

Einfluß einer Zug-Normalkraft auf die Verformbarkeit ausgesteifter Kopfplattenanschlüsse

T 2234

T 2234

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

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. EINLEITUNG	
1.1 Allgemeines	1
1.2 Literaturlauswertung	2
2. VERSUCHSPROGRAMM UND DATEN DER VERSUCHSKÖRPER	
2.1 Allgemeiner Versuchsablauf	4
2.2 Verwendete Schrauben	6
2.3 Geometrische Aufmessung der Versuchsträger	7
3. VERSUCHSAUFBAU UND MESSVERFAHREN	
3.1 Prüfanlage und Prüfeinrichtung	8
3.2 Messung der Zug-Normalkraft	11
3.3 Verformungsmessungen	12
4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	
4.1 Belastungssystem und Anordnung der Meßstellen	13
4.2 Belastungsweise und Dehnungsgeschwindigkeit	15
4.3 Auswertung der Meßdaten	17
5. MESSERGEBNISSE	
5.1 Lastverformungskurven	18
5.2 Diskussion der Meßergebnisse	26
LITERATURVERZEICHNIS	32

ANLAGEN

- 1 - 3 Zeichnungen der Versuchsträger
- 4 - 7 Prüfzeugnisse der Schrauben
- 8 - 9 Ansichten des Versuchsaufbaus
- 10 - 11 Ergebnisse der Aufmessung der Prüfkörper
- 12 Querschnittswerte der Prüfkörper
- 13 Meßschrieb von Versuch Nr. 13 (Beispiel)
- 14 - 31 $M-\Phi_{ges}$ -Kurven der Versuche Nr. 1 - 18
Lastverformungskurven
- 32 - 49 Meßergebnisse der induktiven Wegaufnehmer,
berechnete Winkelverdrehungen und Spaltöffnungswinkel

1. EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Das Stabilitätsverhalten und die Traglast seitlich verschieblicher Rahmentragwerke und Systeme ist in starkem Maße von der Nachgiebigkeit der Anschlüsse und Stöße und damit von deren Momenten-Verdrehungsbeziehung ($M-\phi$) abhängig. Gemäß EC 3 [29], Kap. 6.4.2.3, ist die Verwendung von Semi-rigid-joints möglich, wenn durch die Verbindung die berechneten Momente und Kräfte übertragen werden können. Bei Kenntnis der Momenten-Rotationsbeziehung der verwendeten Anschlüsse und unter Berücksichtigung der Wechselwirkung von Schnittgrößen und Verformungen der Anschlüsse kann die Bemessung nach Theorie II. Ordnung vorgenommen werden.

In der Literatur finden sich zahlreiche Berichte über Versuche, bei denen die $M-\phi$ -Beziehung für verschiedene Anschlußkonstruktionen untersucht wurde. Es handelte sich jedoch bei allen bisherigen Versuchen um Untersuchungen des Verformungsverhaltens der Anschlüsse und Stöße unter ausschließlicher Wirkung von Moment oder Moment und zugeordneter Querkraft. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, den Einfluß einer Normalkraft auf das $M-\phi$ -Verhalten zu untersuchen.

Ein Aspekt der durchgeführten Versuche war auch die Frage, ob bei der Einwirkung einer zusätzlichen Normalkraft noch der Ansatz einer Federkonstanten vertretbar ist.

1.2 Literaturlauswertung

In dem Maße, wie Stirnplattenverbindungen in der Praxis eine breite Anwendung fanden, wurden auch eine Anzahl von Versuchen durchgeführt, die Auskunft über die Traglast und das Momenten-Rotationsverhalten geben sollten. Von Bedeutung für den deutschsprachigen Raum waren dabei besonders die von Steinhardt/Möhler durchgeführten "Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben im Stahlbau" [1]. Dort wird im III. Teil über Versuche an biegesteifen Stirnplattenverbindungen der Profilreihen I (n. DIN 1025, Teil 1) und IPB (HE-B) berichtet.

Der vorgestellte Versuchsaufbau, der über Dehnungsmessungen in Höhe der Flansche eine direkte Ermittlung der Rotation des Anschlusses ermöglicht, wurde für weitere Untersuchungen, z. B. [7],[17] übernommen und im wesentlichen auch für das hier beschriebene Forschungsvorhaben verwendet.

Hinsichtlich der Auswertung und der Ermittlung der Dreh-Federkonstanten sind, vor allem im Hinblick auf die Verwendung in seitlich verschieblichen Rahmentragwerken, einige Anmerkungen zu machen. Die in den Karlsruher Versuchen verwendeten Stirnplatten sind im Vergleich zu den in [23] typisierten Anschlüssen relativ dick. Die Tatsache, daß sich der Spaltöffnungswinkel der in [1] geprüften Stirnplattenverbindungen bis zum 1,0-fachen zulässigen Trägermoment (bis $1,0 P_{Zul}$) annähernd proportional zur aufgetragten Belastung vergrößert hat, läßt nicht den Schluß zu, daß dieses auch für die typisierten Anschlüsse gilt, da der "Spaltöffnungswinkel", wie schon in [1] ausgeführt, in erster Linie von der Steifigkeit der Stirnplatten abhängt.

Die Werte c_0 wurden aus den Differenzen zwischen den gemessenen Ist- und gerechneten Soll-Durchbiegungen bei durchlaufender Biegesteifigkeit ermittelt. Unbefriedigend ist dabei, daß hierzu die entsprechenden Werte für die Laststufen $0,8 P_{Zul}$, $0,9 P_{Zul}$ und P_{Zul} gemittelt wurden. Es zeigt sich nämlich in einigen der abgebildeten Diagrammen, daß sich Querlast und Durchbiegung im Bereich zwischen $1,0 P_{Zul}$ und $1,5 P_{Zul}$ nicht mehr proportional vergrößern. Für die Ermittlung der Gesamtstabilität eines seit-

lich verschieblichen Rahmentragwerkes mit Stirnplattenstößen führt daher die Verwendung der in [2] wiedergegebenen c_{φ} -Werte zu Ergebnissen, die bei hoher Ausnutzung des Anschlusses nicht auf der sicheren Seite liegen. Zudem wurden in [2] keine einschränkenden Angaben zur Dicke der Stirnplatten gemacht.

Eine Aussage über das Anschlußverhalten bei Einwirkung einer zusätzlichen Zug-Normalkraft läßt das Diagramm in [2] nicht zu.

An der Universität Innsbruck wurden die elastisch-plastischen Nachgiebigkeiten geschweißter, steifenloser Rahmenknoten unter Momentenbeanspruchung untersucht [3,4,5,7,8]. In einer Reihe von Grundversuchen wurden elastisch-plastische Federkennwerte c (w) für die Profilreihen IPE und HEB ermittelt. In weiteren Versuchsreihen wurden außerdem die Federkennlinien symmetrischer Stützen-Riegel-Kombinationen unter symmetrischer Belastung und einseitiger Stützen-Riegel-Anschlüsse ermittelt.

In Kanada [20] wurden Momenten-Verdrehungsbeziehungen für sieben verschiedene Stützen-Riegel-Verbindungen untersucht. Es werden Funktionen und Konstanten für die Anschlußverdrehung (moment-rotation-function) angegeben, die anhand veröffentlichter Versuchsergebnisse aus der Literatur überprüft worden sind. Ihre Sensibilität ist in [9] überprüft worden.

Von weiteren weltweiten Versuchen zur Ermittlung der $M-\phi$ -Beziehung für verschiedene Anschlußtypen wird in [10-16] berichtet, wobei in Einzelfällen auch Lastzyklen durchlaufen wurden [13,19].

Die Untersuchung des Einflusses einer Zug-Normalkraft fehlt im Fachschrifttum.

2. VERSUCHSPROGRAMM UND DATEN DER VERSUCHSKÖRPER

2.1 Allgemeiner Versuchsablauf

Eine Zusammenstellung der durchgeführten Versuche zeigt die Tafel 2.1. Die äußere Querlast wurde monoton im Laufe des Versuchs von 0 bis F_{Gr} , der Belastungsgrenze, gesteigert. Die Belastungsgrenze ergab sich aus der notwendigen Begrenzung der auftretenden Verformungen. Für die Höhe der Zug-Normalkraft wurden drei verschiedene Laststufen gewählt.

lfd. Nr.	Profil	Stoß	Querlast	Zugkraft
			F	N/Npl
1	HE 200 A	nicht bündig IH 3A M20	$0 \leq F \leq F_{Gr, 1.1}$	0
2			$0 \leq F \leq F_{Gr, 1.2}$	0,2
3			$0 \leq F \leq F_{Gr, 1.3}$	0,4
4		bündig IH 1A M20	$0 \leq F \leq F_{Gr, 2.1}$	0
5			$0 \leq F \leq F_{Gr, 2.2}$	0,2
6			$0 \leq F \leq F_{Gr, 2.3}$	0,4
7	HE 260 A	nicht bündig IH 3A M20	$0 \leq F \leq F_{Gr, 3.1}$	0
8			$0 \leq F \leq F_{Gr, 3.2}$	0,2
9			$0 \leq F \leq F_{Gr, 3.3}$	0,4
10		bündig IH 1A M20	$0 \leq F \leq F_{Gr, 4.1}$	0
11			$0 \leq F \leq F_{Gr, 4.2}$	0,2
12			$0 \leq F \leq F_{Gr, 4.3}$	0,3
13	HE 300 A	nicht bündig IH 3A M24	$0 \leq F \leq F_{Gr, 5.1}$	0
14			$0 \leq F \leq F_{Gr, 5.2}$	0,2
15			$0 \leq F \leq F_{Gr, 5.3}$	0,4
16		bündig IH 1A M24	$0 \leq F \leq F_{Gr, 6.1}$	0
17			$0 \leq F \leq F_{Gr, 6.2}$	0,2
18			$0 \leq F \leq F_{Gr, 6.3}$	0,3

Tafel 2.1 : Zusammenstellung der Versuche

Die Ausbildung der Anschlüsse erfolgte nach den Angaben des DASt-DStV-Ringbuches [23]. Untersucht wurden sowohl überstehende (IH 3A) als auch bündige (IH 1A) Stirnplatten. Die Anlagen 1-3 zeigen die Durchbildung der Versuchsträger. Die Dicken der Schweißnähte weichen zum Teil von den Angaben in [23] ab, sie wurden so gewählt, daß das volle Trägermoment übertragen werden konnte.

Die eingeleitete Zug-Normalkraft beschränkte sich auf die Stufen 0, 0,2 und 0,4 N_{p1} . Bei den Versuchen mit den laufenden Nummern 12 und 18 (bündige Stirnplatten) wurde abweichend statt 0,4 nur eine Zug-Normalkraft von 0,3 N_{p1} aufgebracht, da sonst ein vollständiges Klaffen des Anschlusses schon vor dem Aufbringen der Querlast aufgetreten wäre. Die Einleitung der Längskräfte erfolgte in der Mitte der Trägerstücke, so daß davon ausgegangen werden konnte, daß sich die resultierenden Normalspannungen bis zum Anschluß verteilt hatten. Erzeugt wurden die Zugkräfte mittels einer hydraulischen Vorspannvorrichtung.

Zur Erzeugung der Momente wurden Querlasten im Abstand von 150 mm links und rechts vom Stoß über Rollen in die Träger eingeleitet. Die so erzeugte Momentenbeanspruchung wurde monoton gesteigert. Verformungsmessungen wurden während der Laststeigerung im Abstand von 2 Minuten durchgeführt, so daß der monotone Verlauf der Laststeigerung bis zum Bruch des Anschlusses nachvollzogen werden konnte.

Während der Versuche war ein X-Y-Schreiber an die Prüfzylinderanlage angeschlossen. Aufgetragen wurden die Querlasten über dem Kolbenweg der Druckzylinder. Der aufgezeichnete Meßschrieb ermöglichte eine leichte optische Kontrolle des Versuchablaufes, insbesondere des Verformungszuwachses. Ein Beispiel für einen solchen Meßschrieb ist als Anlage 13 beigelegt.

2.2 Verwendete Schrauben

Die verwendeten Schrauben entsprachen der Güte 10.9 und stammten aus vier Fertigungschargen. Verwendet wurden Schrauben M 20 x 75, M 20 x 80, M 24 x 85 und M 24 x 100. Die Anlagen 4 - 7 enthalten die Prüfzeugnisse nach DIN 50 049 mit den Schmelzanalysen des Ausgangswerkstoffes der Firma Peiner Umformtechnik GmbH. Die Prüfung beim Schraubenhersteller erfolgte an abgedrehten Proben gemäß DIN ISO 898 Teil 1.

Die hochfesten Schrauben Güte 10.9 der zu prüfenden Stirnplattenstöße wurden mit einem Drehmomentenschlüssel mit dem nach DIN 18 800 Teil 7 erforderlichen Anziehmoment angezogen.

2.3 Geometrische Aufmessung der Versuchsträger

Die geometrischen Abmessungen der Versuchsträger wurden mit Hilfe einer Schublehre auf 0,05 mm genau aufgemessen. Die Profilabmessungen wurden jeweils in der Mitte eines Trägerstückes ermittelt, wobei vorher Verunreinigungen und Anstriche entfernt wurden. Gemessen wurden die Profilhöhe h , die Flanschbreiten b , die Stegdicke s und die Flanschdicken t . In Anlage 10 sind die gemessenen Werte mit den Sollwerten verglichen worden. Die weiteren Parameter mit geringem Einfluß auf das Flächenträgheitsmoment, wie der Radius der Ausrundung, die Flanschparallelität, die Stegtausbiegung und die Stegaußermittigkeit sowie die Geradheit, wurden hinsichtlich der Einhaltung der Normvorschriften kontrolliert, bei der Ermittlung der Querschnittswerte jedoch nicht herangezogen.

Aus den Profilabmessungen wurden die vorhandenen Profilwerte für jedes Trägerstück berechnet (Anm.: zwei Trägerstücke ergeben einen Versuchskörper). Für den Radius der Ausrundung wurde der entsprechende Sollwert nach DIN 1025, Blatt 3, verwendet. Die so ermittelten mittleren Profilwerte für die Querschnittsfläche A und das Flächenträgheitsmoment I sind in Anlage 12 eingetragen worden.

Wie aus den Tabellen in der Anlage ersichtlich ist, sind die Abweichungen der Flansch- und Stegdicke im Rahmen des Erlaubten, lediglich bei den Trägerhöhen der Profile HE 200 A und HE 300 A gibt es geringe Überschreitungen der Toleranzmaße. Die Abweichungen der errechneten Profilwerte von ihren Sollwerten sind sehr gering. Für das Flächenträgheitsmoment beträgt die maximale Überschreitung +3,52 %, die betragsmäßig größte Unterschreitung -3,16 %.

Die Dicke der Stirnplatten wurde jeweils in der Mitte der vier Plattenränder gemessen und der Mittelwert als mittlere Dicke d_p berechnet. Nennenswerte Abweichung der Ist- und Sollwerte gibt es nur bei den Stirnplatten des Profils HE 300 A. Hier beträgt die vorhandene Dicke nur ca. 23,2 mm statt 25 mm (-7,2 %). Die Ergebnisse des Aufmaßes sind in Anlage 11 eingetragen.

3 VERSUCHSAUFBAU UND MESSVERFAHREN

3.1 Prüfanlage und Prüfeinrichtung

Die Versuche wurden im Belastungsrahmen des Instituts für Stahlbau der Universität Hannover durchgeführt. Die Versuchsanordnung (siehe Anlage 8 und 9) für die Versuche an den unterschiedlichen Profilen und Stirnplattenformen wurde einheitlich gewählt. Die Bilder 3.1 bis 3.4 zeigen Fotos des Versuchsaufbaus.

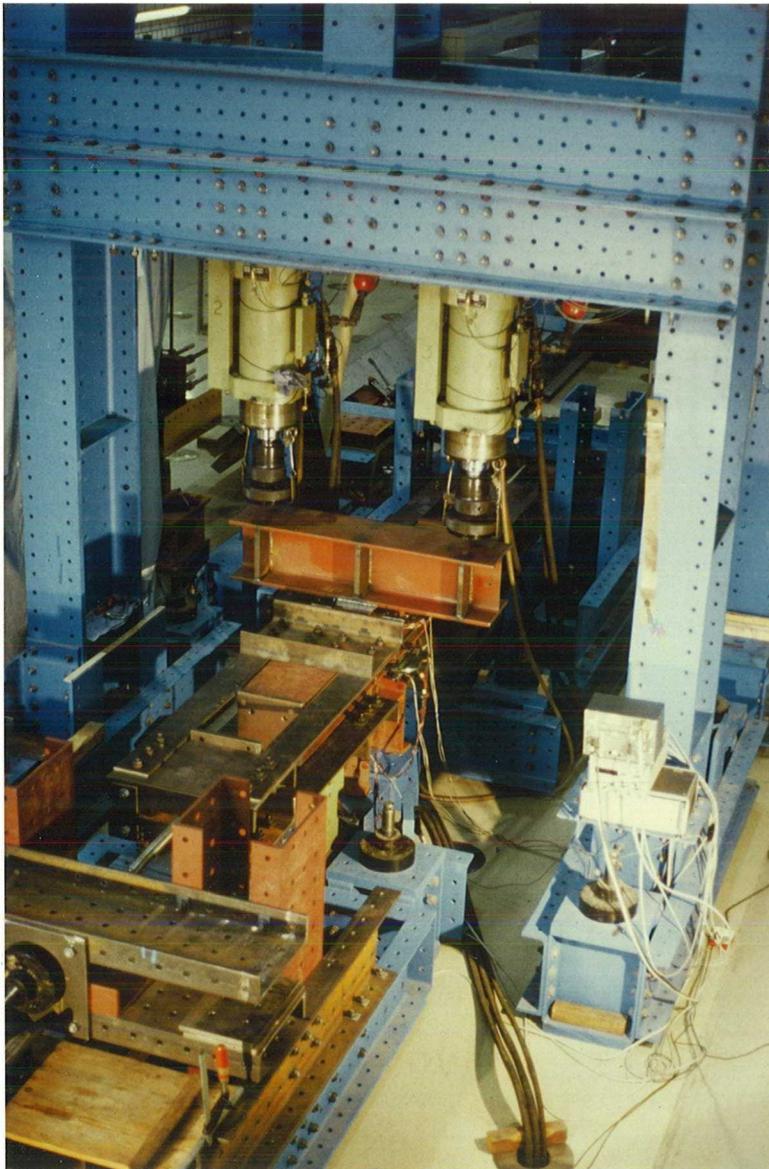


Bild 3.1: Belastungsrahmen mit Versuchsaufbau und eingebautem Prüfkörper

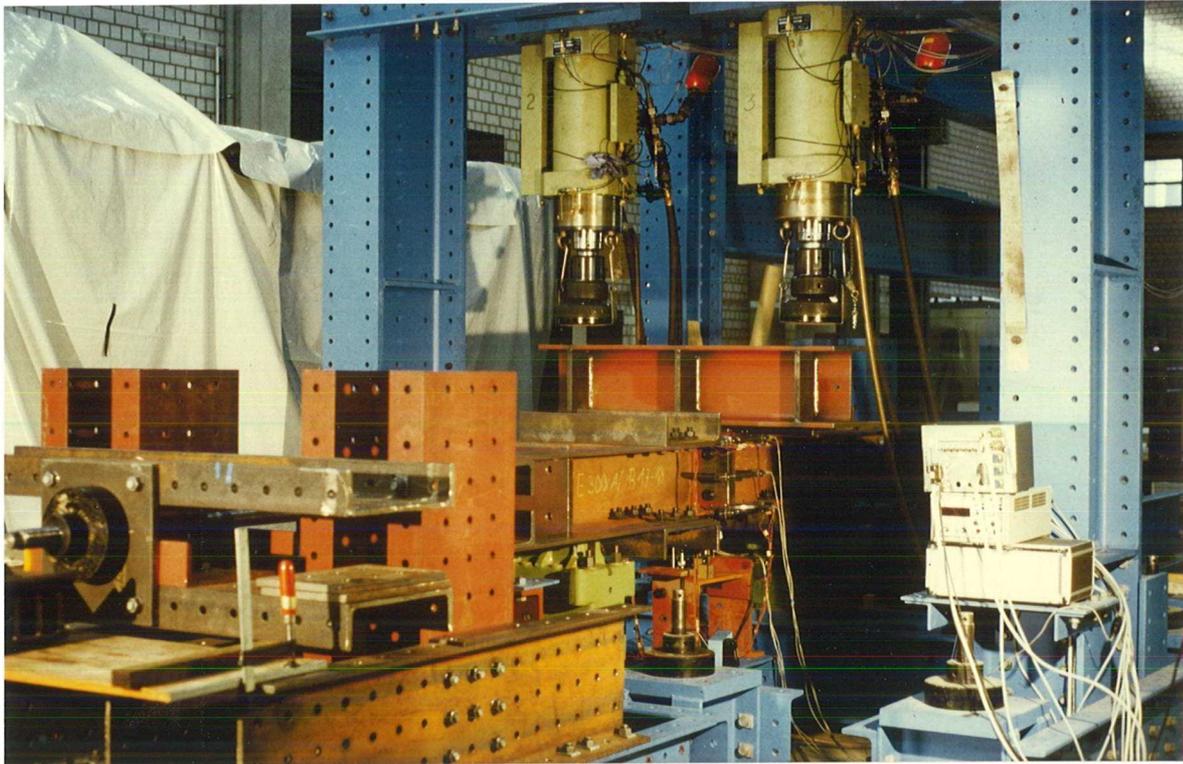


Bild 3.2: Rückansicht eines Widerlagerbocks für die Zug-Normalkraft

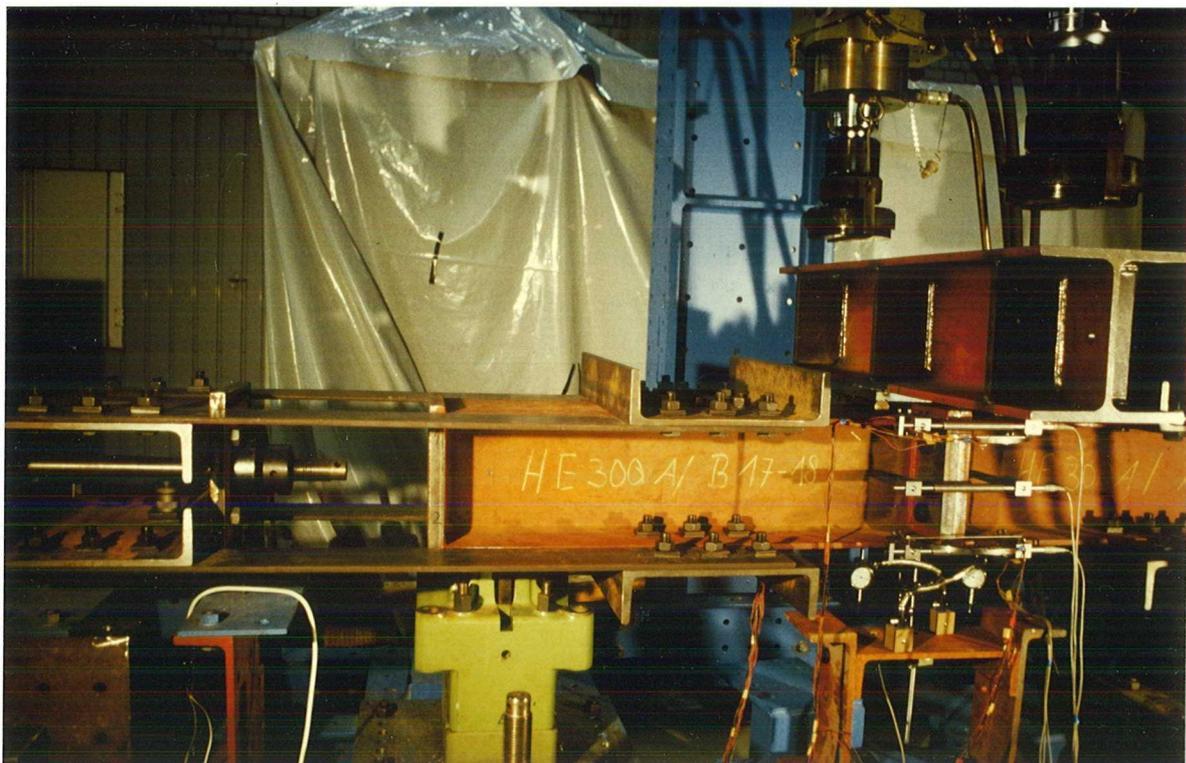


Bild 3.3: Detail der Zugvorrichtung, Befestigung der Zuglaschen am Prüfkörper, Kopplung mit den Gewindestangen

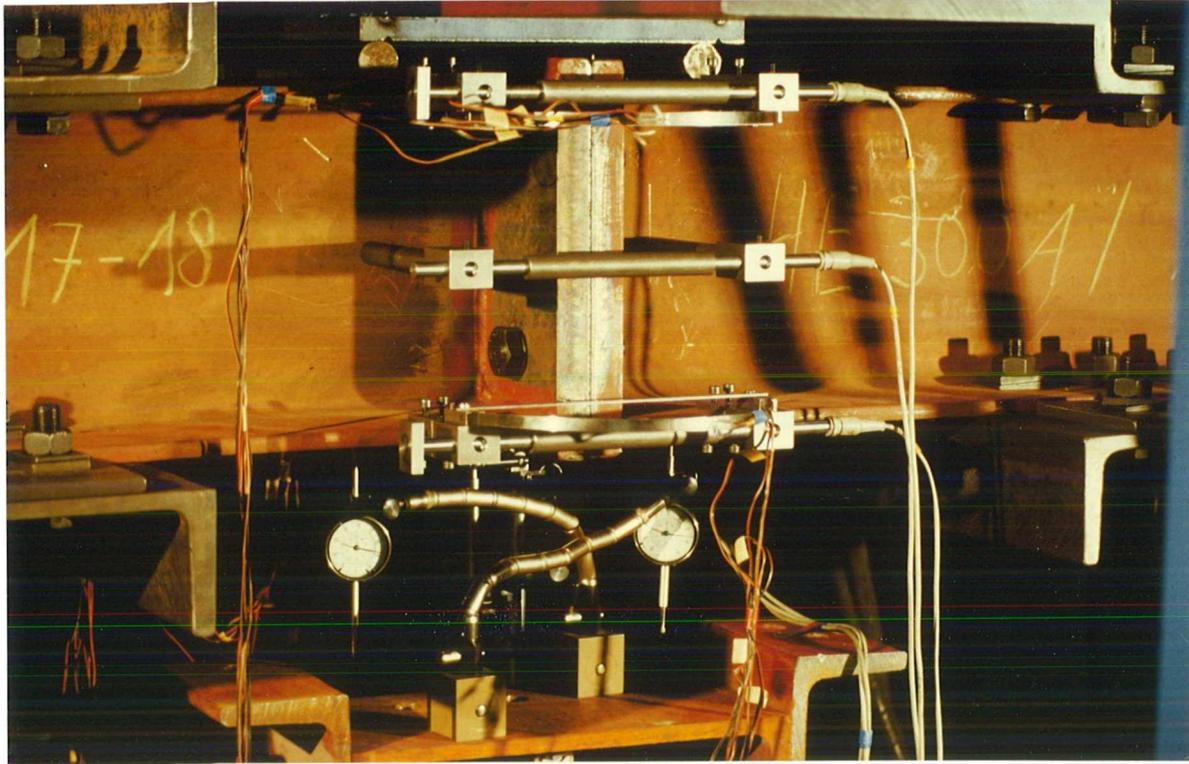


Bild 3.4: Detail der Meßvorrichtung mit eingebauten induktiven Wegaufnehmern

Die Querlast wurde mit 2 hydraulischen Druckzylindern erzeugt und über einen Querträger aufgebracht. Die maximale statische Prüflast je Zylinder beträgt 400 kN, die Steuerung der Prüfanlage erfolgte servohydraulisch. Die Prüfzylinderanlage und die zugehörige Steuereinheit wurde von der Firma MFL hergestellt und entsprechen den Anforderungen der Güteklasse I für Prüfmaschinen.

Zur digitalen Meßwertfassung wurde eine prozeßrechnergesteuerte Vielstellenmeßanlage System "Analog" der Firma Peekel Instruments GmbH benutzt. Der Prozeßrechnerteil umfaßte eine PDP 11/23 mit Peripheriegeräten. Die Meßdatenerfassung, Verarbeitung und Ausgabe wurde über ein Fortran-Meßprogramm verwaltet. Verarbeitet wurden die Meßdaten der induktiven Wegaufnehmer, der Dehnungsmessstreifen auf den zusätzlich angebrachten Bügelaufnehmern eigener Bauart, der DMS an den Gewindestangen, über die die Zugkraft aufgebracht wurde und der Kraftmessung an der Prüfzylinderanlage.

3.2 Messung der Zug-Normalkraft

Für die Messung der Zug-Normalkräfte wurden Gewindestangen der Güte 10.9 mit dem Gewindedurchmesser M 52 verwendet, die mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) präpariert wurden. Der Durchmesser des glatten Schaftes einer Gewindestange wurde dazu auf 0,01 mm genau gemessen und mit je zwei um 180° versetzten DMS beklebt. Die DMS waren zur Messung in Vollbrücke geschaltet.

Eine exakte Eichung der gesamten Zugvorrichtung war wegen der großen Abmessungen der Gewindestange nicht möglich. Bereits in schon früher am Institut durchgeführten Versuchen wurde die Meßgenauigkeit von Meßschrauben Güte 10.9 unter der Annahme des stahlbauübliche Elastizitätsmodul $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ überprüft. Die dort ermittelten Abweichungen wurden zu maximal 2 % gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können auf die hier beschriebenen Versuche übertragen werden.

