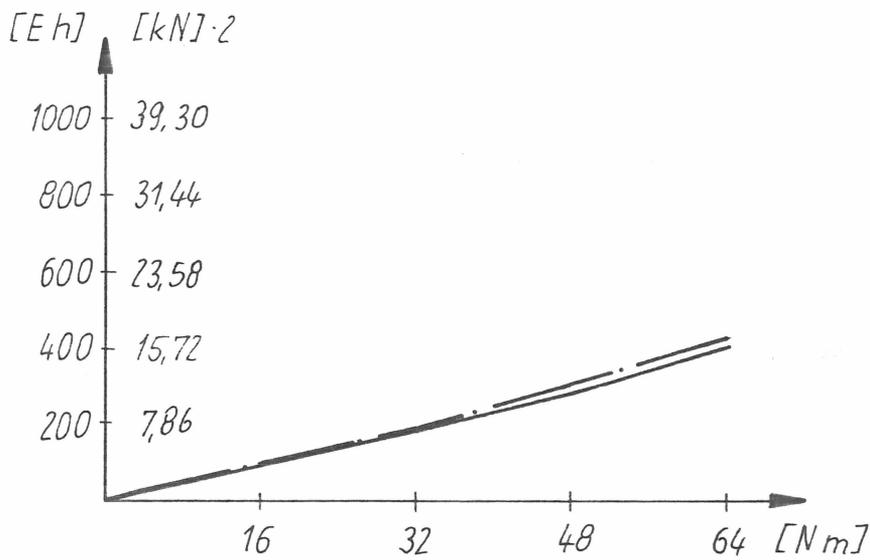
H 16.3

2000 Eh $\hat{=}$ 952 $[\mu D]$

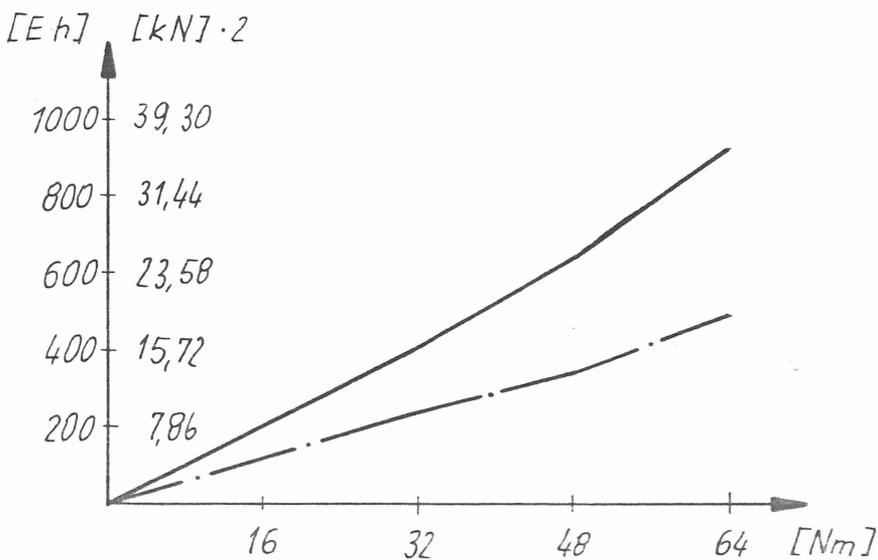
Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 2



H 40.1



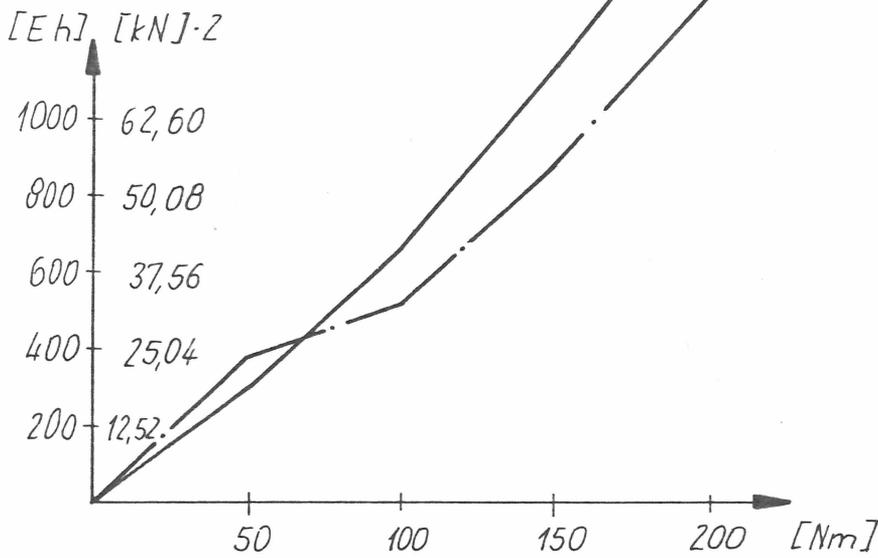
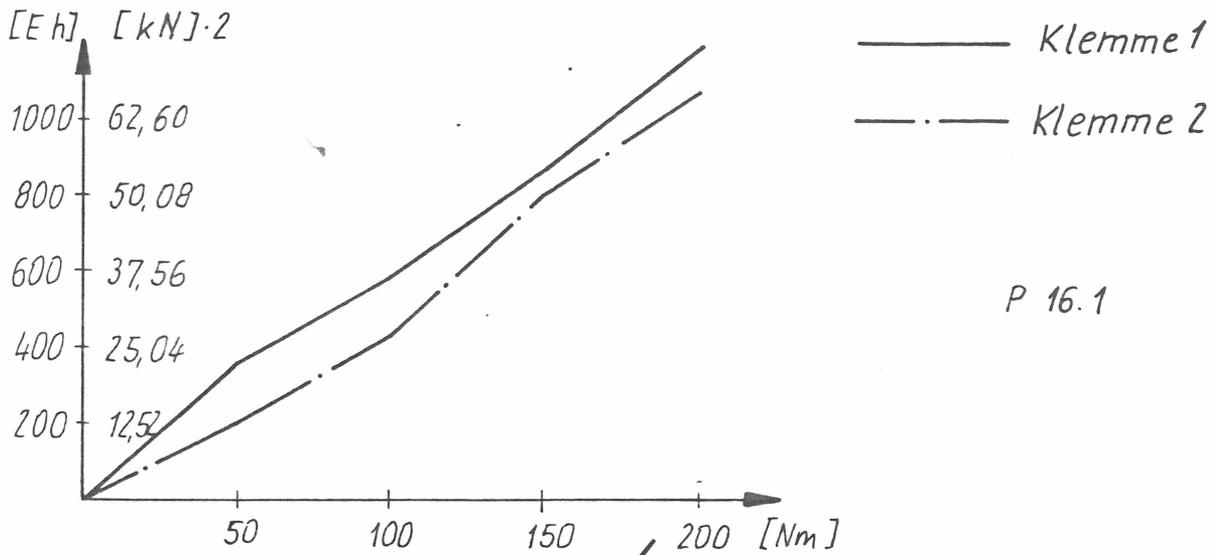
H 40.2



