

# Stand sicherheitsnachweis für Baustützen

**T 1203**

T 1203

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

T 1203: Standsicherheitsnachweis für Baustützen

STANDSICHERHEITSNACHWEIS  
FÜR BAUSTÜTZEN

SCHLUSSBERICHT

ZUM FORSCHUNGSVORHABEN DES INSTITUTS  
FÜR BAUTECHNIK BERLIN IV/1-5-273/80

BERATENDE INGENIEURE  
SIGMA KARLSRUHE



ENTWURF UND BERECHNUNG  
ENTWICKLUNG UND ERPROBUNG  
VON BAUKONSTRUKTIONEN

DIPL.-ING. GERALD AST

BERATENDER INGENIEUR VBI

## 1. Vorbemerkungen

Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtung sind vorgefertigte Gerüstbauteile, die in Traggerüsten als Druckstäbe zur Abstützung planmäßig lotrechter Lasten verwendet werden. Nach den bauaufsichtlichen Vorschriften der Länder dürfen nur Baustützen verwendet werden, für die ein Prüfzeichen durch das Institut für Bautechnik, Berlin, erteilt worden ist. Durch den zuständigen Prüfausschuß PA VIII beim IfBt wurden für Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtung "Bau- und Prüfgrundsätze zur Prüfzeichenerteilung" (in der Folge kurz BuP bezeichnet) erarbeitet, in denen konstruktive Mindestanforderungen sowie ein experimentelles Nachweisverfahren als Voraussetzung für die Prüfzeichenerteilung festgeschrieben sind. Liegt für eine Baustütze ein Prüfbescheid des zuständigen Prüfausschusses PA VIII vor, so gilt der Nachweis als erbracht, daß die unter Berücksichtigung der in den "Ergänzenden Bestimmungen (in der Folge EB bezeichnet) zu DIN 4420", Fassung 07.1972 beschriebenen Einsatzbedingungen geforderte Mindesttragfähigkeit erreicht wird.

Mit der Einführung der BuP wurde eine technische Entwicklung eingeleitet, die faktisch zu einer Standardisierung der Baustützen führte. Die Konstruktionen der einzelnen Hersteller glichen sich seither weitgehend einander an. Dies ist aus den wesentlichen in der Anlage 1 zusammengestellten Kenndaten von 13 normalen und 11 G-Stützen mit Prüfzeichen des PA VIII zu entnehmen. U.a. auch deshalb liegt es nahe, unter Beachtung der in einem langen Zeitraum gesammelten Erfahrungen bei der Prüfung und Anwendung von Baustützen als Bauteile von Traggerüsten eine Norm für Baustützen zu schaffen. Bei Vorliegen dieser Norm würde der Nachweis der Brauchbarkeit von Baustützen auf der Grundlage der technischen Baubestimmungen ermöglicht. Die Prüfzeichenpflicht könnte entfallen.

Mit dieser Arbeit sollen Vorschläge für die Regelung von Berechnungsgrundlagen zum rechnerischen Standsicherheitsnachweis von Baustützen erarbeitet und begründet werden. Der Tragmechanismus der Baustützen soll so beschrieben werden, daß er mit einer abstrakten Berechnung erfaßt werden kann.

Daß bisher die Möglichkeit eines rechnerischen Nachweises ausgeschlossen wurde, läßt sich wie folgt begründen:

- Die Verbindungsmittel zur Übertragung der Schnittgrößen vom eingeschobenen Innenrohr zum Außenrohr sind auf der Grundlage gültiger Stahlbauvorschriften nur bedingt nachweisbar.
- Die biegesteife Kraftschlüssigkeit des Systems der Baustützen wird erst nach Überwinden der Spiele im Anschluß- bzw. Überlappungsbereich von Innenrohr zu Außenrohr wirksam.
- Für die Berechnung der Dehnsteifigkeit und der Biegesteifigkeit des regelmäßig gelochten Innenrohrs lag keine experimentell abgesicherte theoretische Lösung vor.
- Die Übergangsbedingungen zu den angrenzenden Bauteilen, d.h. zur Schalungskonstruktion (Oberkonstruktion) bzw. zur Gründung (Unterkonstruktion) sind unter den Bedingungen der Baupraxis qualitativ und quantitativ nur bedingt beschreibbar.

Bei dem in den BuP vorgeschriebenen experimentellen Nachweisverfahren wurde versucht, die Prüfbedingungen so zu wählen, daß die wahrscheinlichen Imponderabilien des baupraktischen Einsatzes abgedeckt sind.

Damit wurde ein einheitliches unteres Sicherheitsniveau erzwungen. Der Vorteil des so erreichten Zustandes bestand im

wesentlichen darin, daß die Verwendung der Baustützen beinahe als herstellerunabhängiges Produkt möglich wurde.

Für die Eröffnung der Möglichkeit eines rechnerischen Standsicherheitsnachweises sind die folgenden Gründe anzuführen:

- Die DIN 4421, 08.1982, löst die "Ergänzenden Bestimmungen" zu DIN 4420 ab. Traggerüste werden in Gruppen unterschieden "...die gleichen Sicherheitsanforderungen in unterschiedlicher Weise genügen". D.h. bei sorgfältiger technischer Bearbeitung im Einsatzfall erhöht sich der nutzbare Widerstand von Rüstgeräten gegenüber Lasteinwirkungen.  
Es liegt nahe, diese Regelung auch für Baustützen als Bauteile von Traggerüsten zu übernehmen.
- Es gibt Einsatzbedingungen für Baustützen, bei denen planmäßig die Imponderabilien des baupraktischen Einsatzes ganz oder teilweise beseitigt werden können.
- Baustützen werden zur Unterstützung von Deckenschalensystemen eingesetzt, bei denen planmäßig ein Zusammenwirken von Deckenschalensystem und Baustützen vorausgesetzt wird. Diese Systeme müssen einer Berechnung zugänglich gemacht werden. Die Prüfzeichenregelung schließt die Verwendung der Baustützen als Bestandteil solcher Systeme eigentlich aus.
- Ein Teil der Vorbehalte gegen eine Berechnung entfällt, da
  - a) die rechentechnischen Möglichkeiten sich zwischenzeitlich sehr erweitert haben
  - b) zu verschiedenen vormals unbekanntem Einflußgrößen inzwischen gesicherte theoretische und experimentelle Ergebnisse vorliegen.

- Die Eröffnung von Möglichkeiten zum rechnerischen Stand-  
sicherheitsnachweis für die Baustützen erleichtert Neu-  
entwicklungen und dient somit dem technischen Fortschritt.



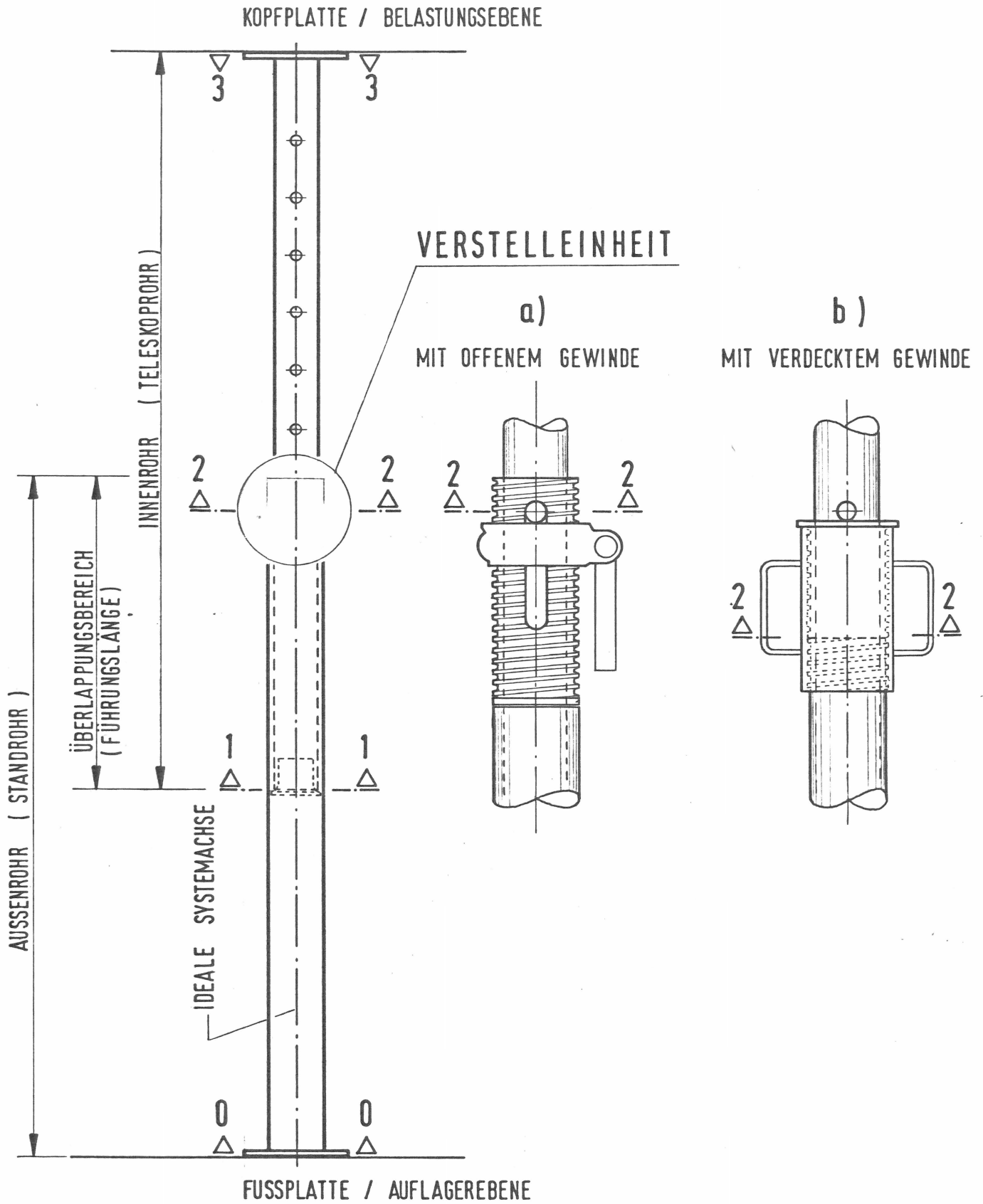
## 2. Beschreibung der Konstruktion

Anhand der Darstellung des Bildes 1 können die wesentlichen Konstruktionsmerkmale von Baustützen mit Ausziehvorrichtung allgemein beschrieben werden.

Baustützen bestehen aus einem Standrohr (Außenrohr) in das ein dünneres Innenrohr eingeschoben werden kann. Das Innenrohr ist in regelmäßigen Abständen gelocht. Mit einer Bolzenabsteckung wird die Stützhöhe im Raster der Lochung grob eingestellt.

Der Bolzen liegt auf einer Verstellmutter auf, die auf einem Gewinde am Ende des Außenrohres läuft. Durch Drehen der Mutter wird die Überlappungslänge variiert und die Feineinstellung vorgenommen.

Die Kraftübertragung erfolgt durch Lochleibungsscherbeanspruchung vom Innenrohr auf den Bolzen, der frei auf der Oberfläche der Verstellmutter aufliegt und dort seine Last über örtliche Hertz'sche Pressung abgibt. Das Biegemoment des Innenrohres wird durch ein in den Schnitten 1-1 (unterer Kontaktpunkt) und 2-2 (oberer Kontaktpunkt) wirkendes Paar von Kräften übertragen. Den oberen bzw. unteren Abschluß einer Baustütze bilden jeweils die Kopf- bzw. die Fußplatte. Die Kopfplatte spannt die "Belastungsebene" auf, die Fußplatte die "Auflagerebene". Planmäßig haben die Fußplatte und Kopfplatte einen flächigen Kontakt zu den benachbarten Bauteilen von Traggerüsten (Oberkonstruktion und Gründung).



**Bild 1:** prinzipieller Stützenaufbau

## Bezeichnungen:

$d_{a,i}$	=	Außen∅ Innenrohr Normalbereich
$\bar{d}_{a,i}$	=	Außen∅ Innenrohr aufgeweitet
$d_{a,a}$	=	Außen∅ Außenrohr
$d_{i,i}$	=	Innen∅ Innenrohr
$d_{i,a}$	=	Innen∅ Außenrohr Normalbereich
$\bar{d}_{i,a}$	=	Innen∅ Außenrohr eingeengt (z.B. im Gewindebereich)
$d_i$	=	Loch∅ Innenrohr
$d_a$	=	Loch∅ (Schlitz) Außenrohr
$d_B$	=	Bolzen∅
$a$	=	Lochabstand
$l_i$	=	Rohrlänge Innenrohr
$l_a$	=	Rohrlänge Außenrohr (einschl. Gewindebereich)
$l_{\ddot{u}}$	=	Überlappungslänge von Außen- zu Innenrohr

Die konstruktiven Mindestanforderungen von Querschnitts- und Systemabmessungen von Baustützen werden in den BuP umfassend beschrieben, so daß auf eine detaillierte Aufzählung von Einzelheiten hier verzichtet werden kann.

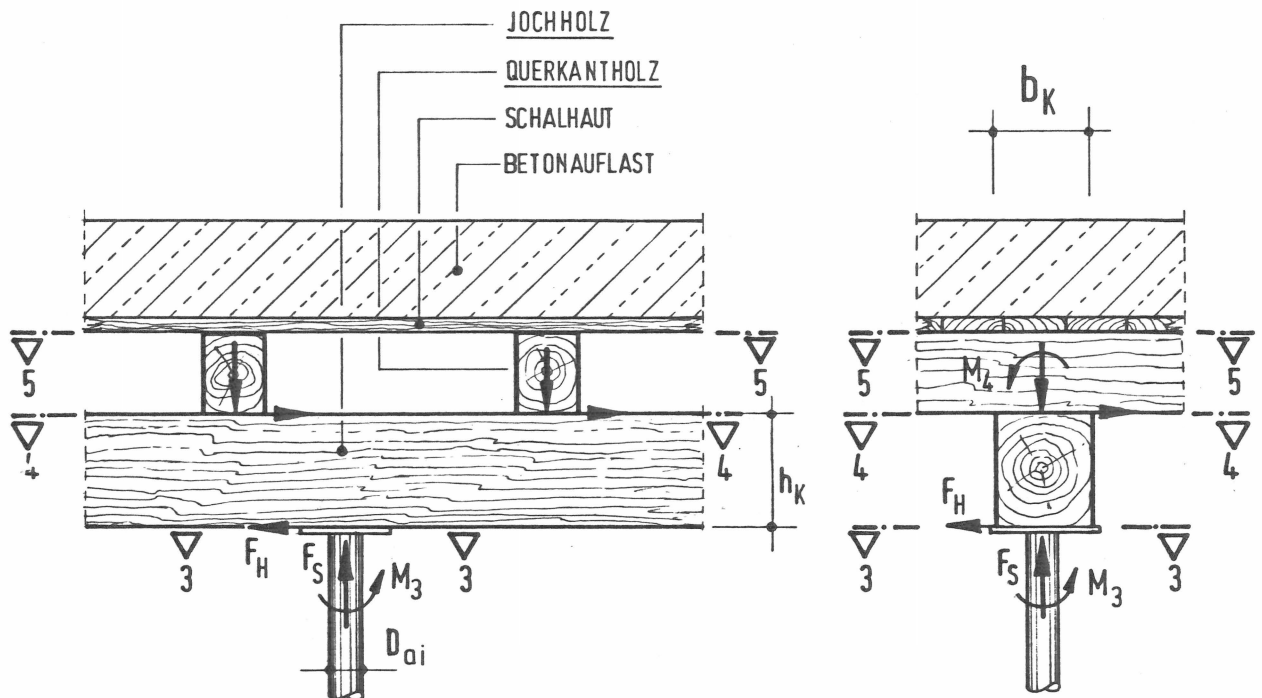
In einer Norm wären die entsprechenden Abschnitte zu übernehmen.

### 3. Übergangsbedingungen zu den angrenzenden Bauteilen von Traggerüsten

#### 3.1 Lasteinleitung am Kopf

Es ist in der Regel davon auszugehen, daß die auf der Belastungsebene auf der Kopfplatte gelagerte Oberkonstruktion biegesteif, für sich standsicher ist und durch mehrere Baustützen in einem regelmäßigen Raster abgestützt wird.

Der Regelfall konventioneller Deckeneinschalungen besteht in der Anordnung von gekreuzten Kantholzlagen, nämlich Querkanthölzern und Jochhölzern, die die Schalhaut aussteifen und tragen. Ist die Schalhaut ausreichend standsicher und biegesteif, um den Abstand zwischen den Jochhölzern zu überbrücken, so können die Querkanthölzer entfallen.



**Bild 2** : Regelausführung für von Baustützen unterstützte Schalungen

Die in den BuP geforderte seitlich unverschiebliche Halterung ist im allgemeinen dadurch gewährleistet, daß die Schalhaut zwischen aufgehenden Bauwerkswänden seitlich unverschieblich gehalten ist. Für die Übertragung der oberen Haltekraft der Stütze wird die Überdrückung der Momente in der Fuge 4-4 vorausgesetzt. Ein Nachweis hierfür ist bei extremer Annahme einer vollgelenkigen Lagerung des Jochholzes auf der Stütze wie folgt zu führen:

$$\left. \begin{aligned} M_4 &= \sum F_H \cdot h_K \\ e_4 &= \frac{\sum F_H \cdot h_K}{\sum F_S} \leq \frac{b_K}{6} \end{aligned} \right\} \text{Nachweis für die gesamte Schalfläche}$$

(keine klaffende Fuge 4-4)

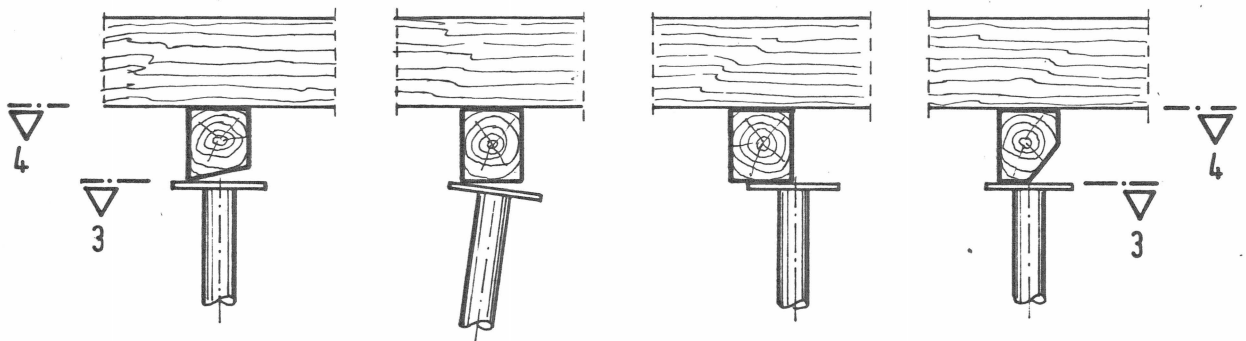
Vernachlässigt man die Biegesteifigkeit der Kopfplatte außerhalb des Innenrohrquerschnittes, so ist eine Momentenübertragung in der Belastungsebene der Baustütze ( $\hat{=}$  Kopfplattenoberkante) gewährleistet, wenn eingehalten ist:

$$\left. \frac{M_3}{F_S} \leq \frac{d_{a,i}}{8} \right\} \text{Nachweis für die Einzelstütze}$$

(keine klaffende Fuge 3-3)

Bei planmäßig lotrechter Stellung der Stützen entsteht nur eine sehr kleine Haltekraft  $F_H$ , so daß sich im Normalfall der Nachweis der Überdrückung erübrigt, zumal sich bei flächiger Lagerung des Kantholzes auf der Kopfplatte der Stütze ein das Gesamtsystem stabilisierendes Moment  $M_{3-3}$  einstellen wird.

Die Momentenübertragung in Fuge 4 oder Fuge 3 ist Voraussetzung für die Standsicherheit des Gesamtsystems aus Schalung und Baustützen. Sie kann als gesichert angesehen werden. Nicht als gesichert angesehen werden kann unter baupraktischen Verhältnissen das Vorhandensein eines die Traglast der Baustütze steigernden Einspannmoments  $M_{3-3}$ , bei gleichzeitig wirkender Überdrückung in Fuge 4-4. Dies kann verschiedene Ursachen haben:

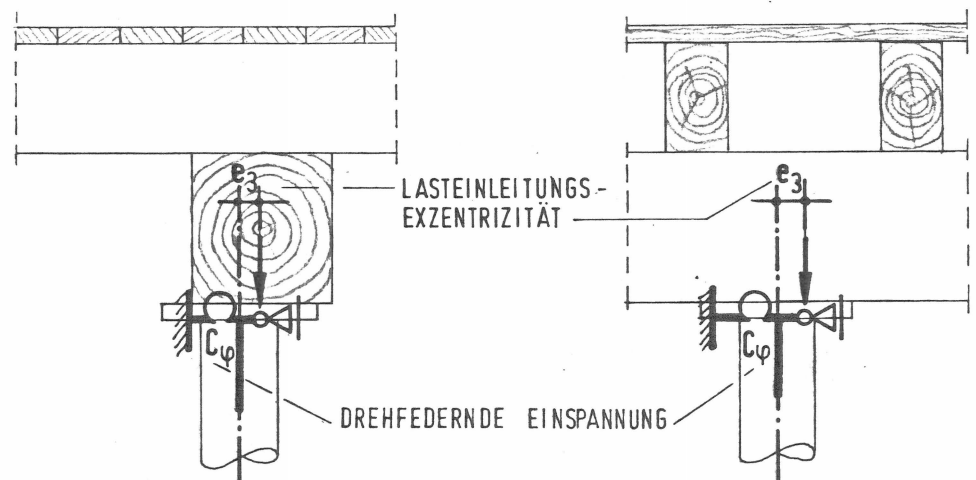


**Bild 3 : Beispiele für unvermeidbare Imperfektionen der Lasteinleitung am Kopf**

- Die Kopfplatte steht in einem Winkel zur Unterkante der Jochhölzer. Dies kann die Folge einer schiefstehenden Stütze oder eines schräggeschnittenen Kantholzes sein.
- Die Stützenachse steht stark exzentrisch zur Längsachse des Jochholzes.
- Das Jochholz liegt nur teilweise auf der Kopfplatte auf, z.B. weil eine Unterkante rund ist.

- Die Oberkonstruktion (Schalungskonstruktion) biegt sich so stark durch, daß der Baustütze eine belastende Exzentrizität aufgezwungen wird. Diese Betrachtung ist theoretischer Natur, da die Steifigkeitsverhältnisse i.d.Regel so geartet sind, daß die Schalung ungleich steifer ist als die Stützen.

Bestünde die Möglichkeit, alle Einzeleinflüsse zu erfassen, so wären die Lasteinleitungs- und Lagerungsbedingungen am Kopf zu dem mechanischen Modell gemäß Bild 4 zu abstrahieren.



**Bild 4 : Abstraktion des mechanischen Modells für die Lagerung und Lasteinleitung am Kopf (Belastungsebene)**

Die seitlich unverschieblich gehaltene Stütze kann exzentrisch zur Stützenachse belastet werden. Dieser Exzentrizität wirkt eine drehfedernde Einspannung in der Oberkonstruktion entgegen.

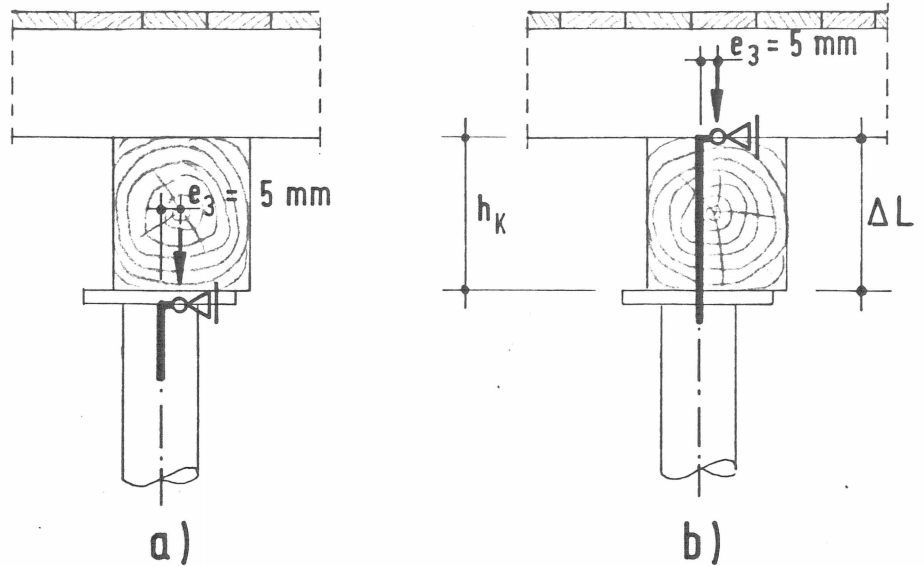
Praxisnäher ist es jedoch, die drehfedernde Einspannung unberücksichtigt zu lassen. Allerdings sollte es nicht ausgeschlossen werden, daß bei entsprechend sorgfältig geplanten

ter konstruktiver Ausbildung z.B. bei Unterstützung gekreuzter Stahlträgerlagen eine Einspannung nachgewiesen werden kann.

Klare Verhältnisse liegen auch bei Deckenschalsystemen mit Fallkopf vor, wenn im Rahmen eines Zulassungsverfahrens die Übergangsbedingungen von den Horizontaltraggliedern zu den die Stützen verlängernden Fallköpfen geregelt worden sind. Hier werden die Stützen nicht mehr als "freie" Baustützen verwendet. Ein Nachweis der Baustützen muß dann innerhalb des Standsicherheitsnachweises für das Gesamtsystem aus Stützen und Deckenschalsystem erfolgen.

**Bei der Bestimmung der Grenzlast der Stütze als Grundlage für die Ermittlung des im Einzelfall je nach Gruppeneinteilung des Gerüsts gemäß DIN 4421 nutzbaren Widerstandes sollte den Gepflogenheiten bei der Berechnung anderer Rüststützen entsprechend eine Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf der Stütze von 5 mm angesetzt werden.**





**Bild 5:** Praxisnahe Abstraktion des mechanischen Modells für die Lagerung und Lasteinleitung am Kopf (Belastungsebene)

Theoretisch erscheint es möglich, daß die Fuge 4-4 nicht, die Fuge 3-3 jedoch überdrückt ist. In diesem Fall wäre eine Verlängerung der Stütze um  $\Delta L = h_k$  anzusetzen. Bezogen auf die Gesamtlänge der Stützen ist diese Verlängerung der Stütze und der damit verbundene Traglastabfall von untergeordneter Bedeutung.