Eine grobe Kontrolle dieser Annahme war durch die Anzeige des Drucks der hydraulischen Vorspannvorrichtung gegeben. Die gemessenen Zug-Normalkräfte stimmten mit den aus der Anzeige der Vorspannvorrichtung ermittelten Kräften gut überein.

3.3 Verformungsmessungen

Die Verformungen im Meßelement (siehe Bild 4.2) wurden mit induktiven Wegaufnehmern der Fa. Hottinger-Baldwin gemessen. Verwendet wurden Wegaufnehmer W10TK mit ± 10 mm Nennweg und einem Linearitätsfehler von $\leq 0,4$ % bezogen auf den doppelten Nennweg. In Höhe des oberen und unteren Flansches wurden außerdem eingeeichte "Bügelauftnehmer" eigener Herstellung angeordnet. Diese bestanden aus Metallbügeln auf die Dehnungsmeßstreifen geklebt waren. Für den vorgesehenen Meßweg wurden diese Bügelauftnehmer mit Hilfe von Genaumaßen (Genauigkeit 0,001 mm) geeicht. Die Bügelauftnehmer sollten bei Ausfall eines Wegaufnehmers Ersatzwerte liefern.

Die Trägerdurchbiegungen wurden in Stoßmitte mit einem induktiven Wegaufnehmer W20TK der Fa. Hottinger-Baldwin gemessen, mit ± 20 mm Nennweg und $\leq 0,4$ % Linearitätsfehler. An Anfang und Ende des Stoßelementes wurden Meßuhren aufgestellt mit einer Ablesegenauigkeit von 0,01 mm.

4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

4.1 Belastungssystem und Anordnung der Meßstellen

Ziel der Messungen war die Erfassung des Spaltöffnungswinkels $\Delta\Phi$, das ist im Versuch die elastisch-plastische Winkelverdrehung des Meßelementes, reduziert um die Verdrehung des ungestoßenen Balkenelements. Die Länge des Elements war für die durchgeführten Versuche mit zweimal 130 mm festgelegt worden.

Zusätzlich wurde die Durchbiegung in Trägermitte gemessen. Um die Einflüsse der Auflagerverdrehung, der Auflagersenkung sowie der Querkraftverformung zu eliminieren wurden links und rechts vom querkräftfreien Meßelement Meßuhren zur Durchbiegungsmessung aufgestellt. Die Meßuhren wurden allerdings nur zu Beginn der Versuche und nach Erreichen der Endstellung der Druckzylinder abgelesen. Die Anordnung der Meßeinrichtungen wurde gemäß Bild 4.1 vorgenommen.

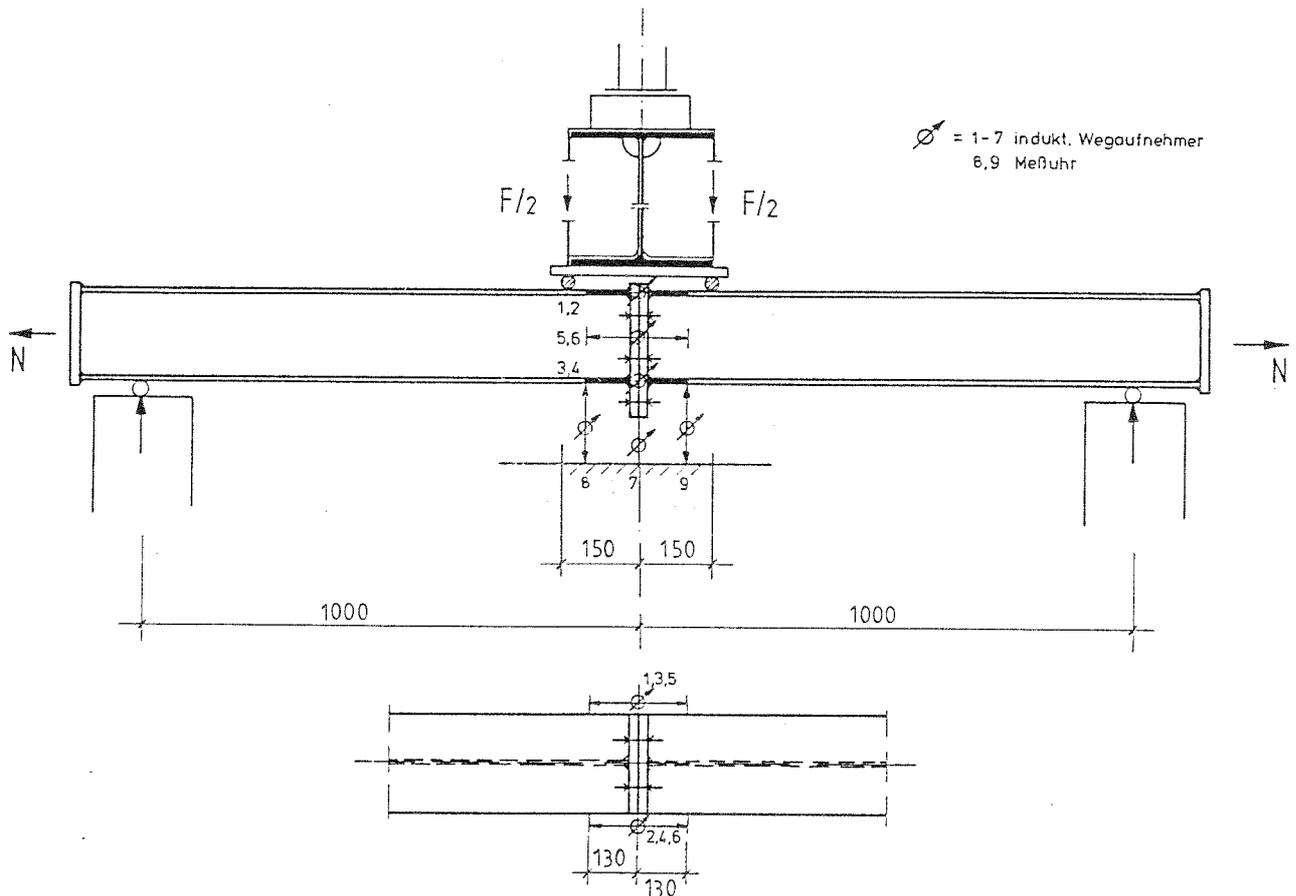


Bild 4.1: Belastungsweise und Meßstellenanordnung

Die Ermittlung des Spaltöffnungswinkels $\Delta\phi$ wurde bereits in [1] und [17] beschrieben. Da auf beiden Seiten des Stirnplattenstoßes im Druck- und Zugflanschbereich die Verschiebungen im Meßelement unter Querbelastung gemessen wurden, ergibt sich die Winkelverdrehung ϕ_{ges} aus den gemessenen Verschiebungen dividiert durch die Höhe h als Mittenabstand des oberen und unteren Wegaufnehmers. Die so errechnete Winkelverdrehung mußte um den Betrag der rechnerischen Winkelverdrehung des ungestoßenen Balkenelements reduziert werden. So ergibt sich der Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$.

Die Anordnung der induktiven Wegaufnehmer ist dem Bild 4.2 zu entnehmen. Wegen der erwarteten Nichtlinearität wurden auf halber Trägerhöhe beidseitig zwei weitere Wegaufnehmer installiert.

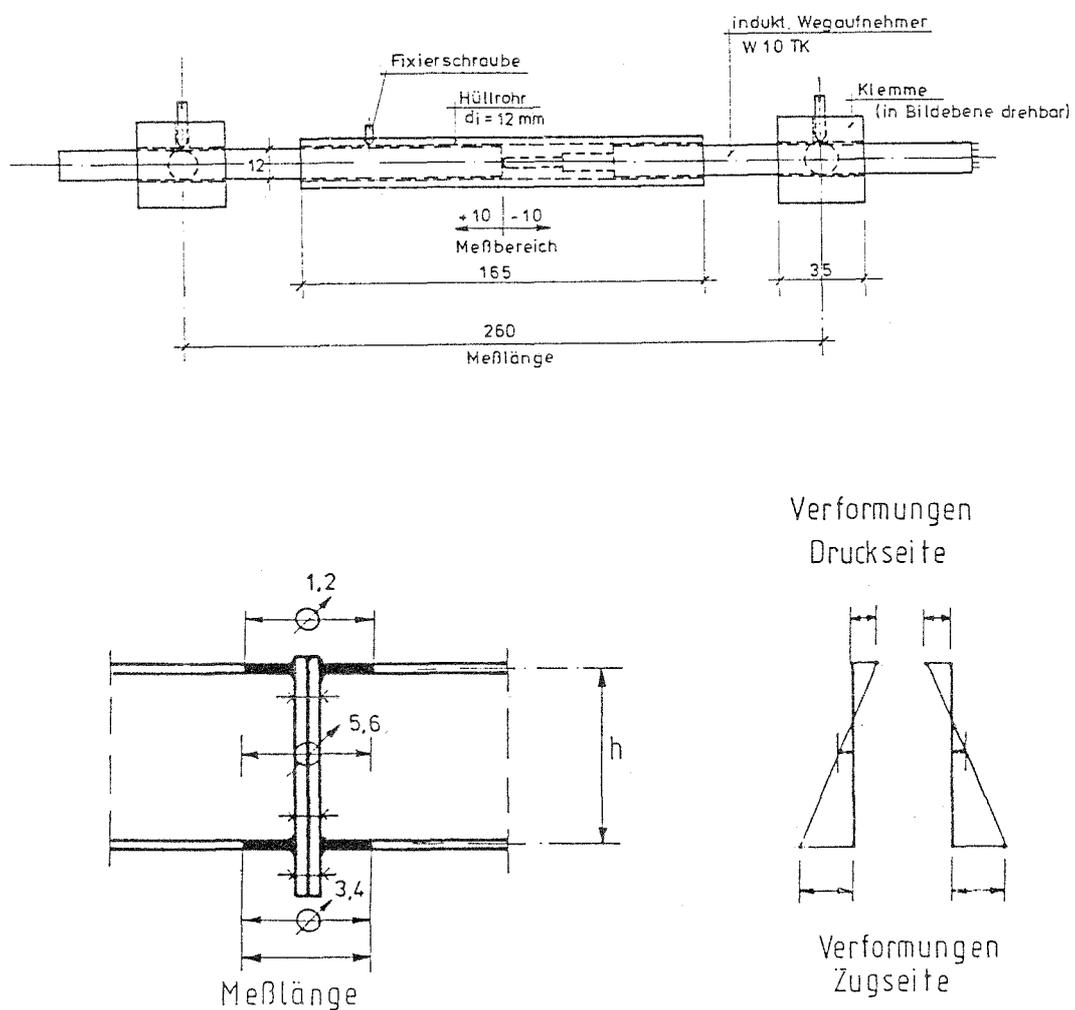


Bild 4.2: Meßelement mit Meßeinrichtungen und qualitative Darstellung der Verformungen.

4.2 Belastungsweise und Dehnungsgeschwindigkeit

Vor Beginn der Messungen wurden die Anschlüsse mehrmals bis zulässig M vorbelastet. Im Falle $N = 0$ wurde das zulässige Moment [23] entnommen. In den Fällen $N = 0,2 N_{p1}$, $0,3 N_{p1}$ bzw. $0,4 N_{p1}$ wurden die zulässigen Momente für die Schrauben so berechnet, daß die maximale rechnerische äußere Kraft der am höchsten belasteten Schraube etwa 90 % der Vorspannkraft betrug. Die Normalkraft wurde dabei als gleichmäßig auf alle Schrauben des Anschlusses verteilt angenommen.

Während der Versuche wurde die Querlast monoton gesteigert. Da die Versuche zur Begrenzung der Dehnungsgeschwindigkeit wegeregelt gefahren werden mußten, war es erforderlich den maximalen Weg der Druckzylinder vorzuschätzen. Zum Schutz der empfindlichen Meßgeräte sollte nicht bis zum Bruch der Anschlüsse belastet werden, sondern nur bis in den Bereich plastischer Verformungen, mit geringer Laststeigerung bei stark anwachsender Winkelverdrehung. Hinsichtlich der äußeren Belastung wurde dieser Bereich mit Hilfe der zulässigen Momente aus [23] abgeschätzt. Schwieriger war es den Einfluß der Zug-Normalkraft auf die Traglast des Anschlusses abzuschätzen. Durch die Vorbelastung war es möglich die zugehörigen Durchbiegungswerte grob anzugeben. Die gewählten maximalen Wege für die Druckzylinder führten zu Belastungen, die bei den 6 Versuchen ohne Zug-Normalkraft Beanspruchungen von im Durchschnitt etwa 93 % des Traglastmomentes nach [23] hervorriefen.

Von Klein [7] wurde bereits die Problematik erörtert, die durch die Abhängigkeit der Streckgrenze von der Belastungsgeschwindigkeit im Zugversuch auftritt. Er beruft sich bei seinen Festlegungen auf die Veröffentlichungen von Koch [26] und Scheer/Maier [27]. In [27] wurde in Versuchen nachgewiesen, daß für die Knicklast mittelschlanker Stäbe die statische Streckgrenze maßgebend ist. In [26] wird eine Form der Durchführung des Zugversuches angegeben, die die Ermittlung der statischen Streckgrenze bei relativ kurzer Versuchsdauer ermöglicht. Koch empfiehlt für die Durchführung des Zugversuches eine Dehnungsgeschwindigkeit bis zum Eintritt der oberen Streckgrenze von

$\dot{\epsilon}_{e1} = 0,05$ [%/min], im Bereich bleibender Dehnungen von $\dot{\epsilon}_{p1} = 0,25$ [%/min]. Durch eine Haltezeit von $t_H = 10$ [min] bei $\epsilon = 0,5$ % wird die Abschätzung der statischen Streckgrenze ermöglicht. Klein [7] orientierte sich bei seinen Versuchen mit steifenlosen geschweißten Knoten, bei denen die maßgebenden Verformungen an den Stützenstegen in Flanschhöhe auftraten, an dem in [26] angegebenen Wert von $\dot{\epsilon}_{p1} = 0,25$ [%/min].

Bei den hier beschriebenen Versuchen sind Verformungen der Stirnplatte für die Begrenzung der Dehnungsgeschwindigkeit die maßgebende Größe, da die Mehrdurchbiegung des Stoßelementes im wesentlichen aus der Stirnplattenverformung resultiert. Die Dehnungsgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{e1} = 0,05$ [%/min] in der Stirnplatte sollte während der Versuche die Obergrenze bilden.

Da aus versuchstechnischen Gründen nur eine Regelung der Kolbenwege der Druckzylinder und nicht der Dehnungen in den Stirnplatten zu realisieren war, mußten für die Begrenzung der Dehnungsgeschwindigkeit Betrachtungen für die zu erwartende Gesamtdurchbiegung der gestoßenen Träger durchgeführt werden. In die Betrachtung einbezogen wurden die elastischen Verformungen aus der Durchbiegung des ungestoßenen Balkens und der Durchsenkung des Balkens infolge elastischer Verbiegung der Stirnplatten. Die weit geringeren Verformungsanteile aus Schweißnahtverformung und Schraubenschaftlängung wurden vernachlässigt. Die Dehnungsgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}_{e1} = 0,05$ [%/min] läßt sich unter der Annahme des Elastizitätsmoduls von $E = 210.000$ [N/mm²] in eine Spannungserhöhung je Zeiteinheit umrechnen. Es ergibt sich so $\dot{\sigma} = 1,75$ [N/mm²/s]. Über eine einfache Abschätzung der Spannungen in der Stirnplatte infolge eines äußeren Momentes und die voraussichtliche Durchbiegung des Versuchsträgers unter der Einwirkung einer entsprechenden Querlast konnte ein Maß für die maximale Vorschubgeschwindigkeit der Druckzylinder gefunden werden. Die Berechnungen werden hier im einzelnen nicht wiedergegeben.

Als Vorschubgeschwindigkeit der Druckzylinder wurden einheitlich $\dot{w} = 0,0833$ [mm/min] für alle Versuche gewählt. Für diesen Wert konnte angenommen werden, daß die zuvor genannte Vorgabe für die Dehnungsgeschwindigkeit nicht überschritten würde.

4.3 Auswertung der Meßdaten

Nach der Vorspannung der Versuchsträger auf die planmäßige Zug-Normalkraft und den im Abschnitt 4.2 beschriebenen Vorbelastungen wurde im Versuch die Querlast monoton gesteigert. Es wurden kontinuierlich alle 2 Minuten die Meßwerte mit einem Meßtakt von 200 Millisekunden abgerufen. Gespeichert und verarbeitet wurden die Werte der 6 induktiven Wegaufnehmer am Meßelement, der 4 Bügelaufnehmer am Meßelement, des induktiven Wegaufnehmers zur Aufnahme der Durchbiegung in Trägermitte, der Dehnungsmeißstreifen an der Gewindestange der Zugvorrichtung und der Zylinderdruckkräfte.

Vor jedem Versuch wurde die genaue reale Länge des Meßelementes gemessen, der Mittenabstand der induktiven Wegaufnehmer und der Abstand der mittleren Wegaufnehmer vom unteren Wegaufnehmer. Unter Einbeziehung dieser Werte wurde die Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes berechnet. Aus der Querlast wurde die zugehörige Momentenbelastung errechnet.

Nach dem Erreichen des vorgegebenen Weges der Druckzylinder wurden während einer Haltezeit von $t_H = 10$ min weitere Meßwerte genommen. Da die Unterschiede der Verformungen vom Anfang bis zum Ende der Wartezeit aufgrund der vorgewählten Belastungsgeschwindigkeit sehr gering waren, wurde der Aspekt der statischen Streckgrenze [26] bei der weiteren Auswertung der Ergebnisse außer acht gelassen.

Mit den aus den Abmessungen der Walzprofile ermittelten Profilwerten wurde die Winkelverdrehung des ungestoßenen Balkenmeßelementes berechnet und von Φ_{ges} subtrahiert.

5. MESSERGEBNISSE

5.1 Lastverformungskurven

In den Anlagen 14 - 31 ist für die Versuche Nr. 1 - 18 die Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes aufgetragen worden. Um einen optischen Vergleich der Ergebnisse zu erleichtern, wurde jeweils für eine Versuchsreihe ein einheitlicher Maßstab für die Darstellung gewählt.

Die Ergebnisse der Wegmessungen mit den induktiven Wegaufnehmern sind für die Versuche Nr. 1 - 18 in den Anlagen 32 - 49 wiedergegeben. Dort sind bereits die Mittelwerte der Wege auf beiden Seiten der Träger gebildet worden. Zudem finden sich dort die berechneten Winkelverdrehungen Φ_{ges} , die rechnerische elastische Winkelverdrehung Φ_{el} für den ungestoßenen Träger und der als Differenz errechnete Spaltöffnungswinkel $\Delta\Phi$.

Mit Hilfe der Werte Φ und dem zugehörigen Moment M lassen sich für jede Laststufe ideale Federcharakteristika des Anschlusses berechnen:

$$c_{el} = M/\Delta\Phi$$

Die mit diesen Federkennwerten berechneten Durchbiegungen des Versuchsträgers wurde mit den im Versuch gemessenen Durchbiegungen verglichen. Es wurden jeweils für das höchste Moment, das im Versuch erreicht wurde, die Verformungen berechnet. Die Meßwerte für die Durchbiegung mußten jeweils noch um einem Korrekturbeiwert für die Setzungen an den Auflagern reduziert werden. Tabelle 5.1 gibt den Vergleich wieder.

Eine Schwierigkeit bei der Messung des Spaltöffnungswinkels $\Delta\Phi$ liegt darin, daß bei der Kontrolle über die Durchbiegung des Trägers Fehlerquellen durch die elastische Durchbiegung infolge Moment und Querkraft hinzukommen. Der Anteil der Verformung infolge $\Delta\Phi$ ist dabei verhältnismäßig gering, so daß die Kontrollwerte des Spaltöffnungswinkels nur als kleine Differenzen

großer Zahlen zu erhalten sind. Die in Tabelle 5.1 angegebenen Fehler für die vertikale Durchbiegung der Versuchskörper in der Mitte mit einem Mittelwert von 8,14 % und zwei "Ausreißern" von 19,4 und 27,6 % geben daher kein genaues Bild von der Genauigkeit der Ergebnisse. Aufgrund der Unzulänglichkeit der Kontrollwerte sind die Differenzen von berechneter und gemessener Durchbiegung aber akzeptabel.

Versuch lfd.Nr.	max.M [kNm]	W _{rech} [mm]	W _{gem} [mm]	W _{kor} [mm]	W _{vers} [mm]	delta w [mm]	Fehler [%]
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) (3)-(4)	(6) (5)-(2)	(7) (6)/(5)
1	98,0	6,69	7,55	0,73	6,82	0,13	1,9
2	79,3	5,12	5,95	0,53	5,42	0,30	5,5
3	62,1	4,52	4,92	0,31	4,61	0,09	2,0
4	53,3	4,44	4,95	0,54	4,41	-0,03	-0,7
5	40,4	4,52	5,22	0,55	4,67	0,15	3,2
6	23,3	4,73	5,26	0,30	4,96	0,23	4,6
7	180,8	6,72	8,50	0,63	7,87	1,15	14,6
8	130,0	4,54	5,67	0,88	4,79	0,25	5,2
9	72,5	4,66	5,83	0,96	4,87	0,21	4,3
10	81,6	2,74	4,48	1,08	3,40	0,66	19,4
11	51,1	3,24	4,11	0,59	3,52	0,28	8,0
12	24,9	1,97	2,95	0,23	2,72	0,75	27,6
13	256,0	5,53	6,55	-	6,55	1,02	-
14	223,0	5,10	5,61	0,20	5,41	0,31	5,7
15	159,7	4,77	5,35	0,22	5,13	0,36	7,0
16	141,3	3,76	4,48	0,42	4,06	0,30	7,4
17	79,2	2,78	3,16	0,01	3,15	0,37	11,7
18	40,8	1,79	2,19	0,21	1,98	0,19	9,6

Tabelle 5.1: Vergleich der rechnerischen Durchbiegung W_{rech} aus der Winkelverdrehung $\Delta\phi$ und der gemessenen Durchbiegung W_{vers}

Den Einfluß der Zug-Normalkraft auf die Verformung der Anschlüsse zeigen die Bilder 5.1 - 5.6 in denen jeweils die drei Versuche einer Profil- und Anschlußreihe aufgetragen sind. Dargestellt ist der Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ als Funktion des Anschlußmomentes M .

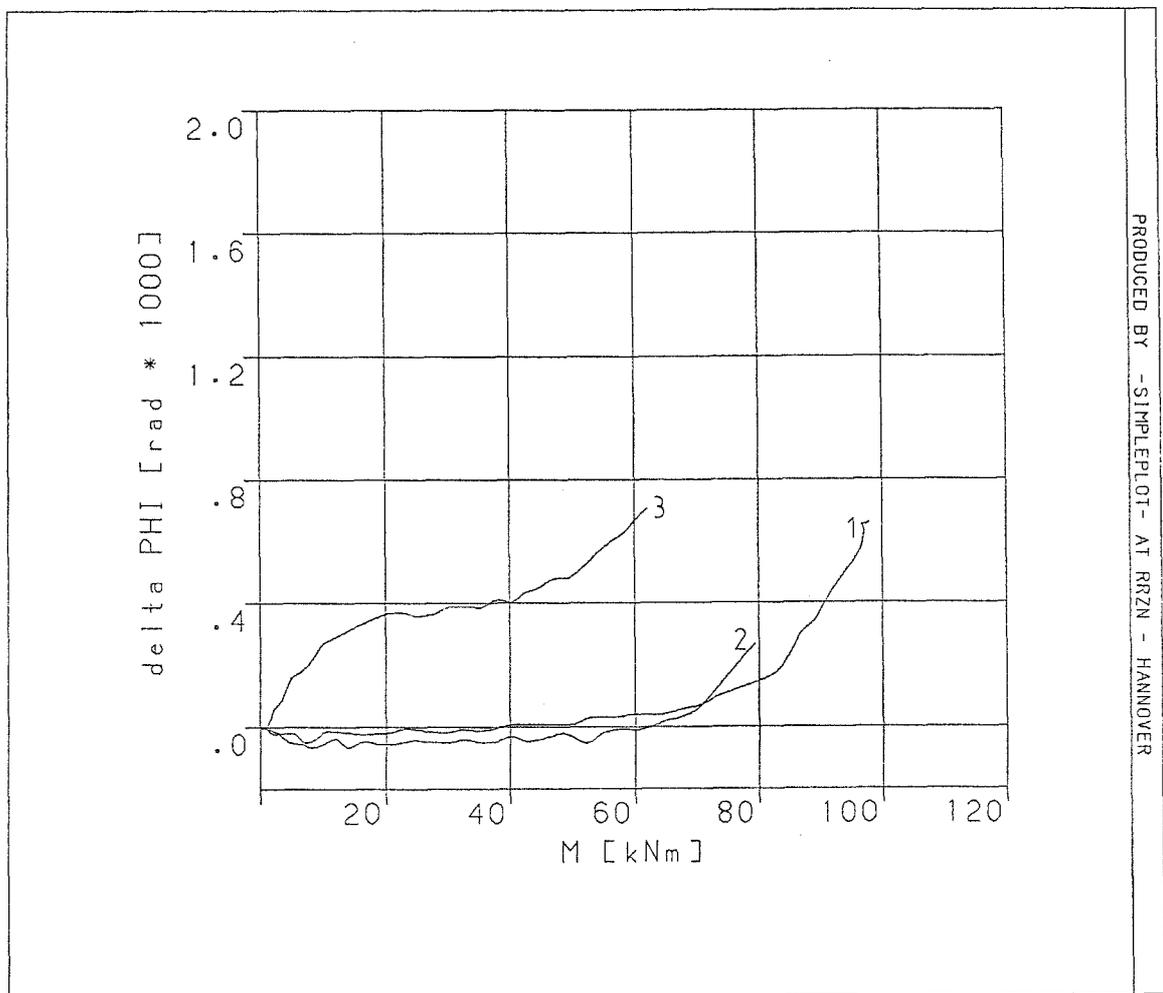


Bild 5.1: Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ als Funktion von M
 Versuche Nr. 1 - 3, HE 200 A, Anschluß IH 3A 20 20,
 nicht bündig: 1) N = 0 kN, 2) N = 257 kN, 3) N = 524 kN

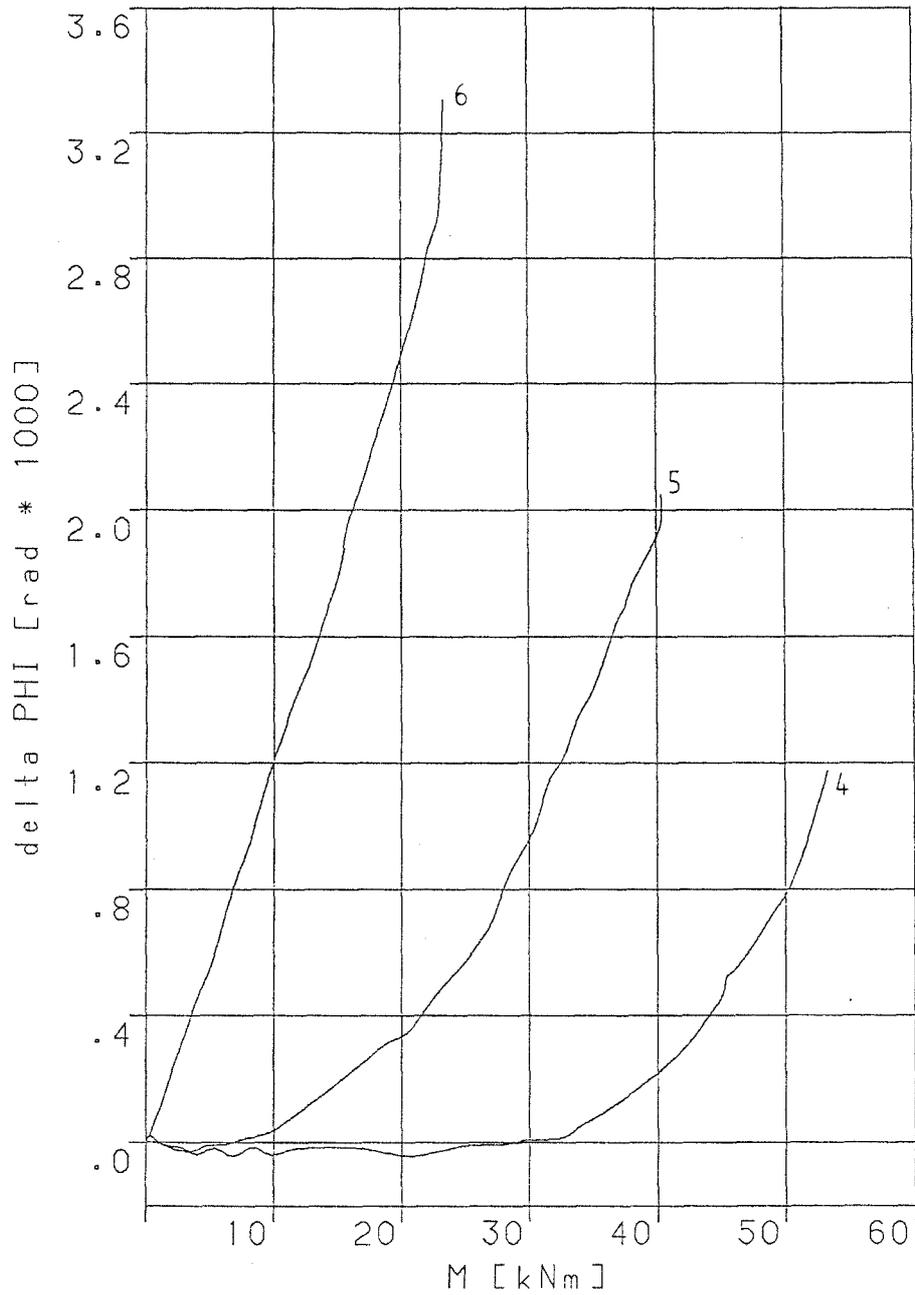


Bild 5.2: Spaltöffnungswinkel $\Delta\Phi$ als Funktion von M
 Versuche Nr. 4 - 6, HE 200 A, Anschluß IH 1A 20 20,
 bündig: 4) $N = 0$ kN, 5) $N = 256$ kN, 6) $N = 512$ kN