H 40.3

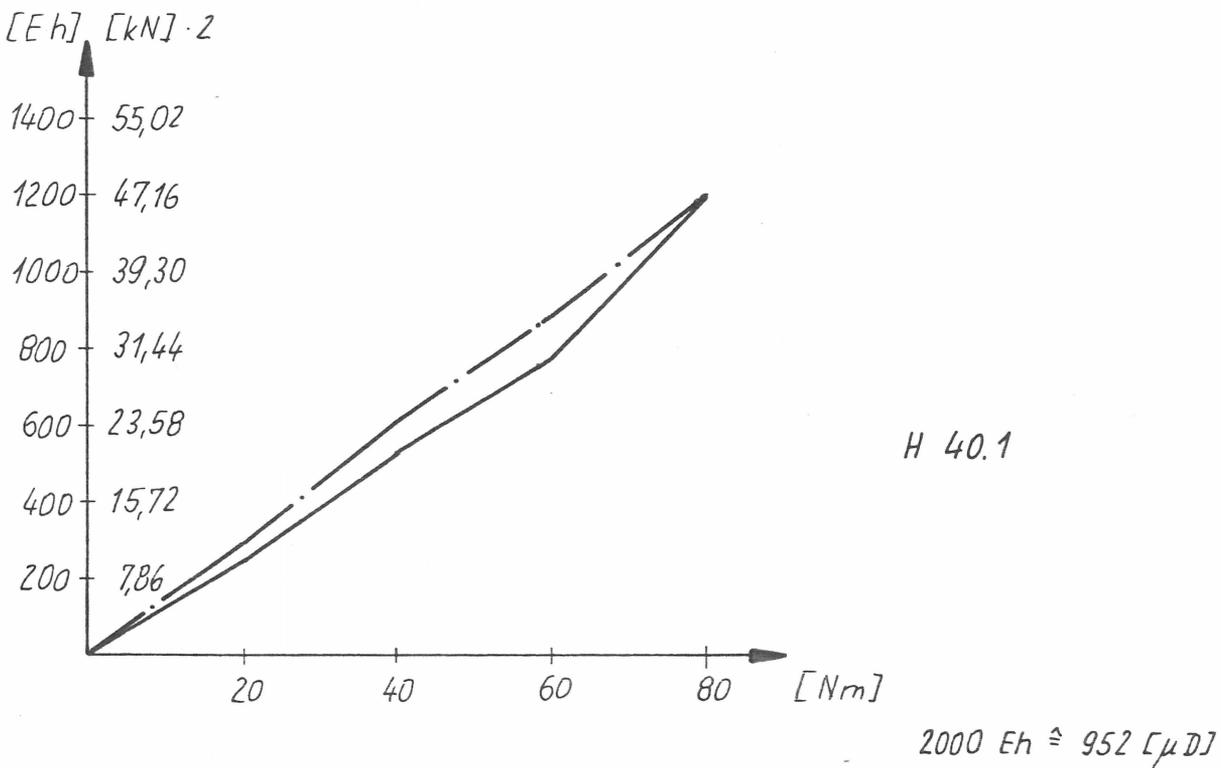
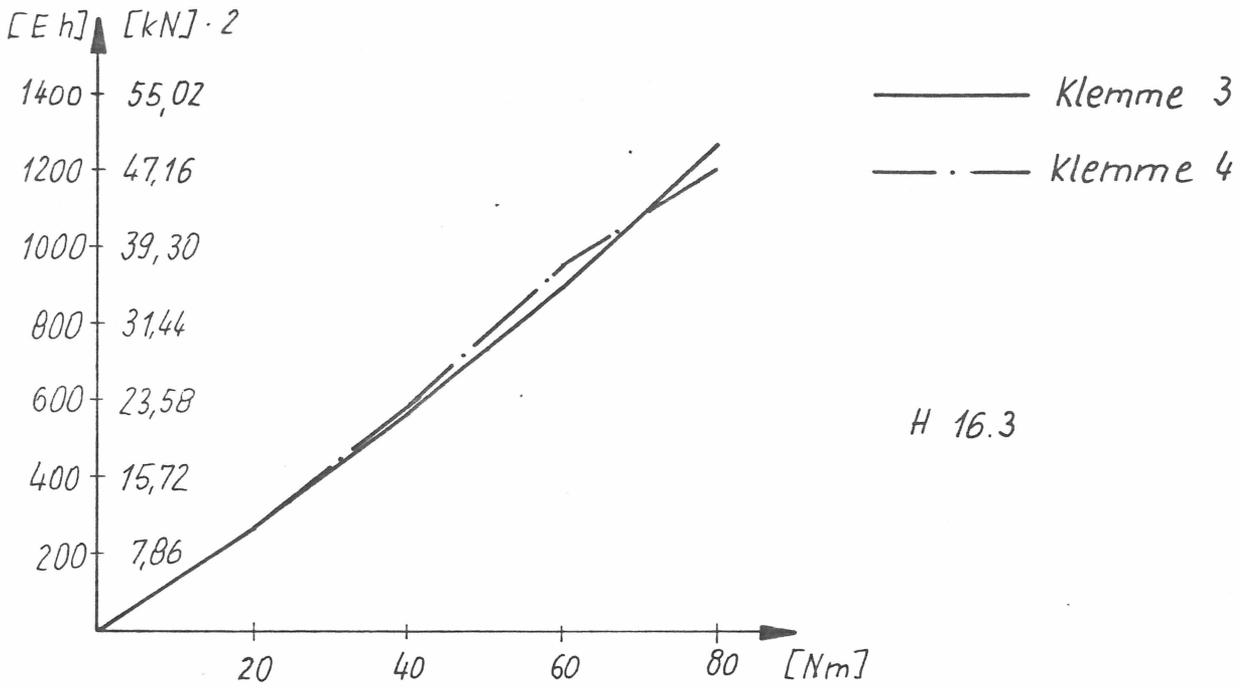
2000 Eh \approx 952 $[\mu D]$

Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 2

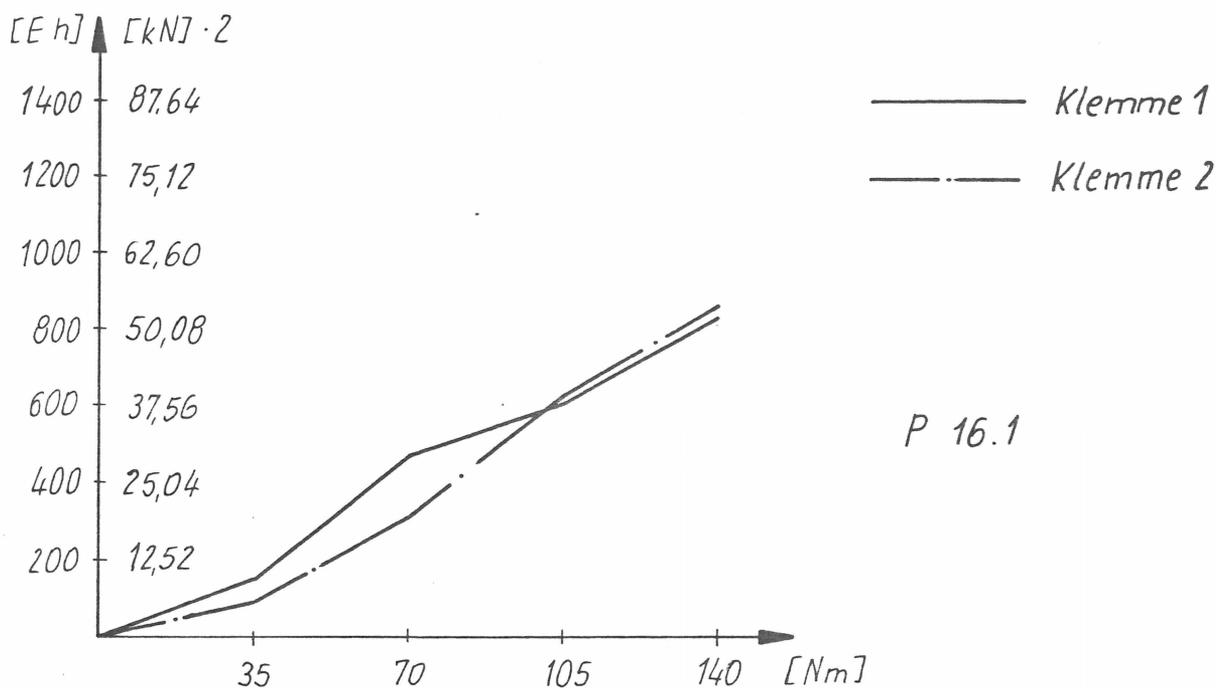


$2000 \text{ Eh} \approx 952 \text{ } [\mu\text{D}]$

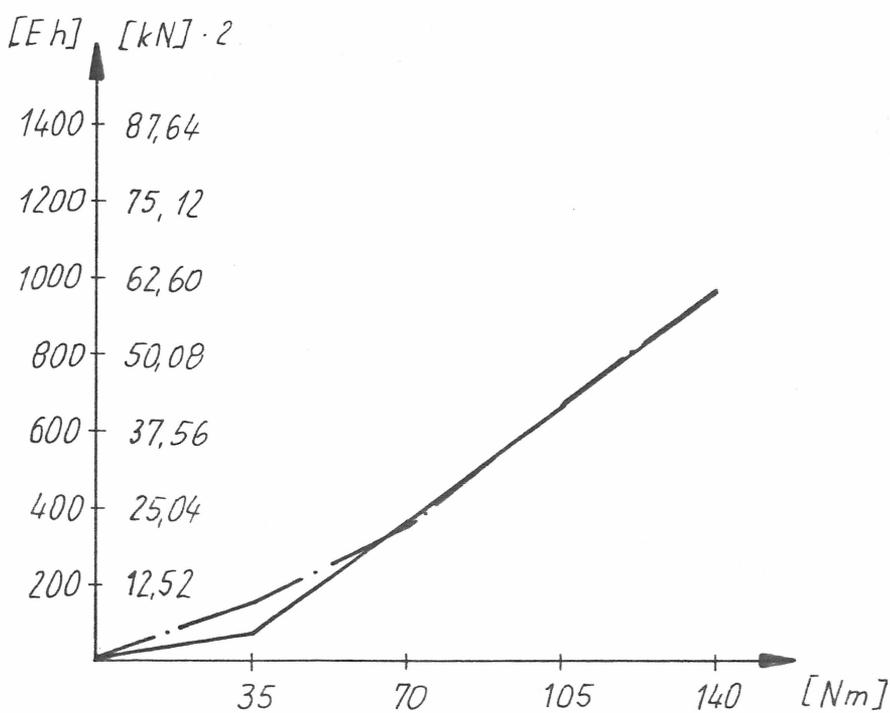
Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 3



Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 3



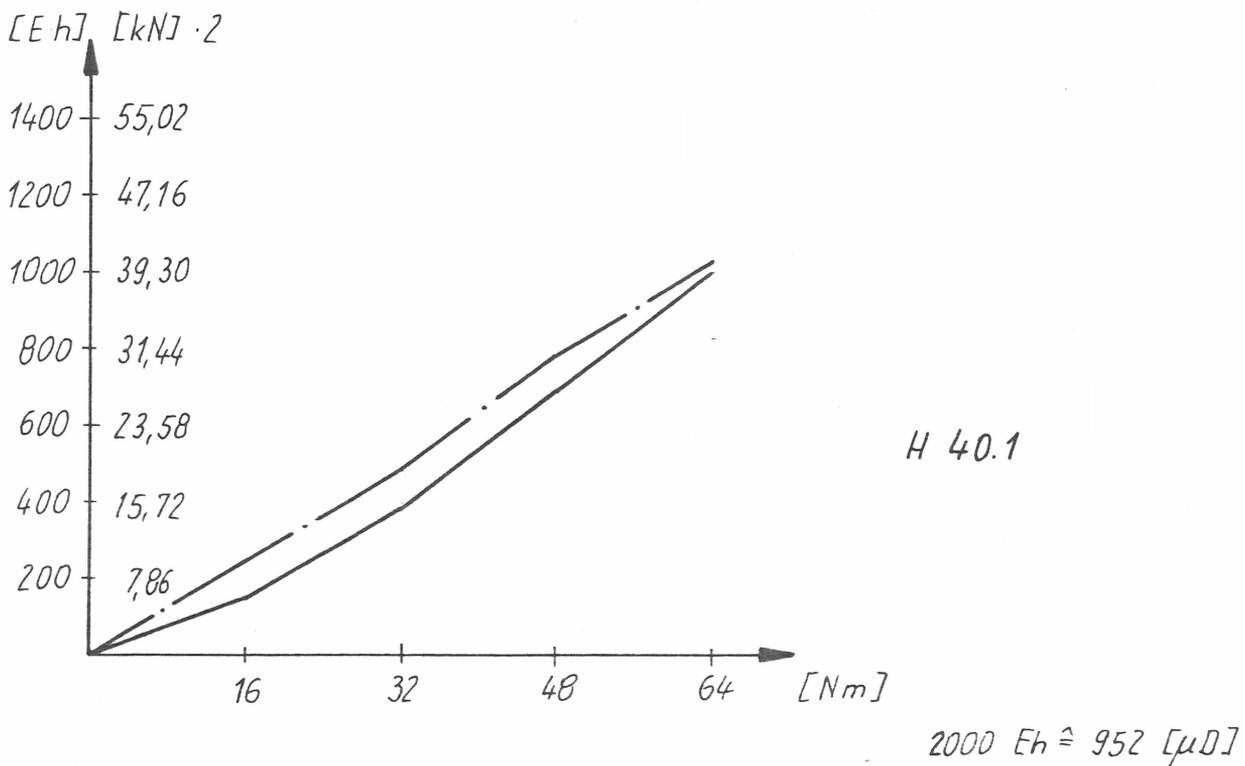
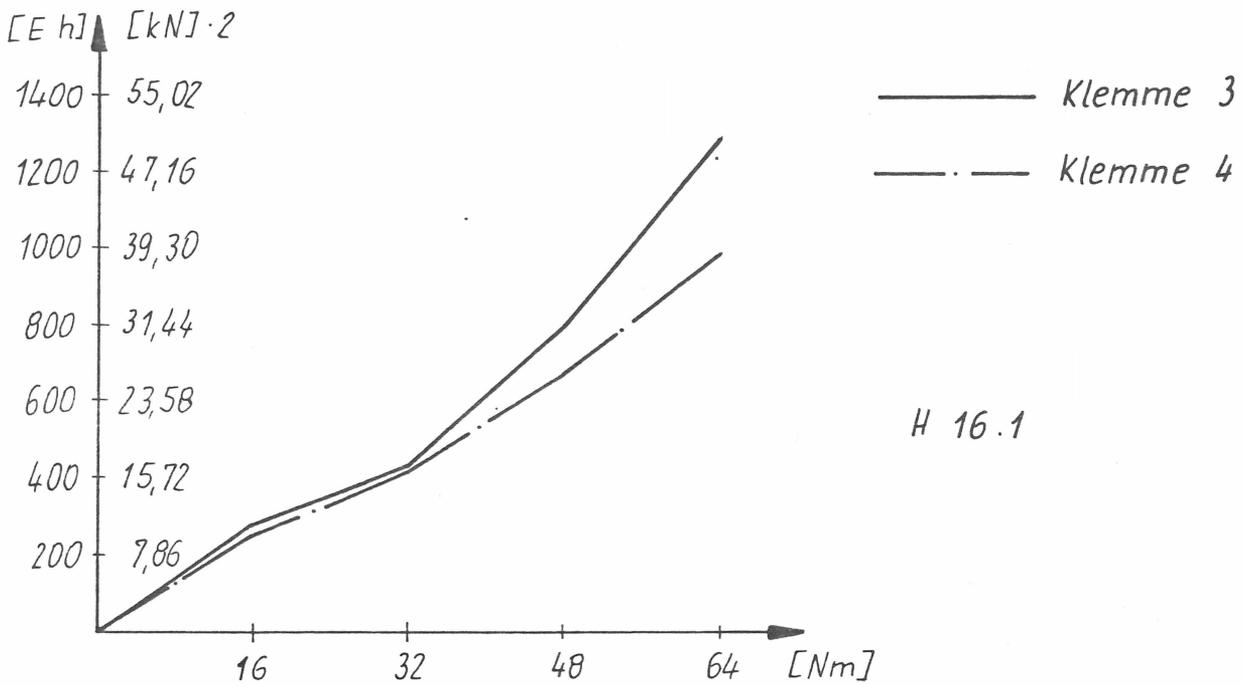
P 16.1



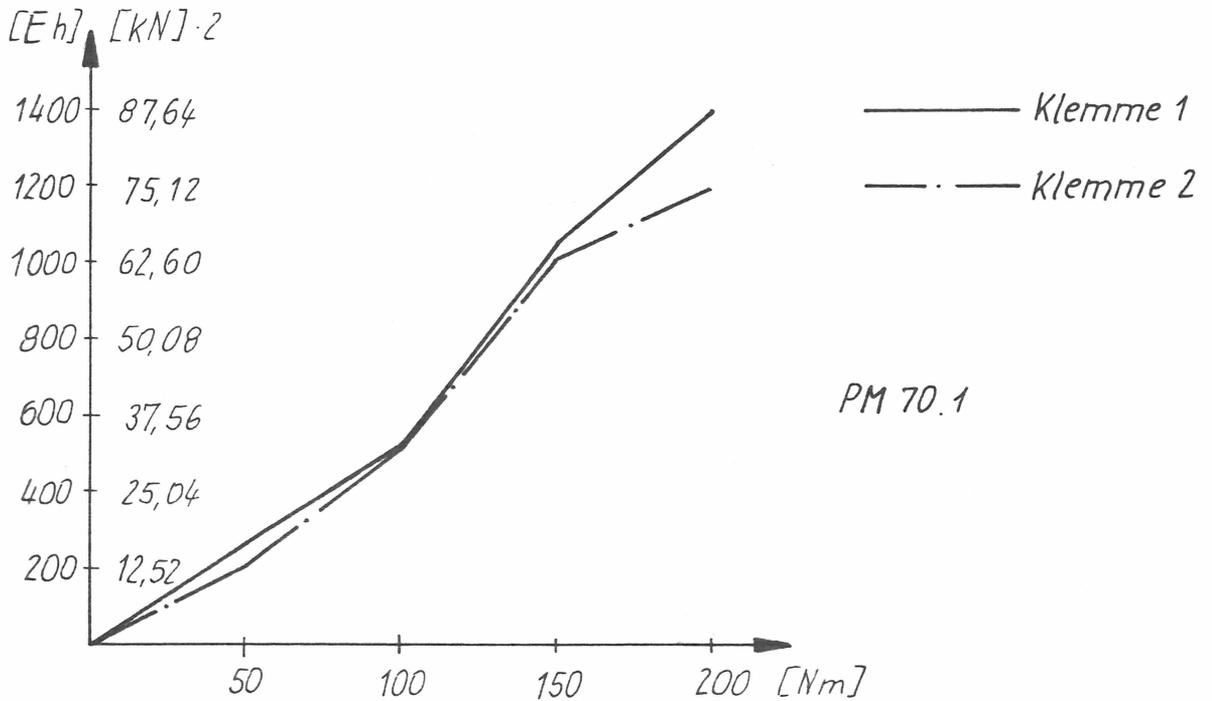
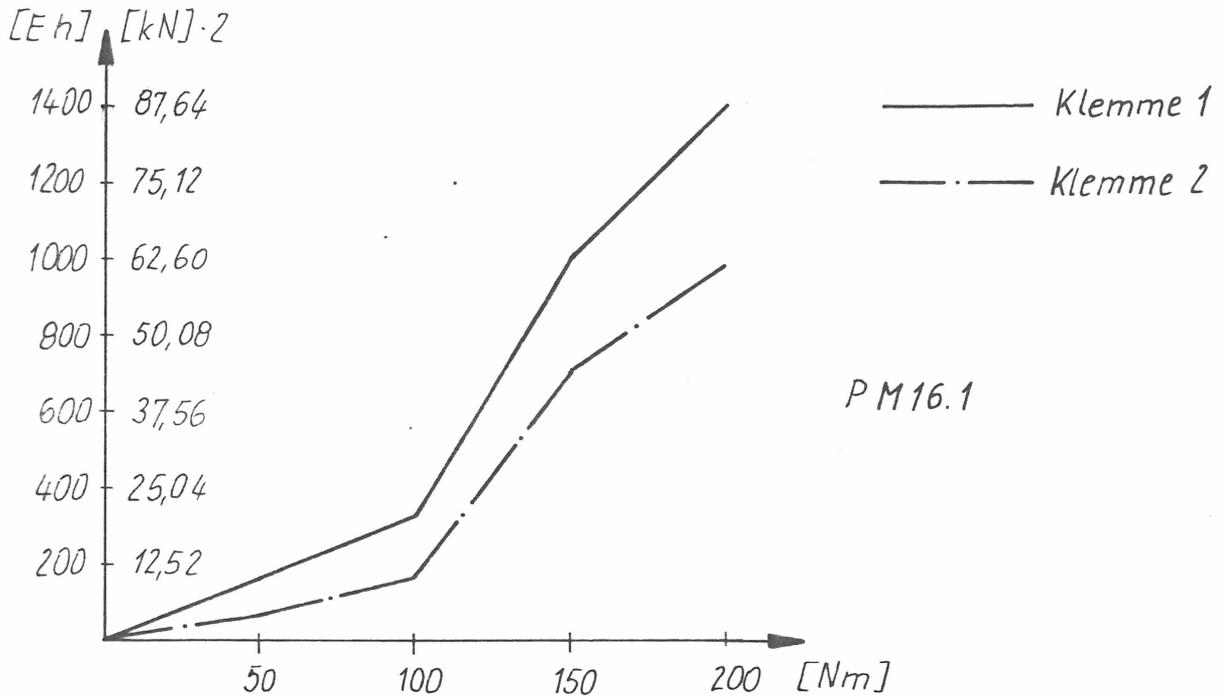
P 70.1