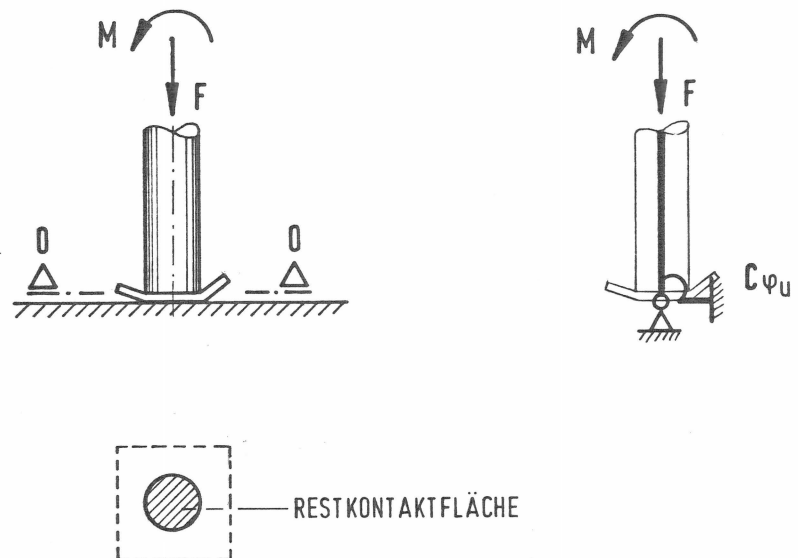
### 3.2 Auflagerung am Fuß

Es ist im Regelfall davon auszugehen, daß die Gründungsebene nahezu biegestarr ist. Bei flächiger Auflagerung der Fußplatte auf der Gründungsebene ( $\hat{=}$  Auflagerebene) entsteht bei Verdrehung des Stützenfußes - selbst wenn man die Biegesteifigkeit der Fußplatte vernachlässigt - eine entlastende Exzentrizität am Fuß. Eine untere Grenzbetrachtung für die Übertragbarkeit eines Momentes in dieser Fuge ist

$$\frac{M_0}{F_S} = e_0 \leq \frac{d_{0,0}}{8}$$

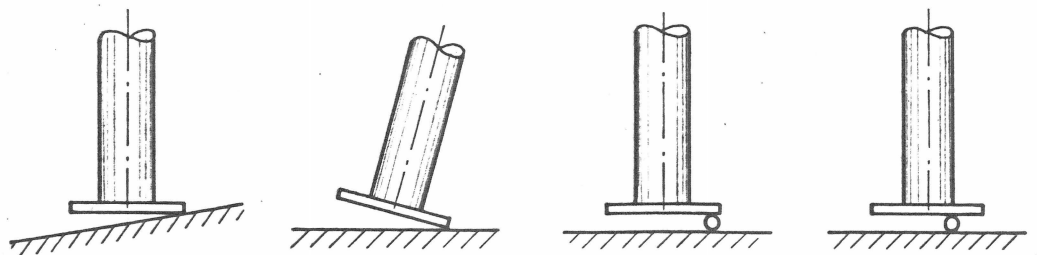
(keine klaffende Fuge o-o)

Ist dies eingehalten, so sind die Voraussetzungen für das nachstehend beschriebene Modell der Fußauflagerung mit einer Teileinspannung gegeben.



**Bild 6:** Abstraktion des mechanischen Modells für die Fußauflagerung

Einer möglichen Grenzlaststeigerung infolge der Einspannung wirken grenzlastmindernde Einflüsse entgegen:



**Bild 7:** Unvermeidbare Imperfektionen für die Fußauflagerung

- Neigung der Gründungsebene relativ zur horizontal-liegenden Fußplatte
- Stützenschiefstellung relativ zur horizontalen Gründungsebene
- Rauigkeit der Gründungsebene z.B vorspringende Körnung u.ä.m.

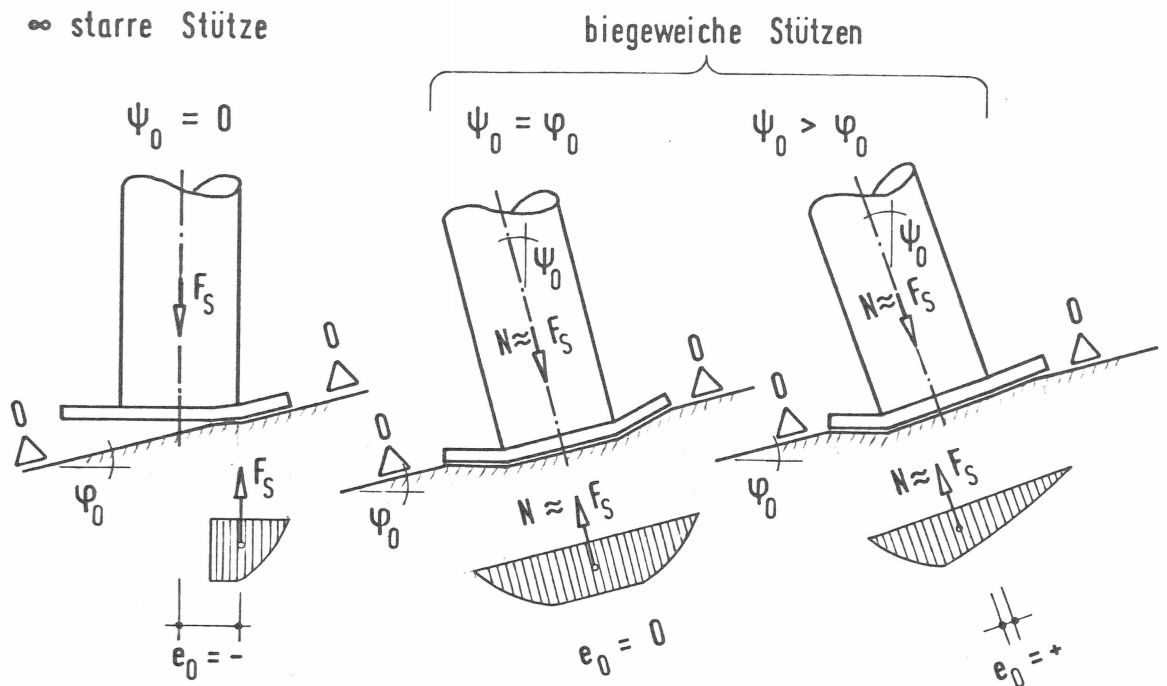
Die Folge aller dieser Einflüsse ist eine Lastübertragungsexzentrizität am Fuß. Gemildert werden deren negative Einflüsse bei verformungsfähigen Stützen. Bei stark exzentrischer Fußauflagerung treten nacheinander zwei die Exzentrizität der Lasteinleitung abbauende Verformungsvorgänge ein.

Siehe hierzu Bild 8.

- Die Fußplatte wird bei Auflagerung außerhalb des Rohrquerschnittes abgebogen. Die Stelle der Lastübertragung wandert in Richtung Rohrachse, jedoch bestenfalls bis zur Außenwandung des Standrohres.
- Erreicht die Endtangentialverdrehung der Stütze infolge elastischer Verformung den Wert  $\psi_0$ , so wird der flächige Kontakt wieder hergestellt.  
Es entsteht eine Einspannung infolge Überdrückung der Kontaktfläche mit der Gründung. Bei weiterer Zunahme des Verdrehungswinkels entsteht bei klaffender Fuge eine entlastende Lastübertragungsexzentrizität.

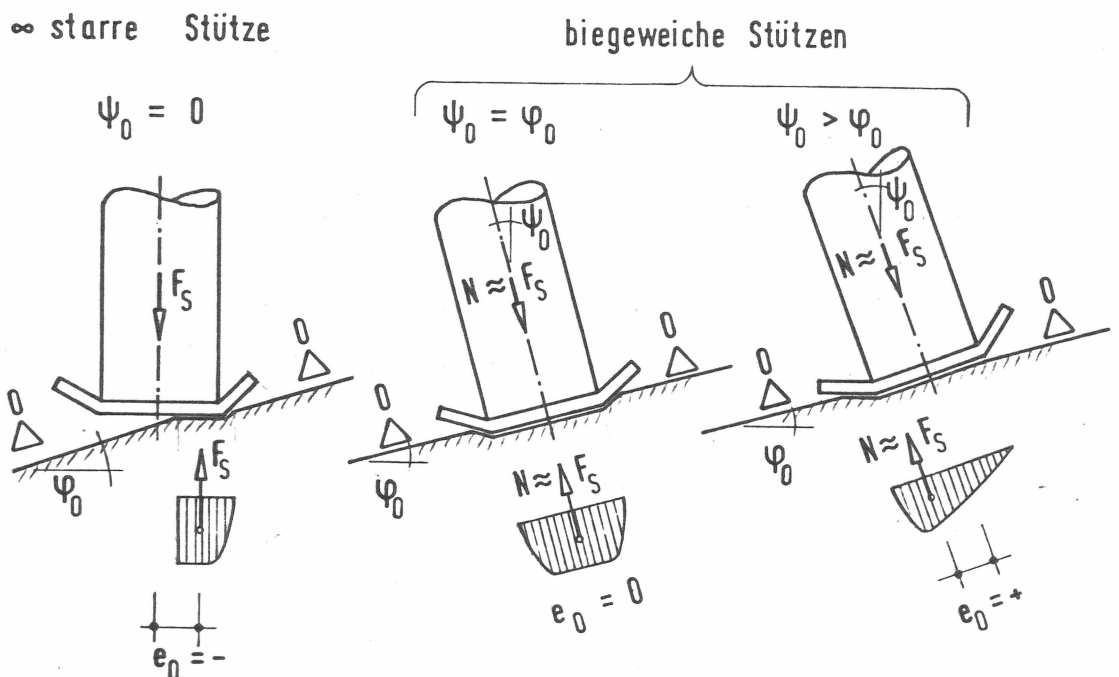
Grundsätzlich kann formuliert werden:

Die negativen Auswirkungen von imperfekten Fußauflagerungen der Stützen sind um so geringer je verformungsfähiger eine Stütze ist.



a) Fußplatten nicht abgebogen

<p><math>\Psi</math> = elastische Verdrehung des Stützenfußes</p> <p><math>\varphi_0</math> = Neigungswinkel der Aufstellebene</p> <p><math>F_S</math> = Stützenlast <math>\hat{=}</math> Normalkraft in der Stütze</p> <p><math>e_0</math> = Lastübertragungsexzentrizität am Fuß</p>
--



b) Fußplatten abgebogen

Bild 8 : Verformungszustand und Lastübertragungsexzentrizität in der Auflagerebene

Umgekehrt ist die grenzlaststeigernde Wirkung einer (Teil-)Einspannung am Fuß bei biegeweichen Stützen überproportional größer als bei sehr steifen Stützen. Das bedeutet, daß voll ausgezogene Stützen relativ unempfindlich gegenüber Imperfektionen der Fußauflagerung sind.

Bei teilweise oder ganz eingeschobenen bzw. bei steif konstruierten Stützen wirken die Imperfektionen der Fußauflagerung ungünstiger. Es ist zu erwarten, daß eine Fuß einspannung bzw. eine entlastende Lastübertragungsexzentrizität am Fuß nicht oder nur sehr begrenzt aktiviert werden kann.

Für den praxisnahen Standsicherheitsnachweis von Baustützen könnten die Lagerungsbedingungen für die Fußauflagerung entsprechend Bild 9 gewählt werden.

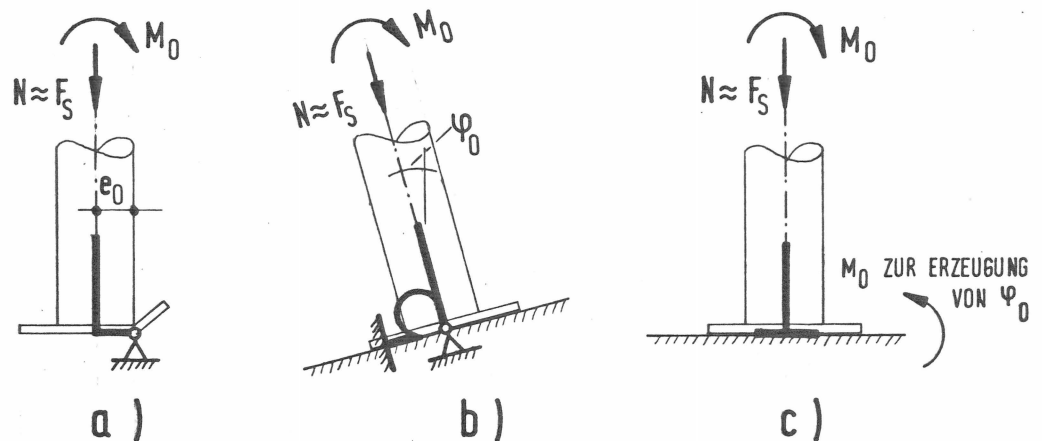


Bild 9: Abstraktion des mechanischen Modells für die Fußauflagerung

- a) Exzentrische gelenkige Fußauflagerung
- b) Zentrische Auflagerung mit drehfedernder Einspannung.  
Die Einspannung wird erst nach Überwindung des Winkels  $\varphi_0$  wirksam.
- c) Zentrische Auflagerung mit Fuß einspannung.  
Die unvermeidbaren Auflagerimperfectionen sind durch eine Zwangsverdrehung  $\varphi_0$  der Auflagerebene zu berücksichtigen

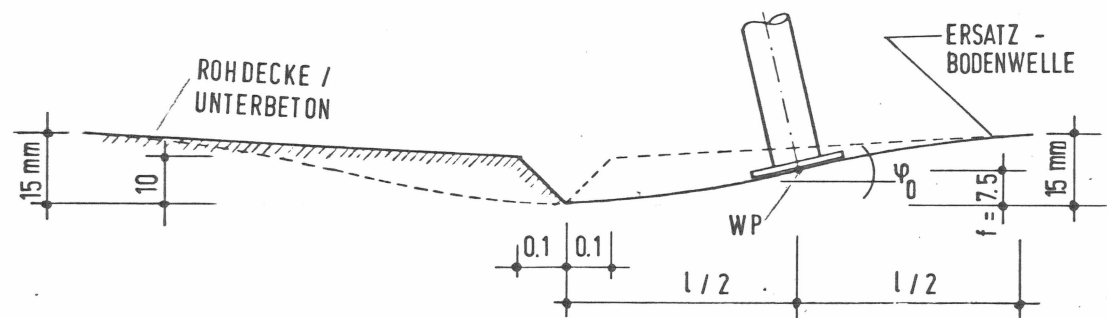
Um alle Stützen gleich zu behandeln, müßte bei Modell a) die Exzentrizität der Lasteinleitung den Steifigkeitsverhältnissen entsprechend variiert werden. Dies kann allenfalls durch eine aufwendige Probieerrechnung geschehen.

Modell b) bietet die besten Voraussetzungen für eine richtige Erfassung aller Randbedingungen. Da die Drehfeder jedoch erst wirksam wird, wenn der Winkel  $\varphi_0$  überwunden ist, muß die Lastverformungsgeschichte des Systems bis zum "Anspringen" der Feder miterfaßt werden. Berechnungen unter Beachtung solcher Systemübergänge sind aufwendig.

Modell c) ist rechentechnisch einfach zu behandeln, wenn der Zwangsverdrehungswinkel bekannt ist und das übertragbare Grenzmoment definiert wird. Die Fuß einspannung kann nicht wirksam werden, wenn schon allein durch  $M_0$  Spannungsüberschreitungen erzeugt werden. In diesem Fall ist mit Modell a) zu rechnen.

Sowohl die Steifigkeit der drehfedernden Einspannung als auch die Auflagerverdrehung sind z.Zt. nicht bekannt. Zu ersterem wird auf ein Forschungsvorhaben von Prof. Lindner verwiesen, das kurz vor dem Abschluß steht und dessen Ergebnis u.a. Angaben über die momentenabhängige Drehfedersteifigkeit von Fußspindeln mit Fußplatten auf Betonoberflächen mit und ohne Holzauffütterung sein werden.

Aussagen zu den baupraktisch unvermeidbaren Neigungswinkeln der Auflagerebene können in Anlehnung an die Vornorm DIN 18202, Blatt 3, 03.69 abgeleitet werden. Dies ist sinnvoll, da die Aufstellebene für Baustützen in der Regel durch Betondecken gebildet wird. In der DIN 18202 werden Maßtoleranzen im Hochbau geregelt. Gemäß Abschnitt 2.1, Zeile 1, kann die unvermeidbare Neigung einer planmäßig horizontalen Aufstellebene wie folgt festgelegt werden:



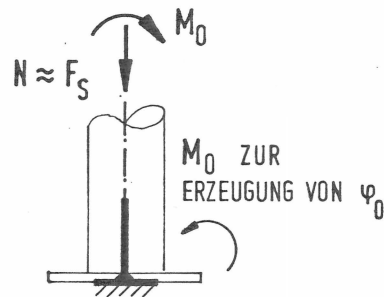
**Bild 10:** Bestimmung des Neigungswinkels  $\varphi_0$  als Ersatz für Bodenunebenheit entsprechend DIN 18 802, Blatt 3

Geht man davon aus, daß Unebenheiten in Wellenform auftreten, kann bei Annahme eines parabelförmigen Verlaufs die folgende Betrachtung angestellt werden

$$\varphi_0 \cong \frac{4 \cdot f}{l} = \frac{4 \cdot 7.5}{1000} = 0.03$$

Für den Standsicherheitsnachweis von Baustützen wird folgende Regelung für die Systemannahmen im Fußbereich vorgeschlagen:

EINSPANNUNG  
MIT ZWANGSVERDREHUNG  $\varphi_0$



ODER

EXZENTRISCH  
GELENKIGE LAGERUNG

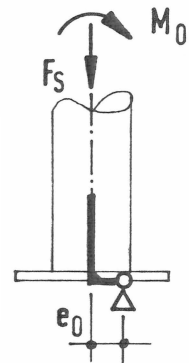


Bild 11: Praxisgerechte Abstraktion eines mechanischen Modells für die Fußauflagerung

Die Stütze wird am Fuß als eingespannt betrachtet; der Stützenfuß wird mit  $\varphi_0$  zwangsverdreht bzw. es wird ein Moment  $M$  so aufgebracht, daß der Zwangsverdrehwinkel  $\varphi_0$  erreicht wird. Entsteht unter der Stützenlast  $F_S$  ein entlastendes Einspannmoment  $M$ , dann ist einzuhalten

$$e_0 = \frac{M_0}{F_S} \leq \frac{1}{2} \cdot d_{a,a}$$

$$\text{Grenz } M_0 \leq \frac{1}{2} F_S \cdot d_{a,a}^*$$



Ist eine Zwangsverdrehung von  $\varphi_0$  nicht ohne Spannungsüberschreitung möglich, so wird mit einer exzentrisch gelenkigen Fußauflagerung gerechnet. Die Lastübertragungsexzentrizität in der Aufstellebene wird begrenzt zu

$$\max e_0 \leq \frac{1}{2} \cdot d_{a,a}^*$$

Mit der gelenkig exzentrischen Fußauflagerung darf auch gerechnet werden, wenn die Fußspannung mit Zwangsverdrehung  $\varphi_0$  zu ungünstigeren Ergebnissen führt.

---

\*) werden Stützen mit dem Innenrohr nach unten aufgestellt, so ist  $d_{a,i}$  einzusetzen!

#### 4. Abstraktion des mechanischen Modells für den Tragmechanismus der Stütze zwischen Kopfplatte (Belastungsebene) und Fußplatte (Auflagerebene)

##### 4.1 Verlauf der Systemlinie

Als Folge der für die Baupraxis erforderlichen Spiele im Überlappungsbereich und Verstellbereich der Stütze wird die Stütze erst nach Einstellung eines

Knickwinkels  $\varphi_{1-2}$  und der Achsenversätze  $v_2$  und  $v_1$

am Übergang vom Innenrohr zum Außenrohr biegesteif kraftschlüssig. Dies führt zu einer Grenzlastminderung, die nicht unberücksichtigt bleiben kann. Außerdem muß davon ausgegangen werden, daß die verwendeten Rohre eine herstellungsbedingte Vorkrümmung aufweisen, die mit einem Mittenstich  $L/500$  anzusetzen ist.

Knickwinkel und Versatz zwischen Innenrohr und Außenrohr können experimentell mit Durchgangmessungen in Anlehnung an die BuP ermittelt werden.

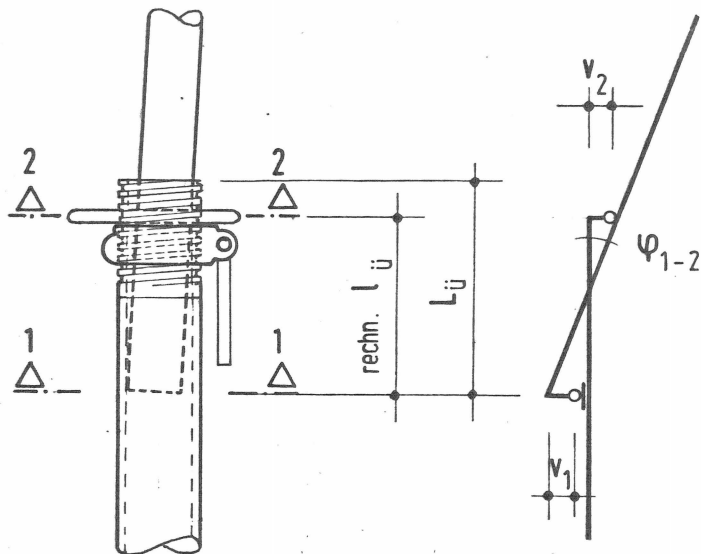
Rechnerisch kann die folgende Grenz Betrachtung angestellt werden (siehe Darstellung S. 23):

$$v_2 = \frac{d_{i,a} - d_{a,i}}{2} \quad \text{oder} \quad v_2 = \frac{\bar{d}_{i,a} - d_{a,i}}{2}$$

$$v_1 = \frac{d_{i,a} - d_{a,i}}{2} \quad v_1 = \frac{d_{i,a} - \bar{d}_{a,i}}{2}$$

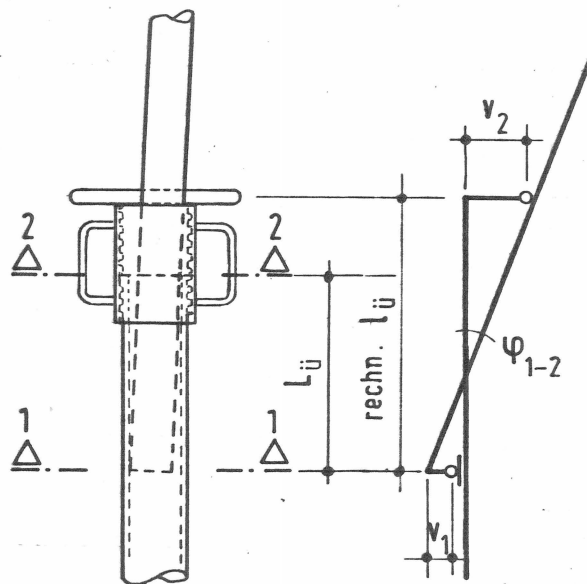
$$\varphi_{1-2} = \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$$

- a) Verstelleinheit mit offenem Gewinde  
Mit Bezeichnung von Seite 7



**Bild 12:** Abstraktion des mechanischen Modells für den Überlappungsbereich von Baustützen mit offenem Gewinde

- b) Verstelleinheit mit verdecktem Gewinde  
Mit Bezeichnung von Seite

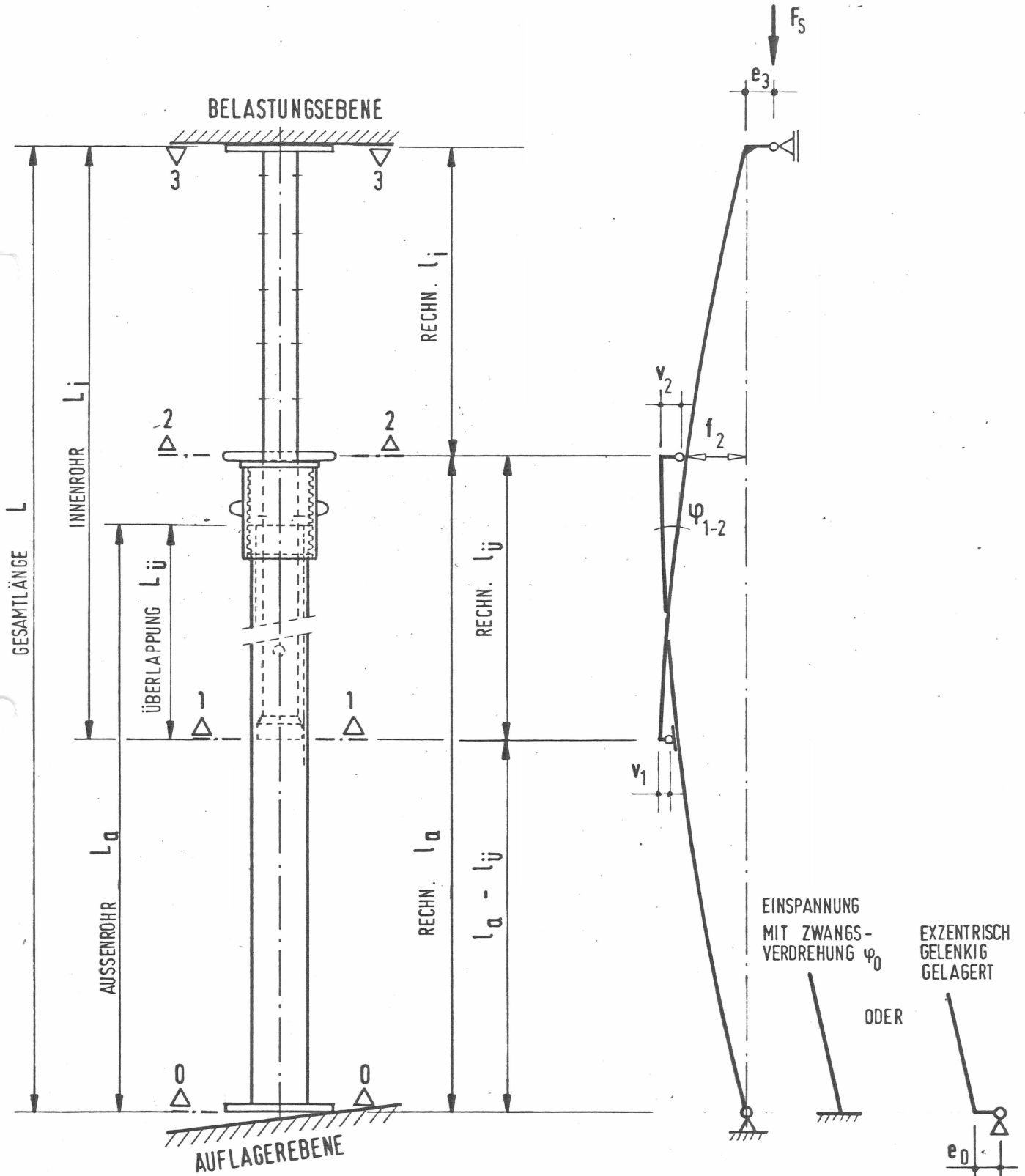


Anmerkung:

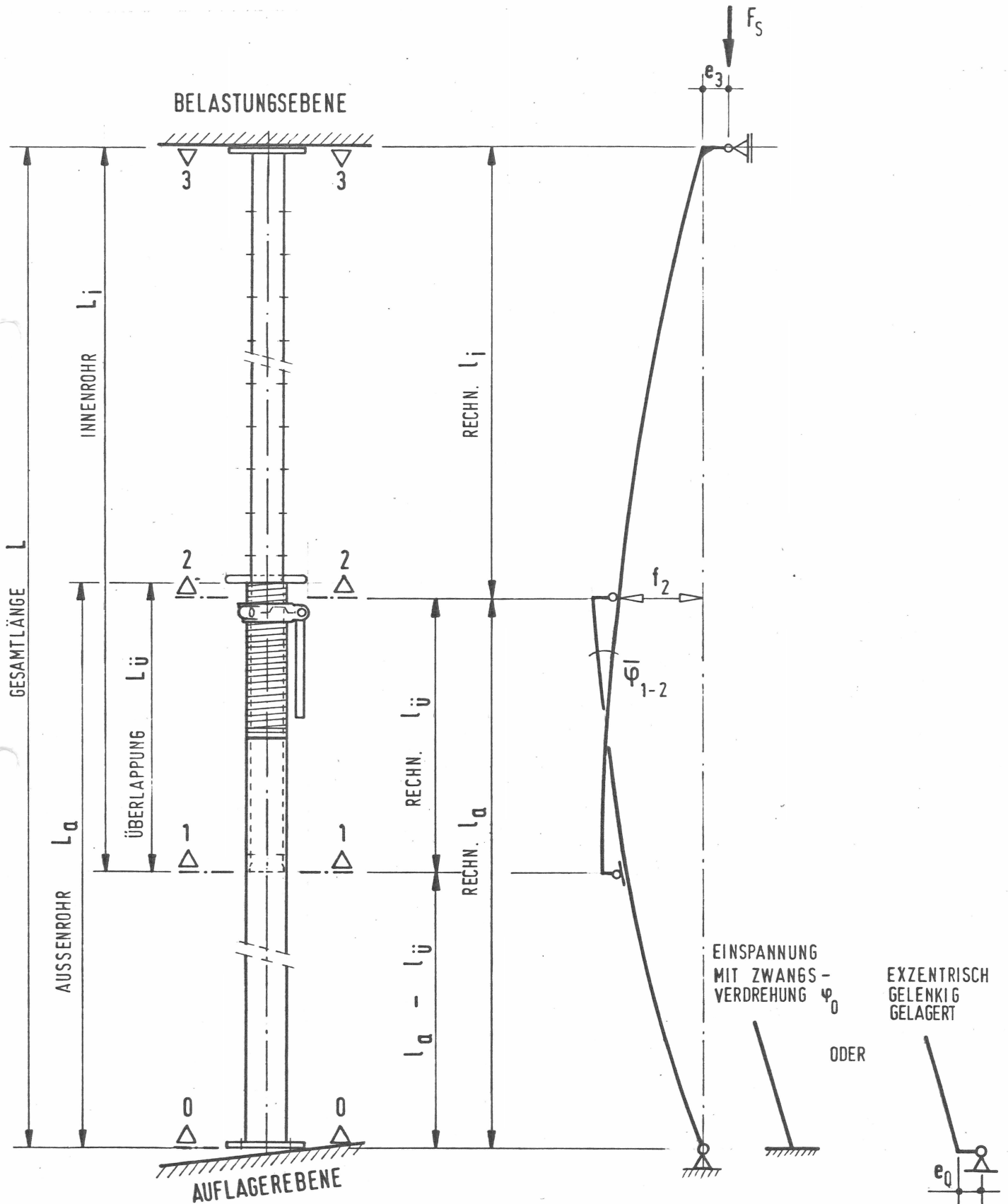
Es kann nicht sicher vorausgesetzt werden, daß bei ausgedrehtem Gewinde die Verstellmutter eine Querkraft ohne größere Verformungen überträgt. Deshalb wird die rechnerische Überlappungslänge von Unterkante Innenrohr zu Oberkante Außenrohr angesetzt.

**Bild 13:** Abstraktion des mechanischen Modells für den Überlappungsbereich von Baustützen mit verdecktem Gewinde

4.2 Mechanisches Modell für die Gesamtstütze unter Beachtung der Lagerungs- und Lasteinleitungsbedingungen



**Bild 14:** Abstraktion des mechanischen Modells für den Tragmechanismus einer Baustütze mit verdecktem Gewinde



**Bild 15:** Abstraktion des mechanischen Modells für den Tragmechanismus einer Baustütze mit offenem Gewinde

Bei beiden Stützentypen liegt der die Normalkraft übertragende Bolzen auf der Mutter der Verstelleinheit auf.

Als grenzlastmindernde Einflüsse sind zu berücksichtigen:

- Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf  $e_3$
- Versatz am Übergang Innenrohr  $v_2$  zum Außenrohr
- Erzwungene Verdrehung der Fußauflagerung  $\varphi_0$  bei eingespannter Stütze, alternativ Lastübertragungsexzentrizität  $e_0$  bei gelenkig gelagerter Stütze
- Knick im Überlappungsbereich  $\varphi_{1-2}$
- Stich der Rohre  $L/500$

Angenähert kann zur rechentechnischen Vereinfachung der herstellungsbedingte Mittenstich der Rohre über einen Zusatzwinkel  $\Delta\varphi_{1-2}$  berücksichtigt werden, der so eingestellt werden muß, daß die Abweichung der Systemlinie von der idealen Systemlinie (Verbindung der Rohrachse von Kopfplatte zu Fußplatte) in Höhe des oberen Kontaktpunktes (Schnitt 2-2) gleich bleibt.

Für eingeschobene Stützen ist dies jedoch eine sehr ungünstige Annahme. Es wird daher vorgeschlagen, die Lasteinleitungs- und Lastübertragungsexzentrizität am Kopf und Fuß der Stütze um  $L/500$  zu vergrößern. Dieses Vorgehen liegt auf der sicheren Seite.

## 5. Querschnittswerte u. Widerstände in maßgebenden Querschnitten

### 5.1 Innenrohr

Im Bereich der regelmäßigen Lochung des Innenrohrs muß die Biegesteifigkeit reduziert werden. Siehe hierzu DIN 4421, Abschnitt 6.5.7

$$E \cdot J_i = E \frac{J_B}{1 + 2 \frac{d}{a} \left( \frac{J_B}{J_N} - 1 \right)}$$

Die Reduzierung der Dehnsteifigkeit im gelochten Bereich bleibt ohne nennenswerte Auswirkung auf die Schnittgrößen und kann deshalb vernachlässigt werden.

Die Lochschwächung ist örtlich begrenzt und im Verhältnis zur Stablänge bzw. zum Lochabstand kurz. Bei Plastizierungen können sich Fließzonen nicht ausbreiten. Es erscheint zulässig, plastische Reserven zu nutzen. Vereinfacht wird ein Spannungsnachweis mit  $A_{\text{netto}}$  und  $W_{\text{nplastisch}}$  als Widerstandswerte für den Lochbereich geführt. Im Bolzenloch kann mit  $A_{\text{brutto}}$  gerechnet werden, da in Bolzenachse der Querschnitt normalkraftfrei ist.

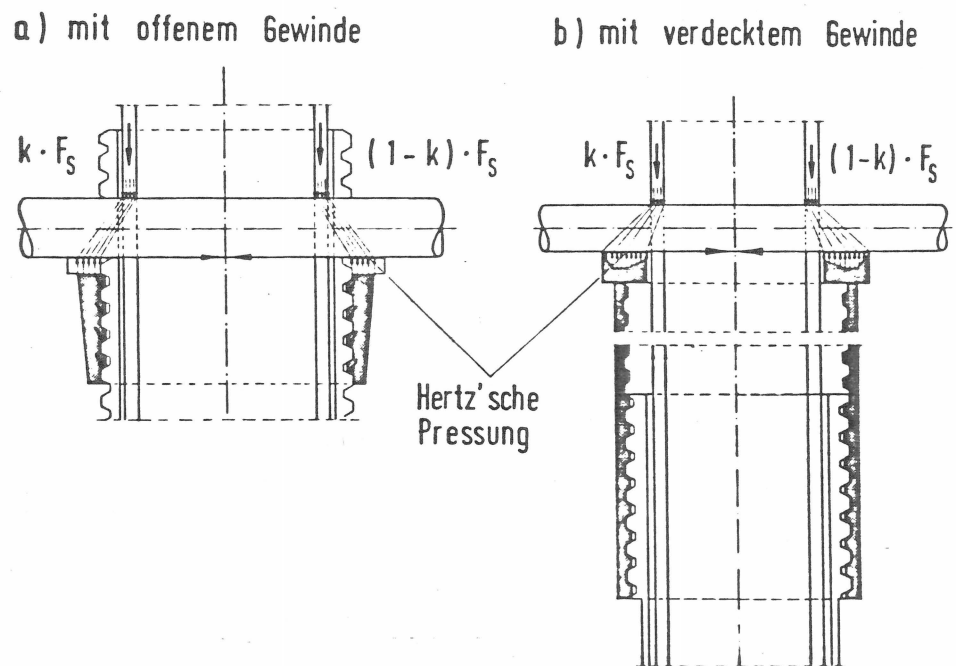
### 5.2 Außenrohr außerhalb des Verstellbereichs

Hier werden die Querschnittswerte aus Nennmaßen des Außenrohres angesetzt.

### 5.3 Verstellbereich des Außenrohres

Der Mechanismus der Normalkraftübertragung im Verstellbereich ist nur teilweise und bedingt nach den Technischen Baubestimmungen nachweisbar.

Anhand des Bildes 16 wird der Kraftübertragungsmechanismus erläutert.



**Bild 16 : Mechanismus zur Normalkraftübertragung vom Außenrohr zum Innenrohr**

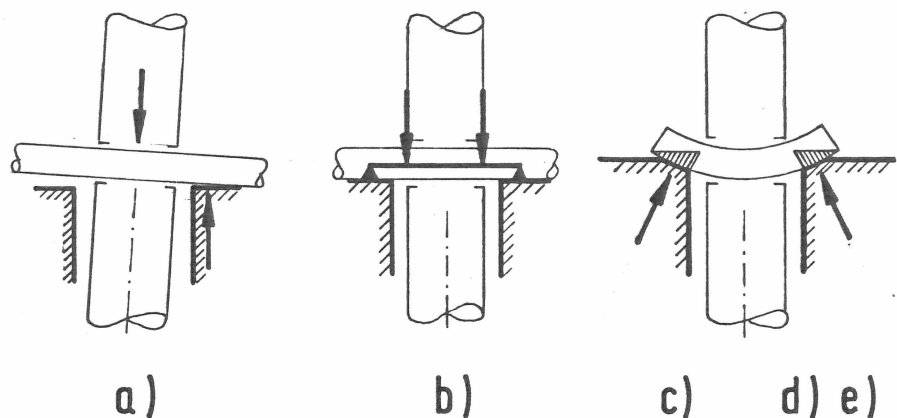
Im Gewindebereich sind die Querschnittswerte mit dem Kerndurchmesser zu bestimmen. In der Regel kann jedoch der Gewindebereich mit den Querschnittswerten des Außenrohres übermessen werden, wenn die Nettoquerschnittswerte größer sind als die Bruttoquerschnittswerte des Innenrohres.



Sowohl beim Verstellbereich mit offenem Gewinde als auch mit verdecktem Gewinde sind die folgenden Schnittstellen zu untersuchen:

- Innenrohr/Bolzen  
Lochleibungsscherverbindung
- Bolzen/Verstellmutter  
Hertz'sche Pressung
- Verstellmutter/Gewinde  
des Außenrohrs  
Streckenbelastung der schiefen Ebene des Gewindegangs

Bei der Kraftübertragung sind die folgenden Störeinflüsse zu beachten:



**Bild 17:** Störeinflüsse bei der Normalkraftübertragung vom Innenrohr zum Außenrohr

- a) Infolge der Schiefstellung des Innenrohrs im Außenrohr kann sich die Last ungleichmäßig auf die beiden Scherflächen des Bolzens verteilen, obwohl der Bolzen plan-

mäßig nur lotrechte Lasten zu übertragen hat, da das Biegemoment durch das vorherbeschriebene Kräftepaar übertragen wird.

Diese Tendenz wird durch die Relativverdrehung zwischen Innen- und Außenrohr am Bolzen infolge elastischer Verformungen vergrößert.

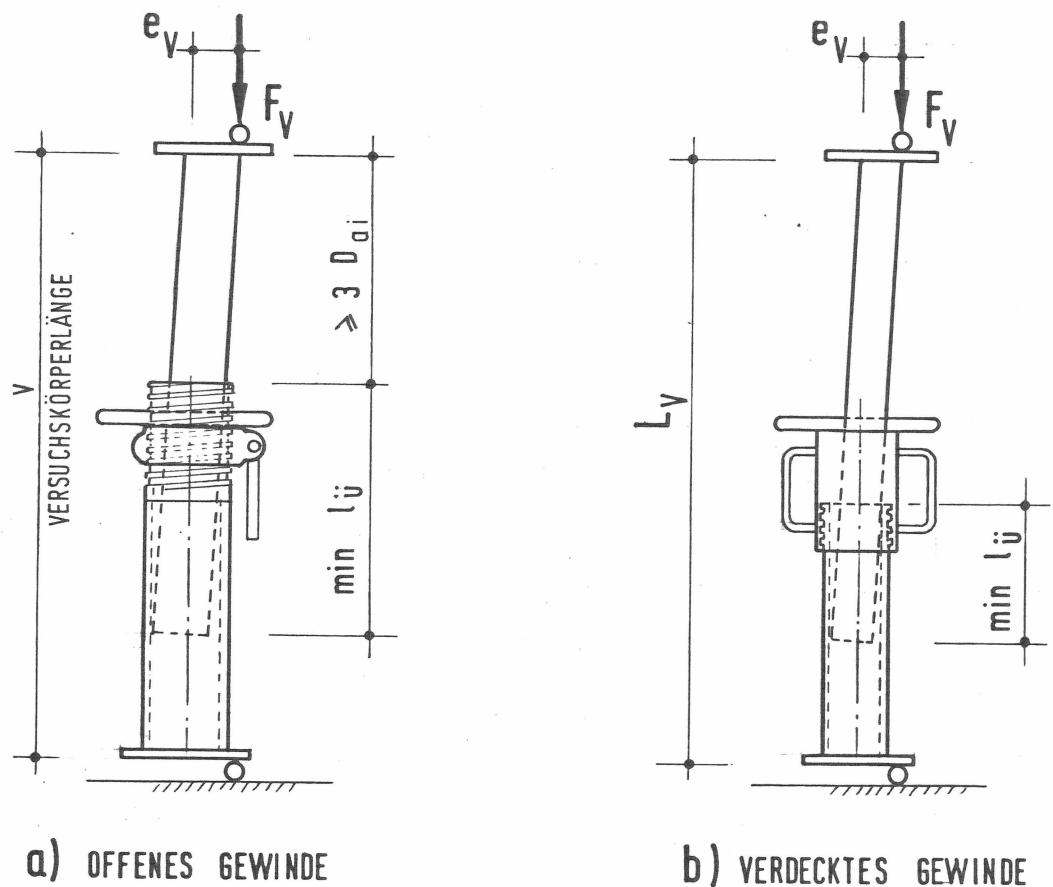
- b) Der Bolzen erhält unplanmäßig Biegung
- c) Infolge Bolzenbiegung ist die Pressung in Bolzenlängsrichtung der Auflagerlänge auf der Verstellmutter nicht gleichmäßig verteilt.
- d) Verstellmuttern bei verdecktem Gewinde haben meist noch eine Auflagerscheibe für den Bolzen, die den Zwischenraum zwischen Gewinderohr und Innenrohr überbrückt. Die Nachgiebigkeit dieser Kreisringplatte bei örtlicher Beanspruchung durch den Bolzen führt zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Auflagerpressung in Bolzenlängsrichtung.
- e) Infolge Bolzenbiegung entsteht als Komponente der Bolzenauflagerkraft eine Spreizkraft auf die Oberkante der Verstellmutter, die Horizontalverformungen des oberen Mutterrandes erzwingt. (Aufweitung)

Die hier aufgezählten Einflüsse sind sowohl einzeln als auch in Interaktion in ihren Auswirkungen rechnerisch nur bedingt erfaßbar. Lediglich die Lochleibungsscherverbindung von Innenrohr zu Bolzen läßt sich sinnvoll nachweisen.

Die in Anlage 1 vorgenommene Ermittlung der in dieser Lochleibungsscherverbindung übertragbare Normalkraft (als Gelenkbolzenverbindung) zeigt allerdings, daß bei den bekannten Konstruktionen die Lochleibungsbeanspruchung im Innenrohr die Tragfähigkeit der Stütze vorzeitig begrenzt, so daß weitere Nachweise überflüssig erscheinen.

Es wird vorgeschlagen, den rechnerischen Nachweis der Verbindung auf den Nachweis der Lochleibungsscherverbindung von Innenrohr zu Außenrohr zu beschränken. Die zulässigen Beanspruchungen hierfür müssen in Anlehnung an die DIN 4421 bzw. DIN 1050 geregelt werden.

Zusätzlich sollten Bauteilversuche vorgeschrieben werden. Hierfür wird nachfolgend eine prinzipielle Versuchsanordnung vorgeschlagen.



**Bild 18:** Prinzipielle Versuchsanordnung zum Nachweis der Normalkraftübertragung im Verstellbereich

Die Verstelleinheit ist voll auszudrehen. Zu messen ist die Längenänderung bzw. die Endtangentenverdrehung. Wird die Lasteinleitungsexzentrizität so eingestellt, daß

$$\frac{v \cdot e_v \cdot \text{zul } F_S}{W_{n, pl}} = \beta_S - \frac{v \cdot \text{zul } F_S}{A_n}$$

eingehalten ist, so sind die Schnittgrößen im Verstellbereich mit denen des rechnerischen Nachweises für die Rohre vergleichbar.

Da in der Regel die Führung des Innenrohres im Außenrohr sehr eng ist, entsteht schon sehr früh ein biegesteif kraftschlüssiger Kontakt über ein Kräftepaar durch seitliches Anliegen des Innenrohres im Außenrohr.

**Aus versuchstechnischen Gründen wird vorgeschlagen, die Exzentrizität der Lasteinleitung auf den halben Durchmesser des Innenrohres zu begrenzen:  $e_v = \frac{1}{2} d_{a,i}$**

Mit dieser Versuchsanordnung wird die Verbindung unter Schnittgrößen überprüft, deren Interaktion der Wirklichkeit nahe kommt. Außerdem ist die ungleiche Verteilung der lotrechten Last auf die beiden Scherflächen sowohl aus der Schiefstellung  $\varphi_{1-2}$  als auch aus der Relativverdrehung des Innenrohres zum Außenrohr abgedeckt. Anzumerken ist noch, daß die größte Belastung der Verbindung bei der eingeschobenen Stütze auftritt. Der zugehörige Knickwinkel  $\varphi_{1-2}$  ist dann jedoch sehr klein.

Die erforderliche Anzahl der Versuche kann in Anlehnung an Abschnitt 6.2, DIN 4421, festgelegt werden.

In Anlage 5 werden beispielhaft durchgeführte Versuche beschrieben und mit ihren Ergebnissen dokumentiert. Die Fotos verdeutlichen die Störeinflüsse entsprechend Bild 17.

Die Erfordernis von Bauteilversuchen könnte unter bestimmten Voraussetzungen entfallen.

Diese sind:

- Die Konstruktion der Gewinde und der Muttern der Verstelleinheit müßten genormt werden
- Die Tragfähigkeit der genormten Verbindungsmittel müßte durch Berechnung oder experimentell allgemeingültig festgelegt werden.

Einer solchen Normung der Gewinde stehen große Schwierigkeiten entgegen (Aufzählung ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Da die Entwicklung der Baustützen stagniert bzw. als abgeschlossen gelten kann, scheinen entsprechende Herstellervereinbarungen schwer erreichbar zu sein.
- Aus den vorhandenen Unterlagen zur Prüfzeichenerteilung gehen nähere Angaben zur Gewindeausbildung nur begrenzt hervor.
- Die vorhandenen Prüfzeugnisse geben nur wenig Aufschluß über die tatsächliche Belastbarkeit der Stützenverbindung.

Es wird deshalb vorgeschlagen, Anordnung, Durchführung und Auswertung der vorbeschriebenen Bauteilversuche so zu regeln, daß nach einem weiteren Erfahrungszeitraum die rechnerischen Grundlagen zur Festlegung übertragbarer Schnittgrößen für die Verbindung im Verstellbereich von Baustützen formuliert werden können.

## 6. Zusammenstellung wichtiger Kenndaten handelsüblicher Baustützen

Der Verfasser hat Einsicht in Prüfzeugnisse von 13 "normalen" Baustützen und 11 schweren Baustützen (Kennbuchstabe G), die in Anlage 1 zusammengestellt sind. In Anlage 1 werden die wichtigsten Kenndaten dieser Baustützen zusammengestellt bzw. errechnet.

Dies sind:

- Tragfähigkeit der Baustützen entsprechend den Bau- und Prüfgrundsätzen für verschiedene Auszugslängen
- Die Ergebnisse der Durchhangmessungen und die bei den Prüfzeichenversuchen eingestellte Exzentrizität
- Die übertragbare Normalkraft der Verbindung beim Nachweis der Kraftübertragung von Innenrohr zum Bolzen als Lochleibungsscherverbindung\* mit zulässigen Beanspruchungen einer Gelenkbolzenverbindung.
- Vergleich von rechnerisch aus den Nennabmessungen ermittelten Knickwinkeln  $\psi_{1-2}$ \*\* mit aus den Durchhangmessungen rückgerechneten Knickwinkeln.

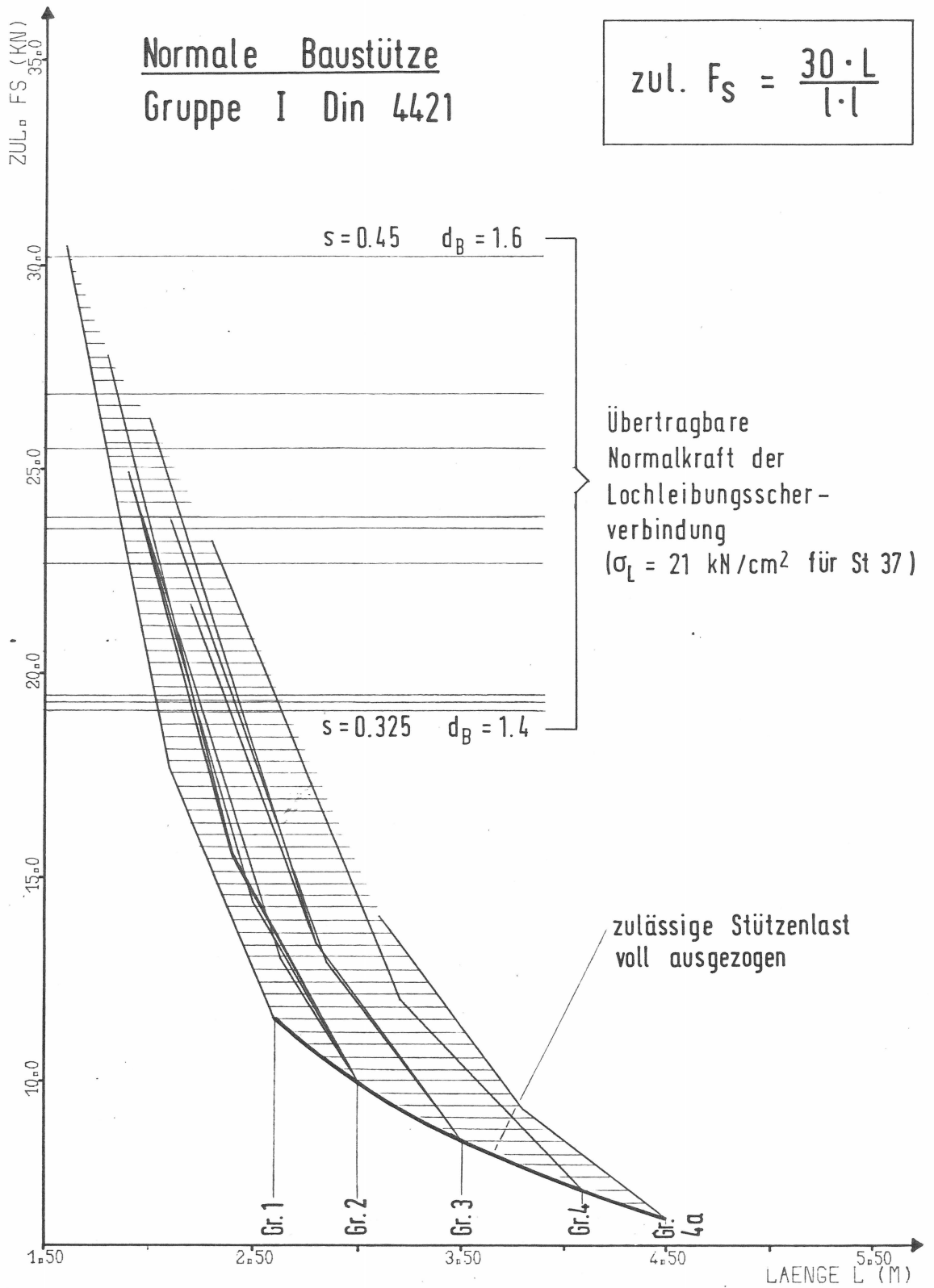
---

\* Hier ist anzumerken, daß sich nicht für alle verwendeten Bolzenwerkstoffe zulässige Beanspruchungen eindeutig festlegen lassen, so daß behelfsweise durch Umrechnung über die Streckgrenzenverhältnisse entsprechende Angaben gewonnen wurden.