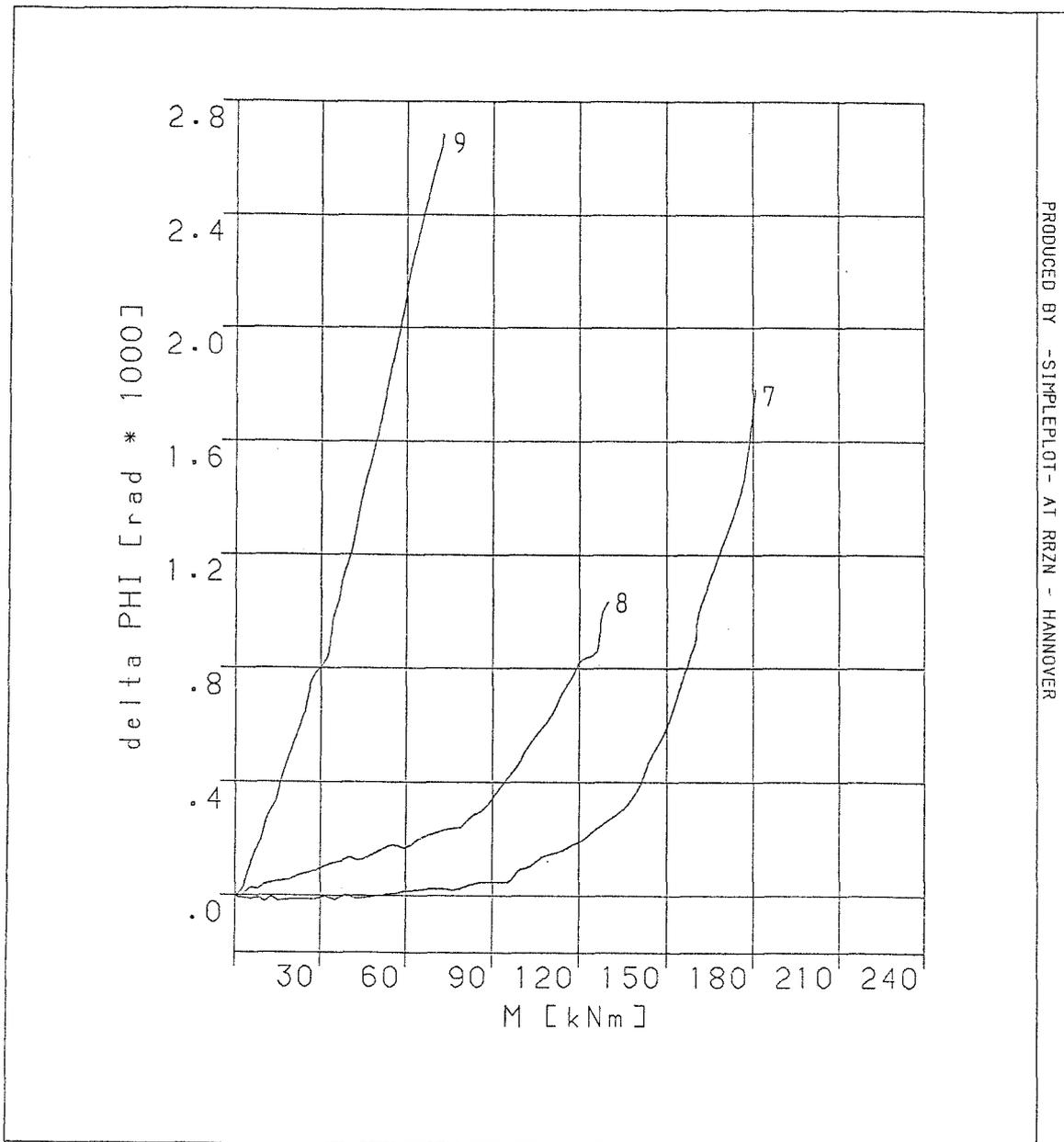
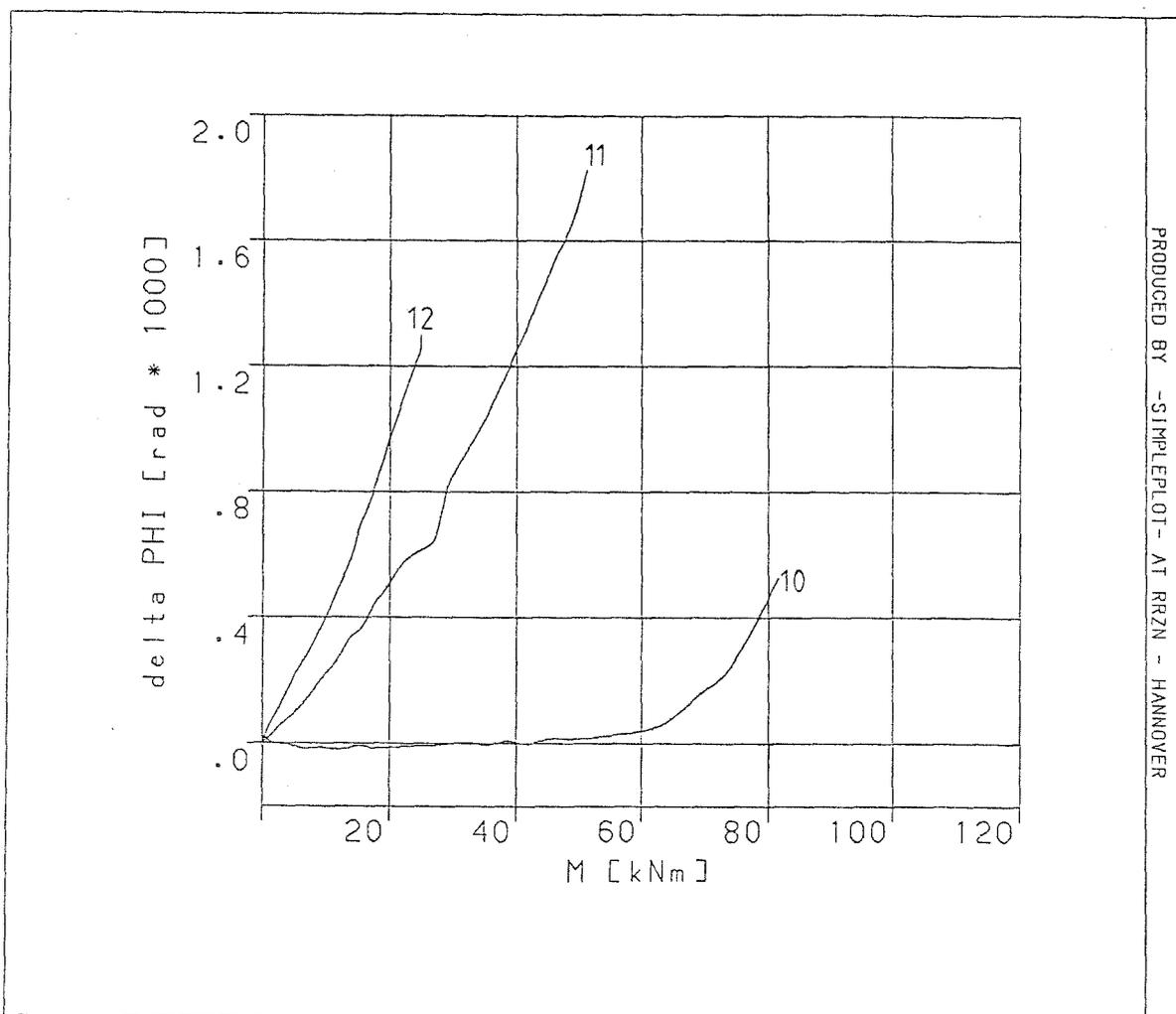


Bild 5.3: Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ als Funktion von M
 Versuche Nr. 7 - 9, HE 260 A, Anschluß IH 3A 26 20,
 nicht bündig: 7) N = 0 kN, 8) N = 414 kN, 9) N = 839 kN



PRODUCED BY -SIMPLEPLOT- AT RRZN - HANNOVER

Bild 5.4: Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ als Funktion von M
 Versuche Nr. 10 - 12, HE 260 A, Anschluß IH 1A 26 20,
 bündig: 10) $N = 0 \text{ kN}$, 11) $N = 413 \text{ kN}$, 12) $N = 618 \text{ kN}$

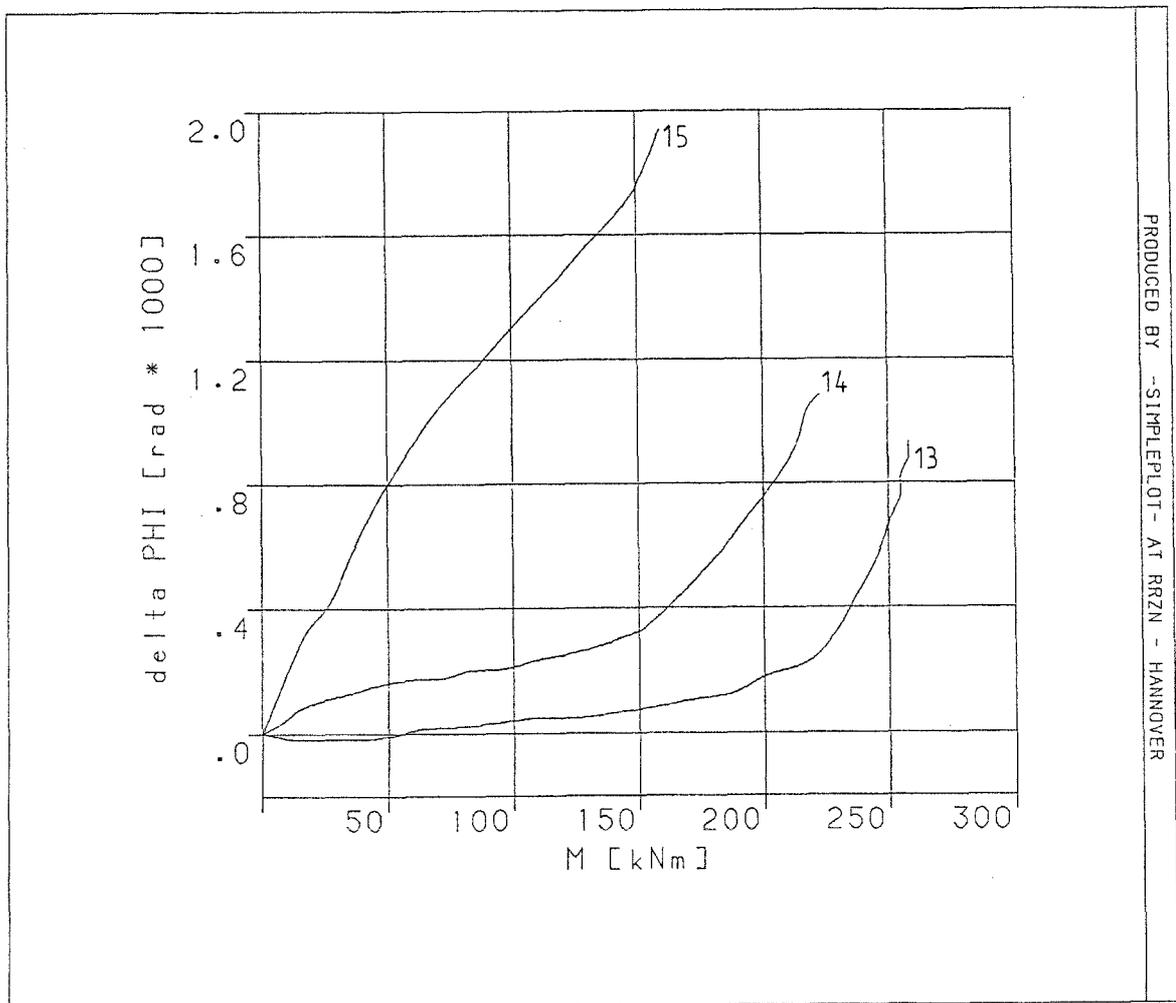


Bild 5.5: Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ als Funktion von M
 Versuche Nr. 13 - 15, HE 300 A, Anschluß IH 3A 30 24,
 nicht bündig: 13) N = 0 kN, 14) N = 534 kN,
 15) N = 1006 kN

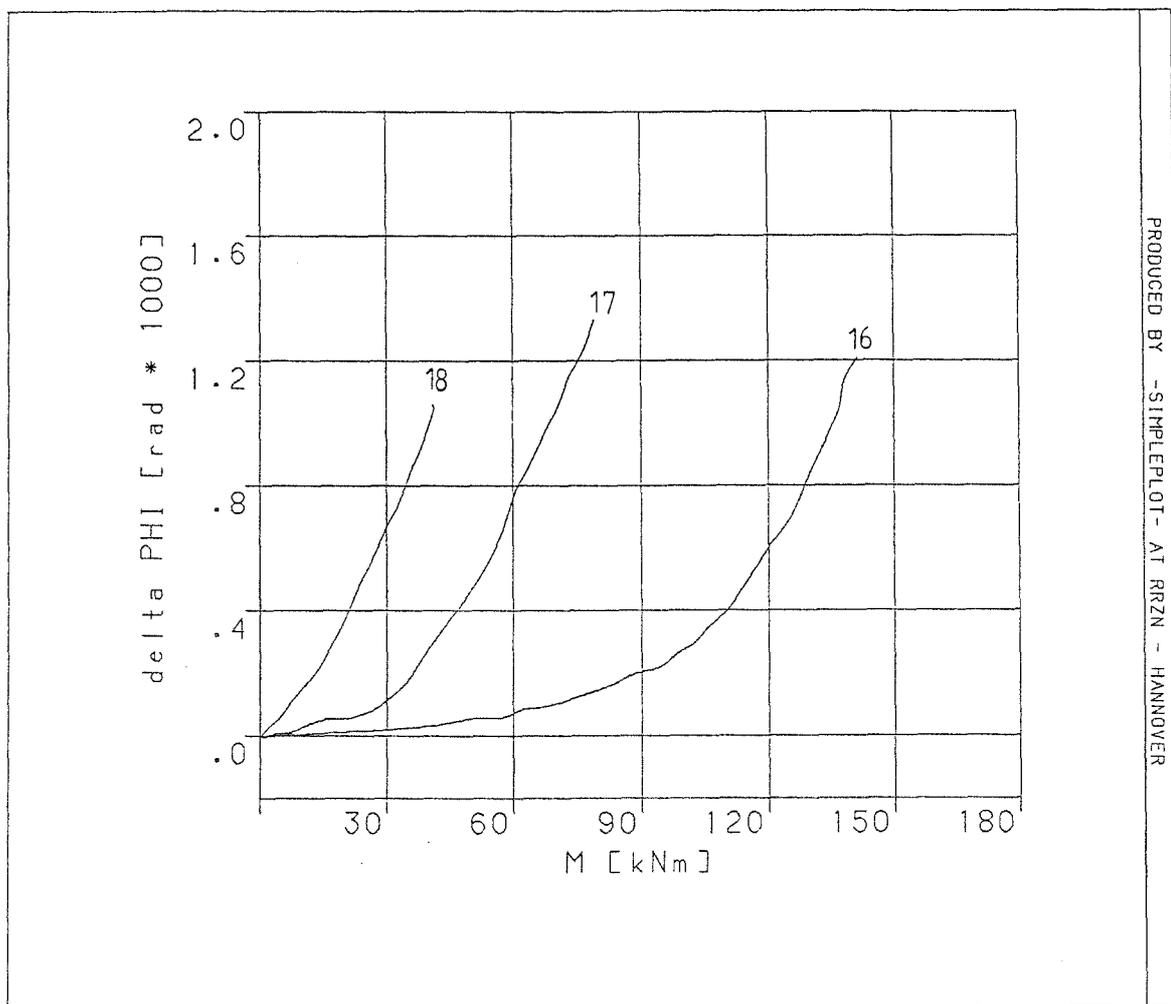


Bild 5.6: Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ als Funktion von M
 Versuche Nr. 16 - 18, HE 300 A, Anschluß IH 1A 30 24,
 bündig: 16) N = 0 kN, 17) N = 527 kN, 18) N = 809 kN

5.2 Diskussion der Meßergebnisse

Die Bilder 5.1 - 5.6 zeigen, daß praktisch alle $M-\Delta\Phi$ -Kurven nichtlinear sind. Daraus ergibt sich zugleich, daß die Federcharakteristika nicht durch eine Federkonstante beschrieben werden können. Bei den Versuchen ohne Normalkraft im Anschluß waren die Traglastmomente nach [23] teilweise bei Abbruch der Versuche noch nicht erreicht. Aus den Kurven geht hervor, daß die Verdrehung des Anschlusses vor Erreichen des Tragmomentes stark anwächst. Grundsätzlich kann dieses starke Anwachsen der Rotation nicht verwundern, denn bei Erreichen des Traglastmomentes nach [23] ist in der Stirnplatte rechnerisch eine Fließgelenkkette entstanden, es sind bei weiterer Laststeigerung also große Verdrehungen zu erwarten.

Die Versuchskurven mit $N > 0$ streben ebenfalls einem Versagemoment zu, bei rasch wachsender Rotation. Die Tabellen 5.1 und 5.2 geben Traglastmomente der Anschlüsse wieder, die für $N = 0$ nach [23] berechnet wurden (im Falle des HE 200 A, Anschlußtyp IH 3A, ist das zulässige Moment des Profils maßgebend für $M_{A, Tr}$).

Profil/ Anschluß	Prüfkörper	$M_{A, Tr}$ [kNm]
HE 200 A	A-01-02	103,5
	B-01-02	102,6
IH 3A	A-03-04	103,5
	B-03-04	102,6
	A-05-06	104,1
	B-05-06	102,6
HE 260 A	A-07-10	198,8
	A-07-10	195,6
IH 3A	A-08-09	198,9
	B-08-09	197,4
	A-11-12	197,1
	B-11-12	197,7
HE 300 A	A-13-14	305,4
	B-13-14	305,0
IH 3A	A-13-14	305,4
	B-13-14	305,0
	A-15-16	304,8
	B-15-16	306,4

Tabelle 5.1: $M_{A, Tr}$ nach [23] für nicht bündigen Anschlußtyp IH 3A

Profil/ Anschluß	Prüfkörper	$M_{A,Tr}$ [kNm]
HE 200 A	A-03-04	61,1
	B-03-04	61,0
IH 1A	A-05-06	61,8
	B-05-06	60,5
	A-05-06	61,8
	B-05-06	60,5
HE 260 A	A-07-10	84,4
	A-07-10	83,5
IH 1A	A-11-12	84,0
	B-11-12	83,8
	A-11-12	84,0
	B-11-12	83,8
HE 300 A	A-15-16	140,2
	B-15-16	140,5
IH 1A	A-17-18	140,9
	B-17-18	140,9
	A-17-18	140,7
	B-17-18	140,5

Tabelle 5.2: $M_{A,Tr}$ nach [23] für bündigen Anschlußtyp IH 1A

Ausgehend vom Traglastmoment $M_{A,Tr}$, das nach [23] berechnet wurde, wurden ideale Federwerte $c_{\Phi i}(M) = M/\Delta\Phi$ aus dem Lastmoment und dem zugehörigen Spaltöffnungswinkel im Versuch berechnet. Für die Laststufen 0,333, 0,667 und 0,9 $M_{A,Tr}$ sind die berechneten Werte in den Tabellen 5.3 und 5.4 eingetragen, zwischen den Meßergebnissen wurde geradlinig interpoliert. Das Moment 0,667 $M_{A,Tr}$ ist dabei praktisch gleich dem zulässigen Moment nach [23] im ~~Kastfall~~ HZ. Bei einem Vergleich der idealen Werte $c_{\Phi i}(M)$ mit den Werten c_{Φ} für IPB-Profile in [2] ist zu beachten, daß die von Steinhardt angegebenen Werte aus Mittelwerten der Messungen für P_{Zul} , 0,9 und 0,8 P_{Zul} gemittelt wurden und P_{Zul} gerade eine rechnerische Randspannung von 16,0 kN/cm² im Profil der Versuchsträgers erzeugte. Für die nicht bündigen Stirnplattenanschlüsse stimmen die Momente 0,667 $M_{A,Tr}$ mit den Momenten infolge P_{Zul} nach [1] und [2] in etwa überein.

Zug-Normalkraft	$c_{\Phi i} (M) = M/\Delta\Phi$ [kNm/rad]		
	0,333 $M_{A,Tr}$	0,667 $M_{A,Tr}$	0,900 $M_{A,Tr}$
Versuche Nr. 1 - 3			
0	∞	1145000	205500
0,2 N_{p1}	∞	3238000	-
0,4 N_{p1}	88180	-	-
Versuche Nr. 7 - 9			
0	3163000	489400	122700
0,2 N_{p1}	322000	125900	-
0,4 N_{p1}	27560	-	-
Versuche Nr. 13-15			
0	2464000	1088000	277000 ¹⁾
0,2 N_{p1}	463300	257000	-
0,4 N_{p1}	77130	-	-

¹⁾ 0,847 $M_{A,Tr}$

Tabelle 5.3: Federwerte $c_{\Phi i} (M)$ der Versuche mit nicht bündigen Stirnplatten

Zug-Normalkraft	$c_{\Phi i} (M) = M/\Delta\Phi$ [kNm/rad]		
	0,333 $M_{A,Tr}$	0,667 $M_{A,Tr}$	0,900 $M_{A,Tr}$
Versuche Nr. 4 - 6			
0	∞	169700	69090 ¹⁾
0,2 N_{p1}	59470	19730	-
0,4 N_{p1}	8019	-	-
Versuche Nr. 10-12			
0	∞	2033000	269900
0,2 N_{p1}	39440	27970 ²⁾	-
0,3 N_{p1}	19180 ³⁾	-	-
Versuche Nr. 16-18			
0	994100	433600	175000
0,2 N_{p1}	115900	59460 ⁴⁾	-
0,3 N_{p1}	37450 ⁵⁾	-	-

¹⁾ 0,800 $M_{A,Tr}$ ²⁾ 0,612 $M_{A,Tr}$ ³⁾ 0,298 $M_{A,Tr}$ ⁴⁾ 0,565 $M_{A,Tr}$
⁵⁾ 0,301 $M_{A,Tr}$

Tabelle 5.4: Federwerte $c_{\Phi i} (M)$ der Versuche mit bündigen Stirnplatten

Es zeigt sich bei der Gegenüberstellung mit den Meßergebnissen für $N = 0$, daß die Werte $c_{\varphi}(M)$ der Tabelle 5.3 wesentlich größer sind als die Werte in [2]. Auch die Kurve für die Profilreihe I weist noch kleinere Werte als die gemessenen aus. Möglicher Grund könnte sein, daß die Stirnplattenanschlüsse sich, wie in den Bildern 5.1, 5.3 und 5.5 zu erkennen, bis über $0,667 M_{A,TF}$ hinaus fast starr verhalten, bei weiterer Laststeigerung dann aber weit größere Spaltöffnungswinkel aufweisen. Vergleicht man die Werte der Tabelle 5.3 für $0,9 M_{A,TF}$ mit dem Diagramm in [2], so zeigt sich für die Versuche Nr. 7 und 13 eine gute Übereinstimmung mit den Werten, die aus dem Diagramm abgegriffen werden können (für IPB-Profile mit $I=10450 \text{ cm}^4$ $13,2 \cdot 10^4 \text{ kNm/rad}$, mit $I=18260 \text{ cm}^4$ $18,5 \cdot 10^4 \text{ kNm/rad}$, für I-Profile mit $I=10450 \text{ cm}^4$ $18,9 \cdot 10^4 \text{ kNm/rad}$, mit $I=18260 \text{ cm}^4$ $29,4 \cdot 10^4 \text{ kNm/rad}$).

Der für den Versuch Nr. 1 berechnete Wert liegt hier höher, was darauf zurückgeführt werden kann, daß das zulässige Moment beim Traglastnachweis der Stirnplatte etwa $137,5 \text{ kNm}$ beträgt. Da sich bei den anderen Versuchen die Stirnplattenanschlüsse bis etwa $0,7 M_{A,TF}$ fast starr verhalten haben, wäre beim Versuch Nr. 1 bis etwa $M = 92 \text{ kNm}$ ein sehr geringer Spaltöffnungswinkel zu erwarten. Diese Vermutung stimmt mit den in Bild 5.1 wiedergegebenen Ergebnisse gut überein.

Für die bündigen Stirnplatten wird in [2] empfohlen die $0,6$ -fachen c_{φ} -Werte zu verwenden. Der Vergleich mit den innerhalb dieses Forschungsvorhabens gemessenen Werten ist nur für den Versuch Nr. 4 möglich, da für die weiteren Versuche keine Meßwerte für $\geq P_{zul}$ gemäß [1] vorliegen. Für den Versuch Nr. 4 mit dem Profil HE 200 A zeigt sich eine Übereinstimmung der Werte für $0,8 M_{A,TF}$ mit dem Diagramm für die Profilreihe IPB in [2] (für IPB-Profile mit $I=3690 \text{ cm}^4$ $4,4 \cdot 10^4 \text{ kNm/rad}$, für I-Profile $6,4 \cdot 10^4 \text{ kNm/rad}$).

Insgesamt sind die gemessenen Spaltöffnungswinkel klein. Um sich eine Vorstellung von ihrer Größe machen zu können, kann man die Rotation in eine Schiefstellung als übliche Imperfektionsannahme umrechnen. Danach war z. B. im Versuch Nr. 7, bei dem höchsten Moment, das im Versuch aufgebracht wurde und das $92,4 \%$ des

Traglastmomentes entsprach, eine Rotation von $1,785 \cdot 10^{-3}$ erreicht. Das entspricht einer Schiefstellung von $1/560$.

Überraschend ist, daß die Spaltöffnungswinkel ϕ der Anschlüsse vom Typ IH 1A gemessen am Grad der Ausnutzung ihrer Tragfähigkeit etwa die gleichen $\Delta\phi$ -Werte aufweisen wie die Anschlüsse vom Typ IH 3A. So wurde etwa beim Versuch Nr. 16 bei einem Moment von $141,3 \text{ kN}$ eine Rotation von $1,210 \cdot 10^{-3}$ gemessen. Das Moment liegt damit bereits über dem nach [23] ermittelten, die Schiefstellung entspricht nur $1/826$.

Die Steifigkeit der nicht bündigen Stirnplattenanschlüsse bei Einwirkung einer Zug-Normalkraft von $0,2 N_{p1}$ ist bei gleicher Momentenbeanspruchung geringer als ohne Normalkraft. Es ist noch ein Bereich erkennbar in den Bildern 5.1, 5.3 und 5.5, in dem die hohe Anfangssteifigkeit der Anschlüsse infolge der Schraubenvorspannung wirkt. Die $M-\Delta\phi$ -Kurven der Versuche Nr. 8 und 14 sind in den Bildern 5.3 und 5.5 gegenüber den Versuchen Nr. 7 und 13 zu kleineren M -Werten hin verschoben, und zwar etwa um den Betrag, der der Zusatzbeanspruchung der Stirnplatte durch die Zug-Normalkraft entspricht. Nach dem Berechnungsmodell in [23] erzeugt ein Moment M eine Zugkraft $Z_t = M/h_s$. Unter der Annahme, daß eine Zug-Normalkraft N bei Aufteilung auf beide Flansche eine zusätzliche Zugkraft von $N/2$ im Zugflansch erzeugt, ist eine Verschiebung der $M-\Delta\phi$ -Kurven von $N \cdot h_s / 2$ zu kleineren M -Werten hin zu erwarten. Bei Versuch Nr. 8 wäre das eine Verschiebung von etwa $49,7 \text{ kNm}$ gegenüber Versuch Nr. 7, bei Versuch Nr. 14 von etwa $74,9 \text{ kNm}$ gegenüber Versuch Nr. 13. Greift man in den Bildern 5.3 und 5.5 den horizontalen Abstand der Kurven 8 und 9 sowie 13 und 14 ab, so erkennt man eine grobe Bestätigung des oben geschilderten Zusammenhanges. Für die Versuche Nr. 1 und 2 ist dieser Zusammenhang nicht herzustellen, da das M_{p1} des Trägerprofils von $102,6 \text{ kNm}$ eine mögliche höhere Beanspruchung der Stirnplatten ausschloß.

Bei Einwirkung einer Zug-Normalkraft von $0,4 N_{p1}$ ist eine ausgeprägte Anfangssteifigkeit in den $M-\Delta\phi$ -Kurven nicht mehr zu erkennen.

Bei den bündigen Stirnplattenanschlüssen ist sowohl bei $0,2 N_{P1}$, als auch bei $0,4$ bzw. $0,3 N_{P1}$ keine Anfangssteifigkeit mehr zu erkennen.