2000 Eh $\hat{=}$ 952 $[\mu D]$

Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 4

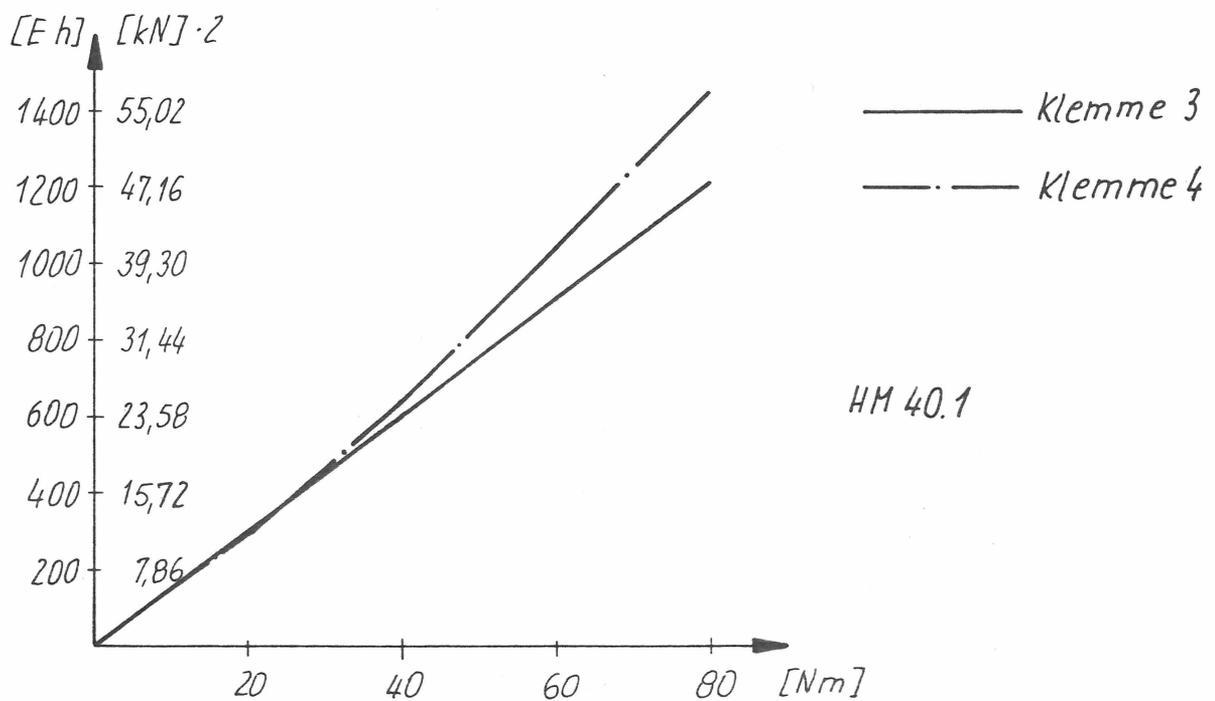
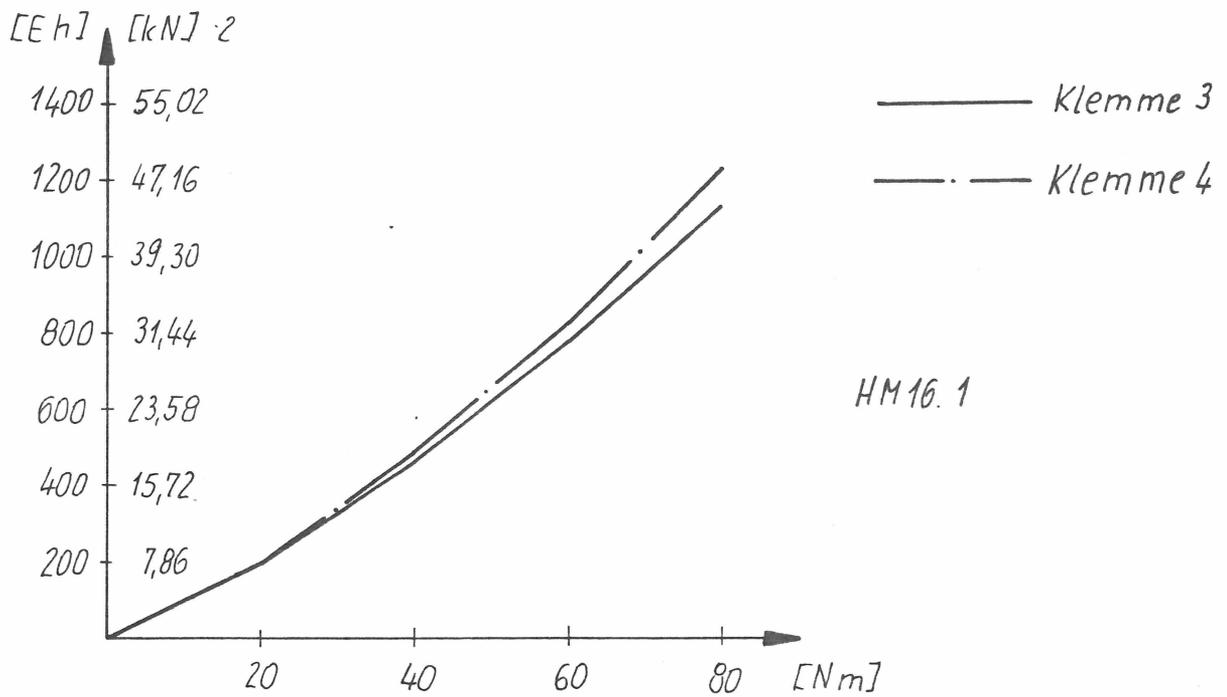


Kraft- Vorspannmomentbeziehung VG 4



2000 Eh $\hat{=}$ 952 [μ D]

Kraft - Vorspannmomentbeziehung VG 5



2000 Eh $\hat{=}$ 952 [μ D]

Kraft - Vorspannmoment beziehung VG 5

Versuchsgruppe: *VG1*

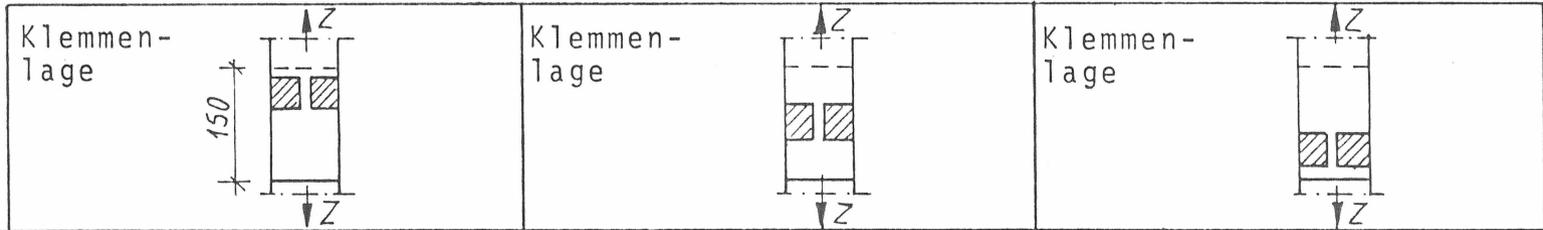
Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: *Peine*