---

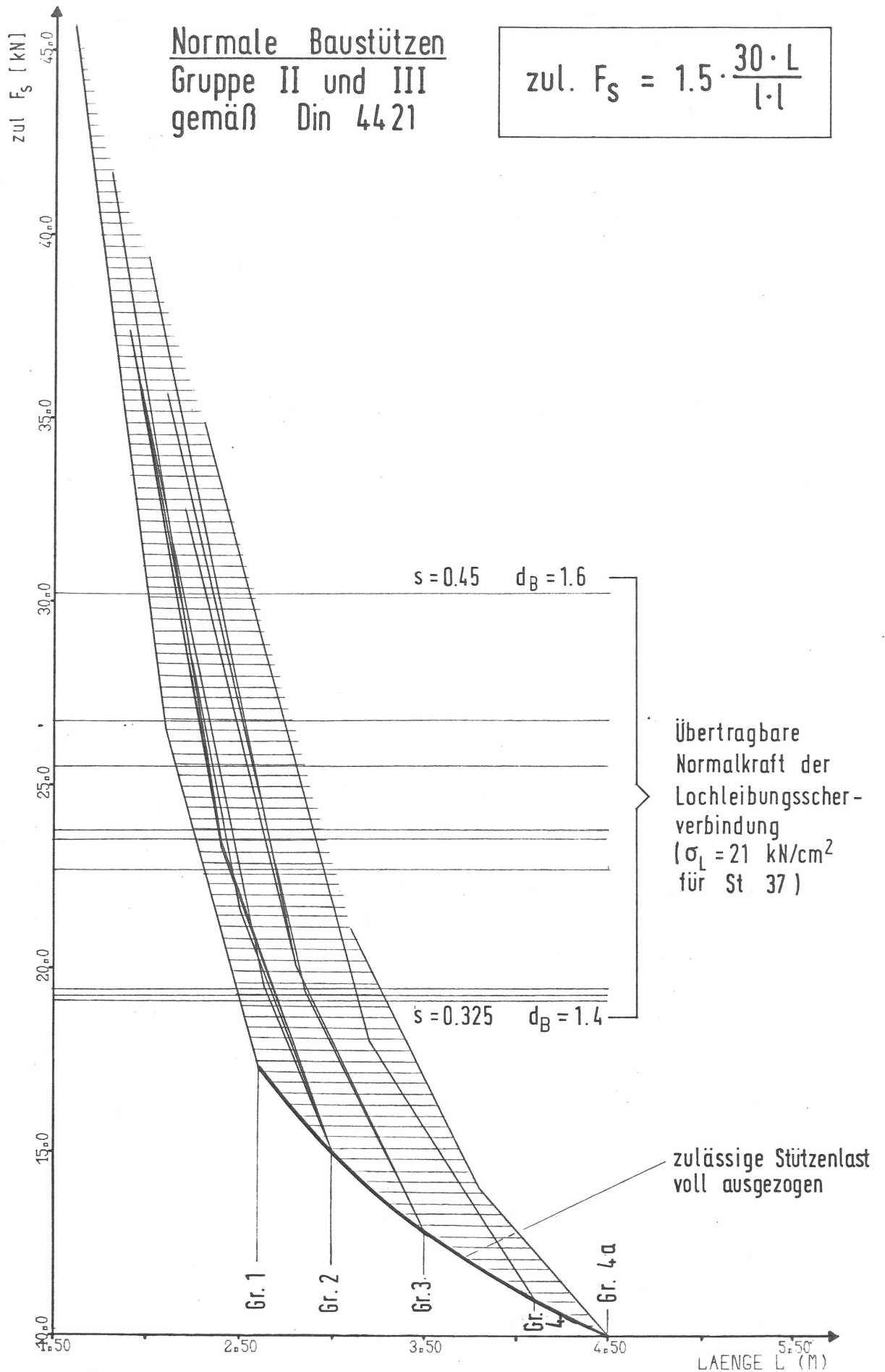
\*\* Hier ist anzumerken, daß sich rechnerisch durchweg kleinere Werte ergaben. Dies läßt sich u.U. dadurch erklären, daß in den Durchhangmessungen die Vorkrümmung (Stich) der Rohre bereits enthalten ist. Der Einfluß der Rohrtoleranzen kann wegen fehlender Angaben nicht nachvollzogen werden.

In den nachfolgenden graphischen Darstellungen ist zu erkennen, daß der Nachweis der Bolzenverbindung mit den zulässigen Beanspruchungen einer Gelenkbolzenverbindung die Tragfähigkeit der Baustütze vorzeitig begrenzt!

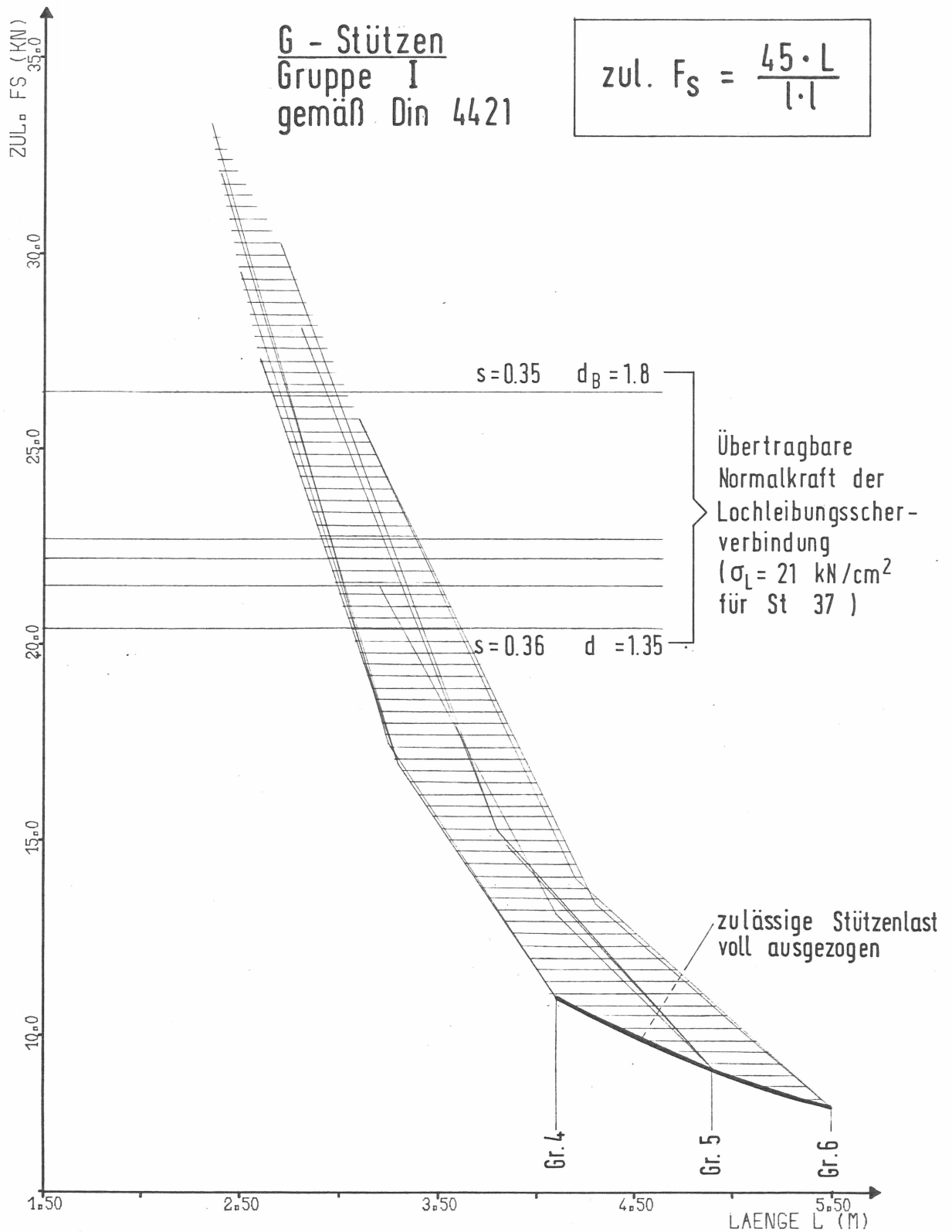


**Bild 19 a:** Zulässige Stützenlast für Baustützen nach DIN 4421

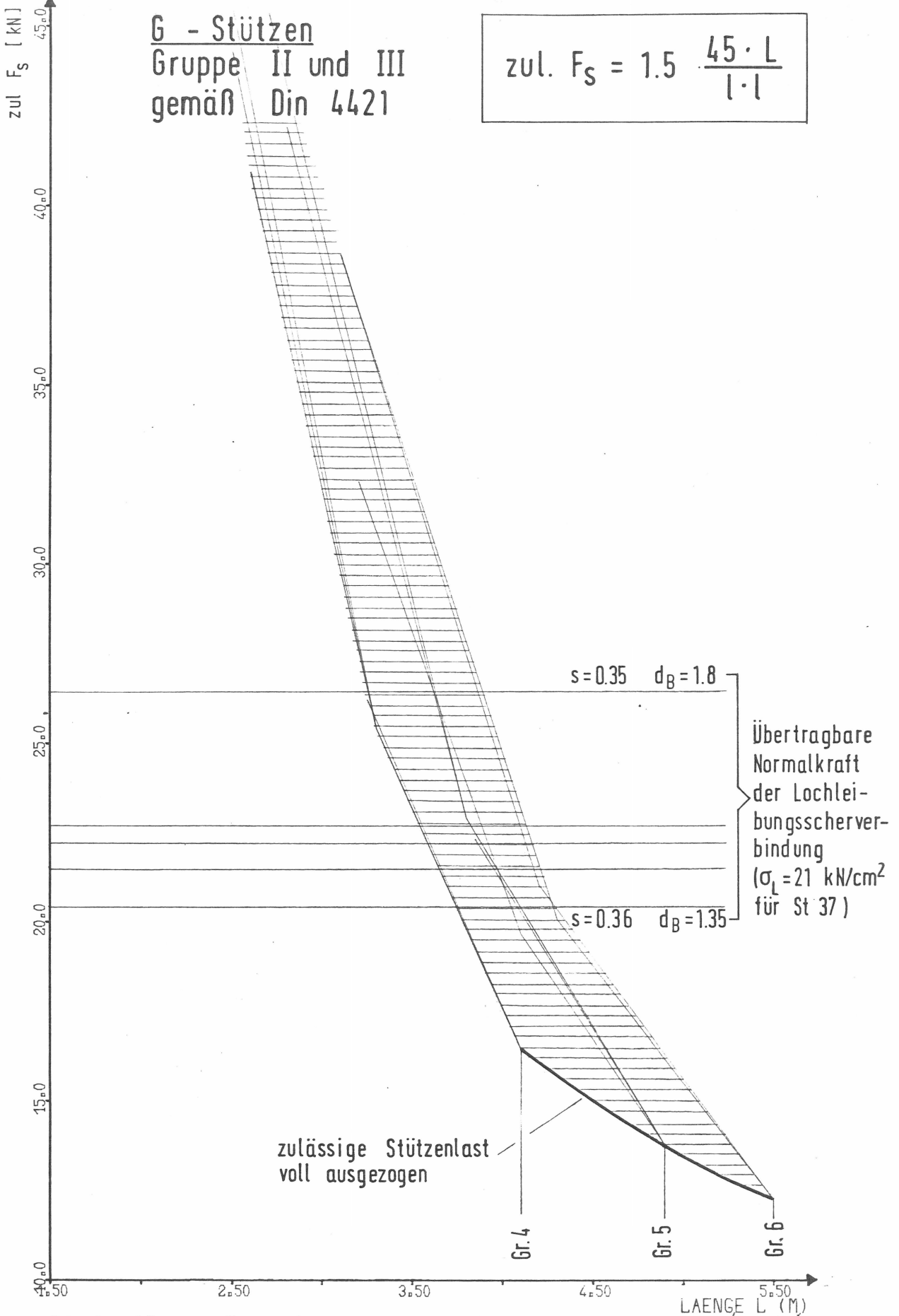




**Bild 19 b:** Erhöhte zulässige Stützenlast für Baustützen nach DIN 4421



**Bild 20 a :** Zulässige Stützenlast für Baustützen (mit Kennbuchstabe G) nach DIN 4421



**Bild 20 b:** Erhöhte Stützenlast für Baustützen (mit Kennbuchstabe G) nach DIN 4421

## 7. Ergebnisse von Vergleichsrechnungen zur Erprobung des Rechenmodells und Überprüfung des Einflusses unterschiedlicher Lagerungsbedingungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse von Vergleichsrechnungen wiedergegeben, mit denen nachgewiesen werden soll, daß das gewählte Rechenmodell mit den für erforderlich gehaltenen Lasteinleitungs- bzw. Lastübertragungsexzentrizitäten nicht zu Traglasten führt, die weit außerhalb des durch die Bau- praxis abgedeckten Erfahrungsbereichs liegen.

Der größere Teil der Untersuchungen wurde am Beispiel der Stütze Hünnebeck AS 410-S durchgeführt. Dies ist eine G-Stütze, die in großen Stückzahlen verwendet wird und somit als repräsentativ angesehen werden kann. Abgesichert werden soll diese Annahme durch Vergleichsrechnungen, die mit fiktiven jedoch gleichen Lagerungs- und Lasteinleitungsbedingungen am Beispiel mehrerer N- und G-Stützen unterschiedlicher Konstruktion und Größen durchgeführt wurden.

Die System- und Querschnittsabmessungen sowie die Querschnittswerte der Stütze werden in Anlage 2 zusammengestellt. Die Berechnungen erfolgen mittels EDV. Ein Teil der Ergebnisse wird graphisch dokumentiert. Die EDV-Ausdrucke werden nicht beigelegt.

### 7.1 Erprobung des Rechenmodells durch Vergleich von Berechnungsergebnissen mit Versuchsergebnissen

Dieser Vergleich wird für die Stütze AS 410-S durchgeführt. Die der Prüfzeichenerteilung zugrundeliegenden Versuchsergebnisse sind im Prüfzeugnis Nr. 6179 der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TH Karlsruhe, dokumentiert.

### 7.1.1 Vergleich rechnerisch ermittelter Beanspruchungen mit den P/σ-Kurven der Versuche

In die P/σ-Kurven des Prüfzeugnisses Nr. 6179 v. 29.08.73 werden die rechnerisch ermittelten Spannungen eingetragen (Bilder 21a - c).

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Prüfzeichenversuche wurden die Beanspruchungen (mit  $A_n$  und  $W_n$  errechnet) an der Stelle des Größtmoments im Innenrohr aufgetragen. Bei Vollauszug und Halbauszug ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Die geringeren rechnerischen Beanspruchungen bei der eingeschobenen Stütze sind u.U. damit zu erklären, daß bei insgesamt sehr kleinen Verformungen Ungenauigkeiten bei den Systemannahmen einen großen Einfluß auf die Berechnungsergebnisse haben. Zudem ist nicht ersichtlich, wie die σ-Werte der Versuchsauswertung bestimmt wurden. Die Abweichungen sind jedoch nicht so groß, daß man von einem Versagen des Rechenmodells sprechen kann.

Auszug Anlage 7d Prüfzeugnis Nr. 6179 v. 29.08.73

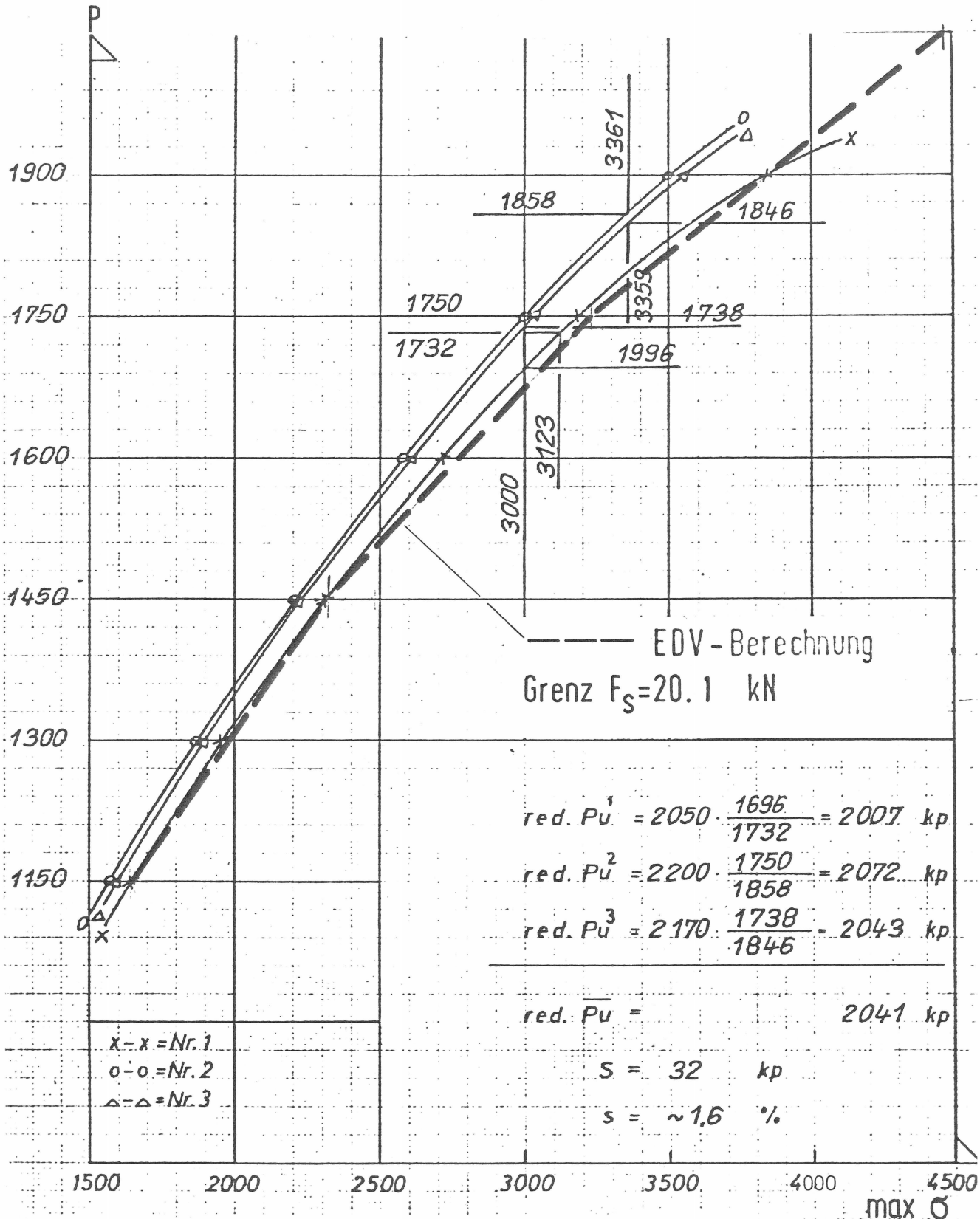
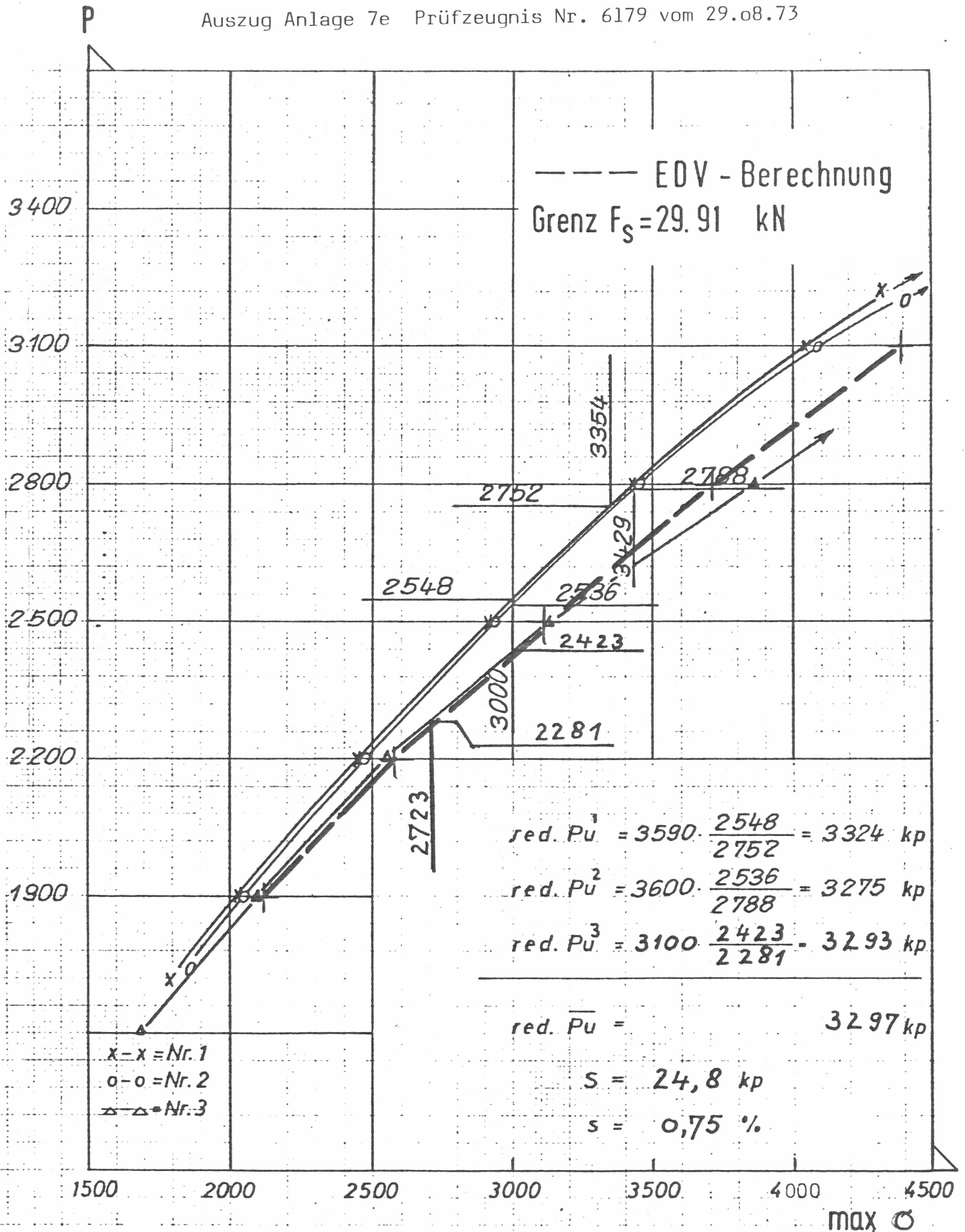
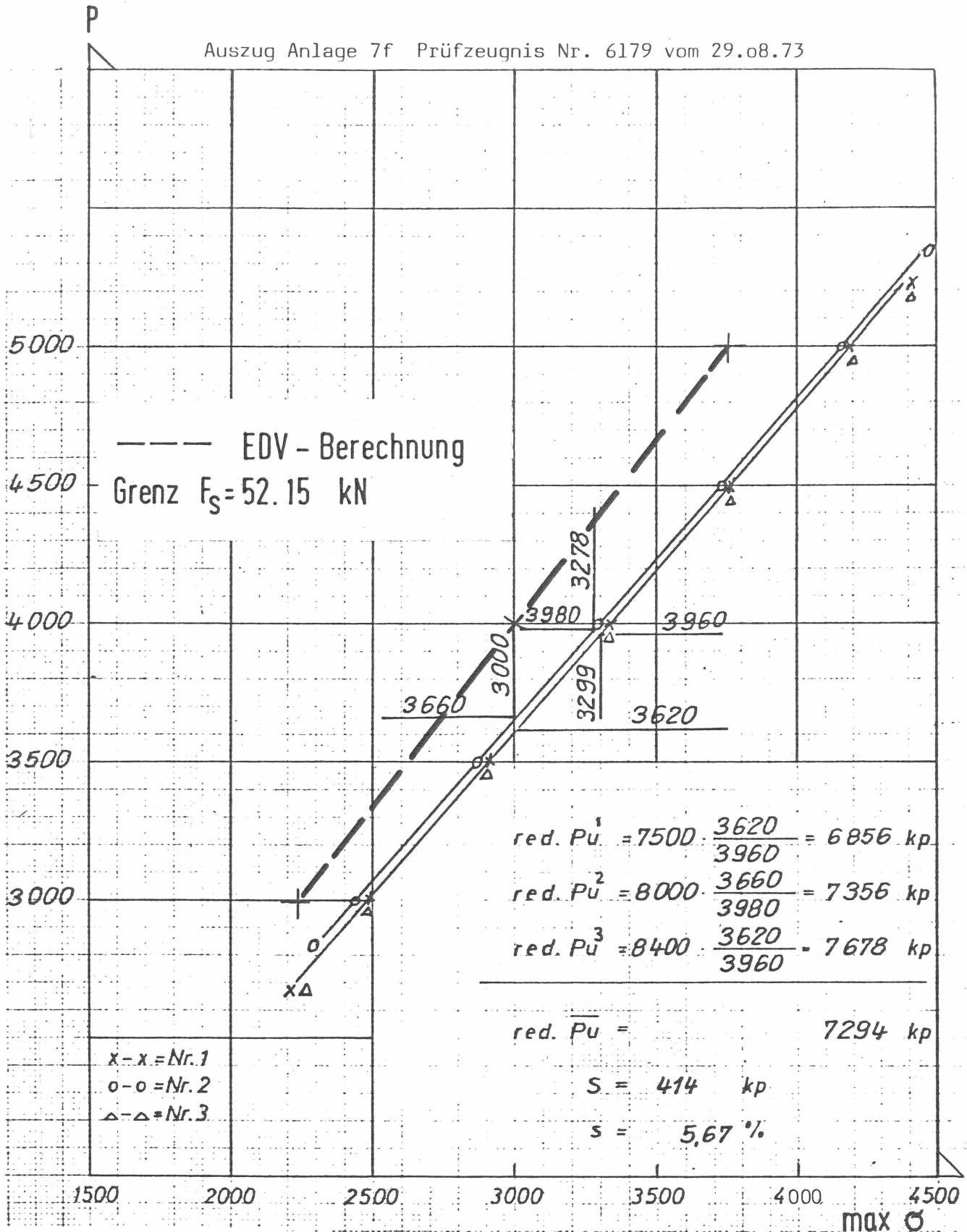