Zusammenfassend sei festgestellt:

- Der Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ vergrößert sich bei steigendem M bei allen Anschlüssen nichtlinear. Die Definition einer Federkonstanten verliert ihren Sinn.
- Der Spaltöffnungswinkel $\Delta\phi$ ist bei Einwirkung einer zusätzlichen Zug-Normalkraft von $N = 0,2 N_{P1}$ um ein Vielfaches größer als bei $N = 0$. Ein Maß für das Vielfache läßt sich nicht angeben, da die Funktion $\Delta\phi = f(M)$ sich asymptotisch einem Versagemoment annähert, das von der Zug-Normalkraft abhängig ist.
- Bei den Versuchen mit nicht bündigen Anschlüssen vom Typ IH 3A ist bei Einwirkung einer Zug-Normalkraft von $N = 0,2 N_{P1}$ noch eine hohe Anfangssteifigkeit erkennbar, ein Klaffen und der damit verbundene starke Abfall der Steifigkeit tritt erst etwa bei $0,5 M_{A,TF}$ ein. Bei $N = 0$ ist dieser Steifigkeitsabfall bei etwa $0,7 M_{A,TF}$ erkennbar. Unter Einwirkung von $0,4 N_{P1}$ klappt der Anschluß vom Beginn der Belastung an.
- Bei den Versuchen mit bündigen Anschlüssen vom Typ IH 1A ist bei Einwirkung einer Zug-Normalkraft von $N = 0,2 N_{P1}$ fast keine Anfangssteifigkeit mehr erkennbar, ebenso bei $0,3 N_{P1}$.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Steinhardt, O. und Möhler, K.:
Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben
im Stahlbau. III. Teil, Bericht Nr. 24 des
DAST, Stahlbau-Verlags GmbH, Köln 1962
- [2] Steinhardt, O.:
Allgemeine Hinweise, Kap. 9.1 in Stahlbau-
Handbuch, Stahlbau-Verlags GmbH, Köln 1982
- [3] Tschemmerneegg, F.:
Steifenlose Bauweise - Messung der Steifigkeit
der Rahmenknotenberechnung - Berechnung von
ebenen Rahmen,
Stahlbau-Rundschau 61 (1983), S. 24-27
- [4] Tschemmerneegg, F., Tautschig, A., Klein, H., Braun, Ch.,
Humer, Ch.:
Zur Nachgiebigkeit von Rahmenknoten,
Stahlbau 56 (1987), S. 299-306
- [5] Tschemmerneegg, F., Lener, G., Taus, M.:
Zur Nachgiebigkeit von Rahmenknoten, Teil 2,
Fortsetzung von [4],
Stahlbau 58 (1989), S. 45-52
- [6] Rahmentragwerke in Stahl unter besonderer Berück-
sichtigung der steifenlosen Bauweise. Theoretische
Grundlagen - Beispiele - Bemessungstabellen.
Herausgeber: Österreichischer Stahlbauverband (ÖSTV)
und Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau (SZS)
1987
- [7] Klein, H.:
Das elastisch-plastische Last-Verformungs-
verhalten M-steifenloser, geschweißter Knoten
für die Berechnung von Stahlrahmen mit HEB-
Stützen. Dissertation, Univ. Innsbruck, 1985
- [8] Lener, G.:
Berechnung räumlicher Stahlrahmen mit nichtlinearem
Knotenverhalten unter Berücksichtigung der Normal-
kraftinteraktion.
Dissertation, Univ. Innsbruck, 1988
- [9] Diephaus, K. J.:
Zum Einfluß von Stabstößen und -anschlüssen mit
nichtlinearer Rotationscharakteristik auf die
Versagens- und Einspiellast perfekter und im-
perfekter, ebener Rahmensysteme
Dissertation, Univ. Hannover, 1989
Schriftenreihe des Instituts für Stahlbau der Uni-
versität Hannover, Heft 14

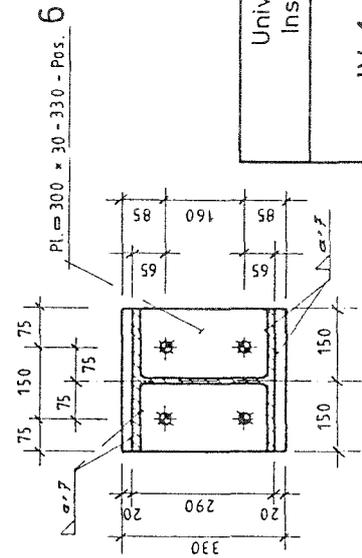
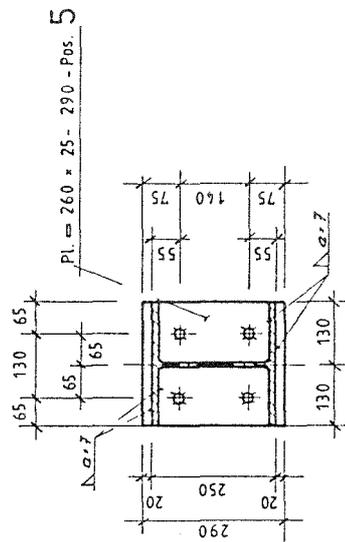
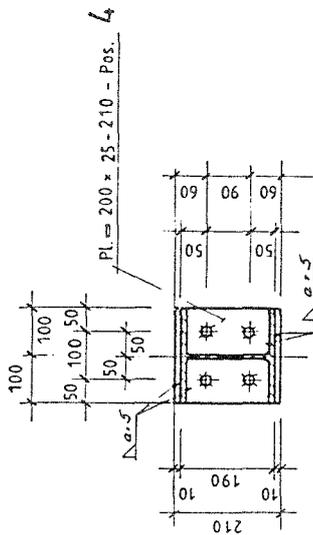
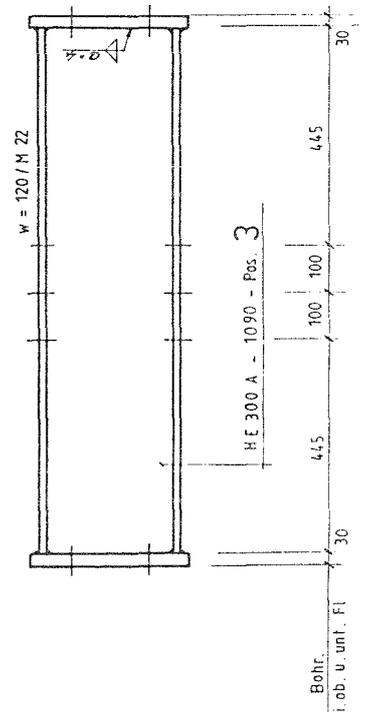
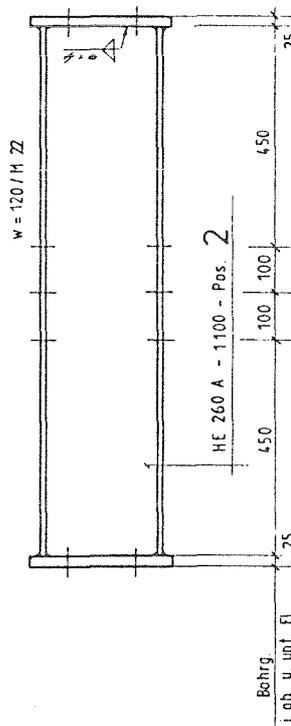
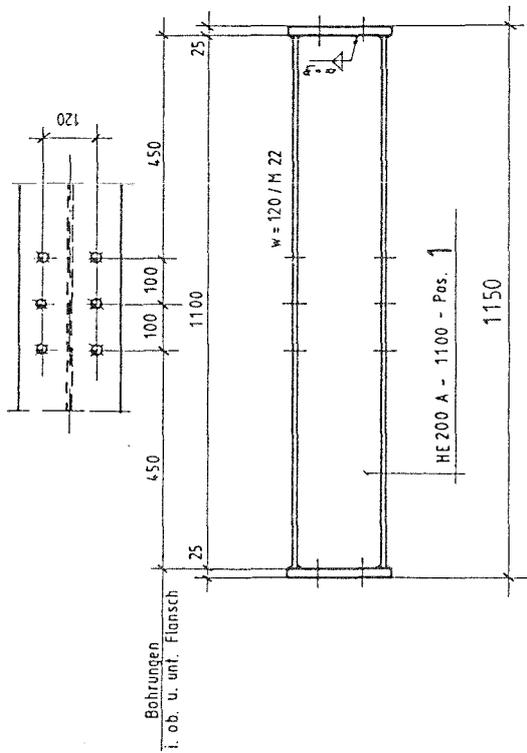
- [10] Sherbourne, A.N.:
Bolted Beam to Column Connexions,
The Structural Engineer, June 1961, S. 203-210
- [11] Jones, S.W., Kirby, P.A., Nethercot, D.A.:
Columns with Semirigid Joints, Journal of the
Structural Division, Vol. 108, No. St2, 1982,
S. 361-372
- [12] Ostrander, J.R.:
An experimental investigation of End Plate
Connections. Thesis, University of Saskat-
chewan, Saskatoon, July 1970, Canada
- [13] Krawinkler, H., Bertero, V., Popov, P.:
Shear Behavior of Steel Frame Joints,
Journal of the Structural Division, Vol. 101,
No. St11, 1975, S. 2317-2335
- [14] Witteveen, J., Stark, J.W.B., Bijlaard, F.S.K.,
Zoetemeijer, P.:
Welded and Bolted Beam-to-Column Connections,
Journal of the Structural Division, Vol. 108,
No. St2, 1982, S.433-455
- [15] Davison, J.B., Kirby, P.A., Nethercot, D.A.:
Rotational Stiffness Characteristics of Steel
Beam-to-Column Connections, Journal of Con-
structional Steel Research, 8 (1987), S. 17-54
- [16] Chen, W.F., Lui, E.M.:
Beam-to-Column Moment-Resisting Connections,
in: Steel framed structures, stability and
strength, London: Elsevier. 1985, S. 153-203
- [17] Zoetemeijer, P., Kolstein, M.H.:
Geboude balk-kolomverbindingen met korte
kopplaat. Uitvoeringsvormen en berekenings-
wijzen. Stevin-Laboratorium, Rapport 6-75-20
- [18] Bjorhovde, R., Brozetti, J., Colson, A. (Hrsg.):
Connections in Steelstructures. London and New
York: Elsevier Applied Science 1988
- [19] Popov, E.P.:
Low-Cycle Fatigue of Steel Beam-Column-
Connections. University of California,
Berkeley, For Presentation at the Inter-
national Symposium on the Effects of Repeated
Loading of Materials and Structural Elements,
Mexico-City, September 1966
- [20] Frye, J., Morris, G.A.:
Analysis of Flexibly Connected Steel Frames,
Canadian Journal of Civil Engineering, 2
(1975), S. 280-291

- [21] Colson, A., Fléjou, J.L.:
Conception automatique d'assemblages semi-rigides
pour les structures à noeuds fixes,
Construction Métallique, n° 4-1989
- [22] Valtinat, G.:
Schraubenverbindungen, Stahlbau-Handbuch,
Stahlbau-Verlags GmbH, Köln 1982, S.402
- [23] Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau, 2. Aufl., Stahlbau-
Verlags GmbH, Köln 1978
- [24] Nather, F.:
Standesicherheit von Stahlbauten unter der Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungen,
Mitteilungen aus dem Lehrstuhl für Stahlbau,
Technische Universität München, Heft 16, 1980
- [25] Nather, F., Klassen, G.:
Versuchsbericht: Belastungsversuche an Biegeträgern
mit geschraubten Laschenstößen, sowie an zugbeanspruchten,
geschraubten Stabanschlüssen zur Abschätzung der Nachgiebigkeit der Stöße und Anschlüsse. TU München, Januar 1983
- [26] Koch, K.-F.:
Zur Bestimmung der Fließspannungen für die Auswertung von Versuchen an Stahlbauteilen,
Materialprüfung 18 (1976), S. 54 - 56
- [27] Scheer, J., Maier, W.:
Zum Einfluß der statischen Streckgrenze auf die Knicklast mittelschlanker Stäbe,
Festschrift Roik, Bochum, 1984
- [28] Scheer, J., Maier, W., Rohde, M.:
Basisversuche zur statischen Streckgrenze,
Stahlbau 56 (1987), S. 79 - 84
- [29] Eurocode 3, Redraft of Chapter 6, 9/87

ANLAGEN

zum Schlußbericht IfBt IV 1-5-501/87

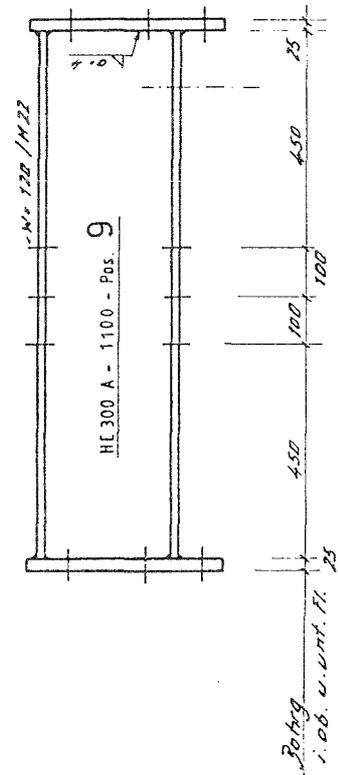
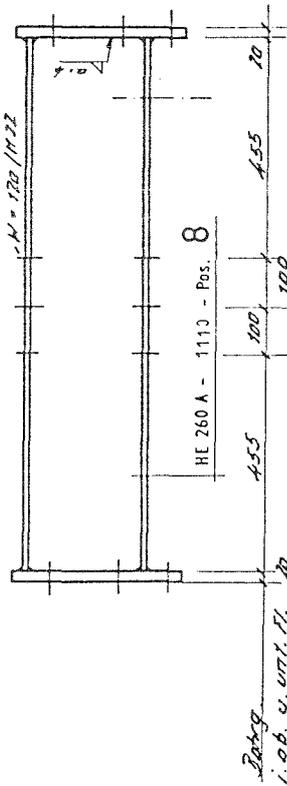
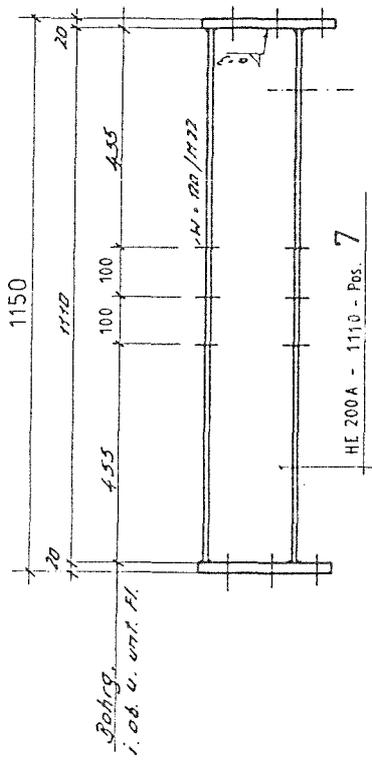
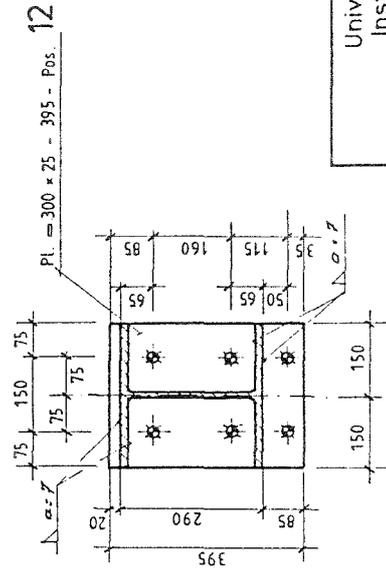
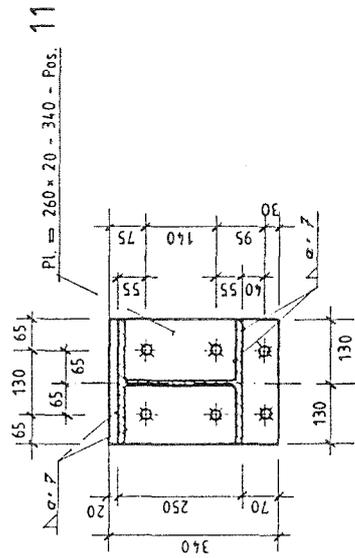
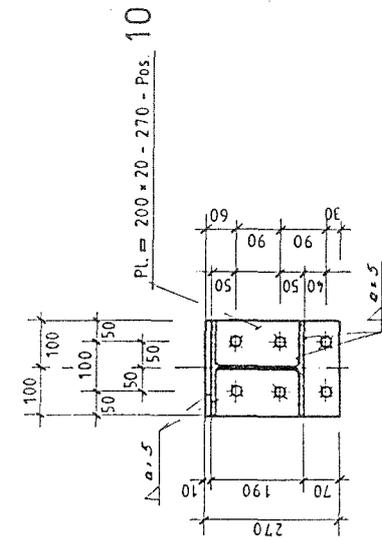
Träger mit bündigen Stirnplatten



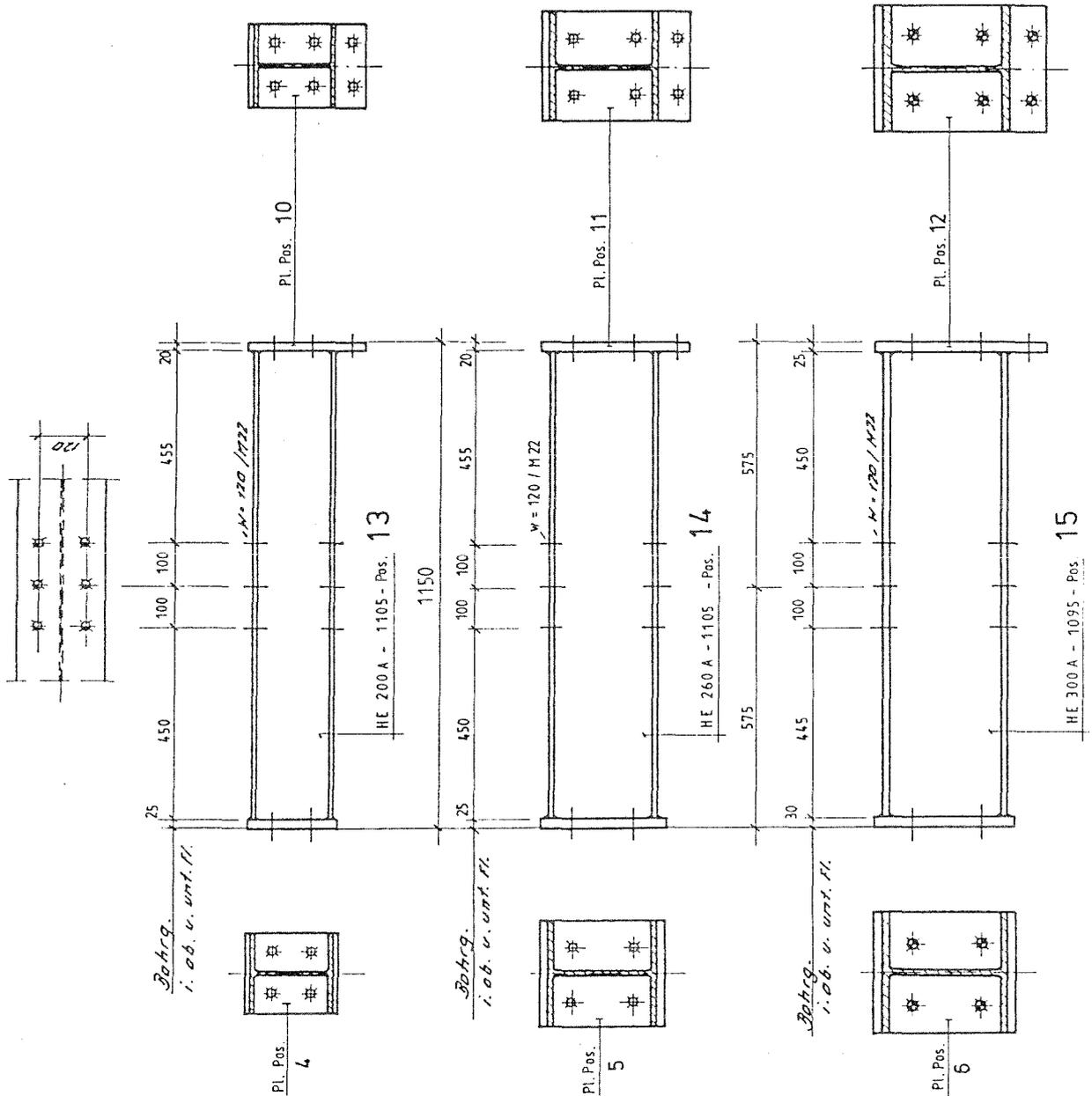
Universität Hannover Institut für Stahlbau		Blatt: 1
I. f. Bt. IV 1-5-501/87 Versuchsträger		
Maßstab:	Datum: 2.8.88	Name Busche

Träger mit überstehenden Stirnplatten

Universität Hannover Institut für Stahlbau	Blatt:	2
	i. f. Bt. IV 1-5-501/87 Versuchsträger	
Maßstab:	Datum:	Name:
	7.8.88	Büschke



Träger mit bündigen und überstehenden Stirnplatten



Universität Hannover Institut für Stahlbau		Blatt: 3
I. f. Bt. IV 1-5-501/87 Versuchsträger		
Maßstab:	Datum: 2 8 88	Name: Busche

PEINER Umformtechnik GmbH



ein Unternehmen der Salzgitter-Gruppe

PEINER Umformtechnik GmbH, Postfach 1649, D-3150 Peine

Institut für Stahlbau
Der Universität Hannover
z.H. Herrn Prof. Lacher
Callinstr. 32

D-3000 Hannover 1

Ihre Bestellung vom / Your Order-No./dated: 01.09.88
Ihre Auftrags-Nr. / Your Order-No.: -
Unsere Auftrags-Nr. / Our Order-No.: -
Unser Zeichen / Our dept. reference: TQ-kl-he
Telefon-Direktwahl / -phone-: 3250
3150 Peine, Wollorfer Straße 20-24
(051 71) 50-
19. September 1988

Werkstoffscheinigung / Werkzeugeignis / Werkprüfzeugnis / Abnahmeprüfzeugnis Report, based on Quality Control DIN 50049 — 3.1 B

Mechanische Eigenschaften / Mechanical Properties												
Pos.-Nr. Item No.	Stück Quantity	Abmessung Dimension	Streckgrenze		Zugfestigkeit	Dehnung	Kerbschlagversuch	HB	Schrägzug	Prüflast		
			N/mm ²	N/mm ²	% (A 5)	J	2,5/187,5	N/mm ²	μ			
			Yield-point	Tensile strength	Elongation	Notch-imp-Test	Hardness	wedge loading	proof-load-test			
1	50	PEINER HV-Schrauben DIN 6914/10.9 M 20 x 75	1086	1176			350-					
2	25	M 20 x 80	1053	1143			358					
3	25	M 20 x 90	1122	1200			340-					
4	25	M 24 x 80	1045	1151			351					
			1033	1122			341-					
			1029	1122			343					
			1068	1144			348-					
			1054	1130			352					
Vorschrift / Requirements DIN ISO 898 T.1			min 940	min 1040			295 363					
Analyse / Chemical Composition Randabkühlung gem. DIN ISO 898 T.1=i.O., Rißprüfung o.B.												
Pos.-Nr. Item-No.	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	V %	Al %	%	%	Schmelze-Nr. Cast-No.
1.3	0,40	0,25	0,78	,018	,005	0,98						152800
2	0,43	0,23	0,67	,009	,014	1,12						42849
4	0,42	0,23	0,63	,009	,013	1,03						42843
Kennzeichnung: PEINER HV 10.9												

PEINER
Umformtechnik

Werkstoffprüfung

Der Werkstoffprüfverständige / Works-Inspector

Telefon (051 71) 50-1
Telex (051 71) 503080
Telex: 925332 pug d
Telegramme: Umformtechnik Peine

Kreissparkasse Peine, Kto-Nr: 75007625 (BLZ 25250001)
Commerzbank AG, Filiale Peine,
Kto-Nr: 2603348 (BLZ 25240020)
Bank of America NT & SA, Frankfurt/Main,
Kto-Nr: 60930014 (BLZ 50010900)

Geschäftsführer:
Claus H. Dammers, Dieter Ortwein
Sitz der Gesellschaft: Peine
Registergericht: Amtsgericht Peine
Registernummer: HRB 1398

PEINER Umformtechnik GmbH

ein Unternehmen der Salzgitter-Gruppe

PEINER Umformtechnik GmbH, Postfach 1649, D-3150 Peine

Institut für Stahlbau
Der Universität Hannover
z.H. Herrn Prof. Lacher
Callinstr. 32

D-3000 Hannover 1

Ihre Bestellung vom Your Order-No./dated	Ihre Auftrags-Nr. Your Order-No.	Unsere Auftrags-Nr. Our Order-No.	Unser Zeichen Our dept. reference	Telefon-Direktwahl phone	3150 Peine, Woborler Straße 20-24
01.09.88	-	-	TQ-ki-he	(051 71) 50- 3250	19. September 1988

Werkstoffprüfung / Werkzeugeignung / Werkzeugeignung / Abnahmeprüfzeugnis
Report, based on Quality Control
DIN 50049 — 3.1 B

Mechanische Eigenschaften / Mechanical Properties													
Pos.-Nr.	Stück	Abmessung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung	Kerbschl.-versuch	HB	Schrägzug	Prüflast				
Item No.	Quantity	Dimension	N/mm ²	N/mm ²	% (A 5)	J	2,5/187,5	N/mm ²	μ				
			Yield-point	Tensile strength	Elongation	Notch-imp.-Test	Hardness	wedge loading	proof-load-test				
5	25	PEINER HV-Schrauben DIN 6914/10.9 M 24 x 85	1040	1147			348-						
6	25	M 24 x 100	1020	1119			350						
7	150	M 22 x 75	1040	1139			331-						
			1054	1147			336						
			1023	1106			339-						
			1069	1142			350						
			Kennzeichnung: PEINER HV 10.9										
Vorschrift / Requirements			DIN ISO 898 T.1	min 940	min 1040		295-						
Analyse / Chemical Composition			Randabkühlung: keine, Rißprüfung: o.B.										
Pos.-Nr.	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	V %	Al %	%	%	%	Schmelze-Nr. Cast-No.
5	0,39	0,22	0,65	0,027	0,009	1,05							38221
6	0,40	0,29	0,57	0,010	0,006	0,98							33771
7	0,40	0,22	0,75	0,008	0,008	0,99							139006

PEINER
Umformtechnik

Werkstoffprüfung
Der Werkstoffprüfungs- / Works-Inspector

Telefon (051 71) 50-1
Telefax (051 71) 503080
Telex 925332 pug d
Telegramme: Umformtechnik Peine

Kreissparkasse Peine, Kto-Nr 75007625 (BLZ 25250001)
Commerzbank AG, Filiale Peine,
Kto-Nr 2603348 (BLZ 25240020)
Bank of America NT & SA, Frankfurt/Main,
Kto-Nr 60930014 (BLZ 50010900)

Geschäftsführer:
Claus H. Dammers, Dieter Ortwein
Sitz der Gesellschaft: Peine
Registergericht: Amtsgericht Peine
Registernummer: HRB 1398

PEINER

Umformtechnik GmbH

ein Unternehmen der Salzgitter-Gruppe

PEINER Umformtechnik GmbH, Postfach 1649, D-3150 Peine

Institut für Stahlbau
Der Universität Hannover
z.H. Herrn Prof. Lacher
Callinstr. 32

D-3000 Hannover 1

Ihre Bestellung vom / Your Order-No./dated: 01.09.88
Ihre Auftrags-Nr. / Your Order-No.: -
Unsere Auftrags-Nr. / Our Order-No.: -
Unser Zeichen / Our dept. reference: TQ-ki-he
Telefon-Direktwahl / phone: (051 71) 50-3250
3150 Peine, Wolltorer Straße 20-24
19. September 1988

Werkbescheinigung / Werkzeugnis / Werkprüfzeugnis / Abnahmeprüfzeugnis
Report, based on Quality Control
DIN 50049 — 3.1 B

Mechanische Eigenschaften / Mechanical Properties												
Pos.-Nr.	Stück	Abmessung		Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung	Kerbschl.-versuch	HB	Schragzug	Prüflast		
Item No.	Quantity	Dimension		N/mm ²	N/mm ²	% (A 5)	J	2.5/187.5	N/mm ²	μ		
				Yield-point	Tensile strength	Elongation	Notch-imp.-Test	Hardness	wedge loading	proof-load-test		
8	75	PEINER HV-Muttern DIN 6915/10 M 20		Prüfkraft: 259700 N			i.O.	277-				
9	75	M 24		Aufdornversuch:			i.O.	284				
10	150	M 22		Prüfkraft: 321200 N			i.O.	272-				
				Aufdornversuch:			i.O.	286				
				Prüfkraft: 374200 N			i.O.	280-				
				Aufdornversuch:			i.O.	291				
				Kennzeichnung: (P) HV 10								
Vorschrift / Requirements								DIN ISO 898 T.2		max 335		
Analyse / Chemical Composition												
Pos.-Nr. Item-No.	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	V %	Al %	%	%	Schmelze-Nr. Cast-No.
8	0,47	0,26	0,69	0,28	0,25							20815
9	0,46	0,24	0,72	0,24	0,26							20812
10	0,48	0,30	0,63	0,24	0,31							118901