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: *blank*

Vorspannmoment: *100 %*



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	1071	1064	958	955	965	961	868	862	870	866	785	776
20	1062	1014	956	901	960	957	862	860	863	863	775	772
40	1016	1019	897	899	953	951	857	854	862	862	773	771
60	1018	1017	893	891	951	950	854	852	861	862	772	770
100	1021	1016	892	891	950	949	852	850	861	861	770	768
150	1014	1015	891	889	950	949	851	850	860	860	769	766
200	1014	1013	890	890	948	946	850	848	859	859	768	766

Versuchsgruppe: *VG 1*

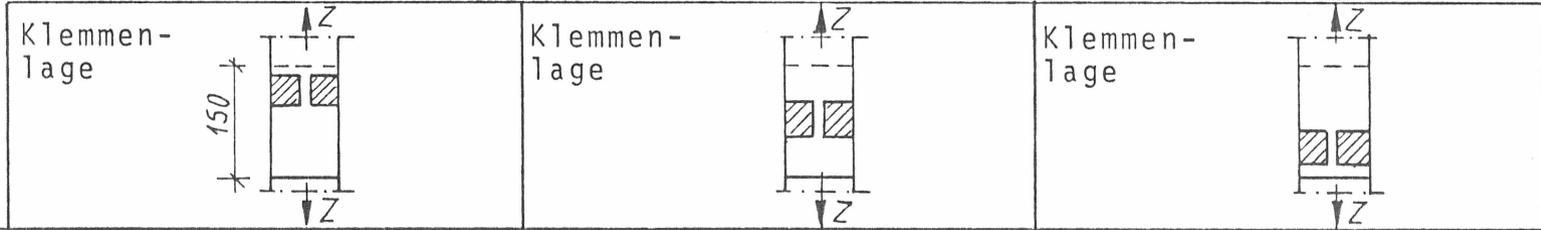
Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: *Peine*

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: *blank*

Vorspannmoment: *100 %*



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	1393	1391	874	873	1470	1468	1265	1263	1405	1396	1298	1294
20	1393	1392	866	865	1467	1467	1261	1260	1399	1397	1295	1294
40	1393	1392	864	864	1466	1464	1259	1258	1400	1396	1294	1293
60	1394	1392	862	862	1465	1464	1258	1257	1398	1395	1293	1293
100	1392	1390	866	867	1465	1464	1257	1256	1397	1394	1293	1292
150	1391	1390	865	866	1464	1463	1256	1254	1397	1394	1292	1292
200	1393	1391	866	865	1463	1461	1254	1253	1397	1394	1292	1292

Versuchsgruppe: VG1

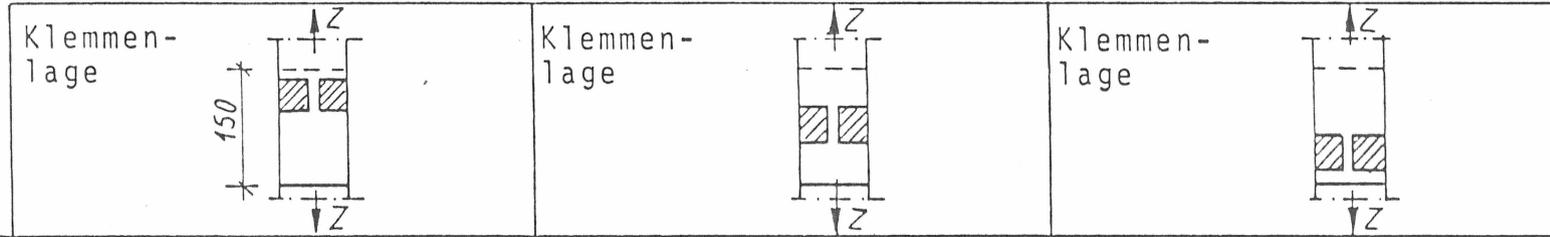
Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: blank

Vorspannmoment: 100 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	712	706	610	608	470	465	544	538	411	404	470	469
20	689	688	586	585	461	458	534	532	401	399	468	466
40	687	687	584	582	458	457	531	529	398	396	465	464
60	687	687	581	580	456	455	528	527	396	395	464	460
100	686	685	578	578	455	454	526	525	395	393	460	459
150	685	684	577	576	454	453	524	523	394	393	459	457
200	684	683	576	575	454	452	523	521	393	392	457	456

Versuchsgruppe: VG1

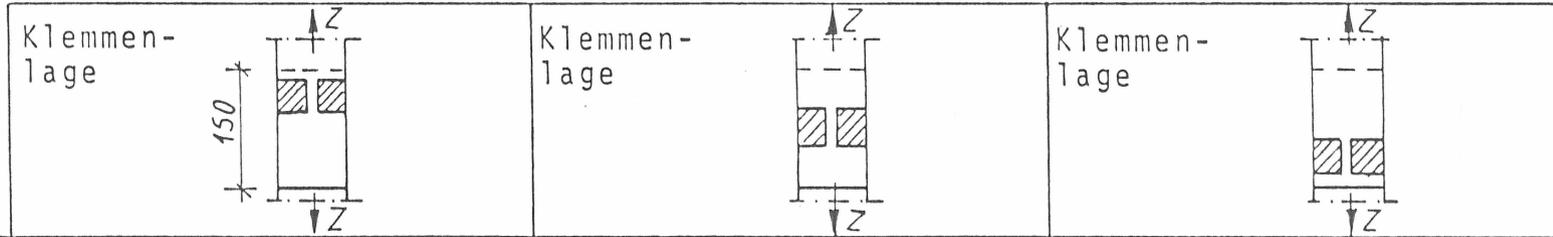
Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: blank

Vorspannmoment: 100 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$			
	Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]	bel. [μD]	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	658	657			602	583	319	327	478	487	299	328
20	652	653			574	573	313	320	463	464	288	303
40	652	649			568	567	313	314	455	455	287	292
60	645	645			567	566	316	315	454	451	291	282
100	647	646			563	562	313	311	449	448	270	269
150	645	645			561	561	312	310	450	450	285	282
200	644	644			561	561	312	311	446	446	270	268

DMS - Ausfall

Versuchsgruppe: VG 2

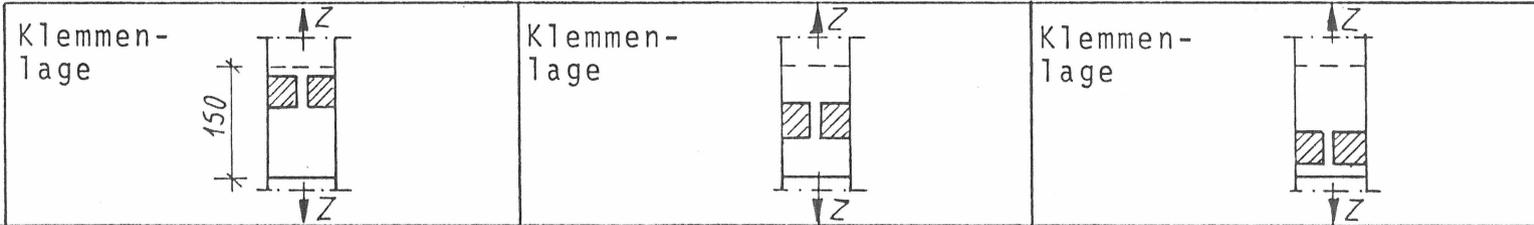
Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Peine

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: blank

Vorspannmoment: 70 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	838	833	691	671	752	750	696	690	810	810	648	646
20	830	829	665	664	749	749	691	690	806	804	647	645
40	828	827	664	662	748	747	690	689	804	803	647	645
60	828	827	663	661	746	746	690	688	803	802	646	645
100	826	825	661	660	746	745	689	688	802	802	646	644
150	825	824	660	659	745	745	689	686	801	801	646	644
200	825	823	659	658	744	744	687	684	801	800	645	643

Versuchsgruppe: *VG2*

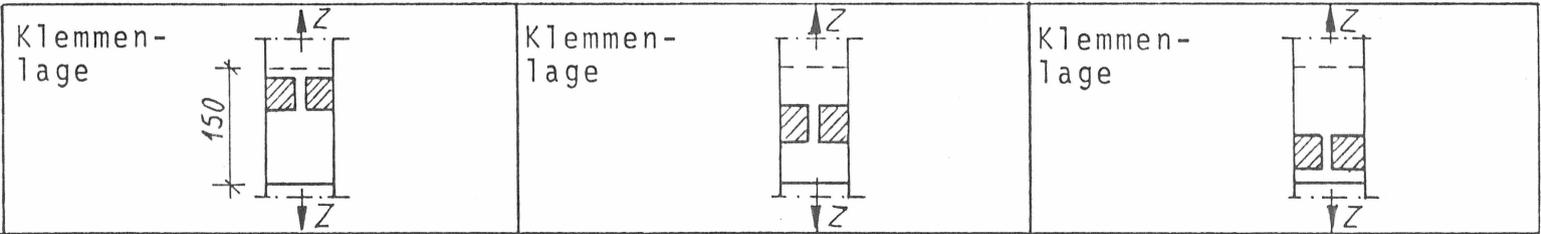
Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: *Peine*