Bild 21a: Vergleich der durch Rechnung ermittelten Beanspruchungen mit Ergebnissen der Prüfzeichenversuche - Stütze voll ausgezogen -



**Bild 21 b:** Vergleich der durch Rechnung ermittelten Beanspruchungen mit Ergebnissen der Prüfzeichenversuche - Stütze halb eingeschoben -

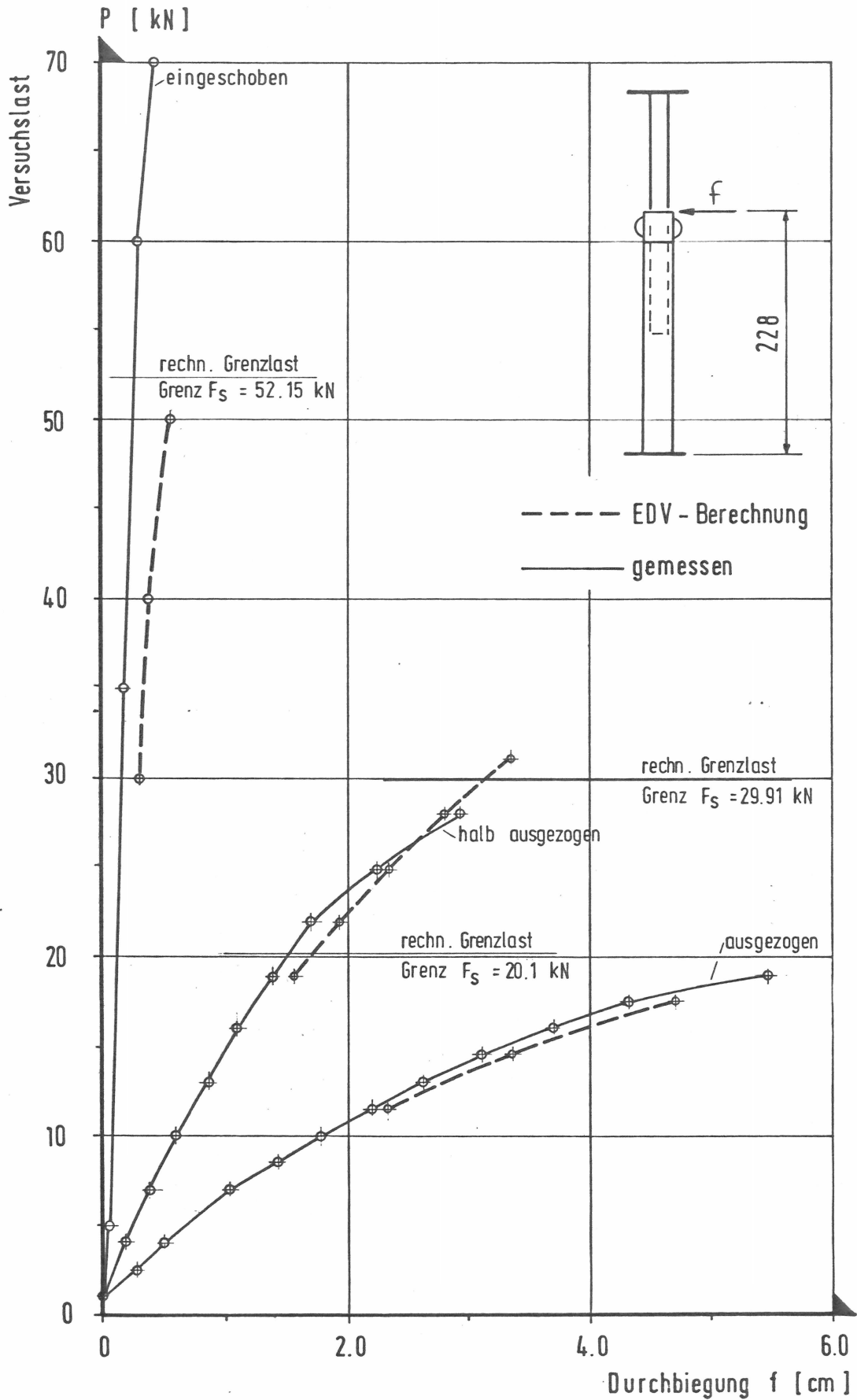


**Bild 21 c:** Vergleich der durch Rechnung ermittelten Beanspruchungen mit Ergebnissen der Prüfzeichenversuche  
- Stütze eingeschoben -



### 7.1.2 Vergleich der rechnerisch ermittelten Durchbiegungen mit den Durchbiegungsmessungen der Prüfzeichenversuche

Es ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Bei der eingeschobenen Stütze sind die Beträge der absoluten Abweichungen gering. Bei insgesamt kleinen Verformungen ist die bezogene Abweichung jedoch hoch. Die Unterschiede können allein schon durch Abweichung bei der Annahme der Vorauslenkungen im Vergleich zu den tatsächlich beim Versuch vorhandenen Vorauslenkung verursacht sein.



**Bild 22 :** Vergleich der rechnerisch ermittelten Durchbiegungen mit Messungen der Prüfzeichenversuche

### 7.1.3 Vergleich der rechnerisch aus den Grenzlasten ermittelten zulässigen Stützenlasten mit den zulässigen Lasten entsprechend den BuP bzw. EB

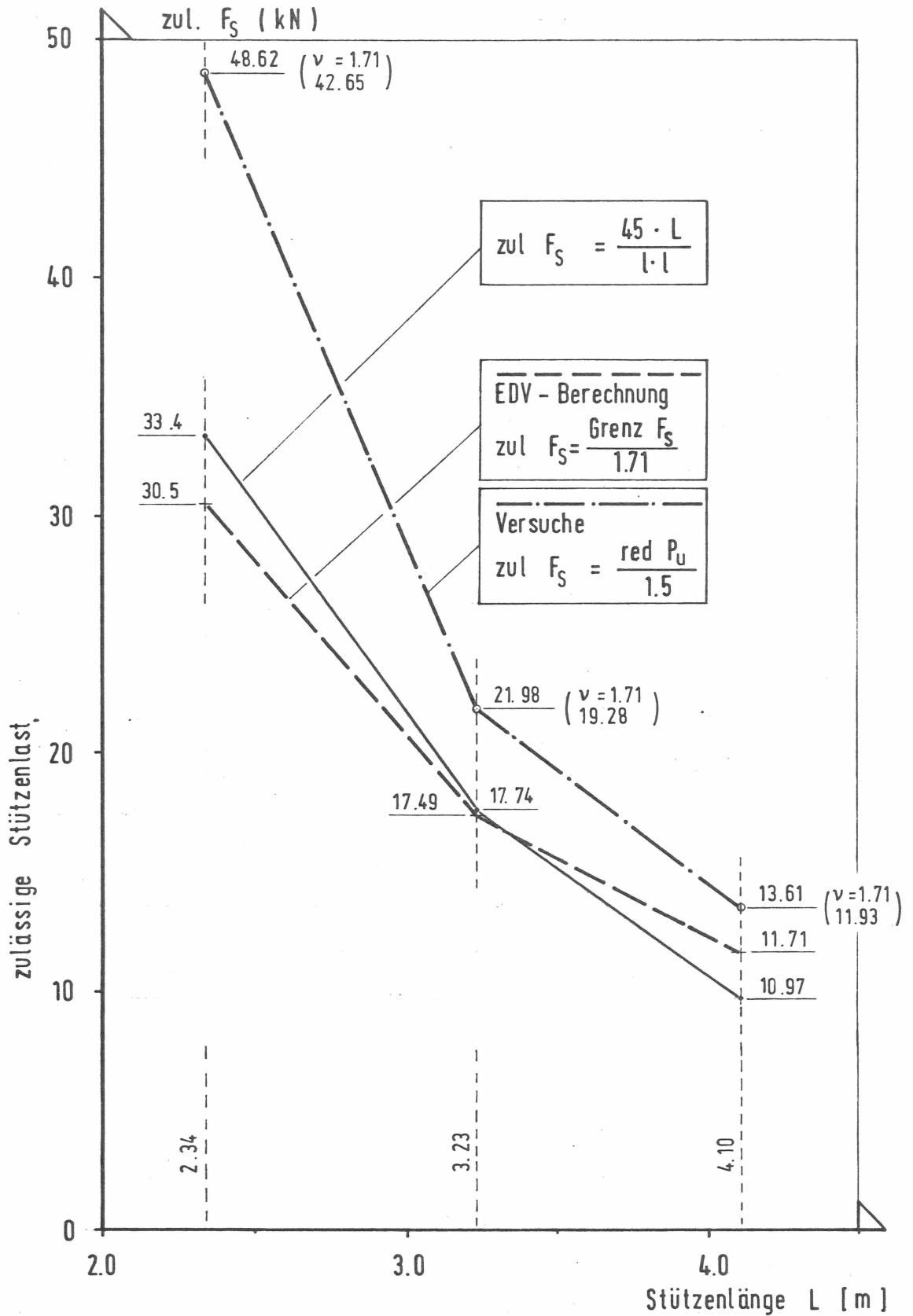
Die Übereinstimmung ist am besten bei der halb ausgezogenen Stütze. Nach dem Berechnungsergebnis unter Beibehaltung der Lasteinleitungsexzentrizität der Prüfzeichenversuche wäre die zulässige Stützenlast bei voll ausgezogener Stütze um ca. 10 % zu verbessern und bei eingeschobener Stütze um 10 % zu reduzieren.

Zum Vergleich ist noch der Verlauf von

$$\text{zul } F_s = \frac{\text{red } P_u}{1.5} \quad ; \quad \left( \frac{\text{red } P_u}{1.71} \right) \text{ (s. BuP)}$$

eingetragen. Dieser Wert liegt immer deutlich über dem Berechnungsergebnis, wobei die Abweichungen mit Zunahme der Auszugslänge abnehmen, so daß bei voll ausgezogener Stütze und bei gleichem Sicherheitsabstand Berechnung und Versuch übereinstimmende Ergebnisse zeigen. Ansonsten liegen die Versuchsergebnisse deutlich über den rechnerisch erhaltenen Werten. Es ist aus den Versuchsergebnissen nicht zu erkennen, mit welchem Versagenskriterium die Versuche abgebrochen wurden.

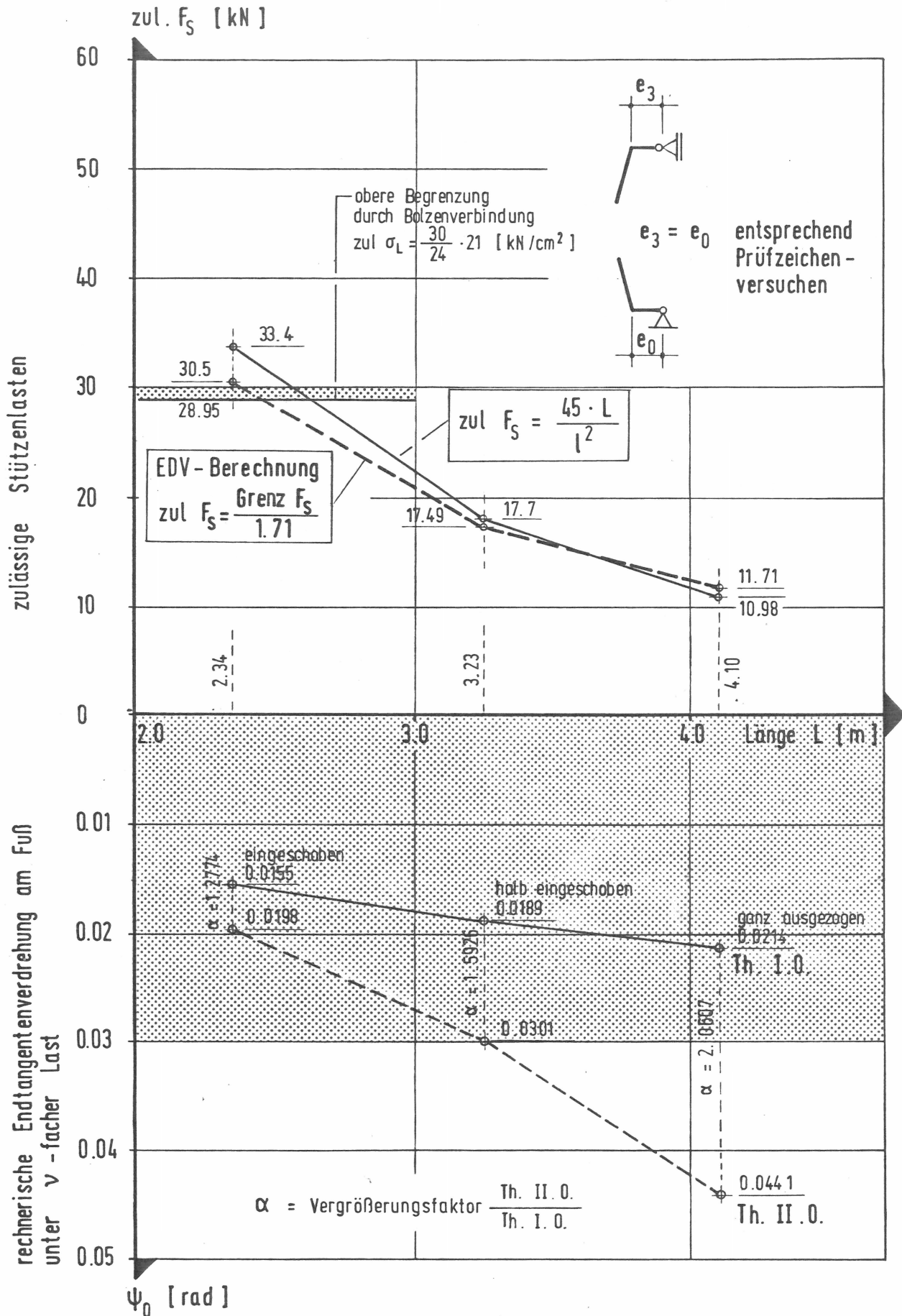
Bei der Berechnung ist der Spannungsnachweis mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung mit  $W_{n,pl}$  und  $A_n$  im ge-  
lochten Querschnitt das Kriterium für die rechnerische Grenzlast.



**Bild 23:** Vergleich der rechnerisch ermittelten zul. Stützenlast mit den zul. Stützenlasten gemäß BUP bzw. DIN 4421

#### 7.1.4 Endtangentialverdrehung der Stütze bei Systemannahmen entsprechend BuP

Die Systemannahmen bezüglich Lasteinleitungsexzentrizitäten wurde in den BuP so gewählt, daß alle baupraktischen Imponderabilien des Baustützeinsatzes abgedeckt sein sollten. Hier wird der Frage nachgegangen, ob der in Abschnitt 3.2 definierte Neigungswinkel der Aufstellebene vergleichbar mit der Regelung der BuP ist. In der Darstellung des Bildes 24 erkennt man, daß die Stütze AS410-S unterhalb des halb eingeschobenen Zustandes nicht mehr in der Lage ist  $\varphi_0 = 0,03$  auszugleichen. Für kürzere Auszugslängen ist mit der gelenkig exzentrischen Fußauflagerung zu rechnen. Bei voll ausgezogenen Stützen ist zu erwarten, daß eine Fuß-  
einspannung aktiviert werden kann.



**Bild 24:** Zulässige Stützenlasten und Endtangentenverdrehungen mit Exzentrizität der Lasteinleitung den Prüfzeichenversuchen entsprechend

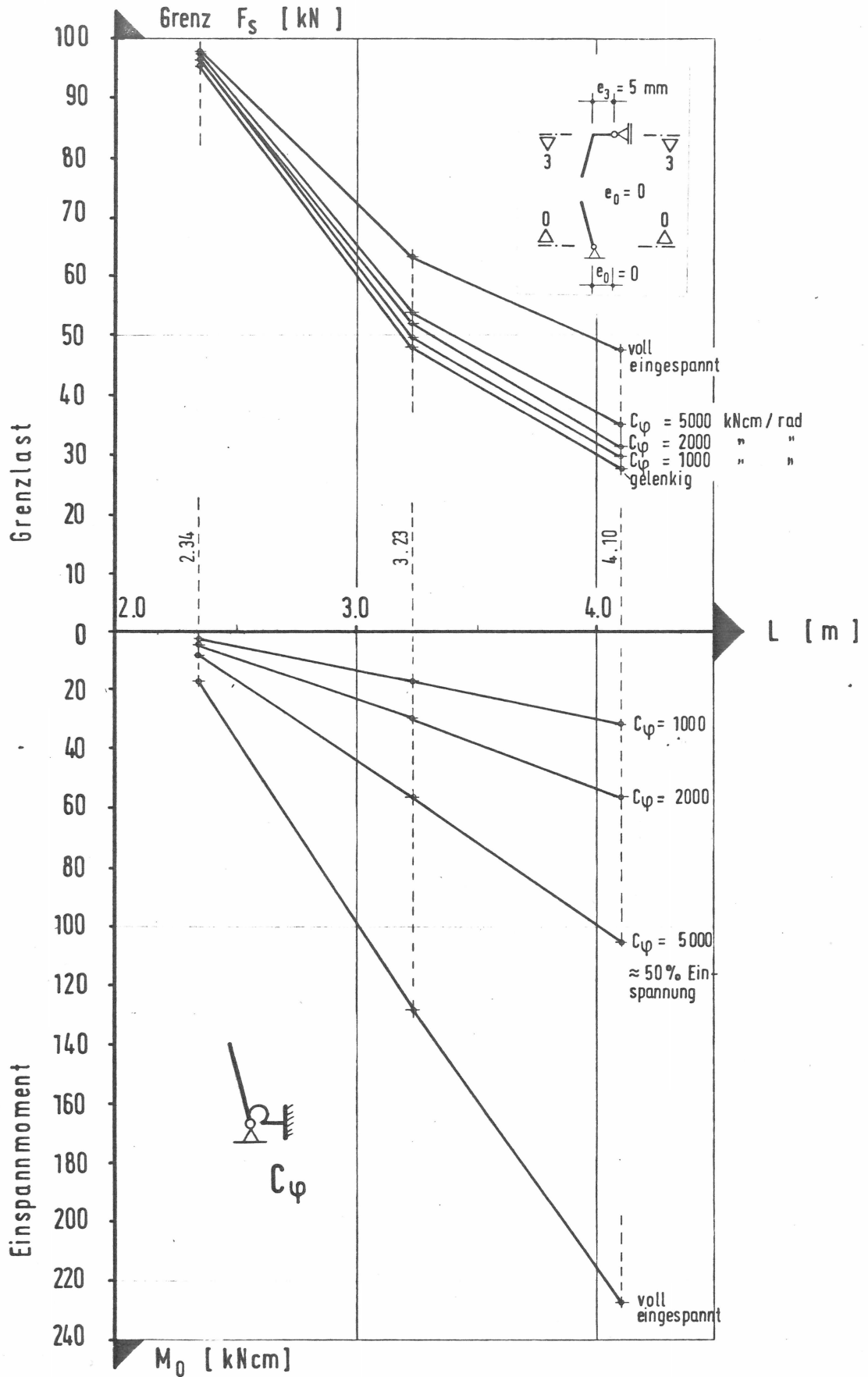
## 7.2 Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Lagerungsbedingungen am Fuß

### 7.2.1 Einfluß einer Fußeinspannung unterschiedlicher Steifigkeit auf die rechnerische Grenzlast der Stütze

Die Steifigkeit der drehfedernden Einspannung am Fuß wurde von gelenkiger Lagerung bis zu vollen Einspannung variiert. Es zeigt sich, daß der Einfluß der Fußeinspannung bei kleinerer Auszugslänge abnimmt.

Eine Fußeinspannung hat allerdings eine deutliche Grenzlaststeigerung für die voll ausgezogene Stütze zur Folge. Bei baupraktisch anzusetzenden Steifigkeitswerten verliert sich dieser Einfluß jedoch wieder.

In der Darstellung des Bildes 25 sind die rechnerischen Grenzlasten für verschiedene Auszugslängen mit der Drehfedersteifigkeit aufgetragen. Zusätzlich sind die jeweiligen Fußeinspannmomente aufgetragen. Man erkennt, daß zum Teil erhebliche Einspannmomente zu übertragen waren. Eine Begrenzung des übertragbaren Moments entsprechend Abschnitt 3.2 beschränkt die Effektivität je nach Einspanngrad (und Neigungswinkel der Aufstellebene) vorzeitig.



**Bild 25 :** Einfluß einer Fuß einspannung auf die Grenzlast der Stütze



### 7.2.2 Einfluß einer Zwangsverdrehung am Fuß auf die rechnerische Grenzlast der Stütze

Mit der Darstellung des Bildes 26 wird der Einfluß einer Zwangsverdrehung für die Fußbeanspruchung von Baustützen auf die rechnerische Grenzlast aufgezeigt. Man erkennt, daß die ausgezogene Stütze mit stetigem Traglastabfall am Fuß bis zum Neigungswinkel der Aufstandsfläche  $\varphi_0 = 0,03$  zwangsverdrehen kann. Die rechnerische Grenzlast liegt dann mit Grenz  $F_S = 30$  kN noch deutlich über dem zu vergleichenden Wert gemäß BuP.

$$\underline{\underline{\text{zul } F_S}} = \frac{30}{1,71} = 17,55 \text{ kN} \quad \underline{\underline{10,97 \text{ kN}}}$$

Für die halb eingeschobene und gar die eingeschobene Stütze ist  $\varphi_0 = 0,03$  nicht zu ertragen. Deshalb ist hier mit der exzentrisch gelenkigen Fußauflagerung zu rechnen.

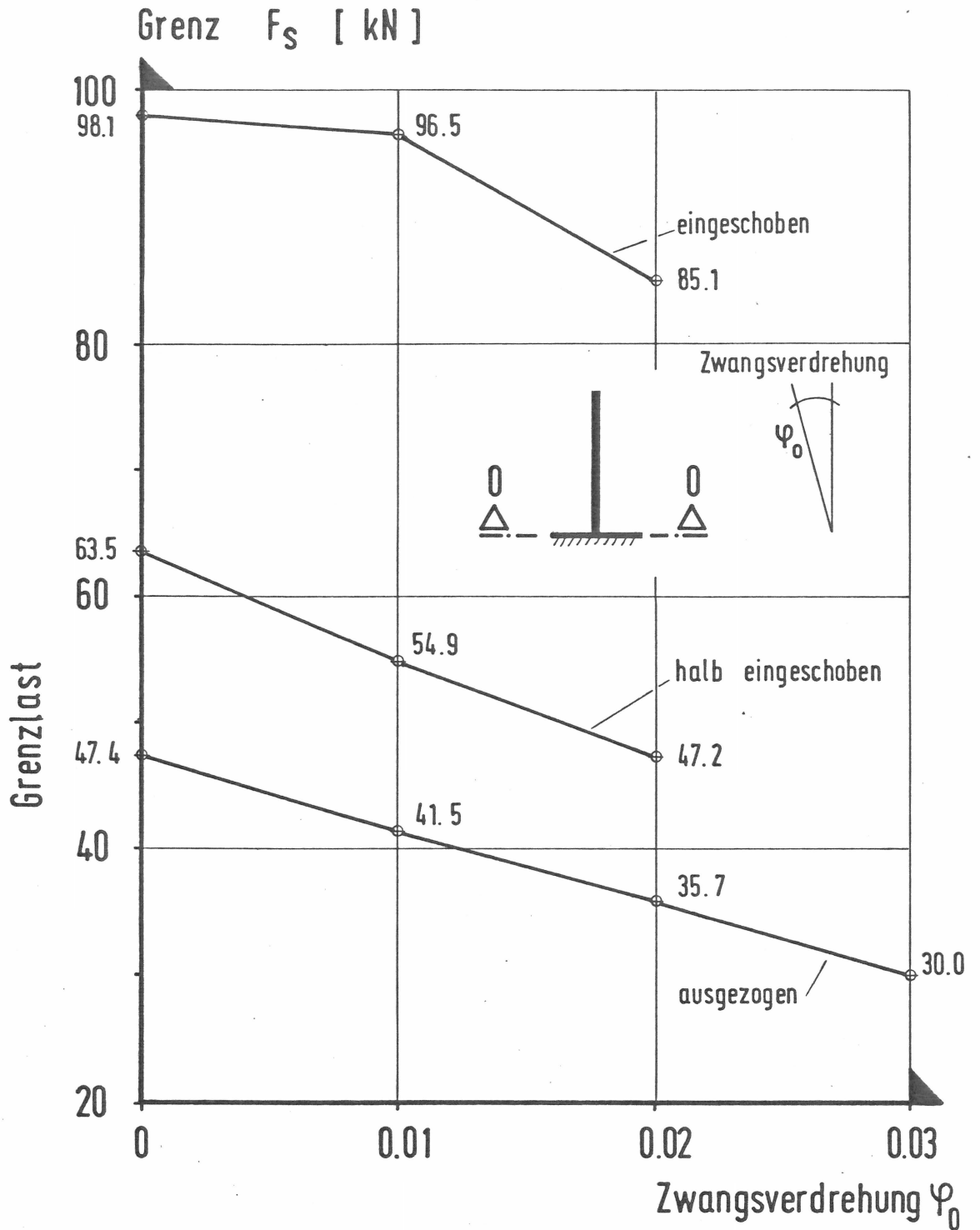


Bild 26 : Grenzlasten der eingespannten Stütze bei unterschiedlicher Zwangsverdrehung der Fußauflagerung

### 7.2.3 Stellung der Lastresultierenden im Fußbereich bei Zwangsverdrehung des Stützenfußes

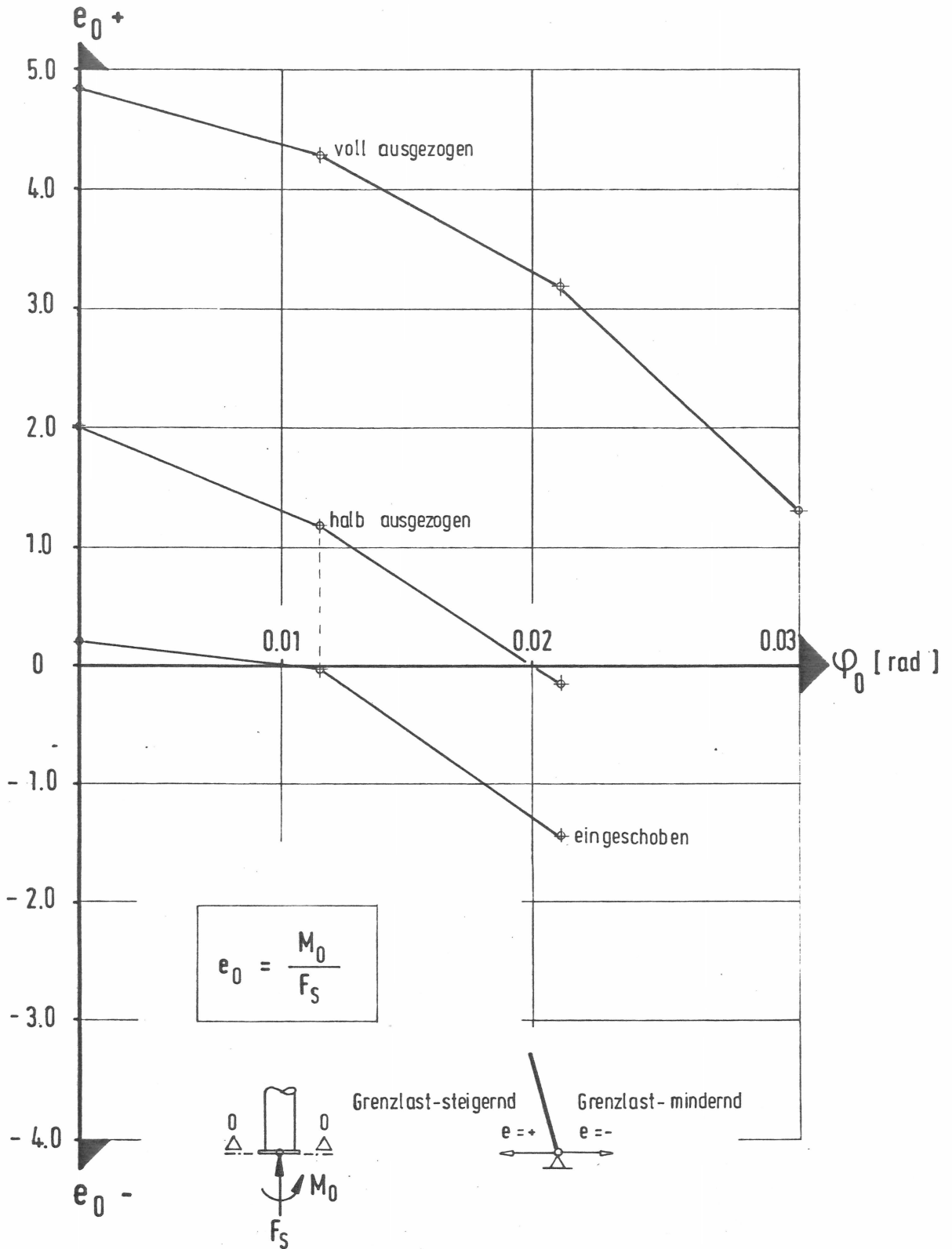
Im Bild 27 wird die sich bei unterschiedlichen Zwangsverdrehungswinkeln für die Fußeinspannung zu errechnende Stellung der Lastresultierenden in Abhängigkeit vom Zwangsverdrehungswinkel aufgetragen.