PEINER
Umformtechnik

Werkstoffprüfung
Der Werkstoffverständige / Works-Inspector

Telefon: (051 71) 50-1
Telefax: (051 71) 503080
Telex: 925332 pug d
Telegramme: Umformtechnik Peine

Kreissparkasse Peine, Kto-Nr. 75 007 625 (BLZ 252 500 01)
Commerzbank AG, Filiale Peine
Kto-Nr. 2603348 (BLZ 252 400 20)
Bank of America NT & SA, Frankfurt/Main,
Kto-Nr. 60930014 (BLZ 500 109 00)

Geschäftsführer
Claus H. Dammers, Dieter Ortwein
Sitz der Gesellschaft: Peine
Registergericht: Amtsgericht Peine
Registernummer: HRB 1398

PEINER Umformtechnik GmbH



ein Unternehmen der Salzgitter-Gruppe

PEINER Umformtechnik GmbH, Postfach 1649, D-3150 Peine

Institut für Stahlbau
Der Universität Hannover
z.H. Herrn Prof. Lacher
Callinstr. 32

Ihre Bestellung vom Your Order-No./dated	Ihre Auftrags-Nr. Your Order-No.	Unsere Auftrags-Nr. Our Order-No.	Unser Zeichen Our dept. reference	Telefon-Direktwahl phone	3150 Peine, Woltorfer Straße 20-24
01.09.88	-	-	TQ-ki-he	(051 71) 50-3250	19. September 1988

Werkbescheinigung / Werkzeugnis / Werkprüfzeugnis / Abnahmeprüfzeugnis
Report, based on Quality Control
DIN 50049 — 3.1 B

Mechanische Eigenschaften / Mechanical Properties												
Pos.-Nr.	Stück	Abmessung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung	Kerbschl.-versuch	HB	Schrägzug	Prüflast			
Item No.	Quantity	Dimension	N/mm ²	N/mm ²	% (A 5)	J	2,5/187,5	N/mm ²	μ			
			Yield-point	Tensile strength	Elongation	Notch-Imp-Test	Hardness	wedge loading	proof-load-test			
11	150	PEINER HV-Scheiben DIN 6916/C 45 Ø 21 mm					322-344			Kennzeichnung: PEINER HV		
12	150	Ø 25 mm				317-347						
13	150	Ø 23 mm				315-326						
14	150	Ø 23 mm DIN 6918/C 45				334-344						
Vorschrift / Requirements DIN 6916							max 350					
Analyse / Chemical Composition												
Pos.-Nr. Item-No.	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	V %	Al %	%	%	Schmelze-Nr. Cast-No.
11	0,47	0,27	0,72	,016	,005	0,95						50005
12	0,46	0,20	0,65	,012	,015							230251
13	0,47	0,20	0,57	,016	,012							887687
14	0,45	0,30	0,65	,024	,028							500

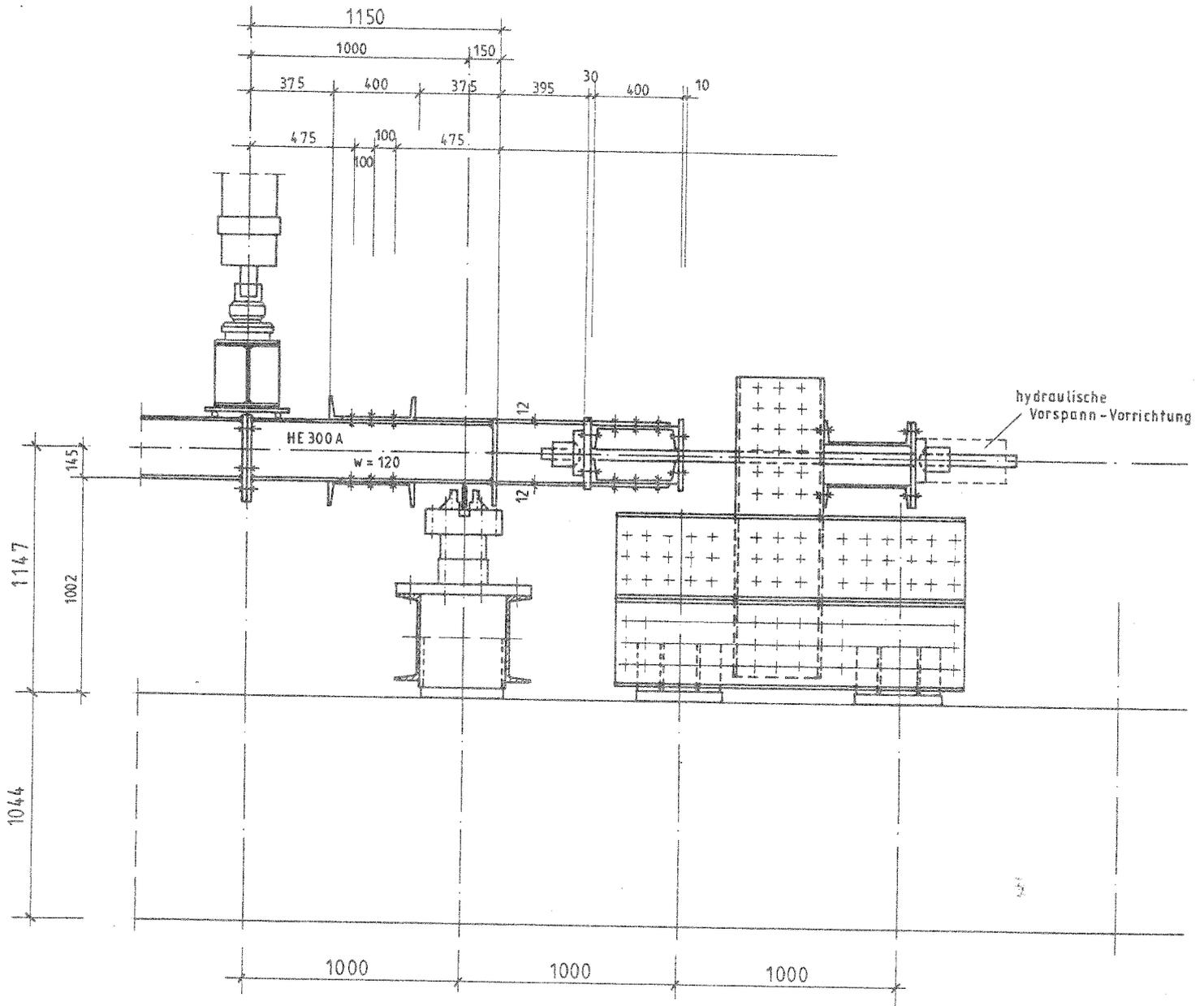
PEINER
Umformtechnik

Werkbescheinigung
Der Werkssachverständige / Works-Inspector

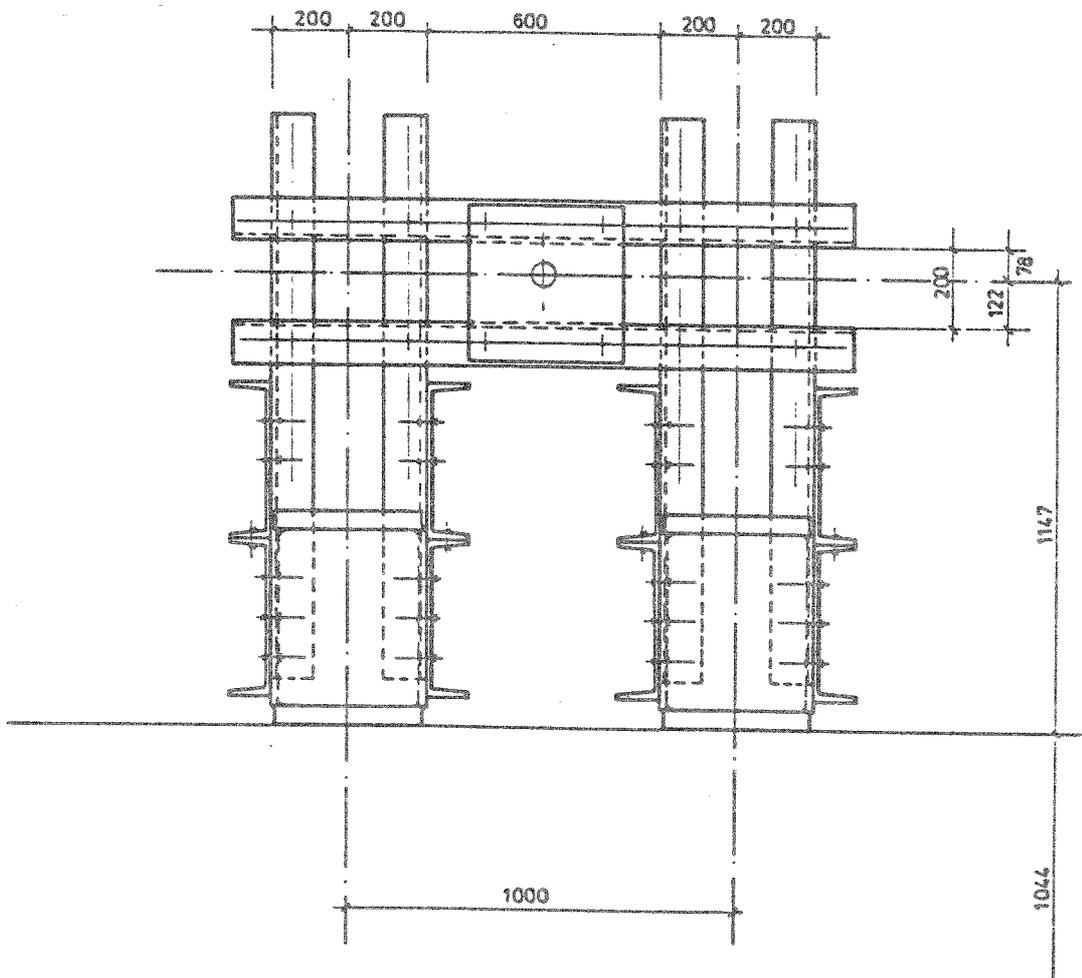
Telefon: (051 71) 50-1
Telefax: (051 71) 503080
Telex: 925332 pug d
Telegramme: Umformtechnik Peine

Kreissparkasse Peine, Kto-Nr: 75007625 (BLZ 25250001)
Commerzbank AG Filiale Peine
Kto-Nr: 2603348 (BLZ 25240020)
Bank of America NT & SA, Frankfurt/Main
Kto-Nr: 60930014 (BLZ 50010900)

Geschäftsführer
Claus H. Dammers, Dieter Orwein
Sitz der Gesellschaft: Peine
Registergericht: Amtsgericht Peine
Registernummer: HRB 1398



Seitenansicht des Versuchsaufbaus



Rückansicht eines Spannbocks

Ergebnisse der Aufmessung der Prüfkörper: Walzprofile

Profil	Prüfkörper	h (mittel)			b (oben)		b (unten)		zulässige Abweichung [mm]
		SOLL [mm]	IST [mm]	zulässige Abweichung [mm]	SOLL [mm]	IST [mm]	SOLL [mm]	IST [mm]	
HE 200 A	A-01-02	190	194,5	± 3,0	200	201	200	200	± 3,0
	B-01-02		194,0			201		200	
	A-03-04		194,5			200		201	
	B-03-04		194,0			200		201	
	A-05-06		194,5			201		200	
	B-05-06		194,0			200		201	
HE 260 A	A-07-10	250	253,5	± 3,0	260	260	260	260	± 3,0
	B-07-10		252,0			260		260	
	A-08-09		252,5			259		260	
	B-08-09		252,0			260		260	
	A-11-12		251,5			259		260	
	B-11-12		252,0			260		260	
HE 300 A	A-13-14	290	295,0	± 3,0	300	300	300	300	± 3,0
	B-13-14		294,0			300		300	
	A-15-16		294,5			300		300	
	B-15-16		294,5			300		300	
	A-17-18		294,0			300		300	
	B-17-18		291,0			299		300	

Profil	Prüfkörper	s (mittel)			t (oben)		t (unten)		zulässige Abweichung [mm]	
		SOLL [mm]	IST [mm]	zulässige Abweichung [mm]	SOLL [mm]	IST [mm]	SOLL [mm]	IST [mm]		
HE 200 A	A-01-02	6,5	6,80	± 1,0	10,0	9,45	10,0	9,75	± 1,5	
	B-01-02		6,80				9,40			9,65
	A-03-04		6,80				9,80			9,55
	B-03-04		6,80				9,65			9,40
	A-05-06		6,80				9,55			9,75
	B-05-06		6,80				9,55			9,35
HE 260 A	A-07-10	7,5	8,10	± 1,0	12,5	11,95	12,5	12,10	± 2,0	
	B-07-10		8,15				11,90			11,55
	A-08-09		8,10				12,55			12,25
	B-08-09		8,10				12,25			11,90
	A-11-12		8,05				11,70			11,70
	B-11-12		8,10				11,60			11,65
HE 300 A	A-13-14	8,5	8,95	± 1,5	14,0	13,70	14,0	13,70	± 2,0	
	B-13-14		8,90				13,70			13,90
	A-15-16		8,95				13,70			13,65
	B-15-16		8,95				13,75			13,80
	A-17-18		9,00				13,60			13,85
	B-17-18		9,05				13,80			13,55

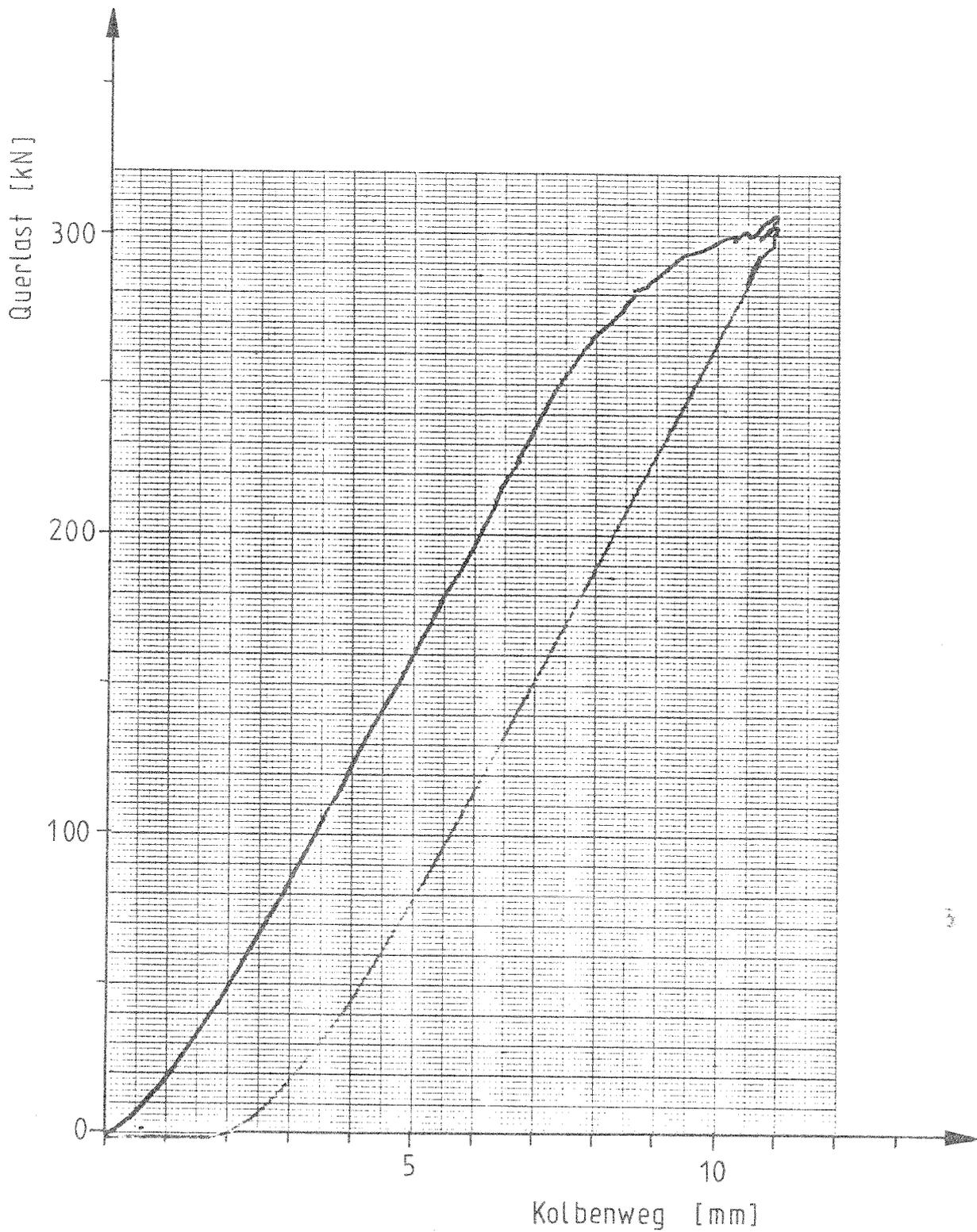
Ergebnisse der Aufmessung der Prüfkörper: Stirnplattendicke d_p

Stirnplatten- Abmessungen (Sollwert)	Einsatz in Versuch Nr.	Prüfkörper	Einzelmessungen				Mittelwert d_p
			1	2	3	4	
[mm]			[mm]				[mm]
270 x 200 x 20 (HE 200 A)	1	A-01-02	20,0	20,0	19,9	20,0	20,00
	1	B-01-02	20,0	20,0	20,0	19,9	20,00
	2	A-01-02	20,1	20,1	20,1	20,2	20,10
	2	B-01-02	20,0	20,0	20,0	19,8	19,95
	3	A-03-04	20,0	20,1	20,1	19,9	20,00
	3	B-03-04	20,1	20,1	20,2	20,0	20,10
210 x 200 x 25 (HE 200 A)	4	A-03-04	24,7	24,8	24,7	24,8	24,75
	4	B-03-04	24,7	24,8	24,7	24,8	24,75
	5	A-05-06	24,7	24,7	24,6	24,7	24,70
	5	B-05-06	24,7	24,7	24,8	24,7	24,70
	6	A-05-06	24,7	24,7	24,8	24,7	24,70
	6	B-05-06	24,7	24,7	24,7	24,7	24,70
340 x 260 x 20 (HE 260 A)	7	A-07-10	20,1	20,1	20,2	20,2	20,15
	7	B-07-10	20,1	19,8	20,0	19,9	19,95
	8	A-08-09	20,3	20,3	20,2	20,2	20,25
	8	B-08-09	20,1	20,1	20,2	20,2	20,15
	9	A-08-09	20,1	19,9	20,0	20,0	20,00
	9	B-08-09	20,1	20,2	20,2	20,2	20,20
290 x 260 x 25 (HE 260 A)	10	A-07-10	24,8	24,8	24,8	24,7	24,80
	10	B-07-10	24,8	24,6	24,7	24,8	24,70
	11	A-11-12	24,9	24,8	24,8	24,8	24,80
	11	B-11-12	24,7	24,8	24,8	24,8	24,80
	12	A-11-12	24,8	24,8	24,8	24,9	24,80
	12	B-11-12	24,8	24,8	24,8	24,8	24,80
395 x 300 x 25 (HE 300 A)	13	A-13-14	23,2	23,1	23,1	23,2	23,15
	13	B-13-14	23,2	23,2	23,2	23,2	23,20
	14	A-13-14	23,2	23,2	23,1	23,1	23,15
	14	B-13-14	23,2	23,2	23,1	23,2	23,20
	15	A-15-16	23,1	23,1	23,2	23,2	23,15
	15	B-15-16	23,2	23,3	23,3	23,4	23,30
330 x 300 x 30 (HE 300 A)	16	A-15-16	30,6	30,6	30,6	30,6	30,60
	16	B-15-16	30,6	30,5	30,5	30,5	30,50
	17	A-17-18	30,6	30,5	30,5	30,6	30,55
	17	B-17-18	30,4	30,5	30,4	30,6	30,55
	18	A-17-18	30,5	30,5	30,4	30,4	30,45
	18	B-17-18	30,2	30,5	30,3	30,3	30,30

Querschnittswerte der Prüfkörper

Prüfkörper	A		I		
	SOLL [cm ²]	IST [cm ²]	SOLL [cm ⁴]	IST [cm ⁴]	
HE 200 A	53,8	A-01-02	3690	A-01-02	3790
		B-01-02		B-01-02	3750
		A-03-04		A-03-04	3820
		B-03-04		B-03-04	3750
		A-05-06		A-05-06	3800
		B-05-06		B-05-06	3730
HE 260 A		86,8		A-07-10	10450
	B-07-10		B-07-10	10220	
	A-08-09		A-08-09	10670	
	B-08-09		B-08-09	10440	
	A-11-12		A-11-12	10120	
	B-11-12		B-11-12	10130	
HE 300 A	112	A-13-14	18260	A-13-14	18730
		B-13-14		B-13-14	18670
		A-15-16		A-15-16	18630
		B-15-16		B-15-16	18730
		A-17-18		A-17-18	18600
		B-17-18		B-17-18	18150

Beispiel eines Meßschriebes des an die Prüfzylinder-Anlage
angeschlossenen X-Y-Schreibers

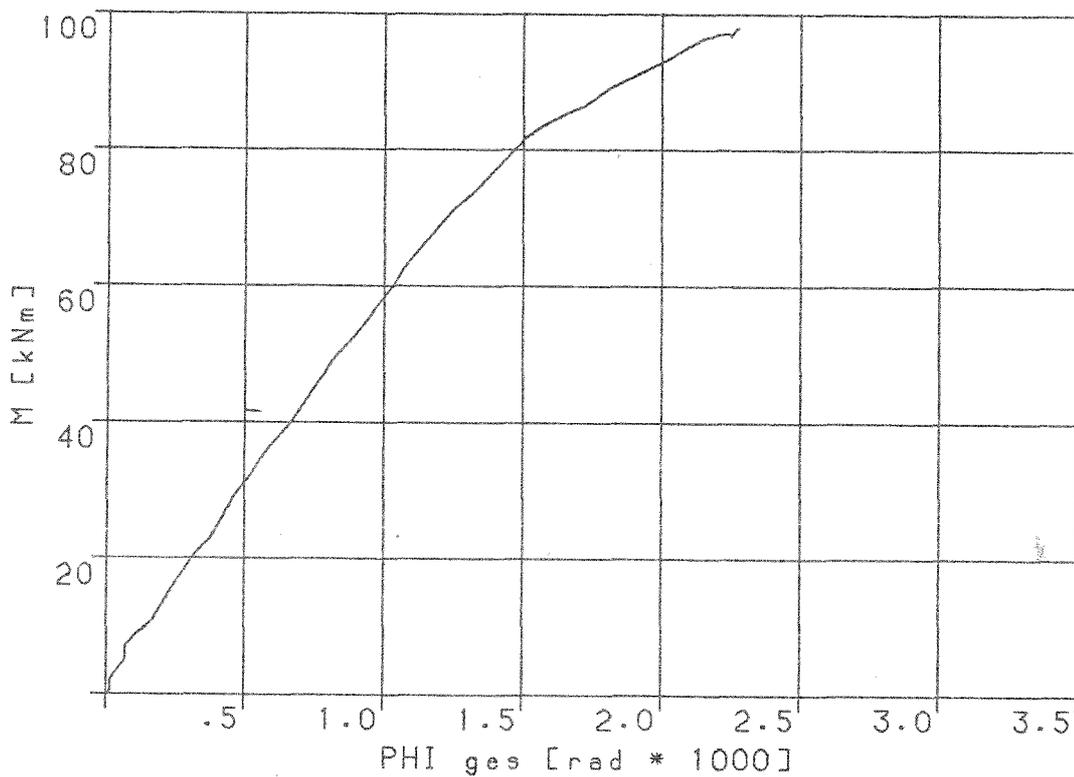


Versuch Nr. 1

Trägerprofil: HE 200 A

Anschluß: IH 3A 20 20

Zug-Normalkraft: - [kN]

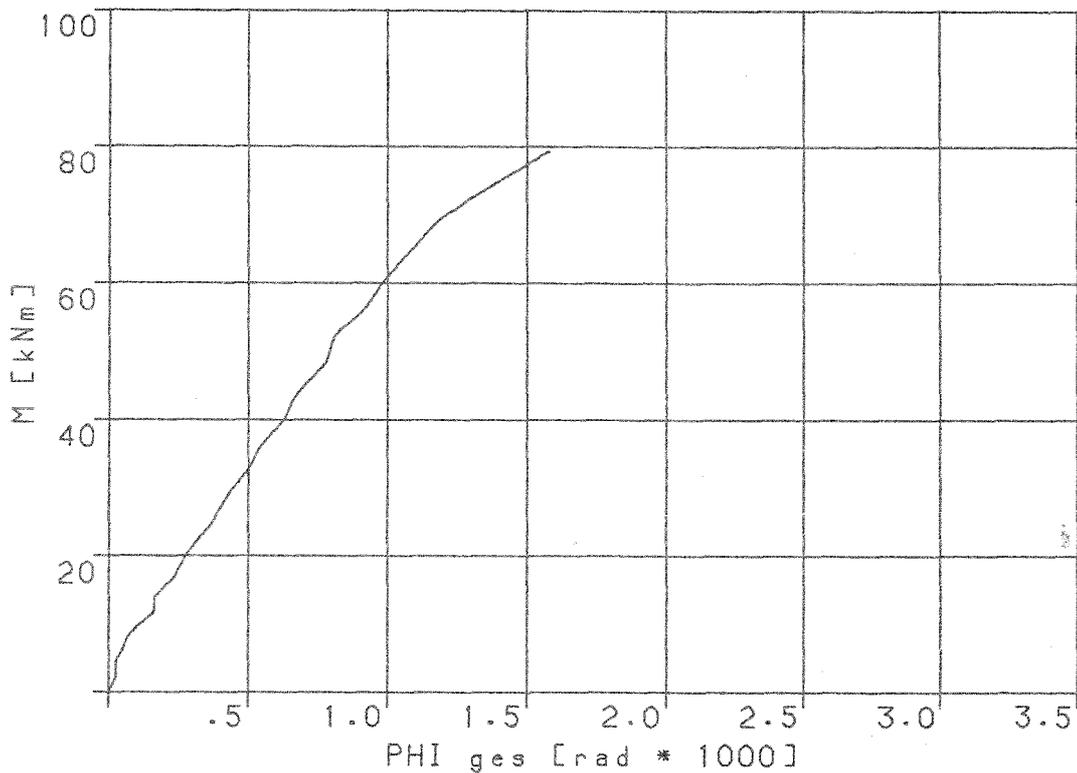
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 1Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stöbelementes

Versuch Nr. 2

Trägerprofil: HE 200 A

Anschluß: IH 3A 20 20

Zug-Normalkraft: 257 [kN]

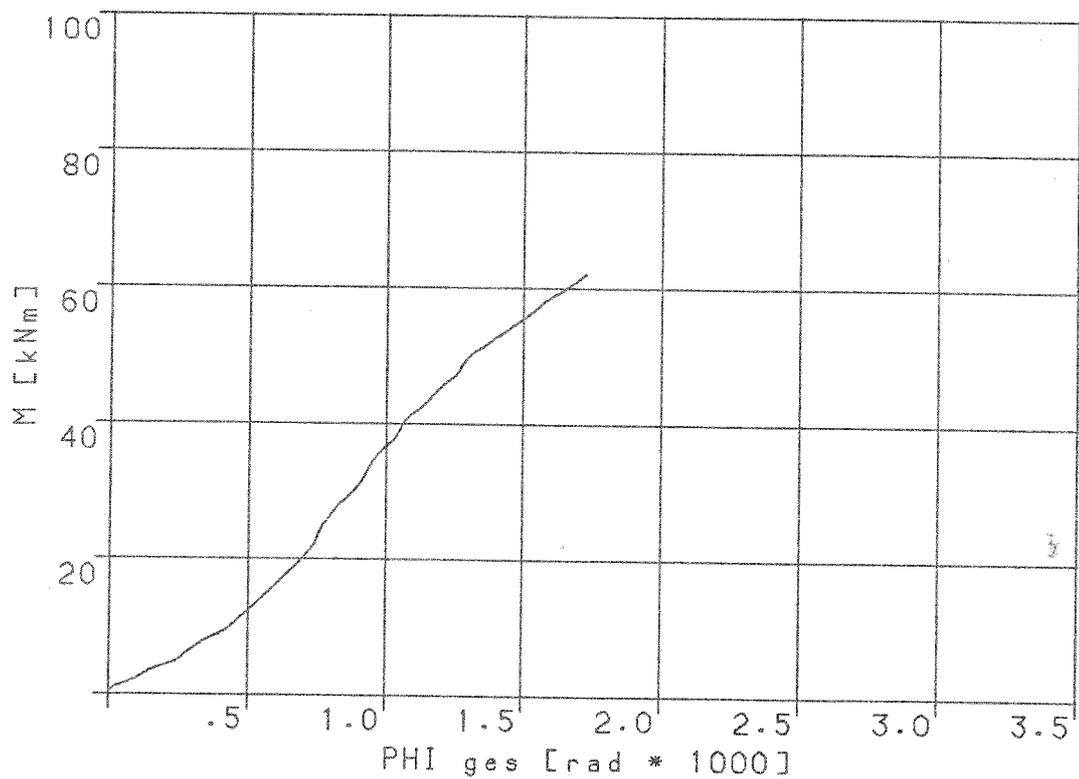
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 2Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 3

Trägerprofil: HE 200 A

Anschluß: IH 3A 20 20

Zug-Normalkraft: 524 [kN]