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: *blank*

Vorspannmoment: *70 %*



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	920	921	724	724	944	942	792	792	933	925	891	887
20	923	922	722	722	942	942	790	790	924	921	874	874
40	923	922	721	721	943	942	790	789	922	920	873	872
60	923	922	720	720	942	941	788	788	921	918	872	871
100	924	923	720	720	942	942	788	788	920	918	870	870
150	923	924	720	720	942	941	788	788	918	914	869	869
200	924	924	719	719	941	942	787	787	916	914	868	867

Versuchsgruppe: VG2

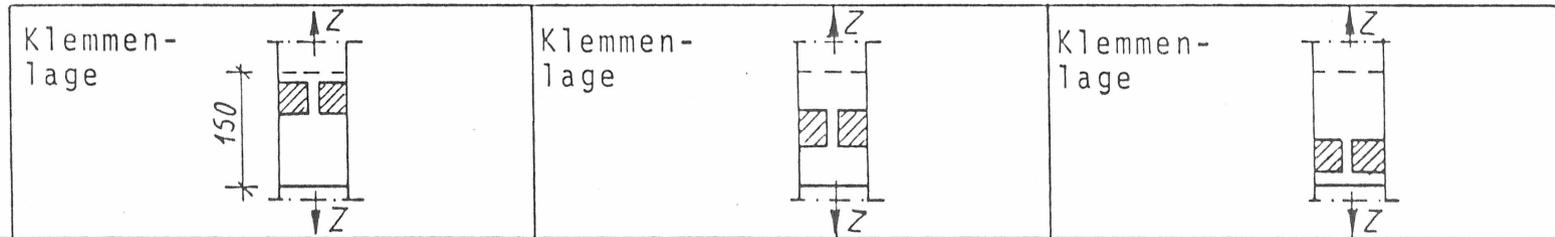
Zugkraft $Z = 46 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: blank

Vorspannmoment: 80 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	350	318	267	258	346	317	636	515	393	381	301	294
20	313	313	255	254	317	315	508	510	379	377	290	289
40	312	312	254	254	316	315	506	504	376	375	289	290
60	311	310	253	252	316	314	504	503	375	375	287	286
100	310	310	252	251	315	315	502	501	376	374	288	288
150	310	310	252	250	316	315	500	496	374	372	287	286
200	309	308	250	250	316	315	495	496	374	373	288	288

Versuchsgruppe: VG 2

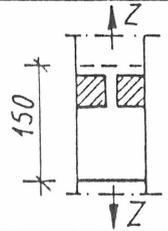
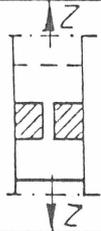
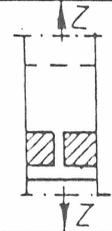
Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: blank

Vorspannmoment: 80 %

Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Klemmenlage 				Klemmenlage 				Klemmenlage 			
	Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$			
	Klemme 3 unbel. [μD]/2	Klemme 3 bel. [μD]/2	Klemme 4 unbel. [μD]/2	Klemme 4 bel. [μD]/2	Klemme 3 unbel. [μD]/2	Klemme 3 bel. [μD]/2	Klemme 4 unbel. [μD]/2	Klemme 4 bel. [μD]/2	Klemme 3 unbel. [μD]/2	Klemme 3 bel. [μD]/2	Klemme 4 unbel. [μD]/2	Klemme 4 bel. [μD]/2
0	347	344	297	301	368	358	401	314	865	848	464	456
20	342	339	290	289	345	348	389	390	840	835	445	441
40	340	339	284	283	350	348	390	389	832	831	438	435
60	340	342	280	280	350	350	388	386	830	830	435	433
100	343	344	276	278	343	343	379	377	827	826	433	430
150	343	343	274	276	343	343	376	375	825	824	430	429
200	343	343	278	279	345	344	376	375	822	821	430	428

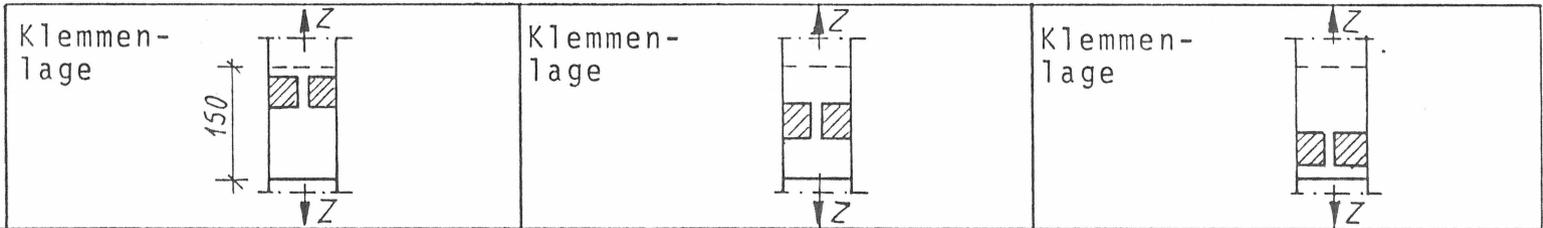
Versuchsgruppe: VG 3

Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Peine

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	971	972	819	807	1324	1324	1274	1270	1160	1158	1141	1130
20	972	972	808	808	1226	1227	1256	1252	1144	1144	1106	1104
40					1226	1226	1250	1243	1141	1141	1100	1096
60	971	971	808	808	1225	1225	1246	1244	1139	1139	1094	1091
100	971	971	810	806	1221	1222	1242	1237	1138	1138	1088	1085
150	971	971	810	807	1222	1223	1237	1232	1136	1136	1082	1078
200	971	970	810	805	1219	1221	1238	1234	1132	1132	1076	1073

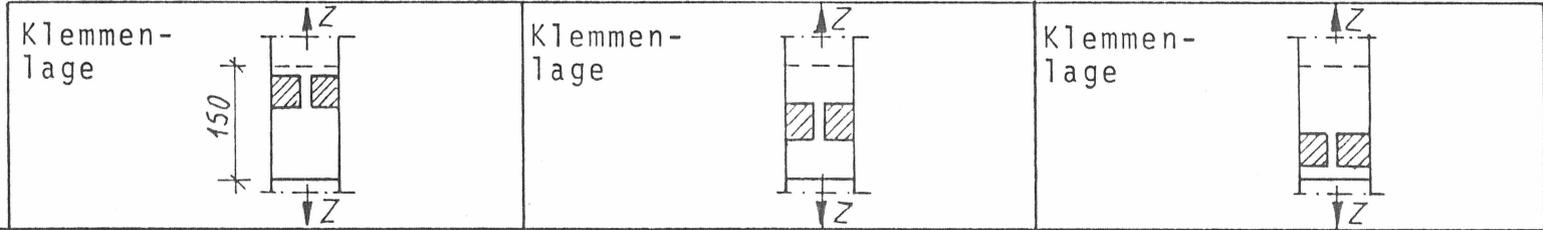
Versuchsgruppe: VG3

Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Peine

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	1549	1539	1249	1248	1564	1560	1272	1277	1567	1554	1274	1279
20	1540	1533	1242	1246	1562	1557	1271	1277	1557	1550	1270	1278
40	1536	1531	1236	1241	1560	1555	1270	1275	1552	1546	1268	1276
60	1533	1530	1231	1233	1559	1554	1270	1275	1550	1543	1267	1273
100	1532	1528	1230	1231	1558	1552	1269	1273	1548	1540	1263	1271
150	1531	1527	1228	1230	1557	1551	1268	1273	1543	1536	1260	1269
200	1530	1524	1225	1227	1555	1550	1268	1271	1538	1530	1255	1261

Versuchsgruppe: VG 3

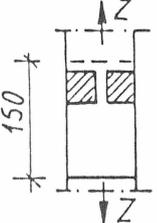
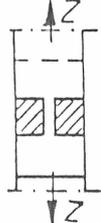
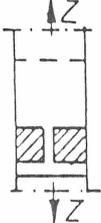
Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt

Vorspannmoment: 100 %

Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Klemmen- lage 				Klemmen- lage 				Klemmen- lage 			
	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 3 unbel. [μD]	Klemme 3 bel. [μD]	Klemme 4 unbel. [μD]	Klemme 4 bel. [μD]	Klemme 3 unbel. [μD]	Klemme 3 bel. [μD]	Klemme 4 unbel. [μD]	Klemme 4 bel. [μD]	Klemme 3 unbel. [μD]·2	Klemme 3 bel. [μD]·2	Klemme 4 unbel. [μD]·2	Klemme 4 bel. [μD]·2
0	/								1199	1197	1145	1141
20					1193	1193	1135	1139				
40					1178	1178	1113	1115				
60					1172	1173	1110	1111				
100					1169	1170	1108	1109				
150					1165	1164	1105	1106				
200					1161	1161	1102	1103				