Bezogen auf die Systemlinie ergibt sich

$$e_o = \frac{M_o}{F_S} ; \quad M_o \text{ und } F_S \text{ sind Schnittgrößen im Fußpunkt der Stütze}$$

$e_o = +$  bedeutet, daß eine entlastende Exzentrizität wirksam ist. Der Einfluß der Einspannung übertrifft den der Zwangsverdrehung.

Für  $e_o = -$  überwiegt der Einfluß der Zwangsverdrehung den der Einspannung. Nur bei der ausgezogenen Stütze ergibt sich für  $\varphi_0 = 0,03$  noch eine Einspannung



**Bild 27:** Eff. Exzentrizität des Lastangriffs bei Stützen mit Fußsinspannung und Zwangsverdrehung des Fußauflagers

### 7.3 Vergleichende Berechnungen für mehrere Baustützen verschiedener Größe, unterschiedlicher Bauart

Die Berechnungsannahmen und die Systembeschreibungen sowie die Berechnungsergebnisse werden in Anlage 3 zusammenfassend dargestellt. Dabei wurde von Ansätzen ausgegangen, die ein zwischenzeitlicher Stand der Diskussion im UA "Baustützen" im NABau-AA "Arbeits- und Schutzgerüste, Gerüstbauteile" darstellten.

Zu folgenden Fragestellungen sollten mit diesen Berechnungen Antworten gefunden werden:

- 1.) Weisen alle Baustützen unter gleichen Systemannahmen - insbesondere der Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf und der Lastübertragungsexzentrizität am Fuß - ein gleiches Tragverhalten auf? Kann man durch Vergleichsrechnungen mit der AS 410-S gewonnene Erkenntnisse verallgemeinern?
- 2.) Unter welchen Voraussetzungen sind die um 50% erhöhten Lasten für die Traggerüstgruppen II und III gemäß DIN 4421 zu erreichen?

Bei Beginn dieser Untersuchungen war bekannt, daß

- die rechnerischen Grenzlaster für die mehr als halb eingeschobenen Stützen vorzeitig durch die Bolzentragfähigkeit begrenzt werden, so daß die Traglast der Stütze nach Maßgabe des Systemversagens lediglich theoretischen Wert besitzt.
- die elastische Grenzlaster für die ausgezogene Stütze nahe der Verzweigungslaster für die Gesamtstütze liegt, so daß die Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf und Fuß von untergeordneter Bedeutung für die Traglast der Stütze ist.

Deshalb wurde für die vergleichende Betrachtung zunächst eine zentrisch gelenkige Fußauflagerung als einheitliche Systemannahme gewählt. Dies entspricht den Gepflogenheiten bei der Berechnung anderer Traggerüste.

Aus den Berechnungsergebnissen kann geschlußfolgert werden:

Zu Frage 1): (siehe hierzu die Bilder 28 bis 35)

- Alle untersuchten Baustützen weisen ein vergleichbares Tragverhalten in Form vergleichbarer Lastverformungsbeziehungen auf.
- Bei den eingeschobenen Stützen nehmen die Verformungen nahezu linear mit der Last zu. Das Versagen der Stütze tritt - sieht man von der Verbindung ab - als Folge örtlicher Spannungsüberschreitungen ein.
- Für ausgezogene und für halb eingeschobene Stützen nehmen die Verformungen überproportional zu.
- Die elastische Grenzlast für ausgezogene Stützen liegt nahe bei der Verzweigungslast des Systems. Teilweise ist dies auch bei halb eingeschobenen Stützen der Fall.
- Unterhalb der elastischen Grenzlast erreichen allenfalls die Fußverdrehungen der ausgezogenen Stütze den Neigungswinkel  $\varphi_0$  der Aufstellenebene, so daß eine traglaststeigernde Fußbeanspruchung lediglich für ausgezogene Stützen zu erwarten ist.

Zu Frage 2): (siehe hierzu die Bilder 36 bis 37)

Bei kurzen Stützen liegen die rechnerisch ermittelten Grenzlasten sowohl für ausgezogene Stützen als auch für halb eingeschobene Stützen oberhalb der zulässigen Last gemäß BuP. Bei langen Stützen werden diese zulässigen Lasten nicht erreicht.

**Berücksichtigt man dann noch die Tatsache, daß sich zumindest bei halb eingeschobener Stütze in den wenigsten Fällen eine zentrische Fußauflagerung einstellen wird, so werden die Regelungen der DIN 4421 zu überdenken sein!**

Zum Vergleich wurden die Stützen noch mit Fußbeanspruchung untersucht. Diese Berechnungsergebnisse haben als obere Grenzbetrachtung lediglich theoretischen Wert.

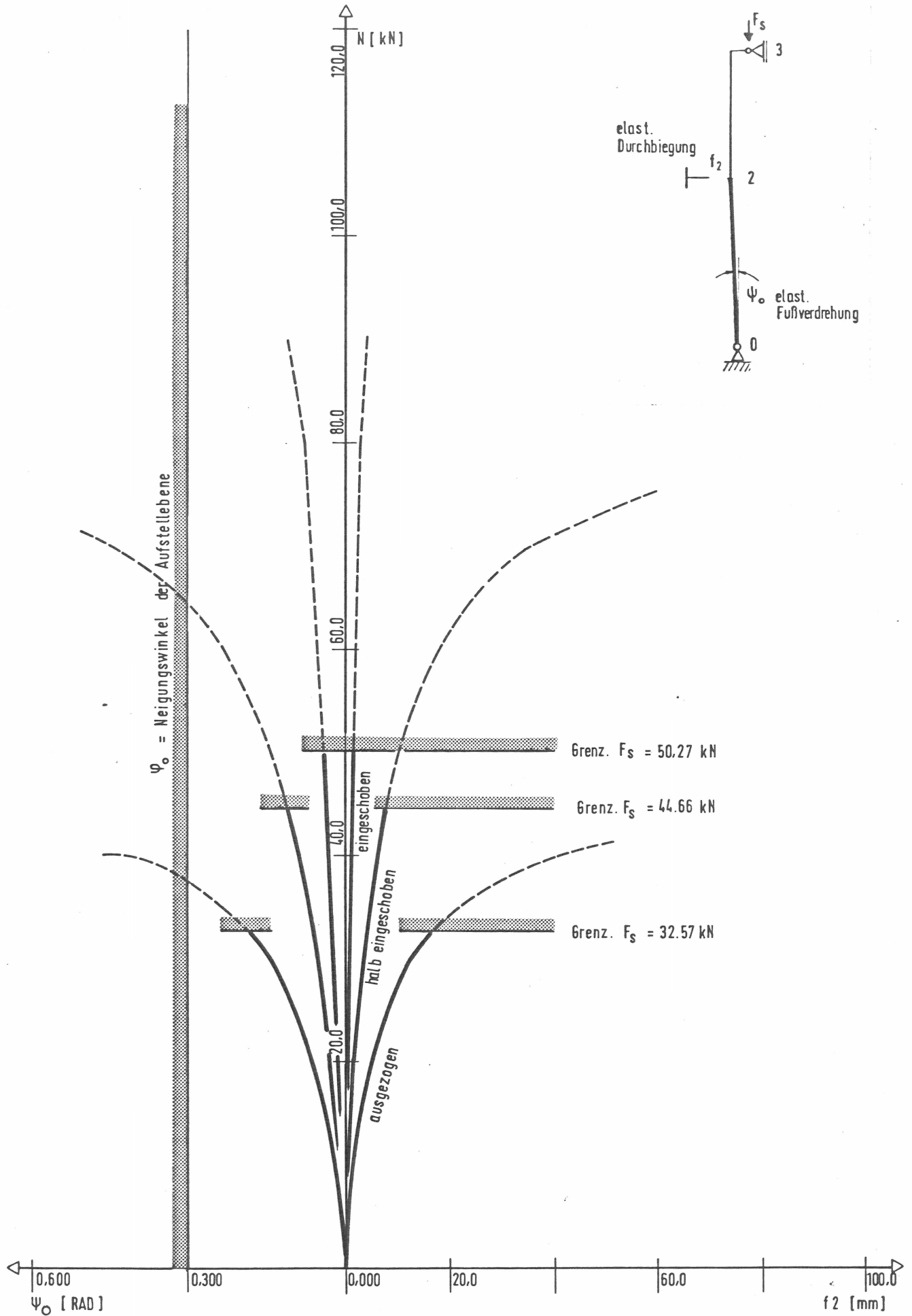
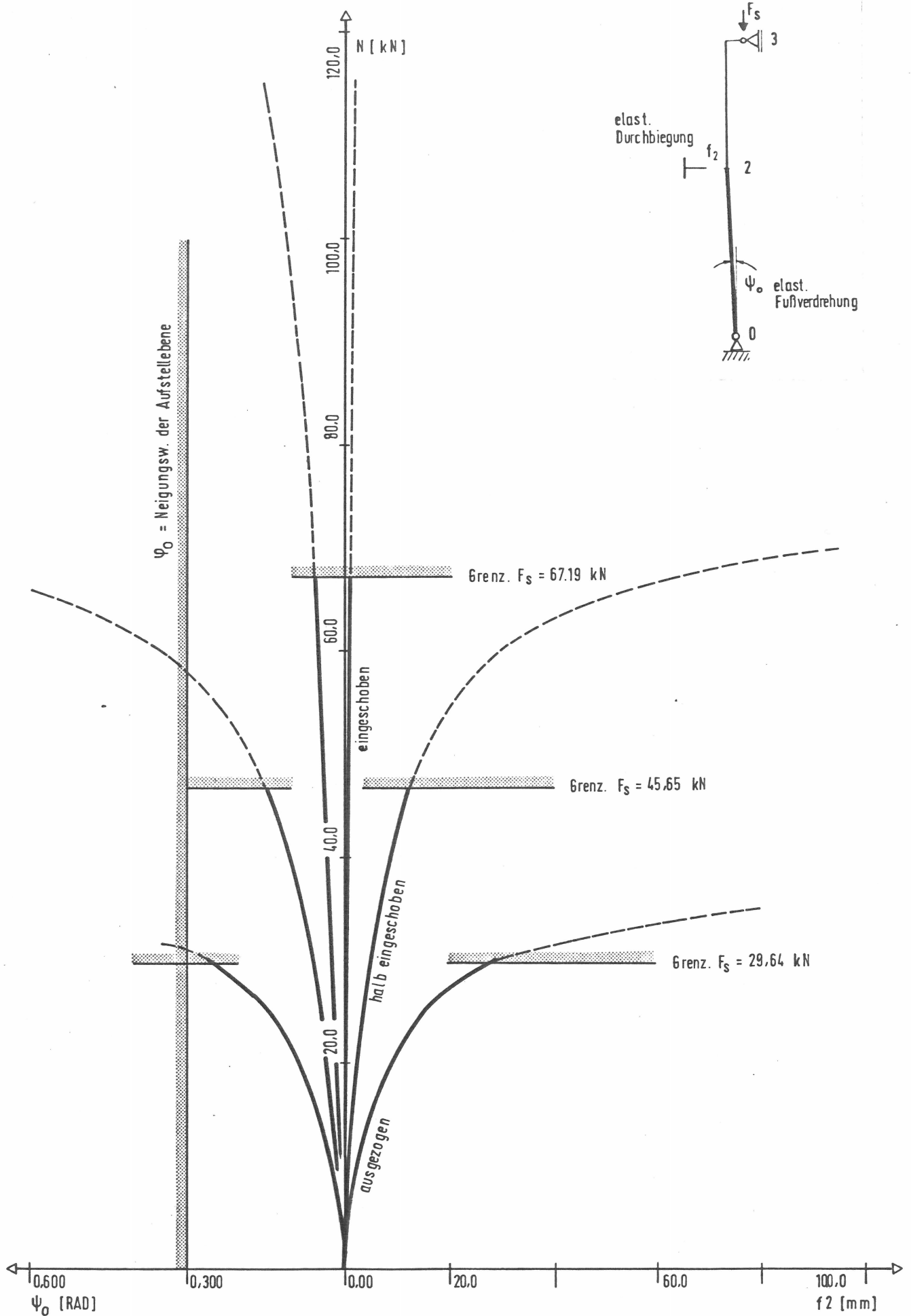
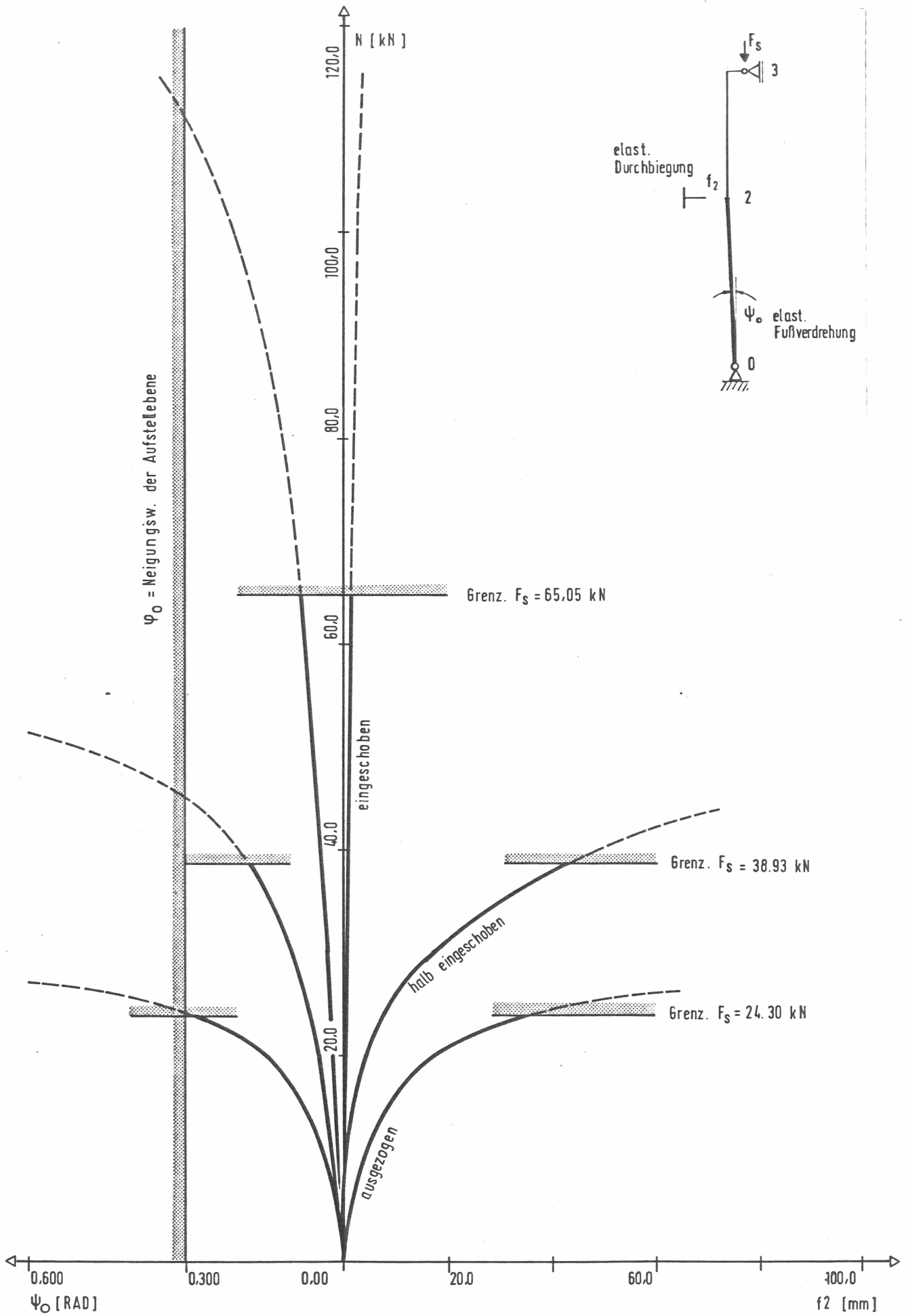


Bild 28: Lastverformungsverh. Stütze 1 gelenkig

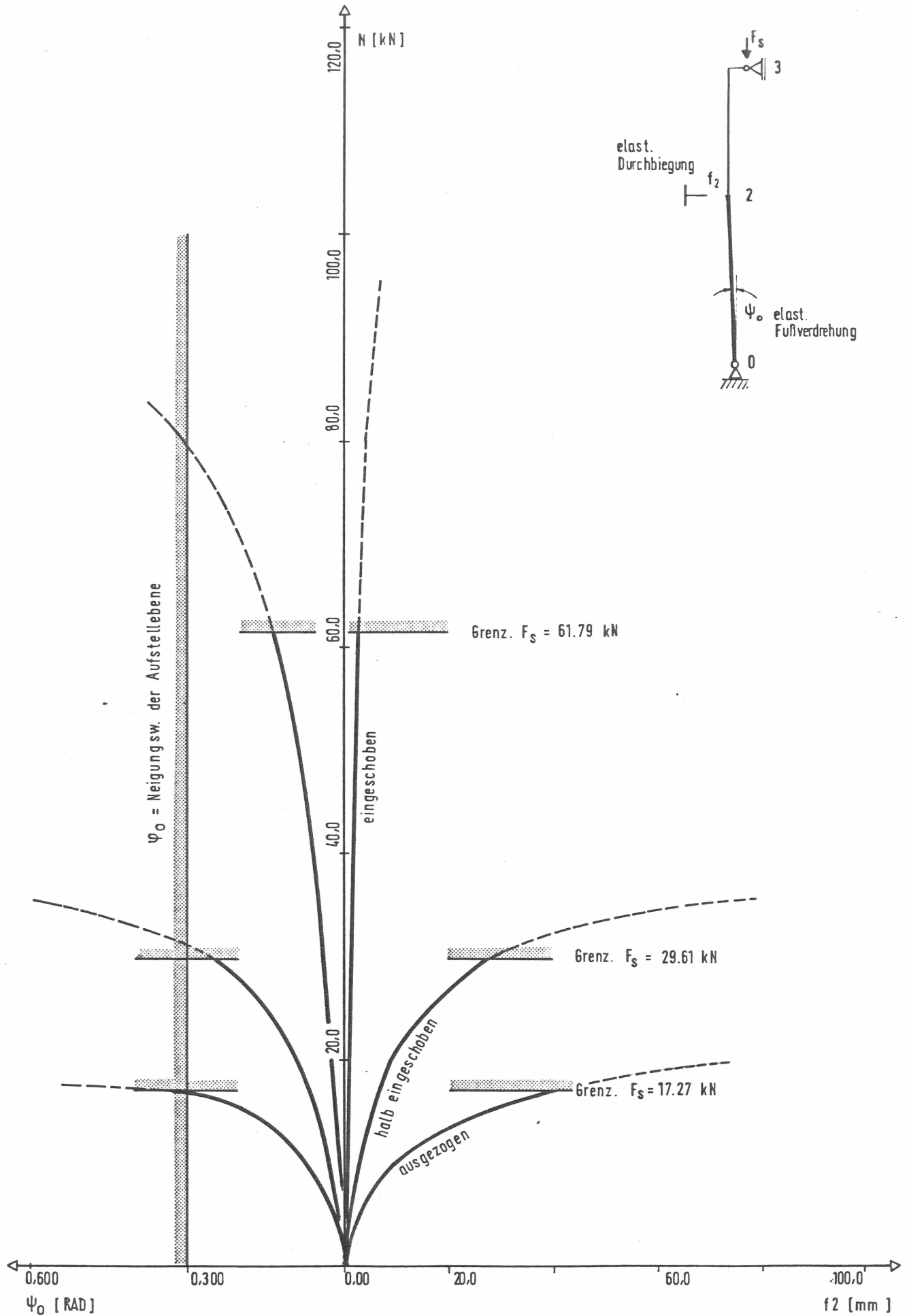




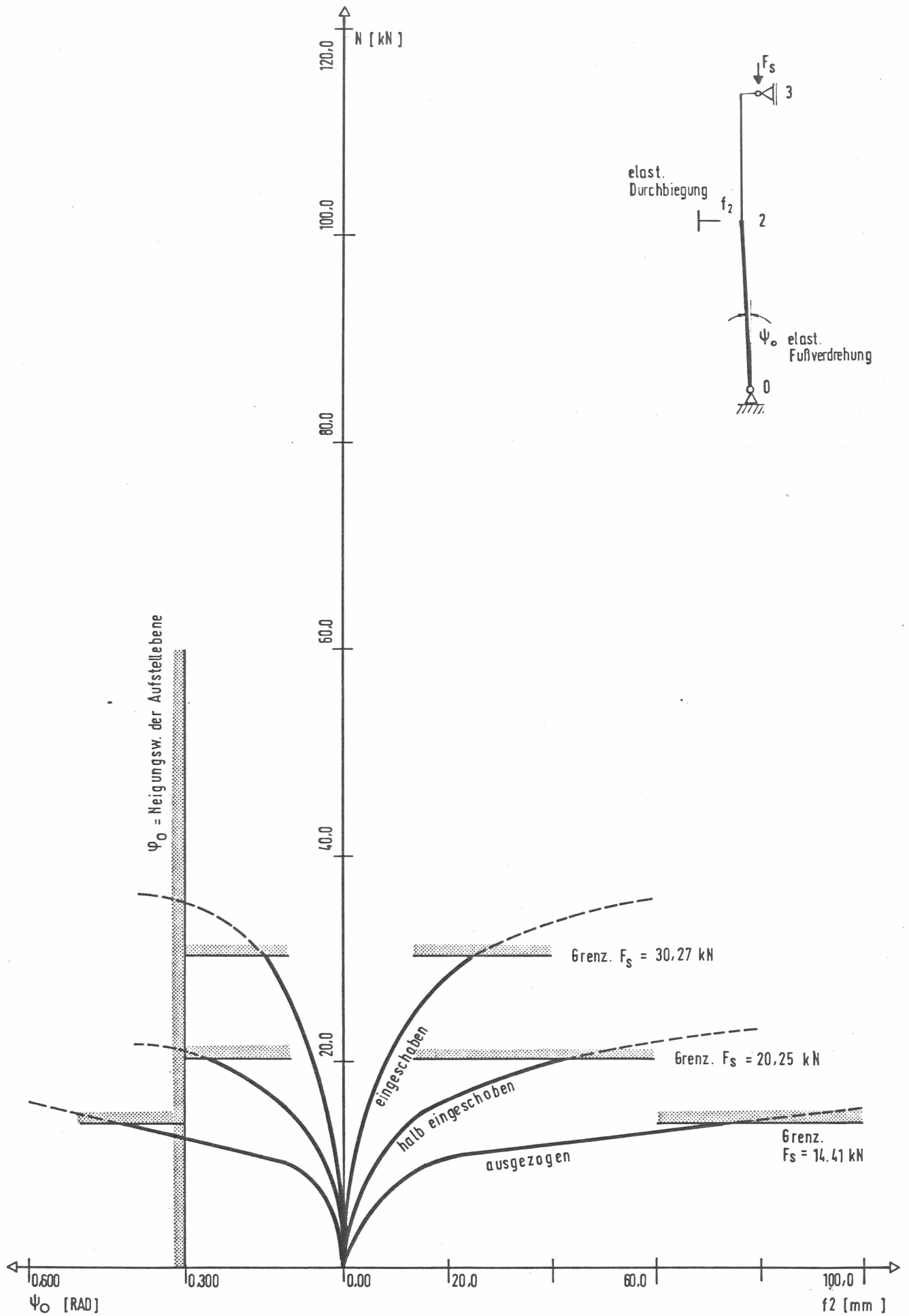
**Bild 29:** Lastverformungsverh. Stütze 2 gelenkig