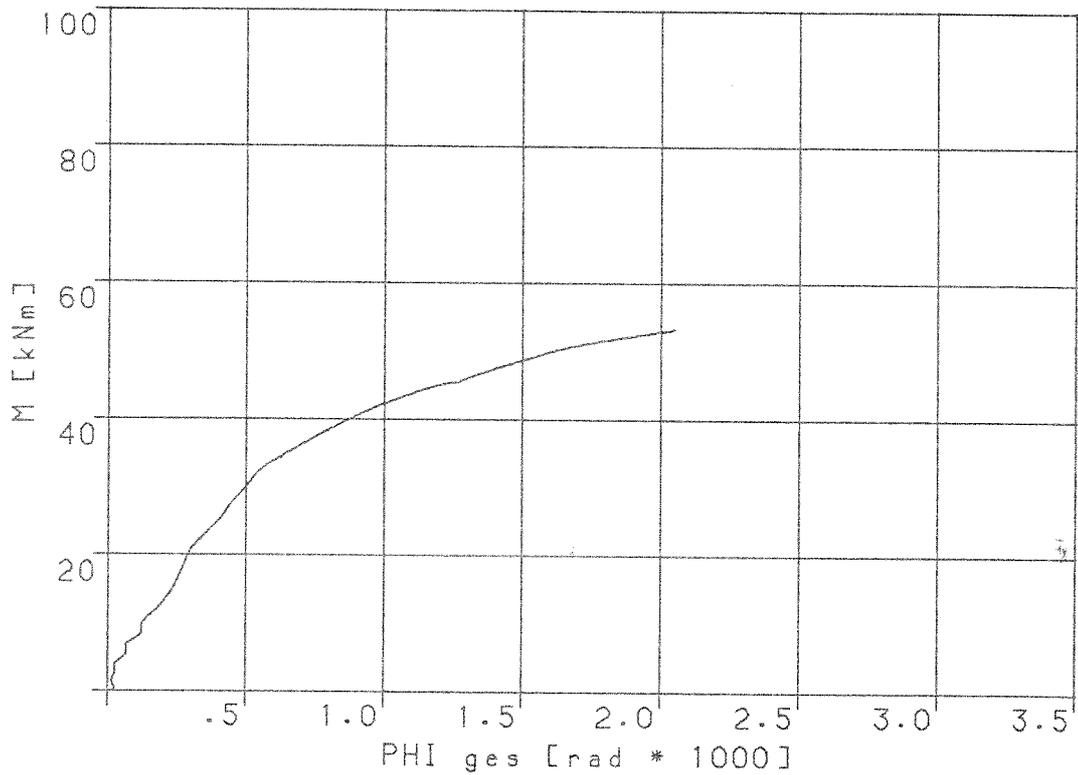
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 3Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 4

Trägerprofil: HE 200 A

Anschluß: IH 1A 20 20

Zug-Normalkraft: - [kN]

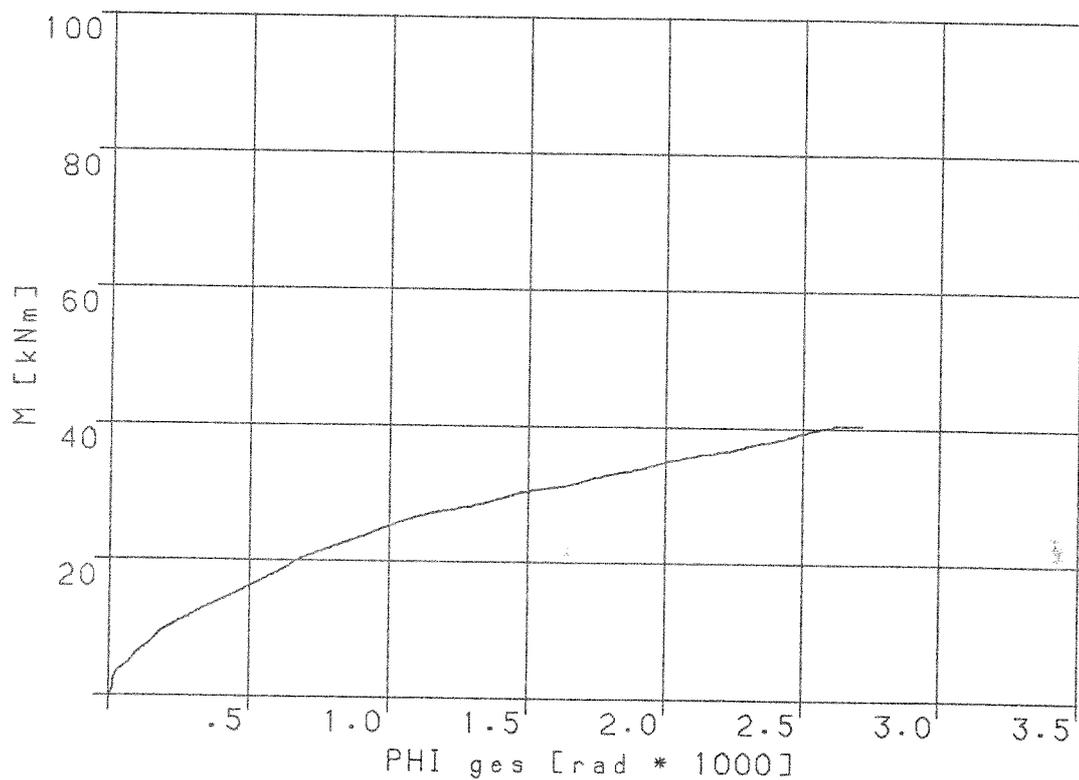
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 4Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 5

Trägerprofil: HE 200 A

Anschluß: IH 1A 20 20

Zug-Normalkraft: 256 [kN]

M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 5Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 6

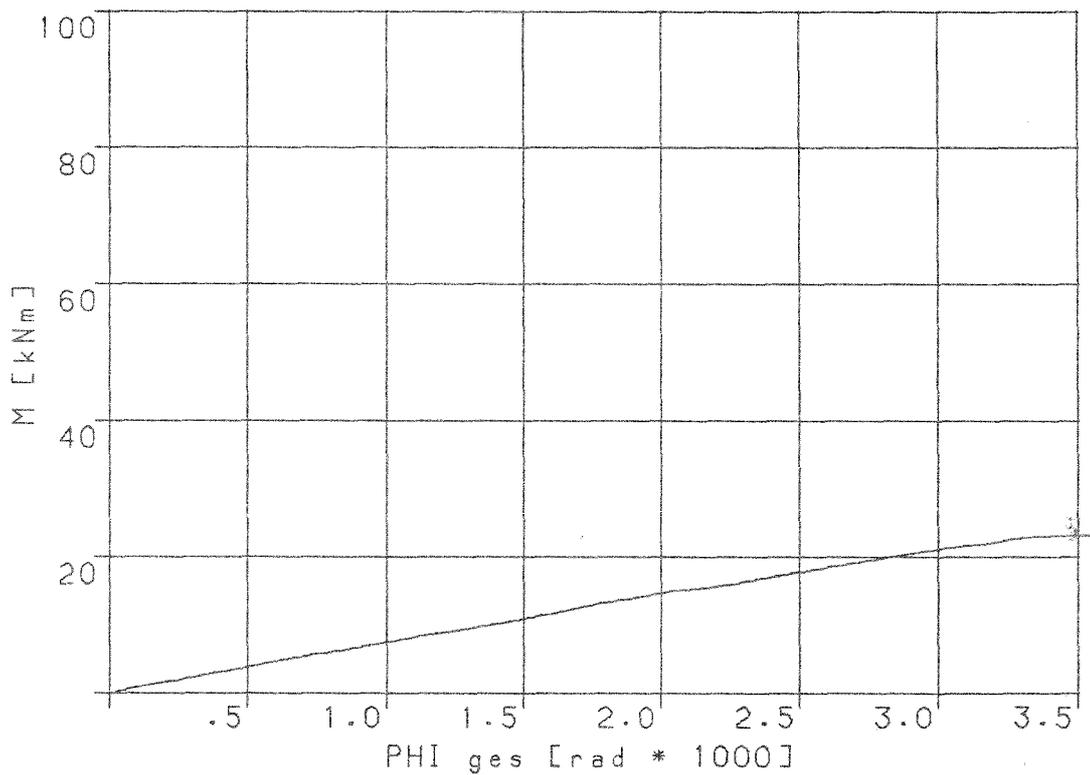
Trägerprofil: HE 200 A

Anschluß: IH 1A 20 20

Zug-Normalkraft: 512 [kN]

M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 6

Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

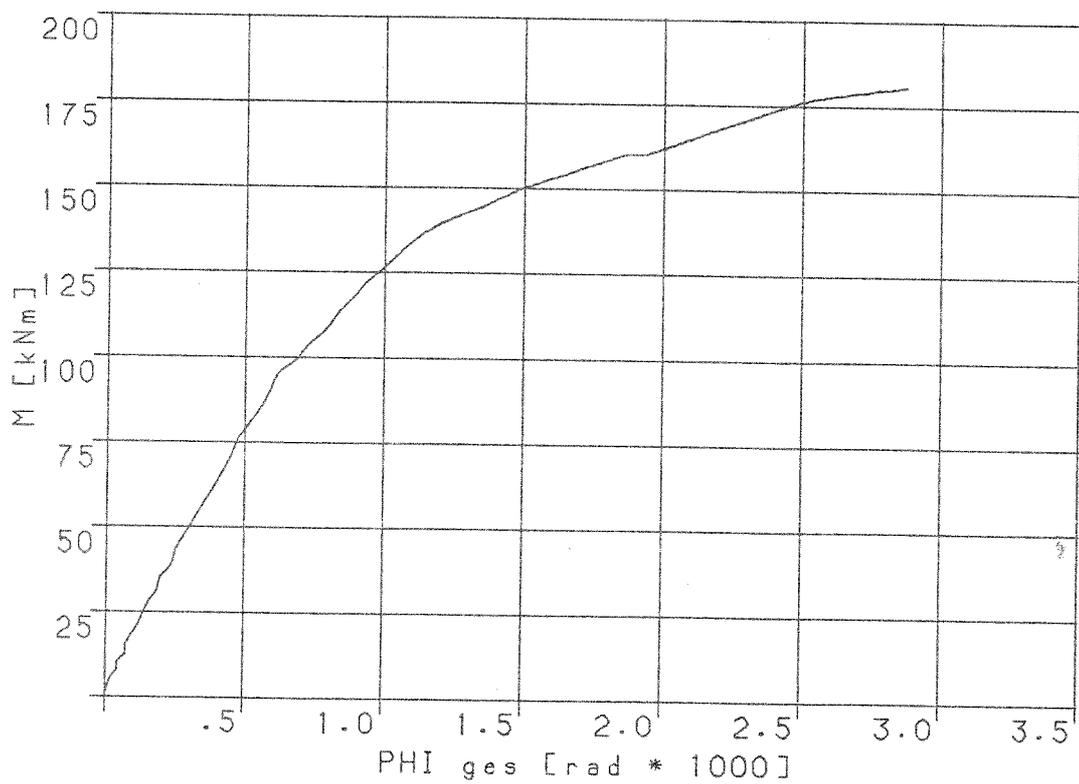


Versuch Nr. 7

Trägerprofil: HE 260 A

Anschluß: IH 3A 26 20

Zug-Normalkraft: - [kN]

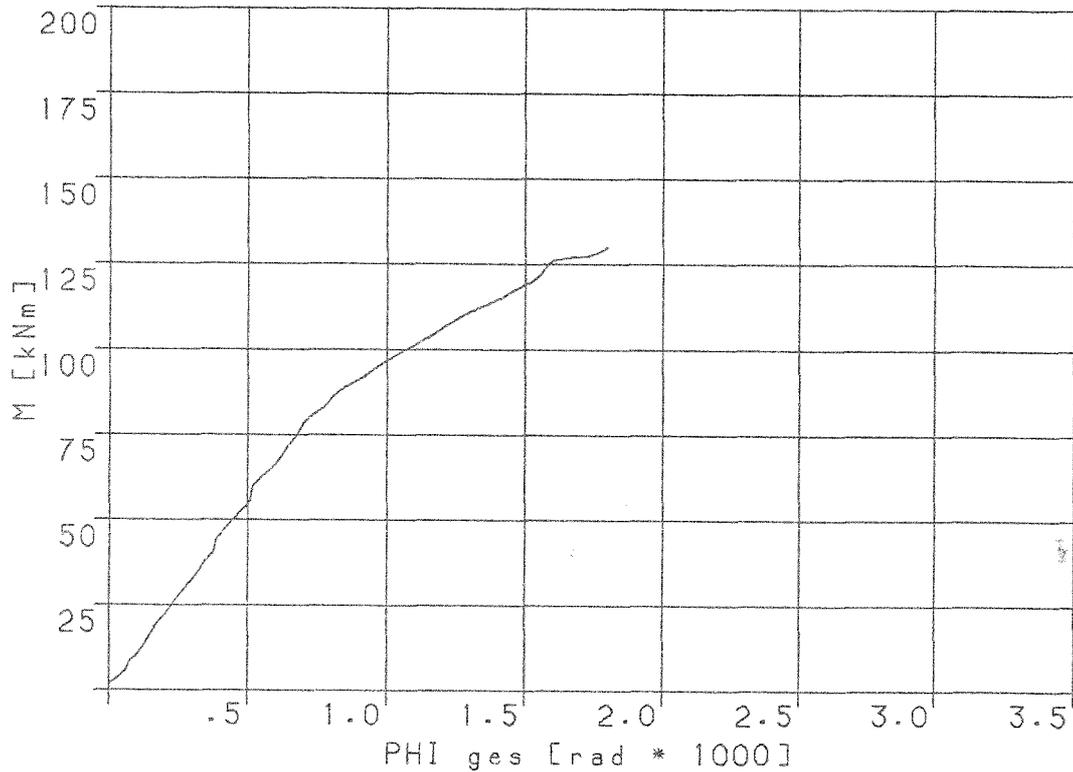
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 7Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 8

Trägerprofil: HE 260 A

Anschluß: IH 3A 26 20

Zug-Normalkraft: 414 [kN]

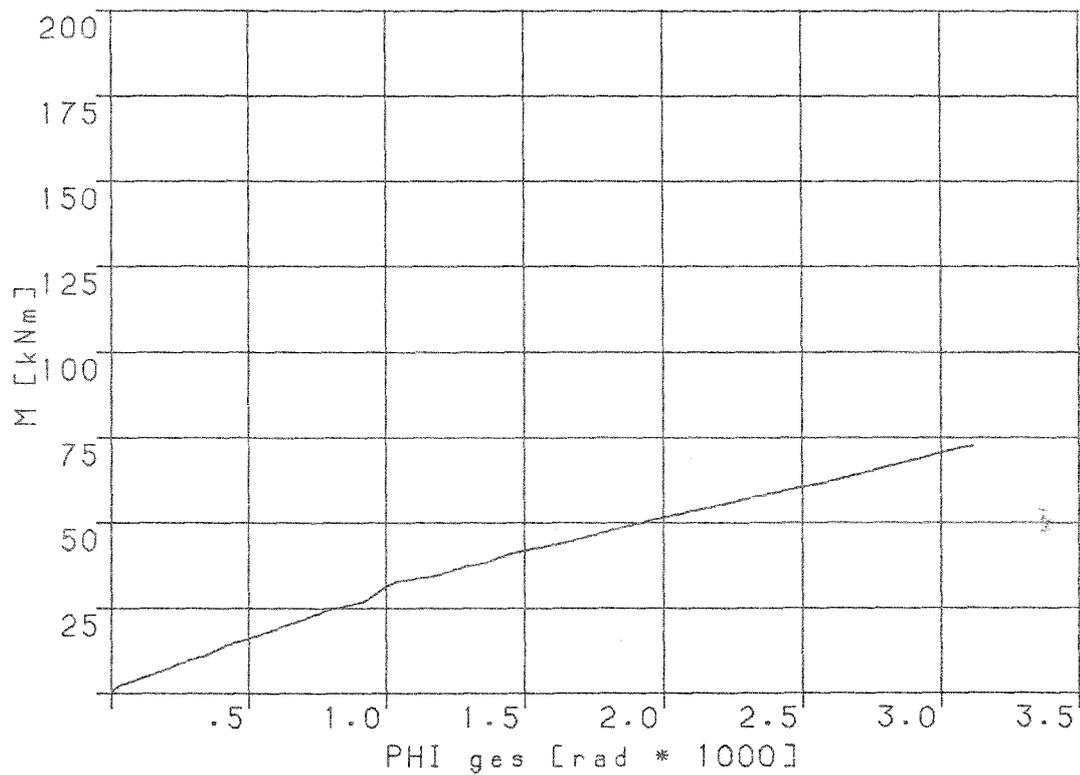
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 8Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 9

Trägerprofil: HE 260 A

Anschluß: IH 3A 26 20

Zug-Normalkraft: 839 [kN]

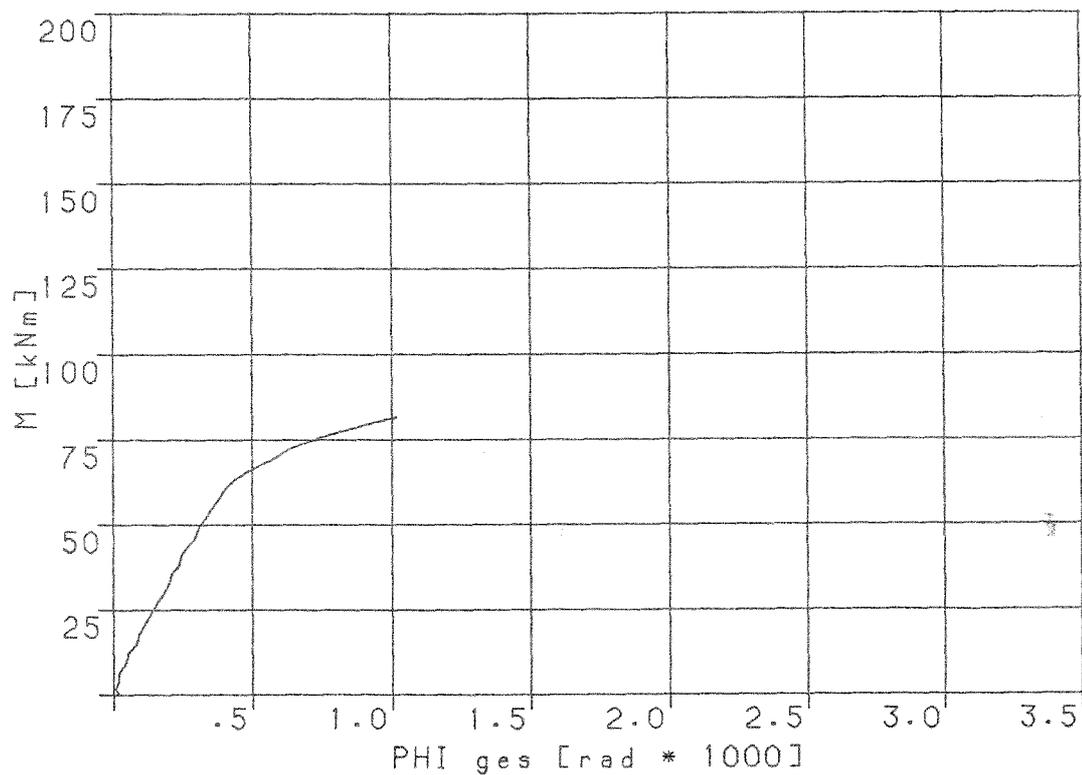
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 9Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 10

Trägerprofil: HE 260 A

Anschluß: IH 1A 26 20

Zug-Normalkraft: - [kN]

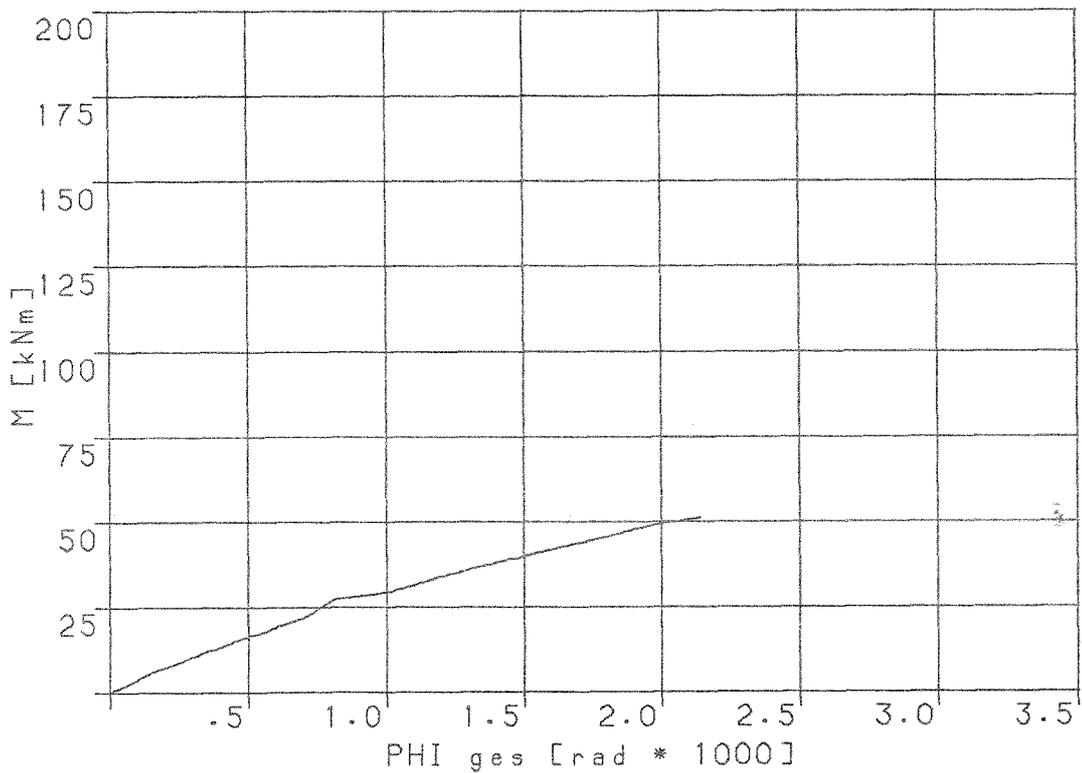
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 10Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 11

Trägerprofil: HE 260 A

Anschluß: IH 1A 26 20

Zug-Normalkraft: 413 [kN]

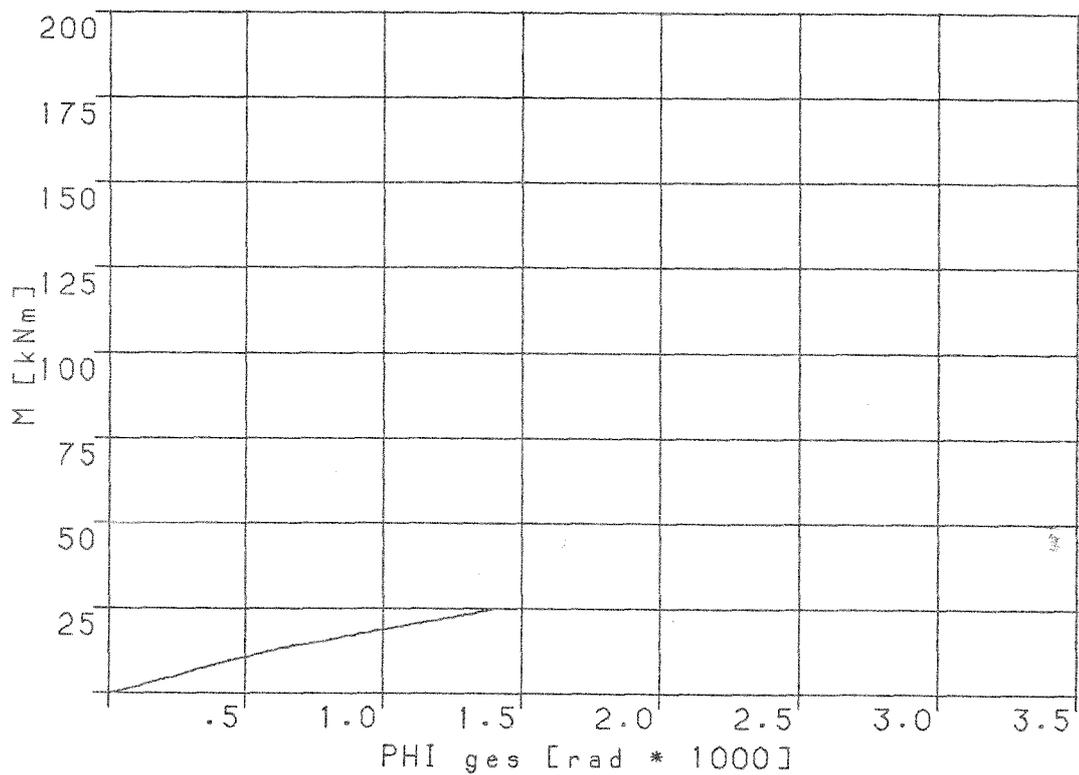
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 11Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 12

Trägerprofil: HE 260 A

Anschluß: IH 1A 26 20

Zug-Normalkraft: 618 [kN]

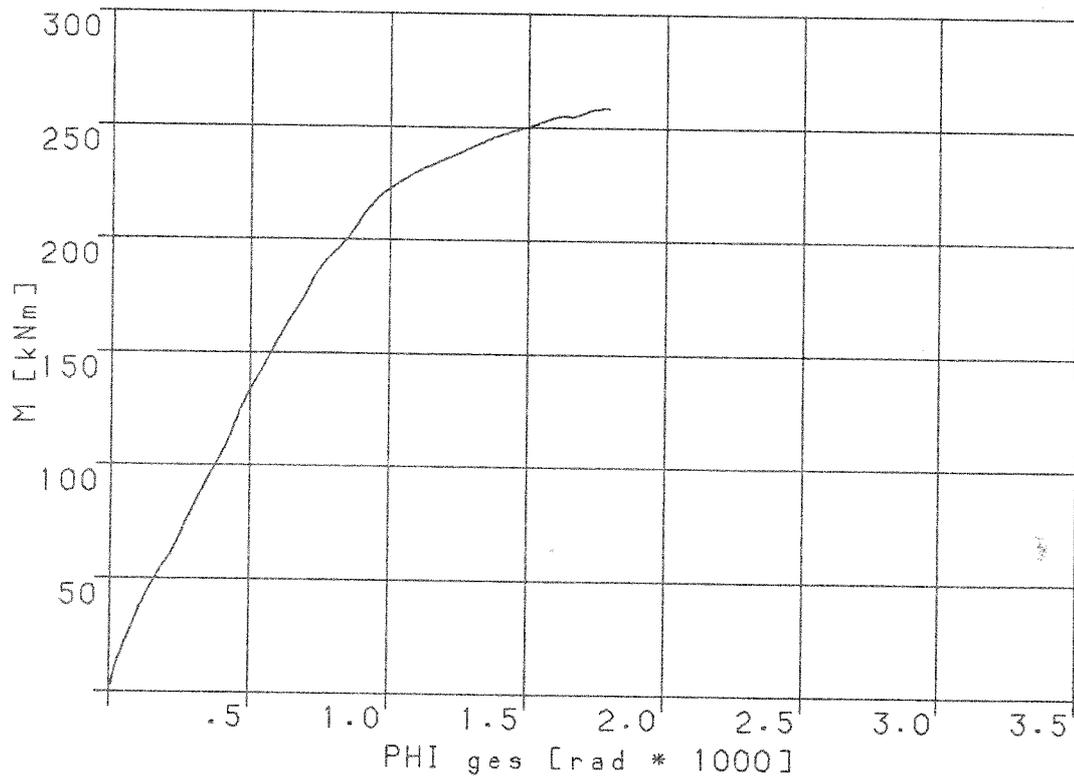
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 12Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 13

Trägerprofil: HE 300 A

Anschluß: IH 3A 30 24

Zug-Normalkraft: - [kN]

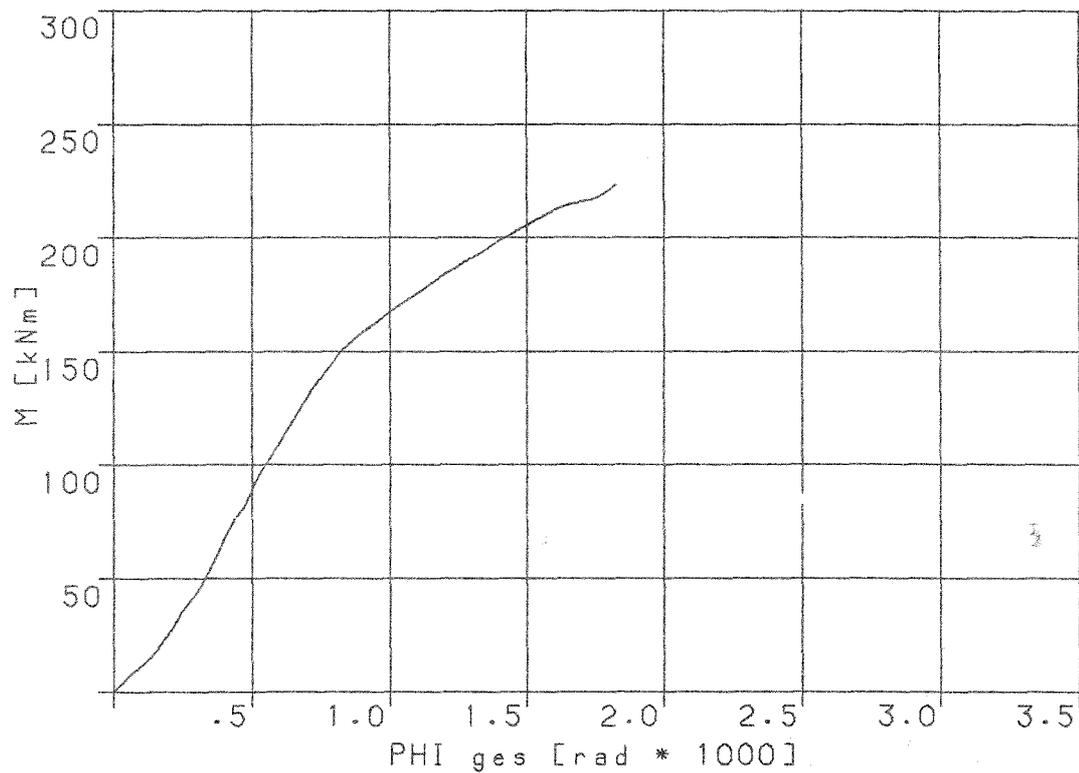
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 13Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 14