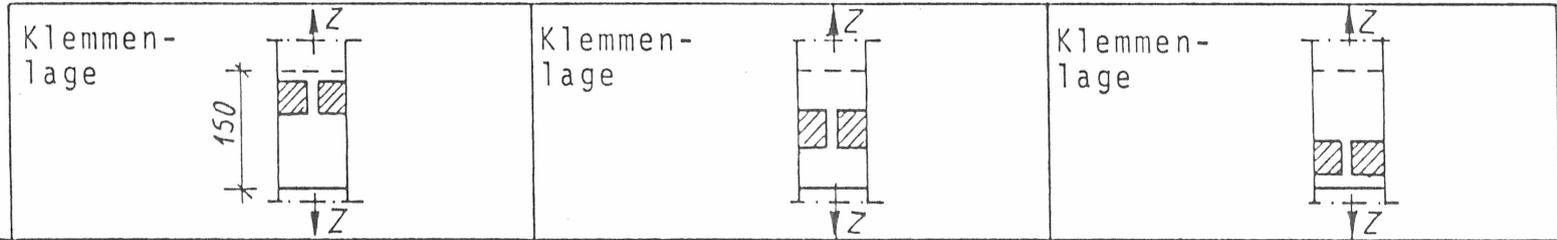
Versuchsgruppe: VG 3

Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$			
	Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	1195	1181	1205	1190	1292	1290	1283	1281	1314	1303	1295	1291
20	1119	1123	1145	1156	1288	1288	1280	1280	1290	1297	1282	1284
40	1270	1279	1274	1281	1285	1285	1279	1280	1282	1288	1276	1277
60	1259	1263	1269	1271	1283	1282	1279	1278	1275	1279	1271	1272
100	1252	1254	1265	1266	1280	1280	1278	1277	1270	1273	1269	1269
150	1249	1252	1262	1263	1279	1278	1277	1276	1264	1268	1264	1264
200	1243	1243	1259	1259	1277	1276	1276	1275	1259	1262	1261	1261

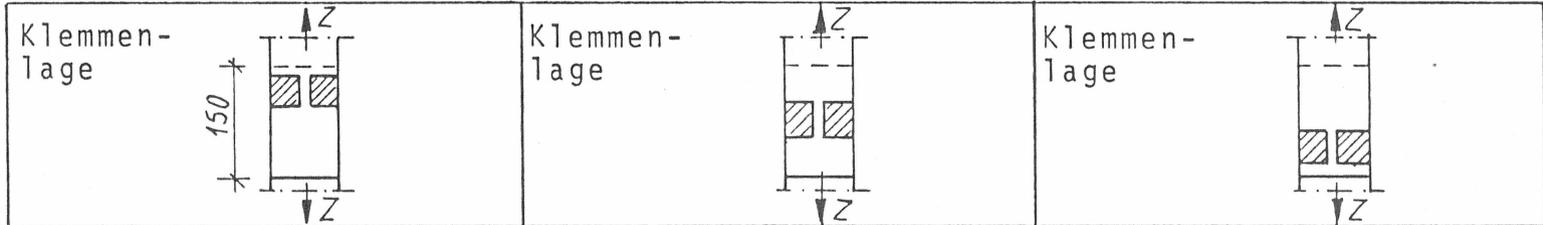
Versuchsgruppe: *VG4*

Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: *Peine*

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: *farbbehandelt* Vorspannmoment: *70 %*



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [μD]-2	bel. [μD]-2	unbel. [μD]-2	bel. [μD]-2	unbel. [μD]-2	bel. [μD]-2	unbel. [μD]-2	bel. [μD]-2	unbel. [μD]-2	bel. [μD]-2	unbel. [μD]-2	bel. [μD]-2
0	799	803	823	810	801	802	798	757	799	808	830	813
20	803	803	802	801	798	802	741	762	800	807	798	791
40	803	803	791	790	799	800	719	717	798	803	789	783
60	802	803	787	785	799	801	702	700	796	802	780	773
100	801	802	782	779	798	800	680	675	794	801	769	763
150	801	801	777	775	798	800	650	654	795	799	760	754
200	800	801	772	770	798	799	641	636	794	798	752	746

Versuchsgruppe: VG4

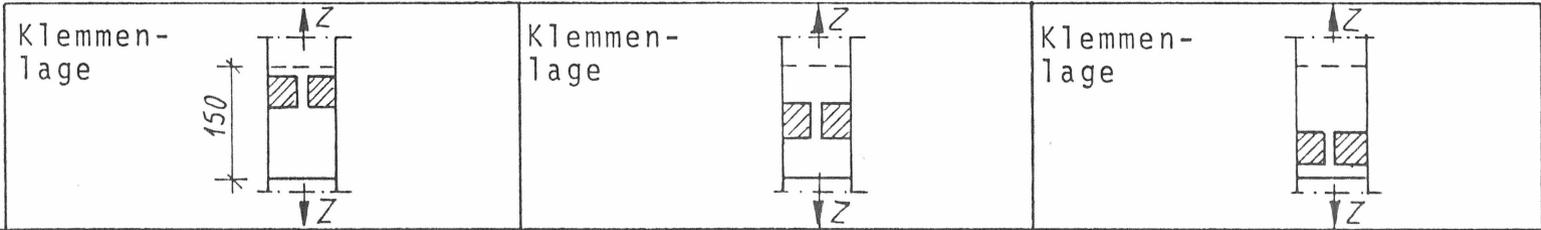
Zugkraft $Z = 9,2 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Peine

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt

Vorspannmoment: 70 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 70 \text{ mm}$			
	Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2		Klemme 1		Klemme 2	
	unbel. [µD]/2	bel. [µD]/2	unbel. [µD]/2	bel. [µD]/2	unbel. [µD]/2	bel. [µD]/2	unbel. [µD]/2	bel. [µD]/2	unbel. [µD]/2	bel. [µD]/2	unbel. [µD]/2	bel. [µD]/2
0	898	885	899	898	924	911	928	931	914	905	922	930
20	887	880	892	894	911	907	925	930	908	900	912	921
40	882	876	890	890	909	899	924	930	906	899	911	919
60	878	872	887	889	906	896	922	930	905	899	910	917
100	876	868	884	886	903	891	920	929	905	896	910	918
150	873	863	880	883	896	889	919	928	904	894	908	918
200	872	864	878	880	895	886	917	920	903	896	907	912

Versuchsgruppe: VG4

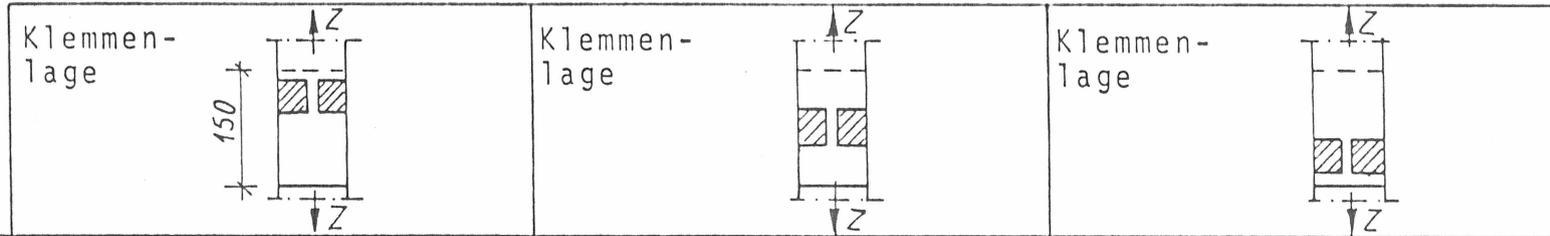
Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt

Vorspannmoment: 80 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 16 \text{ mm}$			
	Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4		Klemme 3		Klemme 4	
	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2	unbel. [μD]/2	bel. [μD]/2
0	1159	1157	890	889	1226	1222	956	946	1234	1226	943	937
20	1155	1155	888	889	1212	1214	938	943	1217	1218	931	933
40	1152	1152	886	886	1207	1208	932	935	1213	1213	928	929
60	1150	1150	886	886	1203	1203	929	930	1209	1210	925	926
100	1148	1148	884	885	1196	1196	924	924	1205	1205	922	923
150	1147	1146	884	884	1187	1193	915	922	1200	1200	920	920
200	1146	1146	883	883	1183	1183	912	914	1197	1197	917	917

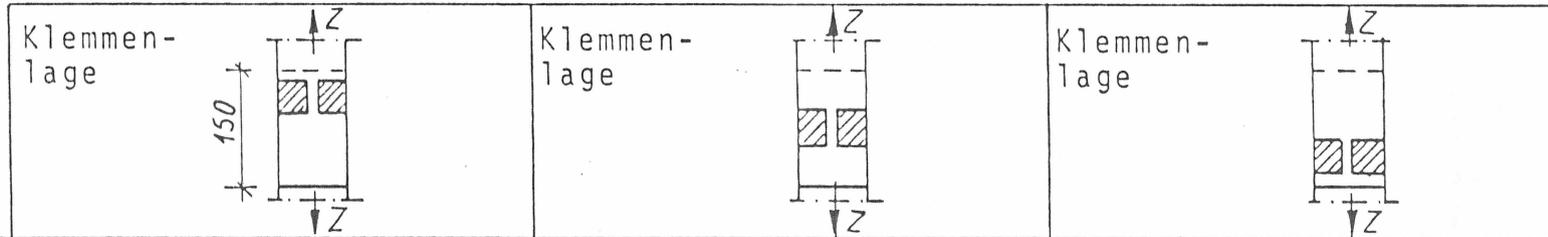
Versuchsgruppe: VG4

Zugkraft $Z = 4,6 \text{ kN}$

Verwendeter Klemmentyp: Hünnebeck

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 80 %



Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$				Versuchsbezeichnung: $l_K = 40 \text{ mm}$			
	Klemme 3 unbel. [μD]·2		Klemme 4 unbel. [μD]·2		Klemme 3 unbel. [μD]·2		Klemme 4 unbel. [μD]·2		Klemme 3 unbel. [μD]·2		Klemme 4 unbel. [μD]·2	
	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2	bel. [μD]·2
0	932	930	949	946	950	940	967	960	960	950	965	962
20	925	927	942	942	930	931	956	958	940	943	954	955
40	917	922	935	939	919	919	951	954	930	931	948	949
60	912	915	932	933	914	914	949	950	925	927	946	946
100	910	910	930	930	909	909	946	948	921	922	943	943
150	905	907	927	928	905	905	944	944	917	917	940	941
200	900	903	925	925	902	902	942	943	913	914	937	938