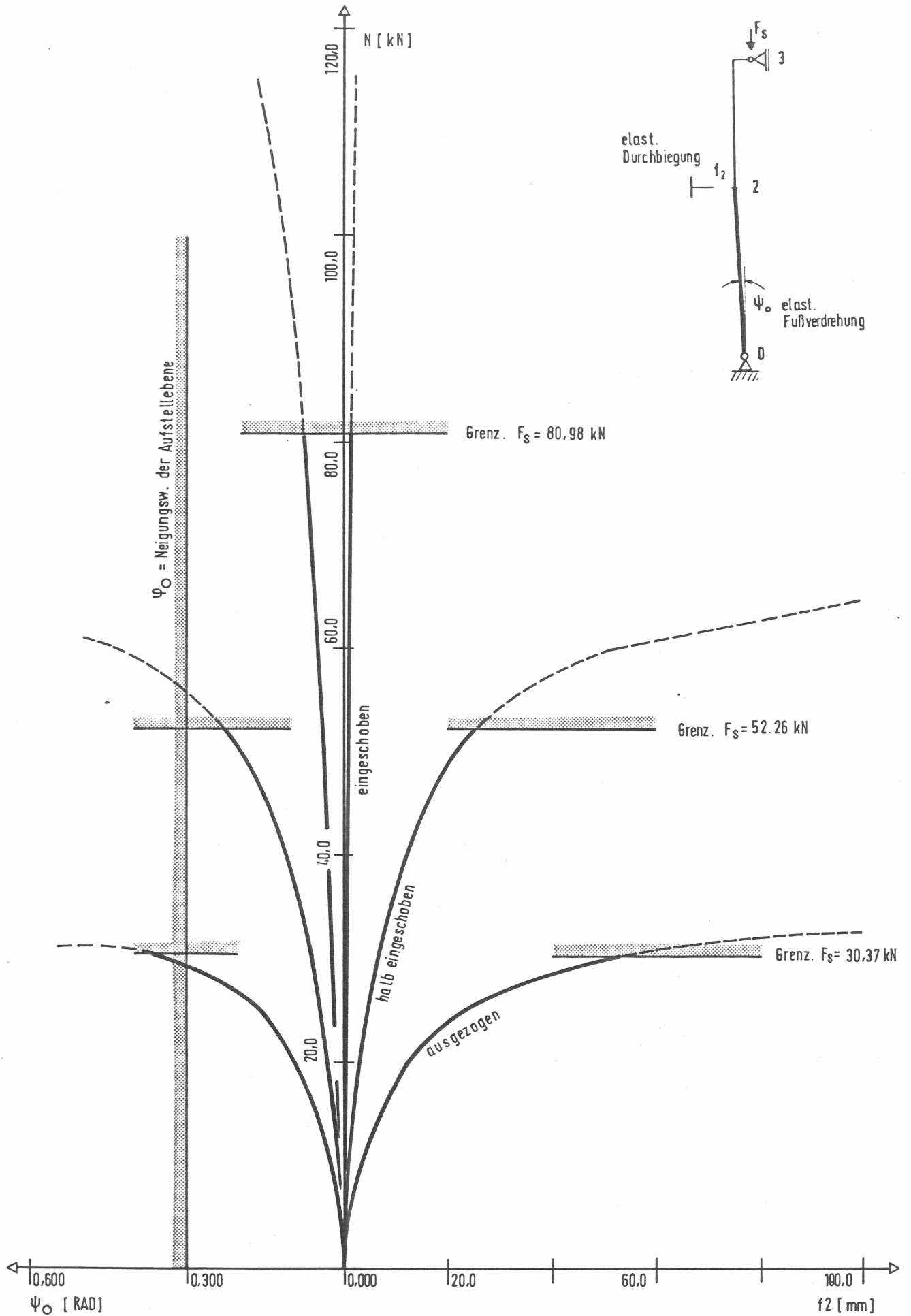
**Bild 30:** Lastverformungsverh. Stütze 3 gelenkig



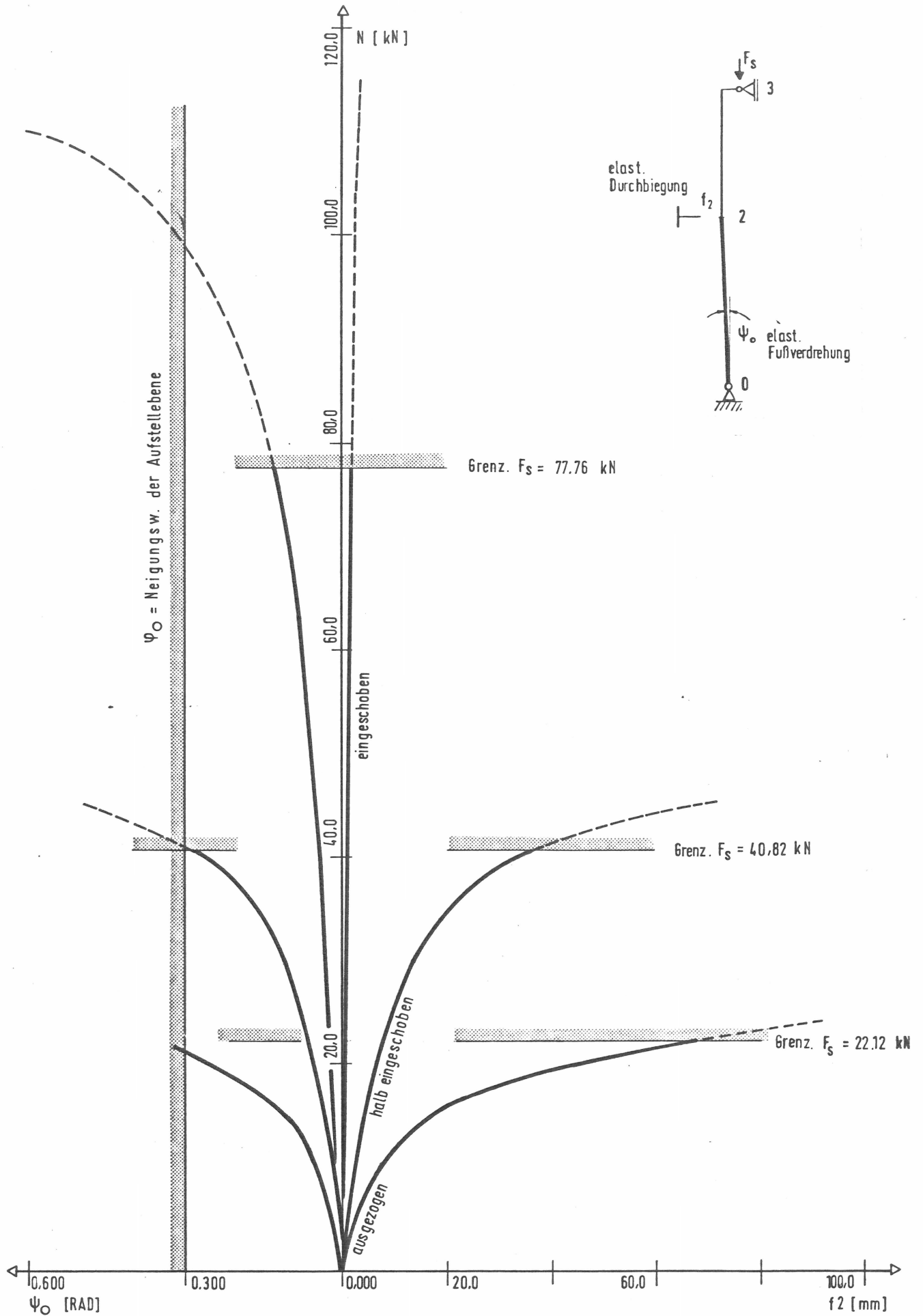
**Bild 31:** Lastverformungsverh. Stütze 4 gelenkig



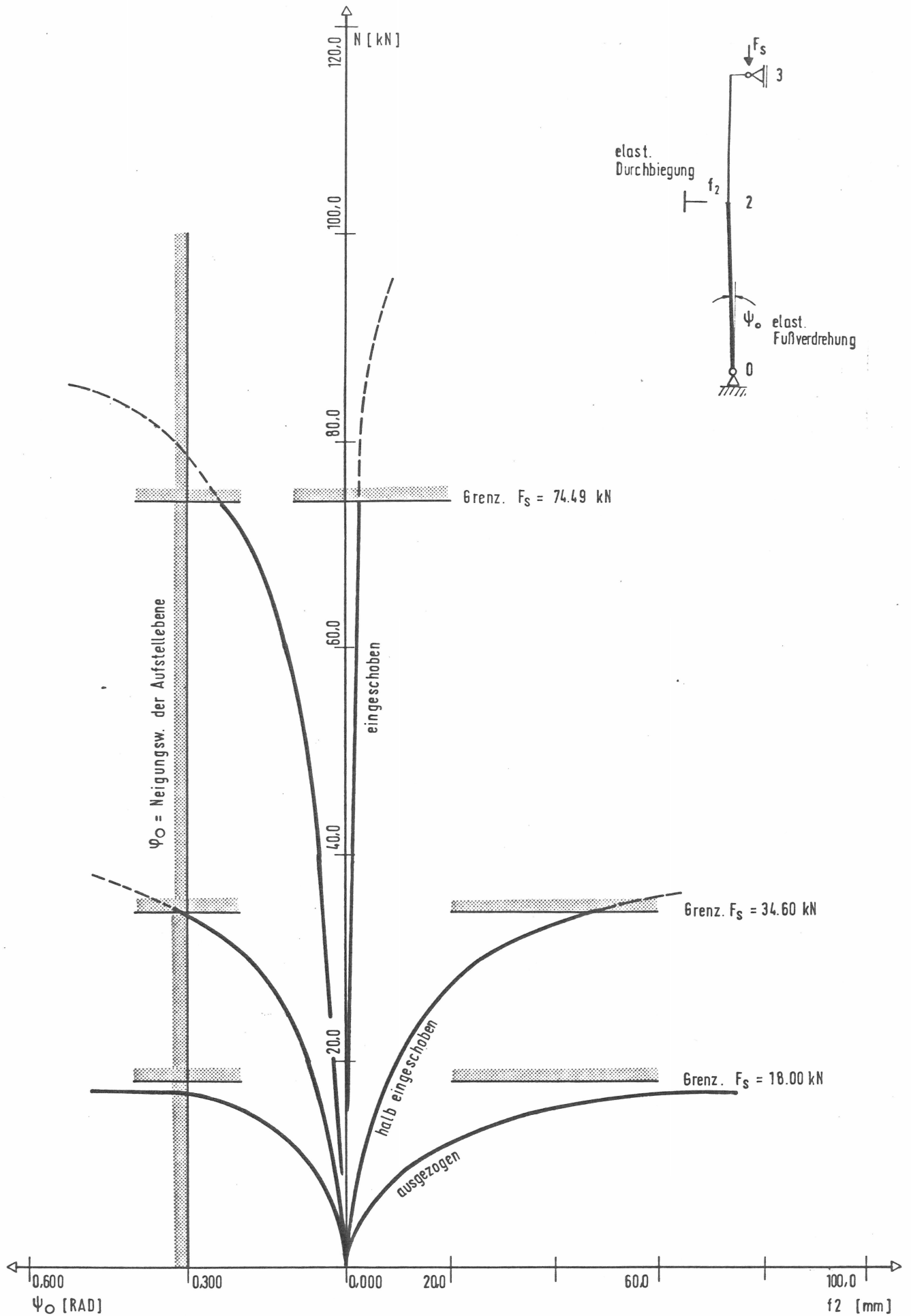
**Bild 32:** Lastverformungsverh. Stütze 5 gelenkig



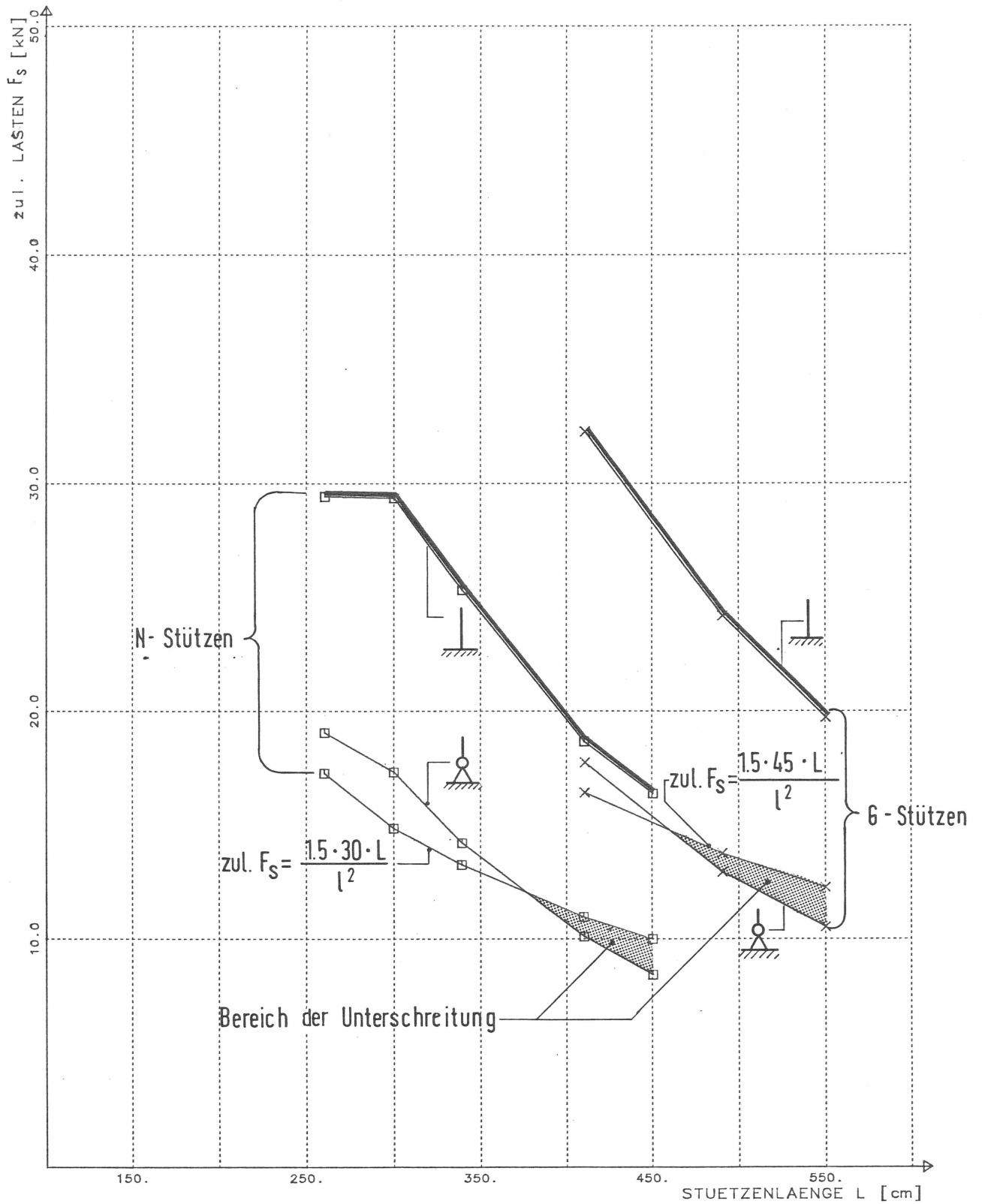
**Bild 33:** Lastverformungsverh. Stütze 6 gelenkig



**Bild 34:** Lastverformungsverh. Stütze 7 gelenkig

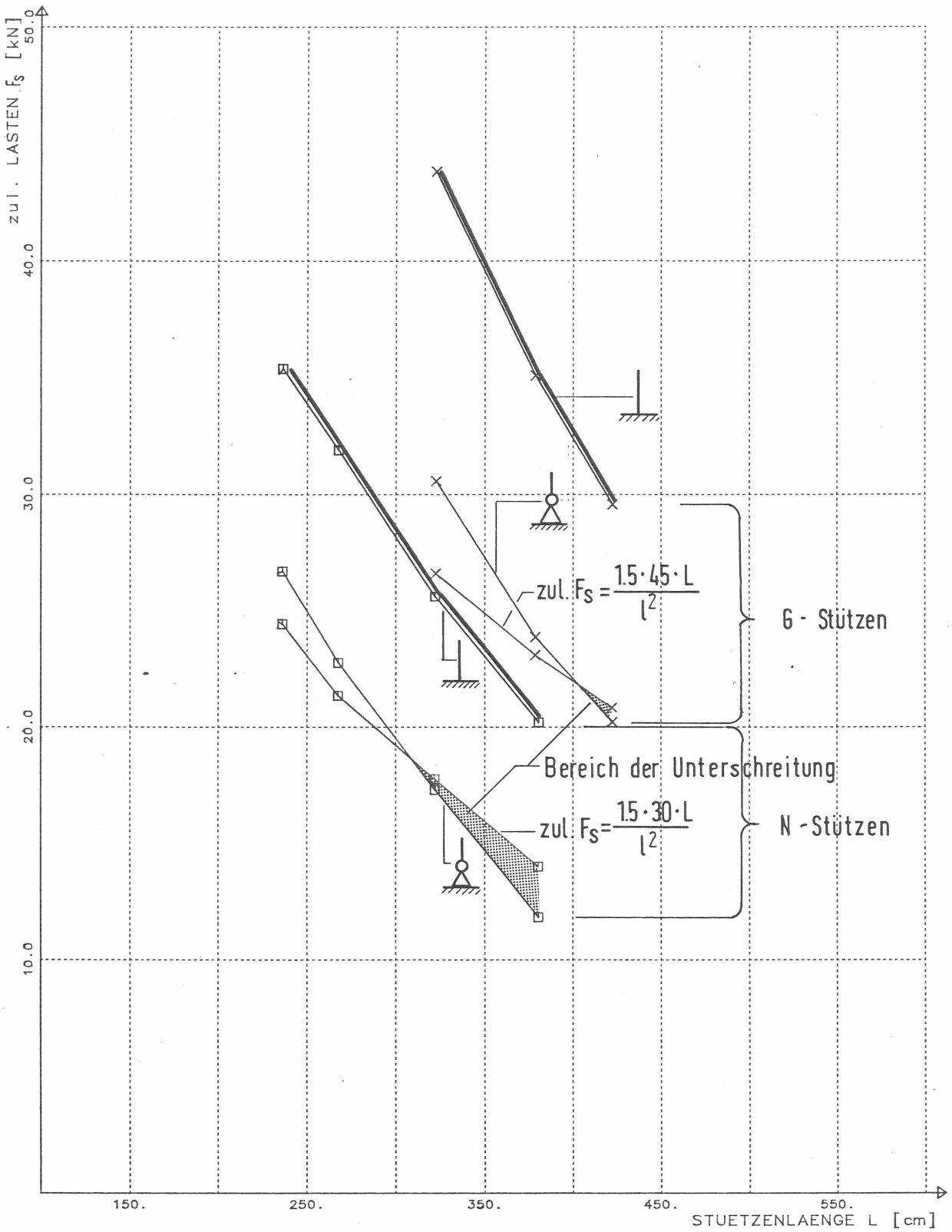


**Bild 35:** Lastverformungsverh. Stütze 8 gelenkig



**Bild 36:** Vergleich zulässiger Stützenlasten  
DIN 4421 (Gruppe II/III)  
Berechnung Stützen ausgezogen





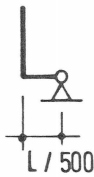
**Bild 37:** Vergleich zulässiger Stützenlasten  
 DIN 4421 (Gruppe II/III)  
 Berechnung Stützen halb eingeschoben

7.4 Ergebnisse einer exemplarischen Berechnung für die Stütze AS 410-5 wie sie zur Regelung in einer Norm vorgeschlagen werden sollte

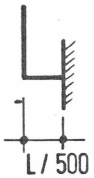
Die Berechnung erfolgt in Anlage 4.

Für die Berechnung wird eine Systemgeometrie entsprechend Abschnitt 4 verwendet. Vereinfachend und extremal wird der Mittenstich  $L/500$  der Baustütze der Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf und der Lastübertragungsexzentrizität am Fuß zugeschlagen.

Alternativ werden berechnet

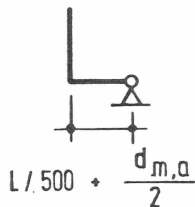


- a) "Zentrische" Fußauflagerung mit drehfedernder Einspannung, die nach Überwindung einer Lose von  $\psi_0 = 0,03$  rad wirksam wird



- b) "Zentrische" Fußauflagerung mit einer starren Einspannung, die nach einer Lose von  $\psi_0 = 0,03$  rad wirksam wird.

Mit der Verformungskontrolle, ob unter der elastischen Grenzlast  $\psi_0 = 0,03$  überwunden ist, wird entschieden, ob die Grenzlast der Stütze mit dem zusätzlich zu untersuchenden System unter Ansatz einer



- c) exzentrisch gelenkigen Lagerung

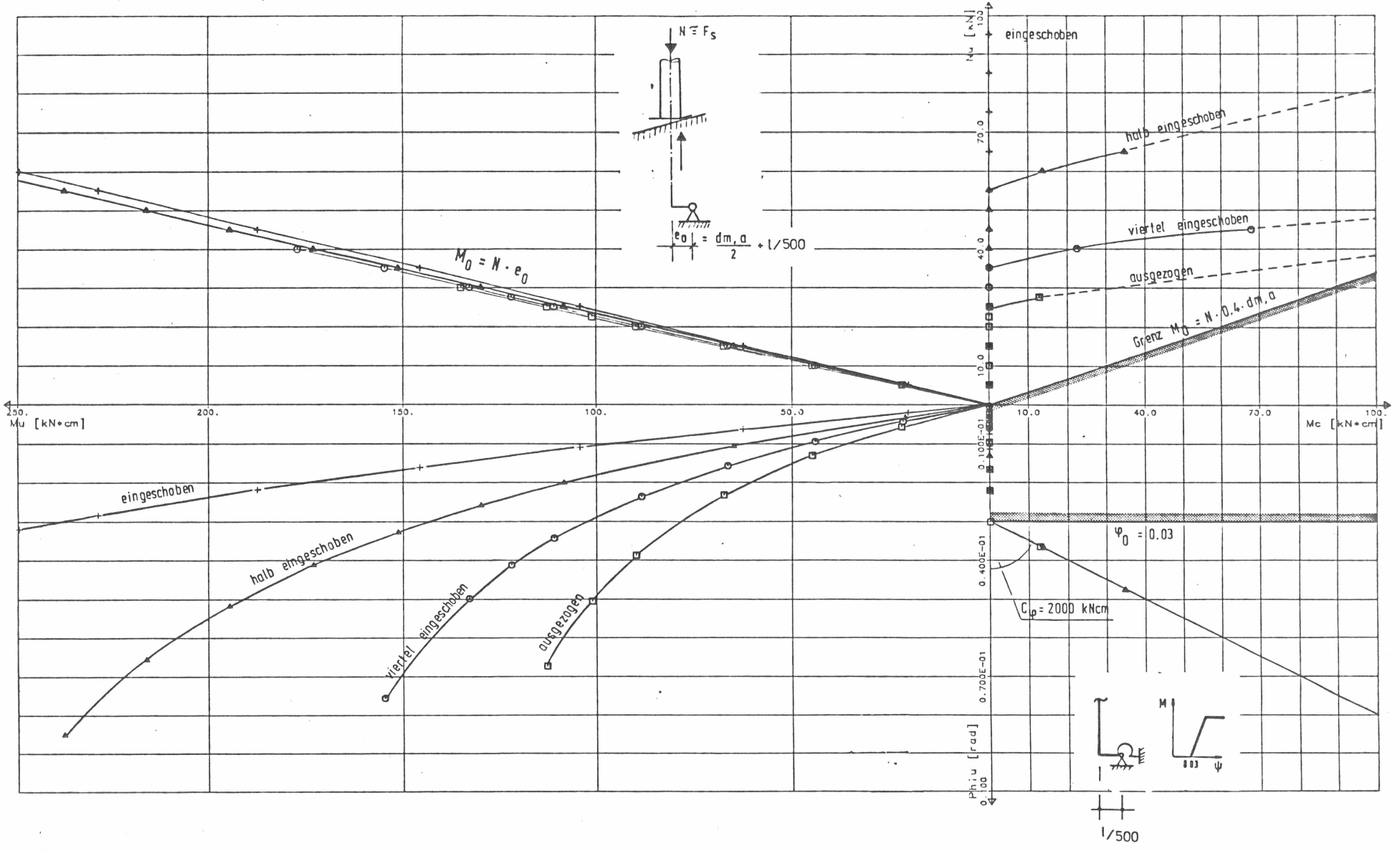
ermittelt werden muß.

Die elastischen Grenzlasten der Systeme a) b) und c) werden nachfolgend zusammengestellt.