Trägerprofil: HE 300 A

Anschluß: IH 3A 30 24

Zug-Normalkraft: 534 [kN]

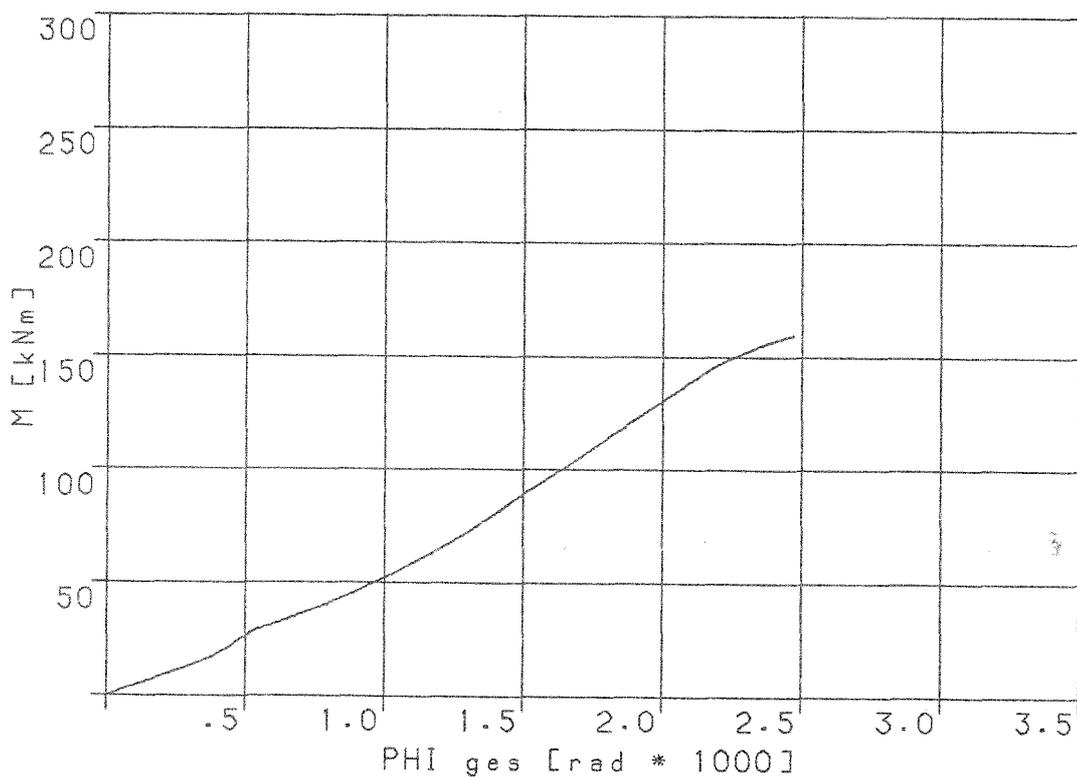
M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 14Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stößelementes

Versuch Nr. 15

Trägerprofil: HE 300 A

Anschluß: IH 3A 30 24

Zug-Normalkraft: 1006 [kN]

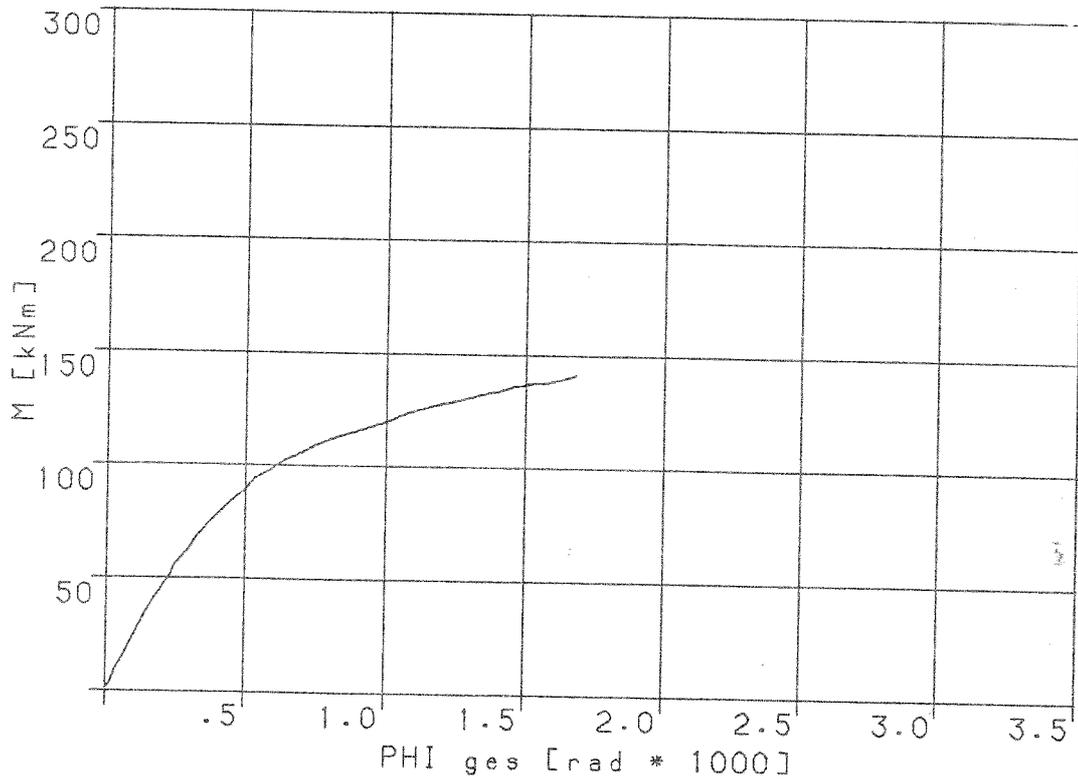
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 15Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stößelementes

Versuch Nr. 16

Trägerprofil: HE 300 A

Anschluß: IH 1A 30 24

Zug-Normalkraft: - [kN]

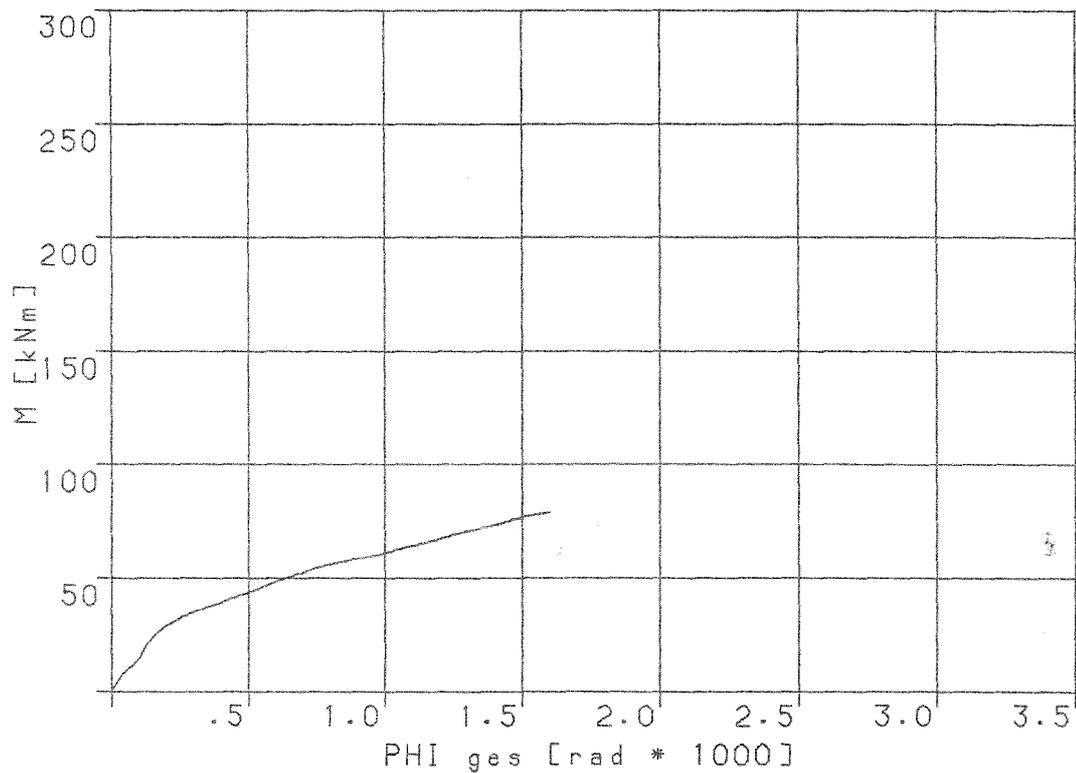
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 16Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stöbelementes

Versuch Nr. 17

Trägerprofil: HE 300 A

Anschluß: IH 1A 30 24

Zug-Normalkraft: 527 [kN]

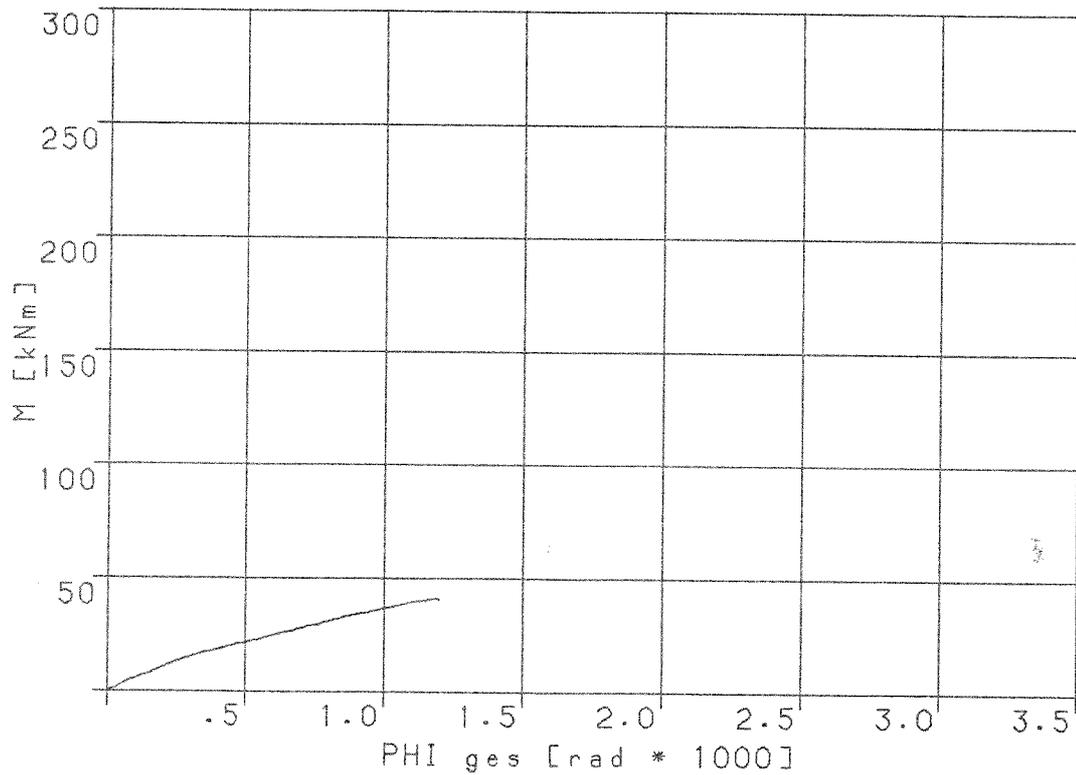
M- Φ -Kurve von Versuch Nr. 17Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes

Versuch Nr. 18

Trägerprofil: HE 300 A

Anschluß: IH 1A 30 24

Zug-Normalkraft: 809 [kN]

M- ϕ -Kurve von Versuch Nr. 18Momentenbeanspruchung des Anschlusses als Funktion der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stößelementes

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 001

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 0

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
0.6	0.00	0.00	-0.00	0.000013	0.000010	0.000003
2.1	-0.00	0.00	0.00	0.000013	0.000035	-0.000021
3.7	-0.01	-0.00	0.00	0.000040	0.000061	-0.000021
5.4	-0.01	-0.00	0.01	0.000067	0.000089	-0.000021
7.1	-0.01	0.00	0.01	0.000067	0.000117	-0.000050
8.8	-0.02	0.00	0.02	0.000108	0.000146	-0.000038
10.6	-0.03	0.00	0.03	0.000162	0.000175	-0.000013
12.3	-0.04	0.01	0.03	0.000189	0.000204	-0.000015
14.2	-0.04	0.01	0.04	0.000216	0.000234	-0.000019
16.2	-0.05	0.01	0.04	0.000242	0.000267	-0.000024
18.4	-0.05	0.01	0.05	0.000283	0.000303	-0.000021
20.8	-0.06	0.00	0.05	0.000323	0.000342	-0.000019
23.1	-0.08	0.00	0.06	0.000377	0.000381	-0.000004
27.0	-0.09	0.00	0.08	0.000431	0.000446	-0.000015
29.7	-0.09	0.00	0.09	0.000471	0.000490	-0.000018
32.4	-0.10	0.00	0.09	0.000525	0.000534	-0.000009
35.1	-0.11	0.00	0.10	0.000566	0.000579	-0.000013
37.8	-0.12	0.00	0.11	0.000620	0.000623	-0.000004
40.3	-0.13	0.00	0.12	0.000673	0.000665	0.000008
42.8	-0.14	0.00	0.13	0.000714	0.000706	0.000008
45.3	-0.14	0.00	0.14	0.000754	0.000747	0.000007
47.7	-0.15	0.00	0.14	0.000795	0.000786	0.000009
50.1	-0.16	0.00	0.16	0.000835	0.000827	0.000009
52.9	-0.17	0.00	0.16	0.000902	0.000873	0.000029
57.6	-0.18	0.00	0.19	0.000983	0.000950	0.000033
60.3	-0.19	0.00	0.19	0.001037	0.000995	0.000042
63.0	-0.19	0.00	0.20	0.001078	0.001040	0.000038
65.8	-0.20	0.00	0.22	0.001131	0.001085	0.000046
68.3	-0.21	0.00	0.23	0.001185	0.001126	0.000059
70.8	-0.22	0.00	0.24	0.001239	0.001168	0.000071
73.2	-0.23	0.00	0.25	0.001307	0.001208	0.000098
82.6	-0.26	0.02	0.31	0.001536	0.001363	0.000173
84.8	-0.28	0.03	0.33	0.001630	0.001400	0.000230
86.9	-0.29	0.04	0.36	0.001738	0.001434	0.000304
88.9	-0.30	0.04	0.38	0.001805	0.001467	0.000338
90.6	-0.31	0.04	0.39	0.001886	0.001494	0.000392
91.9	-0.31	0.04	0.41	0.001953	0.001516	0.000437
93.6	-0.32	0.04	0.43	0.002034	0.001545	0.000489
96.6	-0.34	0.05	0.47	0.002169	0.001594	0.000575
97.2	-0.35	0.05	0.49	0.002236	0.001603	0.000633
96.7	-0.35	0.05	0.49	0.002249	0.001596	0.000654
97.6	-0.35	0.05	0.49	0.002263	0.001610	0.000653
98.0	-0.35	0.05	0.50	0.002276	0.001617	0.000660
97.2	-0.36	0.05	0.50	0.002290	0.001603	0.000687
0.6	-0.04	-0.01	0.02	0.000189	0.000011	0.000178

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 002

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 257

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta Φ [rad]
1.2	0.01	-0.01	0.00	0.000013	0.000020	-0.000006
2.8	0.01	-0.01	0.01	0.000027	0.000046	-0.000019
4.7	0.00	-0.01	0.01	0.000027	0.000077	-0.000050
6.5	-0.00	-0.01	0.01	0.000054	0.000108	-0.000054
8.1	-0.01	-0.01	0.01	0.000067	0.000134	-0.000067
9.9	-0.01	-0.01	0.03	0.000108	0.000164	-0.000056
12.1	-0.02	-0.01	0.03	0.000162	0.000199	-0.000037
13.9	-0.02	-0.01	0.03	0.000162	0.000229	-0.000067
16.7	-0.04	-0.01	0.04	0.000229	0.000275	-0.000046
18.8	-0.04	-0.01	0.05	0.000256	0.000310	-0.000054
21.3	-0.05	-0.01	0.06	0.000296	0.000351	-0.000055
24.6	-0.06	-0.01	0.07	0.000364	0.000406	-0.000043
27.4	-0.07	-0.01	0.08	0.000404	0.000452	-0.000048
30.0	-0.08	-0.02	0.08	0.000445	0.000495	-0.000050
32.7	-0.09	-0.01	0.09	0.000498	0.000539	-0.000041
35.7	-0.09	-0.01	0.11	0.000539	0.000588	-0.000050
37.9	-0.10	-0.01	0.11	0.000579	0.000625	-0.000046
40.3	-0.12	-0.01	0.12	0.000633	0.000664	-0.000031
42.9	-0.12	-0.01	0.13	0.000660	0.000707	-0.000047
46.1	-0.13	-0.01	0.14	0.000727	0.000761	-0.000033
48.6	-0.13	-0.01	0.16	0.000781	0.000801	-0.000020
52.2	-0.15	-0.01	0.16	0.000808	0.000861	-0.000053
55.0	-0.16	-0.02	0.17	0.000889	0.000907	-0.000018
57.7	-0.16	-0.02	0.18	0.000943	0.000951	-0.000008
60.2	-0.17	-0.02	0.20	0.000983	0.000993	-0.000010
62.7	-0.18	-0.02	0.20	0.001037	0.001035	0.000003
65.0	-0.19	-0.02	0.21	0.001091	0.001072	0.000019
66.9	-0.19	-0.01	0.23	0.001131	0.001103	0.000028
69.6	-0.20	-0.01	0.24	0.001199	0.001149	0.000050
71.9	-0.22	-0.01	0.26	0.001280	0.001185	0.000094
79.3	-0.25	0.01	0.33	0.001576	0.001309	0.000267
77.9	-0.25	0.01	0.33	0.001576	0.001285	0.000291
-0.8	-0.01	-0.01	0.02	0.000094	-0.000014	0.000108

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 003

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 524

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta δ [rad]
0.3	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000004	-0.000004
1.2	-0.01	0.00	0.00	0.000027	0.000019	0.000008
2.2	-0.03	-0.00	0.00	0.000094	0.000036	0.000058
3.5	-0.04	-0.01	0.01	0.000148	0.000058	0.000091
5.0	-0.08	-0.03	0.01	0.000243	0.000083	0.000160
6.4	-0.09	-0.04	0.01	0.000283	0.000105	0.000178
7.9	-0.11	-0.05	0.02	0.000337	0.000130	0.000207
9.9	-0.13	-0.05	0.03	0.000431	0.000163	0.000268
11.9	-0.14	-0.05	0.04	0.000485	0.000196	0.000290
13.9	-0.16	-0.05	0.04	0.000539	0.000229	0.000310
16.0	-0.17	-0.06	0.05	0.000593	0.000263	0.000330
20.3	-0.19	-0.06	0.07	0.000701	0.000334	0.000367
22.5	-0.20	-0.06	0.08	0.000741	0.000370	0.000371
24.9	-0.20	-0.06	0.08	0.000768	0.000409	0.000359
27.8	-0.22	-0.06	0.09	0.000822	0.000457	0.000365
30.5	-0.23	-0.07	0.10	0.000889	0.000500	0.000389
33.0	-0.24	-0.07	0.11	0.000930	0.000542	0.000388
35.5	-0.25	-0.06	0.11	0.000970	0.000583	0.000387
38.1	-0.25	-0.06	0.13	0.001038	0.000625	0.000413
40.3	-0.26	-0.06	0.13	0.001065	0.000662	0.000403
42.5	-0.27	-0.07	0.15	0.001132	0.000698	0.000434
44.8	-0.28	-0.06	0.16	0.001186	0.000736	0.000450
47.1	-0.28	-0.05	0.18	0.001253	0.000774	0.000479
49.5	-0.29	-0.05	0.19	0.001294	0.000813	0.000481
51.9	-0.30	-0.05	0.21	0.001375	0.000854	0.000521
56.2	-0.32	-0.05	0.25	0.001523	0.000923	0.000600
58.1	-0.32	-0.04	0.27	0.001577	0.000954	0.000622
60.1	-0.33	-0.03	0.28	0.001658	0.000988	0.000670
62.1	-0.34	-0.02	0.31	0.001725	0.001021	0.000704
60.8	-0.34	-0.02	0.31	0.001725	0.000999	0.000726
-0.4	-0.00	0.01	0.02	0.000081	-0.000006	0.000087

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 004

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 0

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	δ el [rad]	delta δ [rad]
0.4	0.00	0.00	0.00	0.000027	0.000006	0.000021
1.4	0.00	0.01	0.00	0.000013	0.000023	-0.000010
2.7	0.00	0.01	0.01	0.000027	0.000044	-0.000017
4.0	0.00	-0.00	0.01	0.000027	0.000065	-0.000038
5.3	-0.00	-0.00	0.02	0.000067	0.000088	-0.000020
6.8	-0.00	-0.01	0.02	0.000067	0.000112	-0.000045
8.3	-0.02	-0.00	0.03	0.000121	0.000137	-0.000015
9.9	-0.02	-0.00	0.03	0.000121	0.000162	-0.000041
11.9	-0.02	-0.00	0.04	0.000175	0.000195	-0.000020
15.8	-0.04	-0.00	0.05	0.000243	0.000259	-0.000016
18.2	-0.04	-0.01	0.06	0.000270	0.000300	-0.000030
20.7	-0.04	-0.01	0.07	0.000297	0.000340	-0.000043
23.0	-0.05	-0.00	0.08	0.000351	0.000379	-0.000028
25.2	-0.06	0.00	0.09	0.000405	0.000415	-0.000010
27.6	-0.06	0.00	0.10	0.000445	0.000453	-0.000008
30.0	-0.07	0.01	0.12	0.000499	0.000493	0.000006
32.2	-0.08	0.01	0.13	0.000540	0.000529	0.000011
34.3	-0.09	0.01	0.14	0.000621	0.000563	0.000058
36.3	-0.09	0.02	0.16	0.000702	0.000596	0.000106
40.3	-0.10	0.05	0.22	0.000891	0.000663	0.000228
42.1	-0.11	0.05	0.25	0.000985	0.000691	0.000294
43.6	-0.12	0.06	0.28	0.001093	0.000717	0.000376
45.2	-0.13	0.07	0.32	0.001215	0.000743	0.000472
45.4	-0.13	0.07	0.34	0.001269	0.000747	0.000522
46.0	-0.13	0.08	0.35	0.001296	0.000756	0.000540
47.5	-0.14	0.09	0.38	0.001404	0.000781	0.000623
49.0	-0.15	0.10	0.41	0.001525	0.000805	0.000721
50.3	-0.15	0.11	0.46	0.001633	0.000827	0.000806
53.3	-0.17	0.16	0.58	0.002052	0.000875	0.001177
53.7	-0.17	0.16	0.60	0.002092	0.000883	0.001210
0.2	-0.00	-0.01	0.04	0.000135	0.000003	0.000132

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 005

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 256

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
1.1	0.00	0.00	0.00	0.000014	0.000018	-0.000004
2.2	0.00	0.00	0.00	0.000014	0.000037	-0.000023
3.5	0.00	0.01	0.01	0.000027	0.000058	-0.000031
4.8	0.00	0.01	0.03	0.000068	0.000079	-0.000011
6.2	-0.00	0.01	0.03	0.000095	0.000102	-0.000007
7.6	-0.01	0.01	0.04	0.000135	0.000126	0.000009
9.6	-0.01	0.02	0.06	0.000189	0.000159	0.000030
11.5	-0.01	0.03	0.08	0.000270	0.000190	0.000080
14.1	-0.02	0.04	0.12	0.000392	0.000233	0.000159
15.7	-0.03	0.04	0.14	0.000473	0.000259	0.000213
17.2	-0.04	0.05	0.16	0.000540	0.000284	0.000256
18.7	-0.04	0.05	0.19	0.000621	0.000310	0.000312
20.3	-0.04	0.06	0.21	0.000675	0.000335	0.000341
21.9	-0.05	0.07	0.24	0.000783	0.000362	0.000422
23.5	-0.06	0.08	0.27	0.000891	0.000388	0.000504
24.8	-0.06	0.09	0.30	0.000972	0.000409	0.000563
27.0	-0.07	0.12	0.36	0.001135	0.000445	0.000689
28.4	-0.07	0.14	0.41	0.001310	0.000469	0.000841
30.6	-0.09	0.17	0.48	0.001513	0.000505	0.001008
31.4	-0.09	0.19	0.52	0.001648	0.000519	0.001129
32.6	-0.09	0.20	0.56	0.001756	0.000539	0.001216
33.9	-0.09	0.22	0.61	0.001904	0.000560	0.001345
34.9	-0.09	0.23	0.64	0.001999	0.000577	0.001422
36.0	-0.10	0.25	0.68	0.002134	0.000595	0.001539
36.9	-0.11	0.27	0.73	0.002256	0.000609	0.001646
37.6	-0.11	0.29	0.75	0.002323	0.000621	0.001702
38.1	-0.11	0.30	0.77	0.002391	0.000629	0.001761
40.4	-0.12	0.33	0.85	0.002634	0.000668	0.001966
40.4	-0.12	0.34	0.88	0.002715	0.000667	0.002047
40.0	-0.12	0.35	0.89	0.002715	0.000661	0.002054
-0.5	0.04	0.14	0.19	0.000608	-0.000008	0.000616

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 006

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 512

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	δ ges [rad]	δ el [rad]	delta δ [rad]
1.1	-0.02	0.00	0.02	0.000122	0.000018	0.000104
2.0	-0.05	-0.00	0.05	0.000258	0.000033	0.000225
2.9	-0.06	-0.00	0.07	0.000380	0.000049	0.000332
3.8	-0.08	0.00	0.10	0.000503	0.000064	0.000439
4.7	-0.10	0.01	0.12	0.000598	0.000078	0.000520
5.5	-0.12	0.01	0.14	0.000707	0.000091	0.000616
6.3	-0.14	0.01	0.17	0.000842	0.000104	0.000738
7.2	-0.16	0.01	0.20	0.000965	0.000119	0.000846
8.1	-0.17	0.02	0.23	0.001087	0.000135	0.000952
9.2	-0.19	0.03	0.27	0.001250	0.000152	0.001098
10.8	-0.21	0.05	0.33	0.001481	0.000179	0.001302
11.8	-0.22	0.05	0.37	0.001617	0.000196	0.001421
12.9	-0.23	0.07	0.41	0.001739	0.000214	0.001525
14.0	-0.25	0.09	0.46	0.001902	0.000232	0.001670
15.1	-0.25	0.10	0.50	0.002052	0.000250	0.001802
15.7	-0.25	0.13	0.56	0.002215	0.000261	0.001954
16.8	-0.26	0.14	0.61	0.002351	0.000278	0.002072
17.8	-0.26	0.16	0.65	0.002500	0.000295	0.002205
18.8	-0.27	0.18	0.70	0.002649	0.000312	0.002337
20.2	-0.28	0.20	0.77	0.002853	0.000335	0.002518
21.1	-0.28	0.23	0.82	0.002989	0.000350	0.002639
22.1	-0.29	0.25	0.88	0.003179	0.000366	0.002814
23.0	-0.30	0.28	0.94	0.003342	0.000381	0.002961
23.2	-0.30	0.32	1.01	0.003560	0.000385	0.003175
23.3	-0.30	0.33	1.06	0.003696	0.000387	0.003309
23.1	-0.30	0.35	1.09	0.003750	0.000382	0.003368
-0.8	0.03	0.30	0.57	0.001617	-0.000013	0.001630