Versuchsgruppe: VG 5 Zugkraft = 50 kN Verwendeter Klemmentyp: $l_K: 16 \text{ mm}$
 Versuchstyp: "Maulaufreißen" Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100%

		Versuchsbezeichnung: HM 16.1							Versuchsbezeichnung: HM 16.2							Versuchsbezeichnung: HM 16.3						
		Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)		
Klemme:	Lasthöhe [kN]	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	Umrechng. in [kN]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	Umrechng. in [kN]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. [µD]·2	Umrechng. in [kN]·2
3	0	0,06	1051	0,03	459	0,04	0	0	0,01	1089	0,07	829	0,05	0	0	0,04	1070	0,01	653	0,04	0	0
	15	"	1027	0,00	510	0,12	208	8,6	0,01	1101	0,06	849	0,26	110	4,5	0,04	1105	0,00	716	0,14	244	10,1
	35	"	1010	0,08	816	0,52	685	28,2	0,01	1195	0,06	977	0,56	608	25,1	0,04	1229	0,00	943	0,46	737	30,4
	50	0,19	1360	0,30	1256	0,70	1116	46,0	0,08	1329	0,09	1210	0,74	1024	43,0	0,08	1400	0,06	1213	0,65	1147	47,3
4	0	0,02	1142	0,04	342	0,05	0	0	0,01	1177	0,06	894	0,07	0	0	0,01	1226	0,06	811	0,01	0	0
	15	"	1144	0,04	418	0,21	250	10,3	0,01	1204	0,06	930	0,29	202	8,3	0,01	1233	0,06	849	0,12	175	7,2
	35	"	1190	0,20	843	0,66	770	31,8	0,02	1302	0,08	1081	0,64	730	30,1	0,01	1329	0,06	1036	0,39	599	24,7
	50	0,12	1438	0,44	1295	0,89	1189	49,0	0,07	1423	0,10	1305	0,95	1134	46,8	0,06	1479	0,06	1275	0,62	962	39,7

Versuchsgruppe: VG 5 Zugkraft = 50 kN Verwendeter Klemmentyp: $r_K: 40 \text{ mm}$
 Versuchstyp: "Maulaufreißen" Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100%

		Versuchsbezeichnung: HM 40.1							Versuchsbezeichnung: HM 40.2							Versuchsbezeichnung: HM 40.3						
		Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)		
Klemme:	Lasthöhe [kN]	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	Umrechng. in [kN]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	Umrechng. in [kN]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	gesensener Weg u [mm]	gesensene Dehng. [μD]·2	Umrechng. in [kN]·2
3	0	0,05	1138	0,07	1068	0,00	0	0	0,01	1150	0,05	1070	0,02	0	0	0,03	1096	0,04	1015	0,03	0	0
	15	"	1153	"	1079	0,10	263	10,8	"	1147	"	1079	0,04	280	11,5	"	1088	"	1021	0,08	236	9,7
	35	"	1184	"	1117	0,47	792	32,7	"	1164	"	1100	0,33	694	28,6	"	1105	"	1039	0,44	781	32,2
	50	"	1265	"	1232	0,66	1195	49,3	"	1185	"	1133	0,59	1110	45,8	"	1110	"	1053	0,65	1202	49,6
4	0	0,06	1368	0,06	1317	0,00	0	0	0,05	1380	0,05	1287	0,02	0	0	0,00	1384	0,01	1311	0,03	0	0
	15	"	1371	"	1324	0,01	248	10,2	"	1379	"	1294	0,05	252	10,4	"	1383	"	1320	0,04	107	4,4
	35	"	1388	"	1340	0,03	769	31,7	"	1381	"	1310	0,28	778	32,1	"	1397	"	1342	0,24	577	23,8
	50	"	1417	"	1379	0,03	1158	47,8	"	1388	"	1330	0,28	1179	48,6	"	1435	"	1394	0,47	973	40,1

Versuchsgruppe: VG 5 Zugkraft = 50 kN Verwendeter Klemmentyp: $l_k: 16 \text{ mm}$
 Versuchstyp: "Maulaufreißen" Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100%

		Versuchsbezeichnung: PM 16.1							Versuchsbezeichnung: PM 16.2							Versuchsbezeichnung: PM 16.3						
		Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)		
Klemme:	Lasthöhe /kN/	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	Umrechng. in [kN]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	Umrechng. in [kN]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	gemessener Weg u/mm/	gemessene Dehng. [μD]/2	Umrechng. in [kN]/2
1	0	0,045	1072	0,11	1066	0,21	0	0	0,12	1330	0,13	1183	0,20	0	0	0,07	1337	0,07	1211	0,13	0	0
	15	0,045	1069	"	1066	0,53	186	12,2	"	1322	"	1180	0,48	166	10,9	"	1332	"	1210	0,33	160	10,5
	35	0,045	1074	"	1078	0,91	461	30,3	"	1299	"	1187	0,84	421	27,7	"	1317	"	1207	0,74	463	30,5
	50	0,05	1116	"	1121	1,15	668	43,9	"	1266	"	1219	1,09	626	41,2	"	1279	"	1211	0,90	698	45,9
2	0	0,07	857	0,09	847	0,09	0	0	0,09	921	0,11	745	0,18	0	0	0,08	974	0,10	677	0,11	0	0
	15	0,07	858	"	803	0,56	173	11,4	"	928	"	735	0,32	134	8,8	0,08	964	"	766	0,50	220	14,47
	35	0,07	853	"	805	1,14	461	30,3	"	886	"	747	0,75	448	29,5	0,08	926	"	781	0,97	550	36,2
	50	0,08	930	0,095	935	1,33	653	42,9	0,10	885	"	861	1,03	655	43,1	0,10	908	"	838	1,21	770	50,6

Versuchsgruppe: VG 5 Zugkraft = 50 kN Verwendeter Klemmentyp: $l_K: 70$ mm
 Versuchstyp: "Maulaufreißen" Oberfläche: farbbehandelt Vorspannmoment: 100%

		Versuchsbezeichnung: PM 70.1							Versuchsbezeichnung: PM 70.2							Versuchsbezeichnung: PM 70.3						
		Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)			Lastwechsel: 0		Lastwechsel: 200		Wege u. Dehnungen ohne Vorspannung (zur Bestimmung von c)		
Klemme:	Lasthöhe [kN]	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	Umrechng. in $[kN] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	Umrechng. in $[kN] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	gemessener Weg u [mm]	gemessene Dehng. $[\mu D] \cdot 2$	Umrechng. in $[kN] \cdot 2$
1	0	0,04	1307	0,06	1255	0,23	0	0	0,05	1333	0,10	1269	0,03	0	0	0,07	1354	0,08	1324	0,01	0	0
	15	"	1316	"	1263	0,55	180	11,8	"	1334	"	1273	0,22	152	10,0	"	1360	"	1329	0,13	111	7,3
	35	"	1320	"	1278	0,96	482	31,7	"	1350	"	1289	0,68	478	31,4	"	1375	"	1342	0,49	409	26,9
	50	"	1347	"	1302	1,021	704	46,3	"	1355	"	1305	0,90	693	45,6	"	1388	"	1359	0,67	653	43,0
2	0	0,06	1113	0,08	1066	0,20	0	0	0,04	1141	0,04	1091	0,21	0	0	0,07	1154	0,07	1108	0,40	0	0
	15	"	1124	"	1075	0,66	200	13,2	"	1149	"	1100	0,46	159	10,5	"	1164	"	1118	0,69	177	11,6
	35	"	1145	"	1095	1,07	512	33,7	"	1160	"	1117	0,85	488	32,1	"	1175	"	1133	1,23	493	32,4
	50	0,07	1157	"	1118	1,19	755	49,7	"	1174	"	1138	1,04	727	47,8	"	1191	"	1152	1,44	702	46,2

Lastwechsel: 2000

Zugkraft: 9,2 kN

Verwendeter Klemmentyp: Peine, $l_K=16$ mm

Versuchstyp: Scherversuch

Oberfläche: farbbehandelt

Vorspannmoment: 100%

Anzahl der erfolgten Lastwechsel	Klemme 1		Klemme 2	
	unbelastet $[\mu D] \cdot 2$	belastet $[\mu D] \cdot 2$	unbelastet $[\mu D] \cdot 2$	belastet $[\mu D] \cdot 2$
0	1062	1020	721	708
400	995	995	649	656
800	980	977	617	634
1200	970	967	602	619
1600	961	960	590	609
2000	953	952	582	599