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 007

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 0

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
1.3	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000008	-0.000008
3.5	0.00	-0.00	0.00	0.000010	0.000021	-0.000011
5.7	-0.00	-0.01	0.00	0.000021	0.000034	-0.000013
8.0	-0.01	-0.01	0.01	0.000041	0.000048	-0.000006
10.3	-0.01	-0.01	0.01	0.000041	0.000062	-0.000020
12.8	-0.02	-0.01	0.01	0.000072	0.000076	-0.000004
15.3	-0.02	-0.01	0.01	0.000072	0.000091	-0.000019
21.0	-0.03	-0.01	0.02	0.000113	0.000126	-0.000012
24.4	-0.04	-0.01	0.02	0.000134	0.000146	-0.000012
28.0	-0.04	-0.01	0.04	0.000155	0.000167	-0.000013
31.6	-0.05	-0.01	0.04	0.000186	0.000189	-0.000003
35.3	-0.05	-0.01	0.04	0.000196	0.000211	-0.000015
39.1	-0.06	-0.01	0.05	0.000237	0.000234	0.000003
43.1	-0.06	-0.01	0.06	0.000248	0.000258	-0.000011
47.2	-0.06	-0.01	0.07	0.000279	0.000283	-0.000004
51.5	-0.08	-0.01	0.08	0.000310	0.000308	0.000001
55.7	-0.08	-0.01	0.09	0.000340	0.000334	0.000007
60.9	-0.09	-0.01	0.09	0.000382	0.000365	0.000017
66.9	-0.10	-0.01	0.10	0.000423	0.000401	0.000022
71.5	-0.11	-0.01	0.12	0.000454	0.000428	0.000026
76.1	-0.11	-0.01	0.12	0.000475	0.000456	0.000019
80.6	-0.12	-0.01	0.13	0.000516	0.000483	0.000033
84.0	-0.13	-0.01	0.14	0.000547	0.000503	0.000044
88.2	-0.13	-0.00	0.15	0.000578	0.000528	0.000050
95.2	-0.13	0.01	0.16	0.000619	0.000570	0.000049
99.0	-0.15	0.00	0.19	0.000681	0.000593	0.000088
103.2	-0.15	0.01	0.20	0.000722	0.000618	0.000104
107.7	-0.16	0.01	0.22	0.000784	0.000645	0.000139
113.4	-0.16	0.02	0.24	0.000836	0.000679	0.000156
117.8	-0.18	0.04	0.25	0.000887	0.000706	0.000182
121.7	-0.18	0.04	0.27	0.000929	0.000729	0.000200
124.4	-0.19	0.04	0.28	0.000970	0.000745	0.000225
131.5	-0.20	0.07	0.31	0.001063	0.000788	0.000275
135.1	-0.20	0.07	0.34	0.001114	0.000810	0.000305
138.4	-0.21	0.08	0.36	0.001176	0.000829	0.000347
141.4	-0.22	0.08	0.39	0.001248	0.000847	0.000402
144.3	-0.22	0.09	0.43	0.001341	0.000864	0.000477
150.2	-0.24	0.12	0.49	0.001496	0.000900	0.000596
154.1	-0.25	0.14	0.54	0.001641	0.000923	0.000717
157.6	-0.26	0.15	0.60	0.001764	0.000944	0.000820
160.3	-0.27	0.16	0.64	0.001878	0.000960	0.000918
160.4	-0.28	0.17	0.66	0.001929	0.000961	0.000969
177.1	-0.32	0.24	0.91	0.002538	0.001061	0.001477
179.4	-0.34	0.28	1.00	0.002745	0.001075	0.001670
180.8	-0.34	0.29	1.05	0.002868	0.001083	0.001785
175.6	-0.35	0.40	1.12	0.003023	0.001052	0.001971
-1.2	-0.07	0.05	0.20	0.000547	-0.000007	0.000554

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 008

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 414

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta Φ [rad]
1.4	0.00	-0.00	0.00	0.000000	0.000008	-0.000008
3.5	-0.01	-0.00	0.00	0.000031	0.000020	0.000011
5.9	-0.02	0.00	0.01	0.000062	0.000035	0.000028
8.2	-0.02	-0.00	0.01	0.000073	0.000048	0.000025
10.7	-0.04	0.00	0.01	0.000104	0.000063	0.000041
13.2	-0.04	0.00	0.02	0.000125	0.000078	0.000047
15.9	-0.05	-0.01	0.02	0.000146	0.000094	0.000052
18.8	-0.05	-0.01	0.02	0.000166	0.000111	0.000055
22.9	-0.06	-0.01	0.03	0.000208	0.000135	0.000073
26.5	-0.08	-0.01	0.04	0.000239	0.000156	0.000083
29.9	-0.09	-0.01	0.04	0.000270	0.000176	0.000094
33.8	-0.09	-0.01	0.05	0.000312	0.000199	0.000113
37.7	-0.11	-0.01	0.06	0.000343	0.000222	0.000121
40.5	-0.12	-0.01	0.06	0.000374	0.000239	0.000135
43.9	-0.12	-0.01	0.07	0.000385	0.000259	0.000126
51.8	-0.13	-0.01	0.09	0.000468	0.000305	0.000163
55.9	-0.15	-0.01	0.10	0.000510	0.000329	0.000180
59.8	-0.15	-0.01	0.10	0.000520	0.000352	0.000168
65.7	-0.16	-0.01	0.12	0.000593	0.000387	0.000206
70.3	-0.18	-0.01	0.13	0.000634	0.000414	0.000220
74.8	-0.19	-0.01	0.14	0.000676	0.000441	0.000235
79.0	-0.19	-0.01	0.15	0.000707	0.000465	0.000242
82.8	-0.20	-0.01	0.17	0.000770	0.000488	0.000282
85.7	-0.21	-0.01	0.18	0.000801	0.000505	0.000296
88.9	-0.22	-0.01	0.19	0.000853	0.000524	0.000329
91.9	-0.22	-0.01	0.22	0.000915	0.000542	0.000374
99.2	-0.24	0.00	0.26	0.001050	0.000584	0.000466
102.1	-0.25	0.01	0.29	0.001123	0.000601	0.000522
105.3	-0.25	0.01	0.31	0.001186	0.000620	0.000565
110.5	-0.27	0.02	0.35	0.001290	0.000651	0.000638
114.3	-0.28	0.04	0.39	0.001394	0.000674	0.000720
117.8	-0.29	0.05	0.42	0.001466	0.000694	0.000772
120.6	-0.29	0.05	0.45	0.001539	0.000711	0.000828
126.2	-0.30	0.08	0.47	0.001601	0.000744	0.000858
127.7	-0.31	0.08	0.53	0.001737	0.000753	0.000984
130.0	-0.31	0.09	0.56	0.001799	0.000766	0.001033
128.0	-0.31	0.10	0.56	0.001809	0.000754	0.001056
-0.4	-0.04	0.04	0.10	0.000302	-0.000002	0.000304

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 009

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 839

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
1.0	-0.00	0.00	0.00	0.000010	0.000006	0.000004
3.0	-0.02	-0.01	0.00	0.000052	0.000017	0.000035
5.0	-0.05	-0.02	0.01	0.000125	0.000029	0.000096
7.0	-0.08	-0.03	0.01	0.000198	0.000041	0.000157
8.9	-0.11	-0.03	0.01	0.000251	0.000053	0.000198
10.7	-0.13	-0.04	0.02	0.000324	0.000063	0.000261
12.4	-0.16	-0.05	0.02	0.000376	0.000073	0.000303
14.1	-0.17	-0.05	0.03	0.000418	0.000083	0.000335
15.8	-0.20	-0.06	0.04	0.000491	0.000093	0.000398
20.2	-0.26	-0.08	0.05	0.000648	0.000119	0.000528
22.4	-0.29	-0.09	0.06	0.000721	0.000132	0.000589
24.5	-0.31	-0.10	0.06	0.000794	0.000145	0.000649
26.7	-0.36	-0.11	0.08	0.000909	0.000157	0.000751
28.8	-0.38	-0.12	0.09	0.000961	0.000170	0.000791
32.6	-0.40	-0.12	0.09	0.001034	0.000192	0.000842
34.5	-0.45	-0.14	0.11	0.001181	0.000204	0.000977
36.4	-0.48	-0.14	0.12	0.001254	0.000215	0.001039
38.4	-0.51	-0.16	0.14	0.001358	0.000227	0.001132
40.7	-0.54	-0.16	0.15	0.001442	0.000240	0.001201
44.9	-0.61	-0.17	0.19	0.001682	0.000265	0.001417
47.3	-0.64	-0.18	0.21	0.001786	0.000279	0.001507
49.6	-0.68	-0.19	0.23	0.001901	0.000293	0.001608
52.0	-0.72	-0.19	0.25	0.002027	0.000307	0.001720
54.1	-0.75	-0.19	0.28	0.002142	0.000319	0.001822
55.9	-0.78	-0.20	0.29	0.002236	0.000330	0.001906
57.9	-0.81	-0.20	0.31	0.002351	0.000342	0.002009
59.9	-0.85	-0.20	0.33	0.002466	0.000354	0.002112
61.9	-0.88	-0.21	0.36	0.002591	0.000366	0.002225
63.8	-0.91	-0.22	0.38	0.002685	0.000377	0.002308
69.5	-0.97	-0.22	0.44	0.002957	0.000411	0.002546
72.3	-0.99	-0.22	0.49	0.003082	0.000427	0.002655
72.5	-0.99	-0.22	0.50	0.003113	0.000428	0.002685
70.4	-0.99	-0.22	0.50	0.003124	0.000416	0.002708
-1.1	0.02	0.06	0.11	0.000272	-0.000006	0.000278

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 010

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 0

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
0.3	-0.00	0.00	0.00	0.000021	0.000002	0.000019
1.8	0.00	0.00	0.00	0.000010	0.000011	-0.000001
4.0	0.00	0.00	0.01	0.000021	0.000024	-0.000003
6.4	0.00	0.00	0.01	0.000021	0.000039	-0.000018
9.1	-0.00	0.00	0.01	0.000041	0.000055	-0.000013
12.0	-0.01	0.00	0.01	0.000052	0.000072	-0.000020
15.2	-0.01	0.00	0.02	0.000083	0.000091	-0.000008
18.1	-0.01	0.00	0.03	0.000093	0.000108	-0.000015
21.0	-0.02	0.01	0.04	0.000114	0.000126	-0.000012
23.9	-0.02	0.01	0.04	0.000135	0.000143	-0.000009
26.8	-0.03	0.00	0.04	0.000155	0.000161	-0.000005
29.6	-0.04	0.00	0.05	0.000176	0.000177	-0.000001
32.5	-0.04	0.01	0.05	0.000197	0.000195	0.000002
35.4	-0.04	0.01	0.06	0.000207	0.000212	-0.000005
38.5	-0.05	0.01	0.06	0.000238	0.000231	0.000007
41.8	-0.05	0.01	0.07	0.000249	0.000250	-0.000002
45.8	-0.06	0.02	0.08	0.000290	0.000274	0.000016
49.5	-0.06	0.02	0.09	0.000311	0.000297	0.000014
53.4	-0.07	0.01	0.09	0.000342	0.000320	0.000022
57.0	-0.08	0.01	0.10	0.000373	0.000341	0.000032
60.5	-0.08	0.02	0.12	0.000404	0.000363	0.000041
63.7	-0.09	0.02	0.13	0.000446	0.000382	0.000064
66.6	-0.09	0.03	0.16	0.000508	0.000399	0.000109
69.6	-0.09	0.04	0.19	0.000580	0.000417	0.000163
72.6	-0.10	0.05	0.21	0.000642	0.000435	0.000207
75.3	-0.11	0.06	0.25	0.000736	0.000451	0.000284
78.0	-0.11	0.08	0.30	0.000850	0.000468	0.000382
81.6	-0.13	0.10	0.36	0.001015	0.000489	0.000527
80.6	-0.13	0.10	0.38	0.001036	0.000483	0.000553
0.1	-0.00	0.00	0.01	0.000041	0.000000	0.000041

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 011

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 413

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
0.9	0.01	0.00	0.01	0.000021	0.000006	0.000015
2.3	-0.01	0.00	0.02	0.000062	0.000014	0.000048
5.3	-0.02	0.01	0.04	0.000135	0.000032	0.000103
7.4	-0.03	0.01	0.07	0.000197	0.000045	0.000152
9.5	-0.04	0.01	0.09	0.000270	0.000058	0.000212
11.6	-0.05	0.02	0.12	0.000333	0.000071	0.000261
13.7	-0.06	0.03	0.14	0.000416	0.000084	0.000332
15.7	-0.06	0.03	0.16	0.000468	0.000096	0.000371
17.6	-0.07	0.04	0.19	0.000551	0.000108	0.000443
19.5	-0.08	0.05	0.22	0.000613	0.000120	0.000494
21.1	-0.09	0.06	0.24	0.000675	0.000130	0.000546
22.8	-0.09	0.06	0.26	0.000727	0.000140	0.000587
27.0	-0.09	0.09	0.30	0.000810	0.000166	0.000644
29.0	-0.10	0.10	0.37	0.000987	0.000178	0.000809
31.0	-0.12	0.12	0.41	0.001081	0.000190	0.000890
33.3	-0.12	0.13	0.44	0.001174	0.000205	0.000970
35.6	-0.13	0.15	0.48	0.001278	0.000219	0.001059
37.9	-0.13	0.16	0.54	0.001392	0.000233	0.001159
39.9	-0.14	0.17	0.58	0.001496	0.000245	0.001251
42.2	-0.14	0.19	0.63	0.001611	0.000259	0.001352
44.4	-0.16	0.22	0.68	0.001735	0.000273	0.001463
46.5	-0.16	0.23	0.73	0.001850	0.000286	0.001564
48.7	-0.17	0.25	0.77	0.001953	0.000299	0.001654
51.1	-0.17	0.28	0.86	0.002140	0.000314	0.001827
50.4	-0.17	0.29	0.87	0.002161	0.000310	0.001852
-0.2	-0.03	0.12	0.23	0.000561	-0.000001	0.000562

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 012

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 618

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta δ [rad]
0.2	-0.00	0.00	0.00	0.000010	0.000001	0.000009
1.0	-0.02	0.00	0.01	0.000061	0.000006	0.000055
2.2	-0.02	0.00	0.03	0.000113	0.000013	0.000099
3.1	-0.03	0.00	0.04	0.000153	0.000019	0.000135
4.2	-0.05	0.00	0.05	0.000205	0.000026	0.000179
5.5	-0.06	-0.00	0.07	0.000266	0.000034	0.000233
7.1	-0.06	-0.00	0.09	0.000327	0.000043	0.000284
8.2	-0.07	-0.00	0.11	0.000379	0.000050	0.000329
9.5	-0.08	-0.00	0.13	0.000440	0.000058	0.000382
12.4	-0.10	0.01	0.19	0.000594	0.000076	0.000517
13.9	-0.11	0.03	0.22	0.000675	0.000086	0.000590
15.4	-0.11	0.05	0.27	0.000788	0.000094	0.000694
17.2	-0.12	0.06	0.31	0.000890	0.000105	0.000785
18.6	-0.13	0.08	0.35	0.000993	0.000114	0.000878
20.2	-0.14	0.10	0.40	0.001105	0.000124	0.000981
21.8	-0.14	0.11	0.45	0.001208	0.000134	0.001074
23.4	-0.15	0.13	0.50	0.001320	0.000144	0.001176
24.9	-0.15	0.16	0.54	0.001412	0.000153	0.001259
24.9	-0.15	0.16	0.56	0.001453	0.000153	0.001300
24.7	-0.15	0.17	0.57	0.001484	0.000152	0.001332
-0.0	-0.04	0.14	0.25	0.000594	-0.000000	0.000594

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 013

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 0

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta Φ [rad]
4.8	0.00	0.00	0.00	0.000009	0.000016	-0.000007
13.5	-0.00	0.00	0.01	0.000027	0.000045	-0.000018
24.2	-0.01	0.00	0.02	0.000062	0.000080	-0.000018
37.5	-0.03	-0.00	0.03	0.000106	0.000125	-0.000018
50.5	-0.05	-0.00	0.05	0.000160	0.000168	-0.000008
64.4	-0.06	-0.01	0.06	0.000230	0.000214	0.000017
78.9	-0.08	-0.01	0.08	0.000284	0.000262	0.000022
95.8	-0.10	-0.01	0.10	0.000354	0.000318	0.000036
110.4	-0.11	-0.01	0.12	0.000417	0.000367	0.000050
126.3	-0.13	-0.00	0.14	0.000470	0.000419	0.000050
140.5	-0.14	-0.00	0.16	0.000532	0.000467	0.000065
158.4	-0.16	-0.00	0.19	0.000611	0.000526	0.000086
174.8	-0.17	-0.00	0.22	0.000691	0.000580	0.000111
186.7	-0.19	0.00	0.23	0.000744	0.000620	0.000125
199.8	-0.21	0.01	0.27	0.000842	0.000664	0.000178
218.7	-0.22	0.03	0.32	0.000957	0.000726	0.000231
230.6	-0.25	0.02	0.38	0.001108	0.000766	0.000342
237.0	-0.27	0.02	0.42	0.001223	0.000787	0.000436
245.7	-0.31	0.01	0.47	0.001382	0.000816	0.000567
250.8	-0.34	0.01	0.52	0.001515	0.000833	0.000683
254.8	-0.35	-0.00	0.56	0.001613	0.000846	0.000767
254.6	-0.37	-0.02	0.57	0.001657	0.000845	0.000812
257.3	-0.38	-0.02	0.60	0.001719	0.000854	0.000865
258.3	-0.38	-0.02	0.60	0.001737	0.000858	0.000879
258.3	-0.39	-0.04	0.62	0.001790	0.000858	0.000932
256.0	-0.39	-0.05	0.62	0.001790	0.000850	0.000940
-0.9	-0.10	-0.13	0.06	0.000292	-0.000003	0.000296

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 014

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 534

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta Φ [rad]
2.2	-0.01	-0.00	0.00	0.000018	0.000007	0.000010
8.0	-0.03	-0.01	0.00	0.000062	0.000027	0.000036
15.4	-0.05	-0.02	0.02	0.000134	0.000051	0.000082
25.6	-0.08	-0.02	0.03	0.000196	0.000085	0.000111
35.8	-0.10	-0.02	0.04	0.000249	0.000119	0.000130
46.8	-0.13	-0.02	0.05	0.000312	0.000156	0.000156
58.1	-0.14	-0.02	0.06	0.000365	0.000193	0.000172
72.3	-0.16	-0.02	0.08	0.000418	0.000240	0.000178
83.7	-0.17	-0.02	0.10	0.000481	0.000278	0.000203
93.9	-0.18	-0.02	0.11	0.000516	0.000312	0.000204
109.2	-0.20	-0.02	0.13	0.000597	0.000363	0.000234
120.1	-0.21	-0.02	0.16	0.000650	0.000399	0.000251
132.2	-0.22	-0.02	0.18	0.000712	0.000439	0.000273
144.8	-0.24	-0.02	0.21	0.000792	0.000481	0.000311
150.8	-0.24	-0.01	0.22	0.000828	0.000501	0.000327
170.1	-0.27	0.00	0.31	0.001033	0.000565	0.000468
178.1	-0.28	0.02	0.36	0.001131	0.000592	0.000539
183.3	-0.28	0.03	0.38	0.001193	0.000609	0.000584
191.8	-0.30	0.05	0.44	0.001309	0.000637	0.000672
205.3	-0.32	0.07	0.52	0.001496	0.000682	0.000814
214.2	-0.34	0.09	0.58	0.001647	0.000712	0.000935
217.5	-0.36	0.12	0.63	0.001754	0.000723	0.001031
223.0	-0.36	0.13	0.67	0.001825	0.000741	0.001084
219.9	-0.36	0.13	0.67	0.001825	0.000730	0.001095
-0.1	-0.00	0.06	0.11	0.000196	-0.000000	0.000196

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 015

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 1006

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
2.9	-0.03	-0.03	0.00	0.000062	0.000009	0.000053
8.1	-0.09	-0.05	0.01	0.000187	0.000027	0.000160
18.0	-0.20	-0.08	0.02	0.000392	0.000060	0.000332
27.1	-0.24	-0.08	0.04	0.000508	0.000090	0.000418
35.0	-0.32	-0.11	0.06	0.000677	0.000116	0.000561
41.9	-0.38	-0.13	0.08	0.000820	0.000139	0.000680
50.9	-0.45	-0.15	0.10	0.000980	0.000169	0.000811
60.6	-0.51	-0.16	0.13	0.001132	0.000202	0.000930
70.3	-0.56	-0.17	0.15	0.001275	0.000234	0.001041
79.7	-0.60	-0.18	0.19	0.001390	0.000265	0.001125
88.1	-0.62	-0.18	0.22	0.001488	0.000293	0.001195
97.5	-0.64	-0.17	0.25	0.001604	0.000324	0.001280
107.7	-0.67	-0.16	0.31	0.001729	0.000358	0.001371
120.8	-0.69	-0.15	0.37	0.001881	0.000402	0.001479
127.8	-0.69	-0.14	0.41	0.001970	0.000425	0.001545
148.9	-0.73	-0.11	0.53	0.002237	0.000495	0.001742
159.7	-0.75	-0.08	0.64	0.002469	0.000531	0.001937
154.6	-0.74	-0.07	0.63	0.002433	0.000514	0.001919
-3.0	0.02	0.03	0.11	0.000232	-0.000010	0.000242

Berechnung der Winkelverdrehung ϕ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 016

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 0

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	ϕ ges [rad]	ϕ el [rad]	delta ϕ [rad]
1.3	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000004	-0.000004
3.6	-0.00	0.00	0.00	0.000018	0.000012	0.000006
6.5	-0.01	0.01	0.00	0.000027	0.000022	0.000005
9.7	-0.01	0.02	0.01	0.000035	0.000032	0.000003
13.5	-0.01	0.02	0.01	0.000053	0.000045	0.000008
31.0	-0.04	0.03	0.04	0.000124	0.000103	0.000021
38.8	-0.04	0.03	0.05	0.000150	0.000122	0.000028
42.4	-0.05	0.04	0.05	0.000177	0.000141	0.000036
46.9	-0.05	0.04	0.06	0.000203	0.000156	0.000048
51.6	-0.05	0.03	0.07	0.000230	0.000172	0.000058
56.9	-0.05	0.03	0.09	0.000248	0.000189	0.000058
62.2	-0.06	0.04	0.10	0.000292	0.000207	0.000085
67.5	-0.06	0.03	0.12	0.000318	0.000225	0.000094
73.8	-0.08	0.04	0.13	0.000363	0.000246	0.000117
83.4	-0.09	0.04	0.16	0.000442	0.000277	0.000165
88.8	-0.09	0.04	0.19	0.000495	0.000295	0.000200
94.1	-0.09	0.05	0.20	0.000531	0.000313	0.000218
98.6	-0.10	0.05	0.23	0.000593	0.000328	0.000264
101.8	-0.10	0.05	0.25	0.000628	0.000339	0.000289
105.8	-0.12	0.05	0.28	0.000699	0.000352	0.000347
109.4	-0.12	0.05	0.31	0.000752	0.000364	0.000388
116.4	-0.13	0.52	0.39	0.000911	0.000387	0.000524
119.1	-0.13	0.08	0.42	0.000982	0.000396	0.000586
125.3	-0.14	0.09	0.49	0.001114	0.000417	0.000698
129.6	-0.16	0.10	0.56	0.001256	0.000431	0.000825
133.7	-0.16	0.12	0.62	0.001388	0.000445	0.000944
137.2	-0.18	0.13	0.68	0.001512	0.000456	0.001056
137.8	-0.18	0.14	0.71	0.001574	0.000458	0.001116
141.3	-0.19	0.14	0.76	0.001680	0.000470	0.001210
139.3	-0.19	0.14	0.75	0.001663	0.000463	0.001199
-0.0	-0.04	0.02	0.05	0.000168	-0.000000	0.000168

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 017

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 527

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta Φ [rad]
0.7	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000002	-0.000002
3.4	-0.01	0.00	0.00	0.000018	0.000012	0.000006
7.2	-0.01	0.00	0.01	0.000036	0.000024	0.000011
11.1	-0.02	0.00	0.02	0.000071	0.000038	0.000033
15.8	-0.03	0.00	0.03	0.000107	0.000053	0.000053
20.4	-0.03	0.00	0.04	0.000124	0.000069	0.000056
27.1	-0.04	0.01	0.06	0.000178	0.000092	0.000086
31.2	-0.05	0.02	0.08	0.000231	0.000105	0.000126
35.0	-0.05	0.02	0.11	0.000293	0.000118	0.000175
38.2	-0.06	0.03	0.15	0.000373	0.000129	0.000244
44.1	-0.06	0.05	0.22	0.000506	0.000149	0.000357
47.5	-0.07	0.05	0.25	0.000577	0.000160	0.000417
51.0	-0.07	0.07	0.30	0.000657	0.000172	0.000485
54.7	-0.08	0.09	0.34	0.000755	0.000185	0.000570
57.6	-0.08	0.10	0.40	0.000853	0.000195	0.000658
59.8	-0.08	0.11	0.46	0.000959	0.000202	0.000757
63.0	-0.09	0.13	0.51	0.001057	0.000213	0.000844
67.5	-0.09	0.16	0.58	0.001199	0.000228	0.000971
70.2	-0.09	0.17	0.63	0.001279	0.000237	0.001042
73.5	-0.10	0.19	0.69	0.001404	0.000248	0.001155
76.0	-0.10	0.19	0.73	0.001475	0.000257	0.001218
79.2	-0.11	0.21	0.80	0.001599	0.000268	0.001332
76.5	-0.11	0.21	0.81	0.001617	0.000259	0.001358
-2.1	0.02	0.02	0.14	0.000293	-0.000007	0.000300

Berechnung der Winkelverdrehung Φ_{ges} des Stoßelementes und
des Spaltöffnungswinkels δ aus Wegmessungen

Versuch Nr. 018

mittlere Zugnormalkraft [kN] : 809

Ergebnisse der Messungen mit induktiven Wegaufnehmern

M [kNm]	w oben [mm]	w mitte [mm]	w unten [mm]	Φ ges [rad]	Φ el [rad]	delta Φ [rad]
0.2	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000001	-0.000001
2.0	-0.01	0.00	0.02	0.000036	0.000007	0.000029
4.5	-0.01	0.00	0.03	0.000072	0.000015	0.000056
7.8	-0.02	0.02	0.06	0.000143	0.000026	0.000117
11.1	-0.03	0.03	0.08	0.000206	0.000037	0.000168
14.1	-0.03	0.04	0.12	0.000268	0.000048	0.000221
20.3	-0.05	0.06	0.20	0.000447	0.000068	0.000378
23.6	-0.06	0.07	0.26	0.000563	0.000080	0.000483
26.8	-0.06	0.09	0.31	0.000661	0.000091	0.000571
30.1	-0.07	0.10	0.37	0.000769	0.000102	0.000667
33.2	-0.07	0.12	0.41	0.000867	0.000112	0.000755
36.3	-0.08	0.13	0.47	0.000983	0.000123	0.000861
39.3	-0.08	0.15	0.53	0.001090	0.000133	0.000958
41.3	-0.09	0.16	0.57	0.001189	0.000140	0.001049
40.8	-0.09	0.17	0.58	0.001198	0.000138	0.001060
42.2	-0.09	0.18	0.62	0.001269	0.000143	0.001127
-0.0	0.02	0.14	0.25	0.000492	-0.000000	0.000492

Summary of Research IV 1-5-501/87:

Influence of a Tensile Force on the Rotation of a stiffened End
Plate Connection

Object of this research was to investigate the influence of a tensile force on the $M-\phi$ -behaviour of bolted end plate connections with stiffeners.

The connections were designed according to DAST-DStV-regulations "Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau". The investigations were made on extended and flush end plates of the profil types HE 200 A, HE 260 A and HE 300 A. The tensile forces was increased in steps 0, 0,2 und 0,4 N_{p1} respectively 0,3 N_{p1} .

As a result of the measurements the following conclusions can be introduced:

The moment-rotation characteristics of these connections are nonlinear. The rotation $\Delta\phi$ is hardly influenced by a tensile force N , it is for $N = 0,2 N_{p1}$ larger than without a tensile force ($N = 0$).

The experimental tests with extended end plates and a tensile force of $N = 0,2 N_{p1}$ shows still a high initial stiffness. A gap and a decrease of stiffness appeared at 50% of the ultimate moment $M_{A,Tr}$. Without tensile force the decrease of stiffness was registered at 0,7 $M_{A,Tr}$. With a tensile force of $N = 0,4 N_{p1}$ the gap between the end plates appeared from the beginning of the load applying. The experimental tests with flush end plates showed nearly no initial stiffness with tensile force of $N = 0,2 N_{p1}$ and also with $N = 0,3 N_{p1}$.

RÉSUMÉ DU PROJET DE RECHERCHE IV 1-3-501/87

Influence d'un effort normal de traction sur la rotation des assemblages à plaque extrémité renforcés.

Le but de ce projet de recherche est d'analyser l'influence d'un effort normal de traction sur le comportement $M-\phi$ des raccordements de panneaux avants vissés et renforcés.

Le développement des raccordements s'effectue selon l'indication du livre à feuilles mobiles DAST-DStV "Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau".

Les panneaux avants débordants et à surface plane des rangées profilées HE 200 A, HE 260 A et HE 300 A y sont analysés.

L'effort normal de traction induit se limite aux degrés 0, 0,2 et 0,4 $Np1$ respectivement 0,3 $Np1$.

Le résultat de ces mesures laisse constater ce qui suit :

L'angle d'ouverture de la fente $\Delta\phi$ s'agrandit selon M croissant pour tous raccordements non linéaires.

L'angle d'ouverture de la fente devient d'un multiple supérieur, si l'action d'un effort normal de traction croît de $N=0,2 Np1$, au lieu d'être de $N=0$.

Si l'on fait l'essai avec des raccordements débordants sous l'action d'un effort normal de traction de $N=0,2 Np1$ une haute rigidité initiale est encore perceptible ; une entaille combinée simultanément à une baisse sensible de la rigidité ne se produit seulement qu'à environ 50 % du moment d'inertie Ma, Tr .

Par $N=0$, cette baisse de rigidité est perceptible à environ 0,7 Ma, Tr .

Sous l'influence de 0,4 $Np1$, le raccordement s'entaille dès le début de la charge.

Après essai, il est presque impossible d'apercevoir une rigidité initiale sur des raccordements à surface plane de type IH 1A et sous l'influence d'un effort normal de traction de $N=0,2 Np1$, aussi bien par $N=0,3 Np1$.