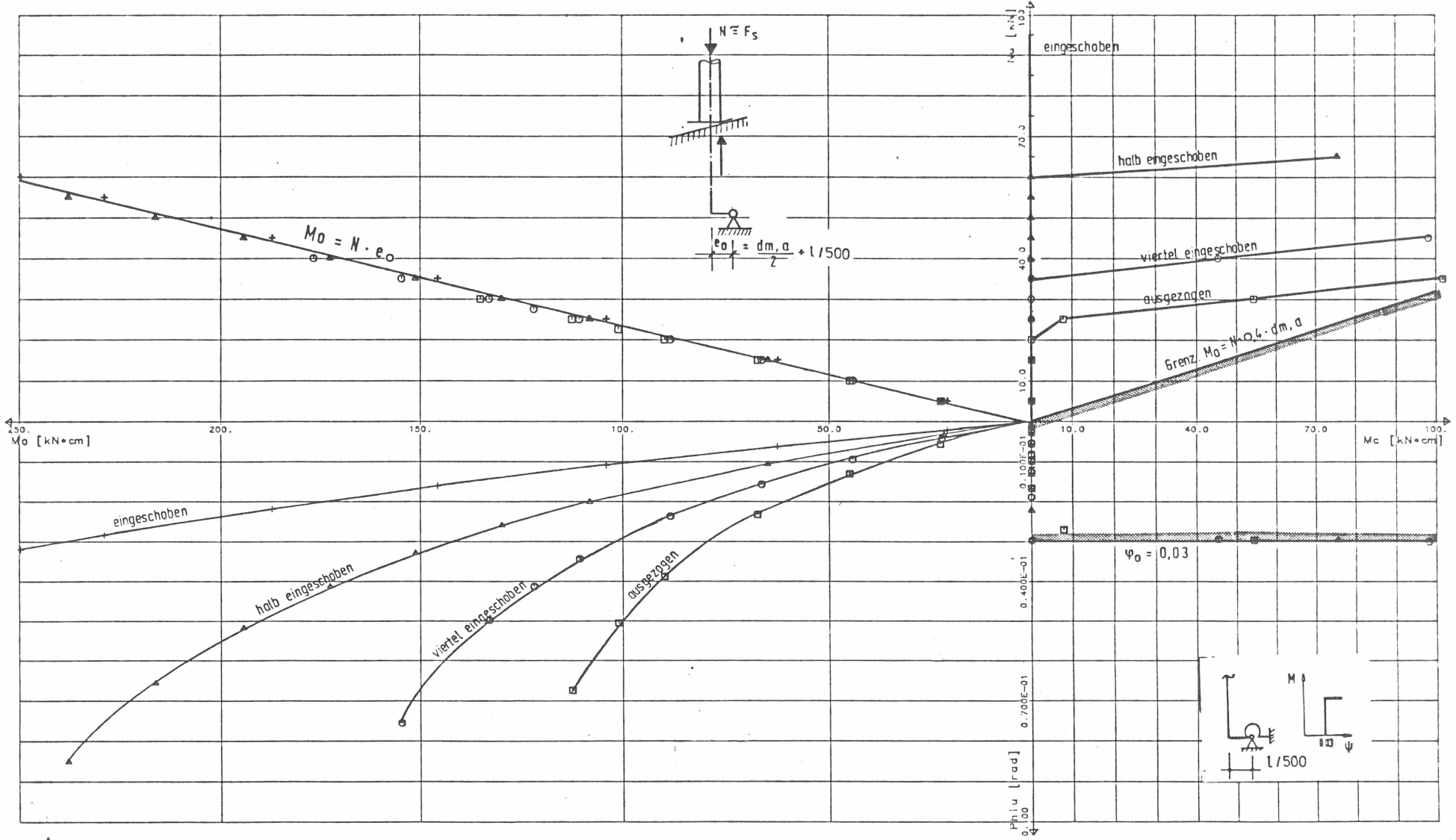
Stützensauszug	Grenz $F_S / (\text{zul } F_S)$ (kN) mit Systemannahmen			BuP
	a	b	c	$\frac{45 \cdot L}{l^2}$
ausgezogen	$\frac{27,71}{\underline{16,21}}$	(31,61)	(21,99)	> $\underline{10,97}$
viertel eingeschoben	$\frac{35,77}{\underline{20,92}}$	35,09	(27,94)	> $\underline{13,48}$
halb eingeschoben	(49,60)	(49,50)	$\frac{37,82}{\underline{22,11}}$	> $\underline{17,76}$
eingeschoben	(89,60)	(89,59)	$\frac{52,39}{\underline{30,64}}$	$\approx \underline{31,5}$

Mit den Darstellungen der Bilder 38 und 39 wurde die Lastverformungsbeziehung im Fußbereich  $N/M/\psi_0$  für die Systemannahme a) b) und c) dargestellt. Aus  $N/M$ -Beziehung des oberen rechten Quadranten kann man erkennen, bei welcher Normalkraft die Lose  $\psi_0$  überwunden ist und die Fußspannung "anspringt"

**Bild 38 : M/N  $\psi$  - Beziehung für die Fußauflagerung AS 410 S**

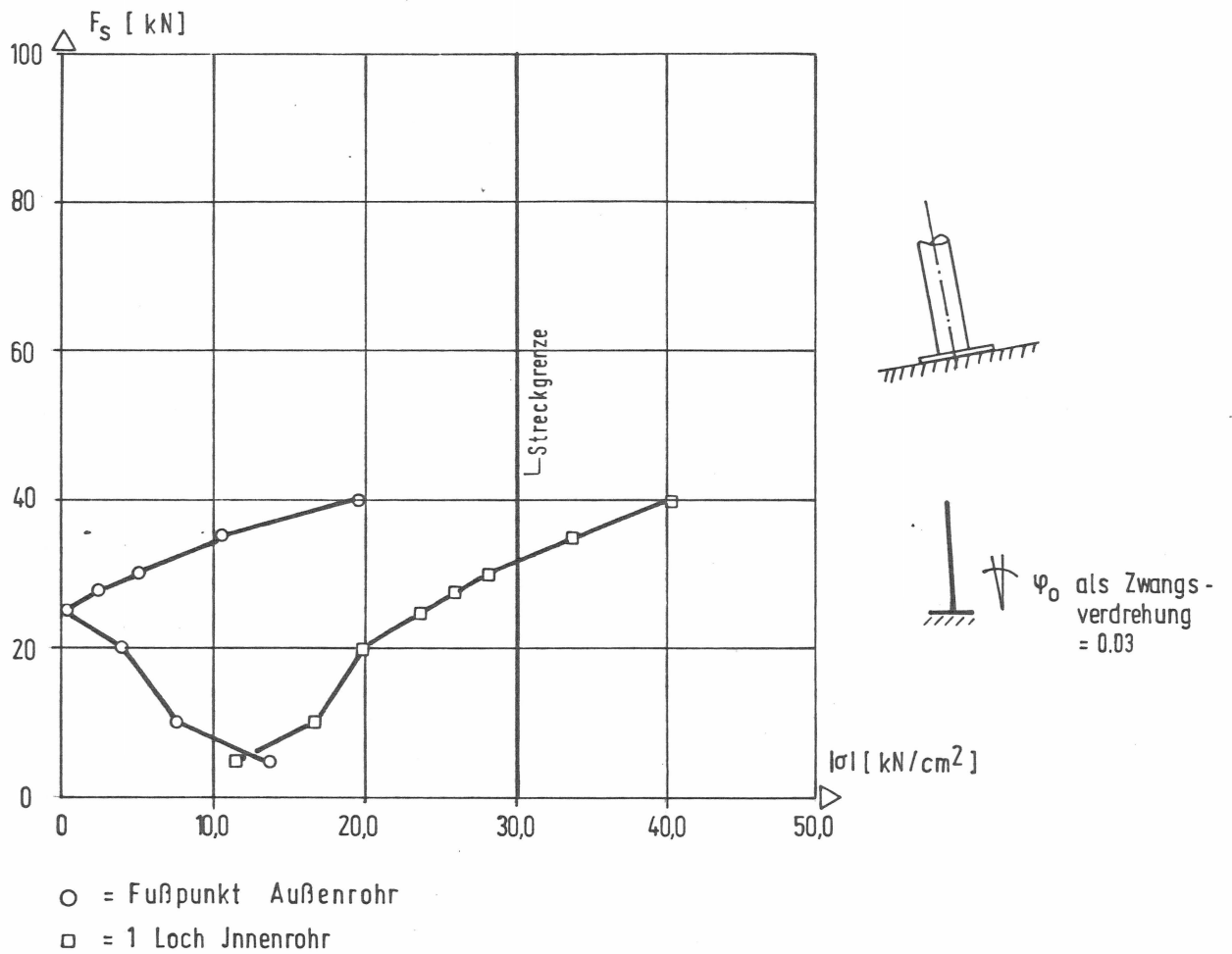


**Bild 39: M/N  $\varphi$  -Beziehung für die Fußauflagerung  
AS 410 S**

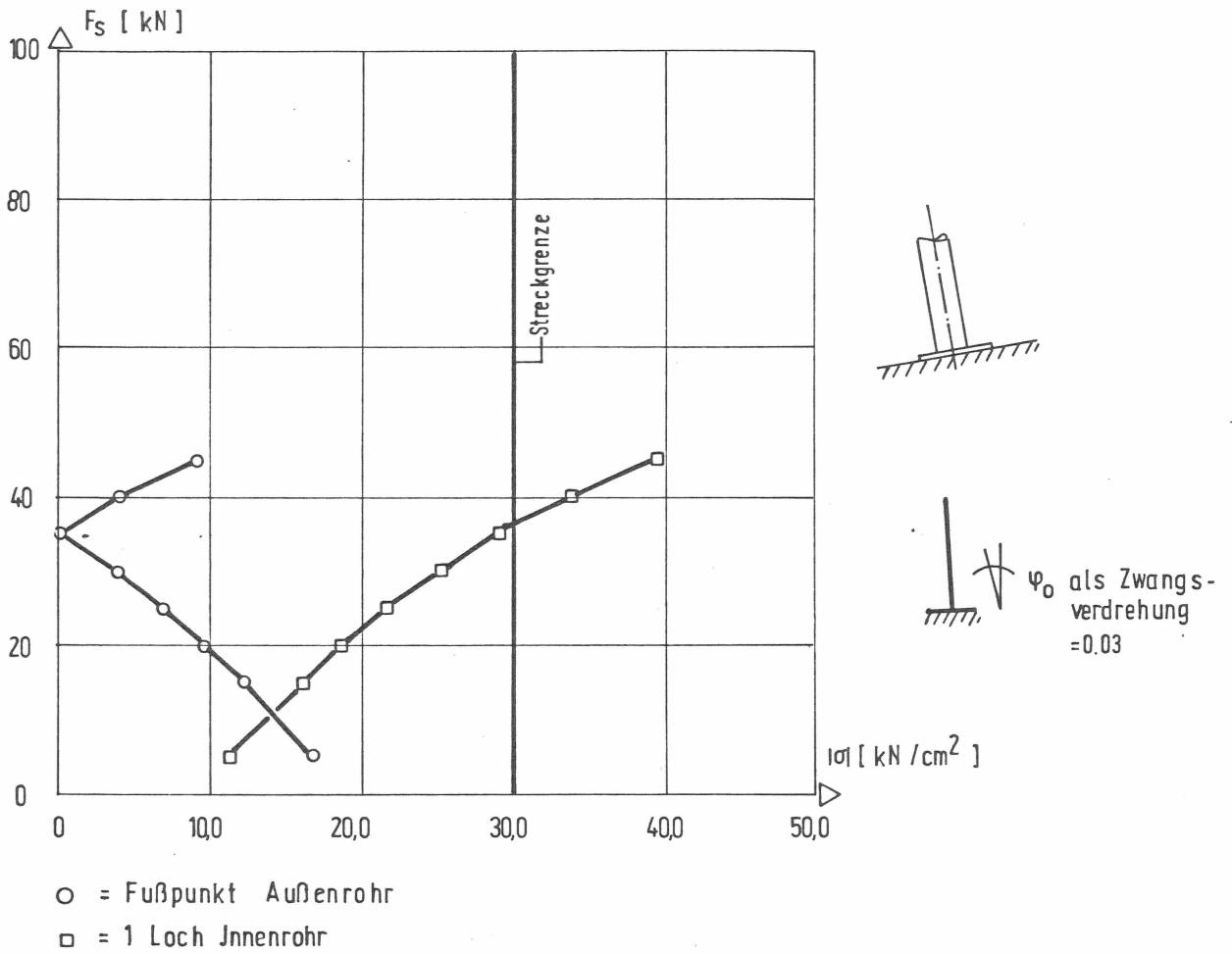


In den Bildern 40 ÷ 43 werden für die am Fuß starr eingespannte Stütze unter einer Zwangsverdrehung  $\varphi_0$  die Beanspruchungen am Fußpunkt und am 1. Loch des Innenrohres in Abhängigkeit von der Stützenlast aufgetragen. Man erkennt, daß die Beanspruchungen ( $\sigma$  Betrag) am Fuß mit steigender Last zu Null abnehmen. Für  $\sigma \approx 0$  am Fußpunkt beginnt eine Einspannung wirksam zu werden.

Diese Darstellung liefert ein zusätzliches Kriterium für das Überwinden des Winkels  $\varphi_0$ .

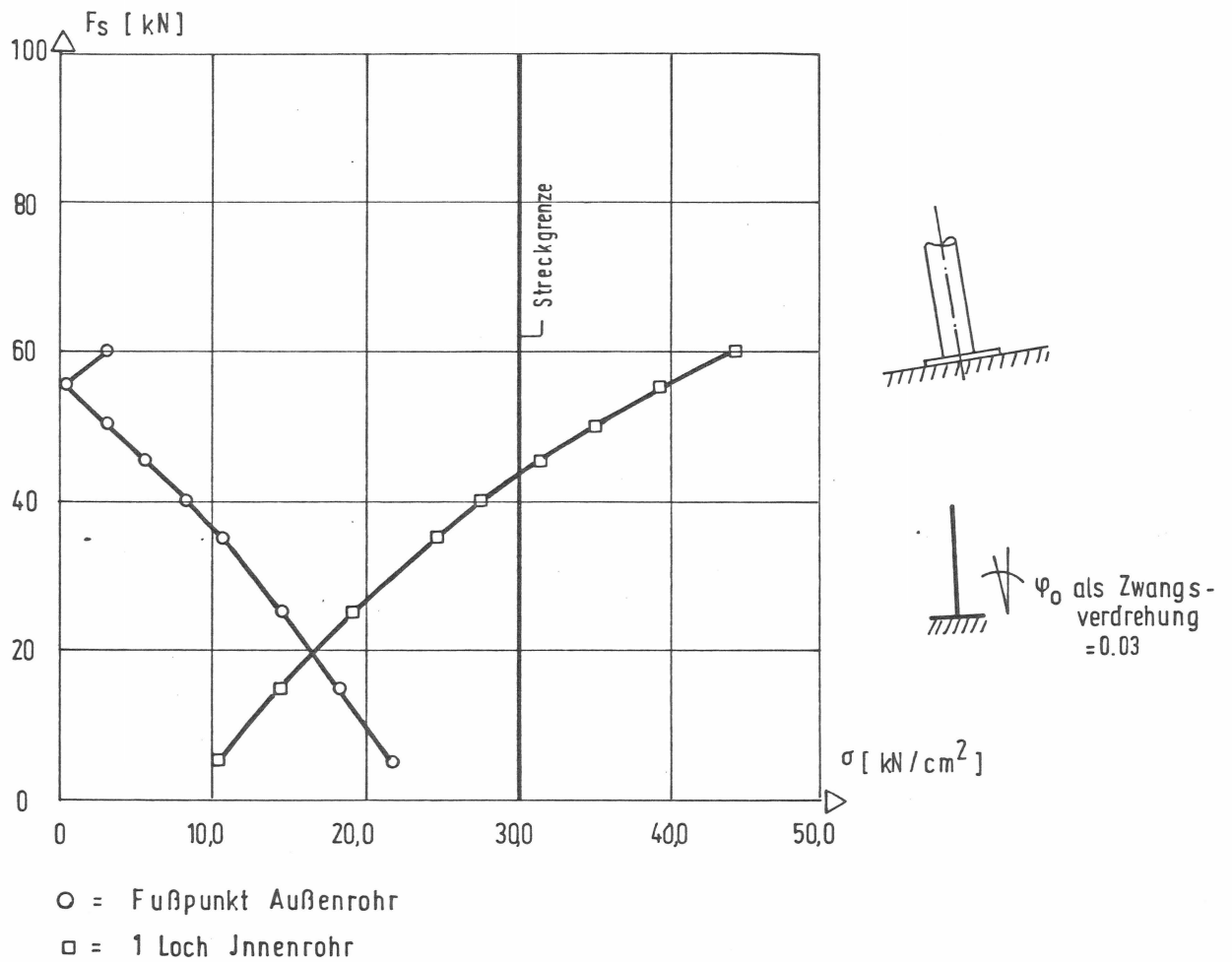


**Bild 40:** Beanspruchungen in der Stütze AS 410-S ausgezogen, mit Fußeinspannung zwangsverdreht.

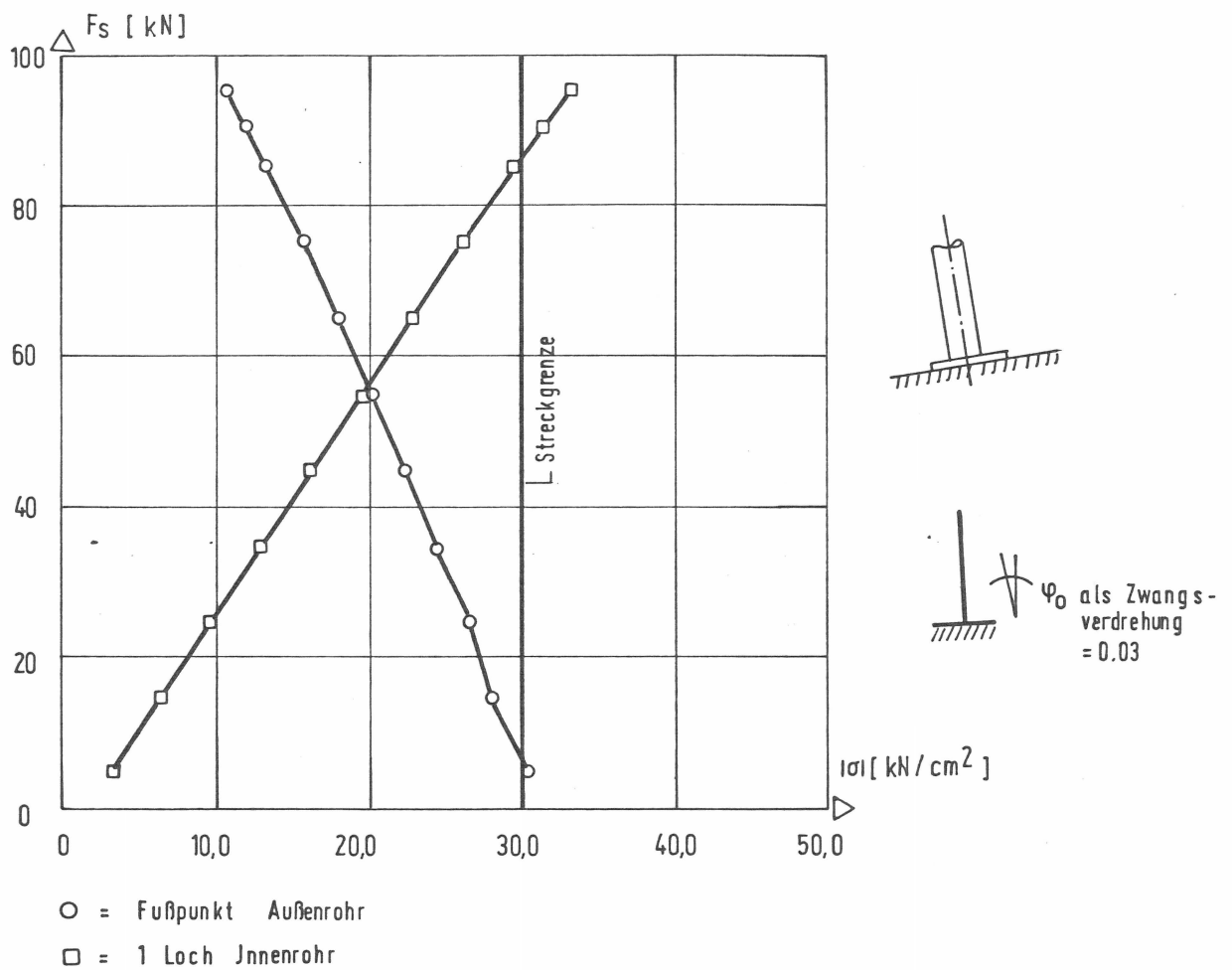


**Bild 41:** Beanspruchungen in der Stütze AS 410-S viertel eingeschoben, mit Fußeinspannung zwangsverdreht.





**Bild 42:** Beanspruchungen in der Stütze AS 410-S halb eingeschoben, mit Fußeinspannung zwangsverdreht.



**Bild 43:** Beanspruchungen in der Stütze AS 410-S eingeschoben, mit Fußeinspannung zwangsverdreht.

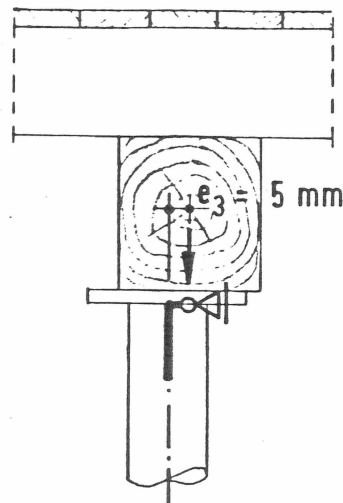
## 8. Zur Normung vorgeschlagene Berechnungsannahmen

Das Forschungsprojekt diente zur Unterstützung der Arbeit des NA Bau-AA "Arbeits- und Schutzgerüste" UA "Baustützen". Die für diese Normung zu verwendenden Ergebnisse des Forschungsprojekts werden nachfolgend zusammengefaßt:

Die konstruktiven Mindestanforderungen zu den Querschnitts- und Systemabmessungen von Baustützen werden in den "Bau- und Prüfgrundsätze zur Prüfzeichenerteilung" umfassend beschrieben, so daß auf eine detaillierte Aufzählung von Einzelheiten hier verzichtet werden kann.

In einer Norm wären die entsprechenden Abschnitte zu übernehmen.

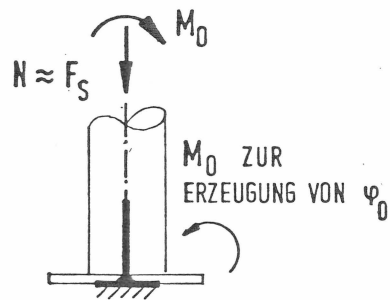
Bei der Bestimmung der Grenzlast der Stütze als Grundlage für die Ermittlung des im Einzelfall je nach Gruppeneinteilung des Gerüsts gemäß DIN 4421 nutzbaren Widerstandes sollte -den Gepflogenheiten bei der Berechnung anderer Rüststützen entsprechend- eine ungewollte Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf der Stütze von 5 mm angestzt werden.



Als Systemannahmen für den Fußbereich wird folgende Regelung vorgeschlagen:

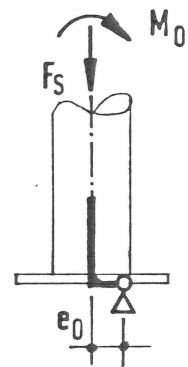
**EINSPANNUNG  
MIT ZWANGSVERDREHUNG**

$$\varphi_0 = 0.03 \text{ rad}$$



ODER

**EXZENTRISCH  
GELENKIGE LAGERUNG**



Ist eine Zwangsverdrehung von  $\psi_0$  nicht ohne Spannungsüberschreitung möglich, so wird mit einer exzentrisch gelenkigen Fußauflageung gerechnet. Die ungewollte Lastübertragungsexzentrizität in der Aufstellebene wird begrenzt zu

$$\max e_0 \leq \frac{1}{2} \cdot d_{a,0}^*$$

Im Überlappungsbereich von Innenrohr und Außenrohr müssen

Knickwinkel  $\psi_{1-2}$  und

Achsenversätze  $v_1$  und  $v_2$

berücksichtigt werden.

Knickwinkel und Versatz zwischen Innenrohr und Außenrohr können experimentell mit Durchgangsmessungen in Anlehnung an die BuP rechnerisch ermittelt werden:

$$v_2 = \frac{d_{i,a} - d_{a,i}}{2} \quad \text{oder} \quad v_2 = \frac{\bar{d}_{i,a} - d_{a,i}}{2}$$

$$v_1 = \frac{d_{i,a} - d_{a,i}}{2} \quad v_1 = \frac{d_{i,a} - \bar{d}_{a,i}}{2}$$

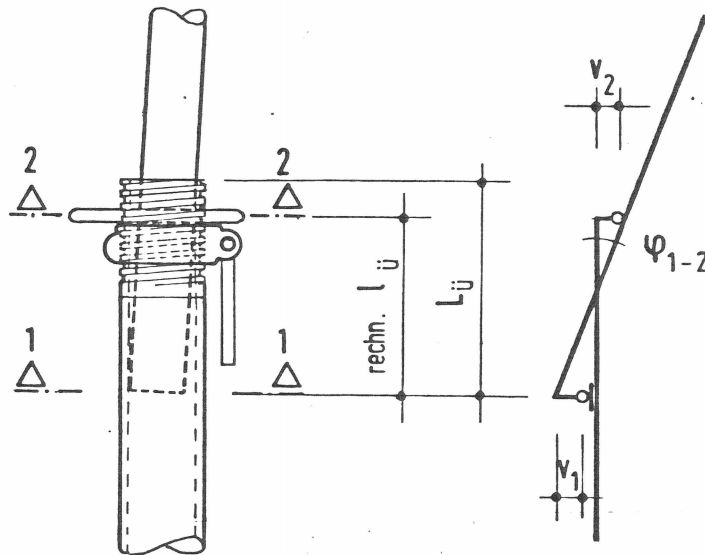
$$\psi_{1-2} = \frac{v_1 + v_2}{l_{\bar{u}}}$$

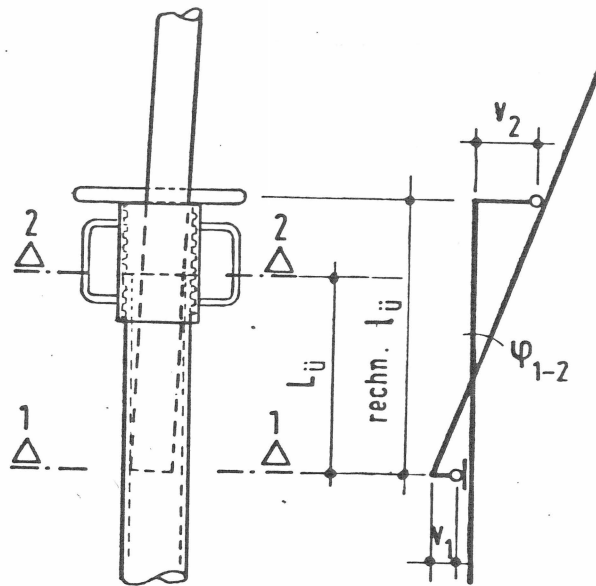
---

\*) werden Stützen mit dem Innenrohr nach unten aufgestellt, so ist  $d_{a,i}$  einzusetzen!

- $d_{a,i}$  = AußenØ Innenrohr Normalbereich  
 $\bar{d}_{a,i}$  = AußenØ Innenrohr aufgeweitet  
 $d_{a,a}$  = AußenØ Außenrohr  
 $d_{i,i}$  = InnenØ Innenrohr  
 $d_{i,a}$  = InnenØ Außenrohr Normalbereich  
 $\bar{d}_{i,a}$  = InnenØ Außenrohr eingengt (z.B. im Gewindebereich)  
 $d_i$  = LochØ Innenrohr  
 $l_{\ddot{u}}$  = Überlappungslänge von Außen- zu Innenrohr

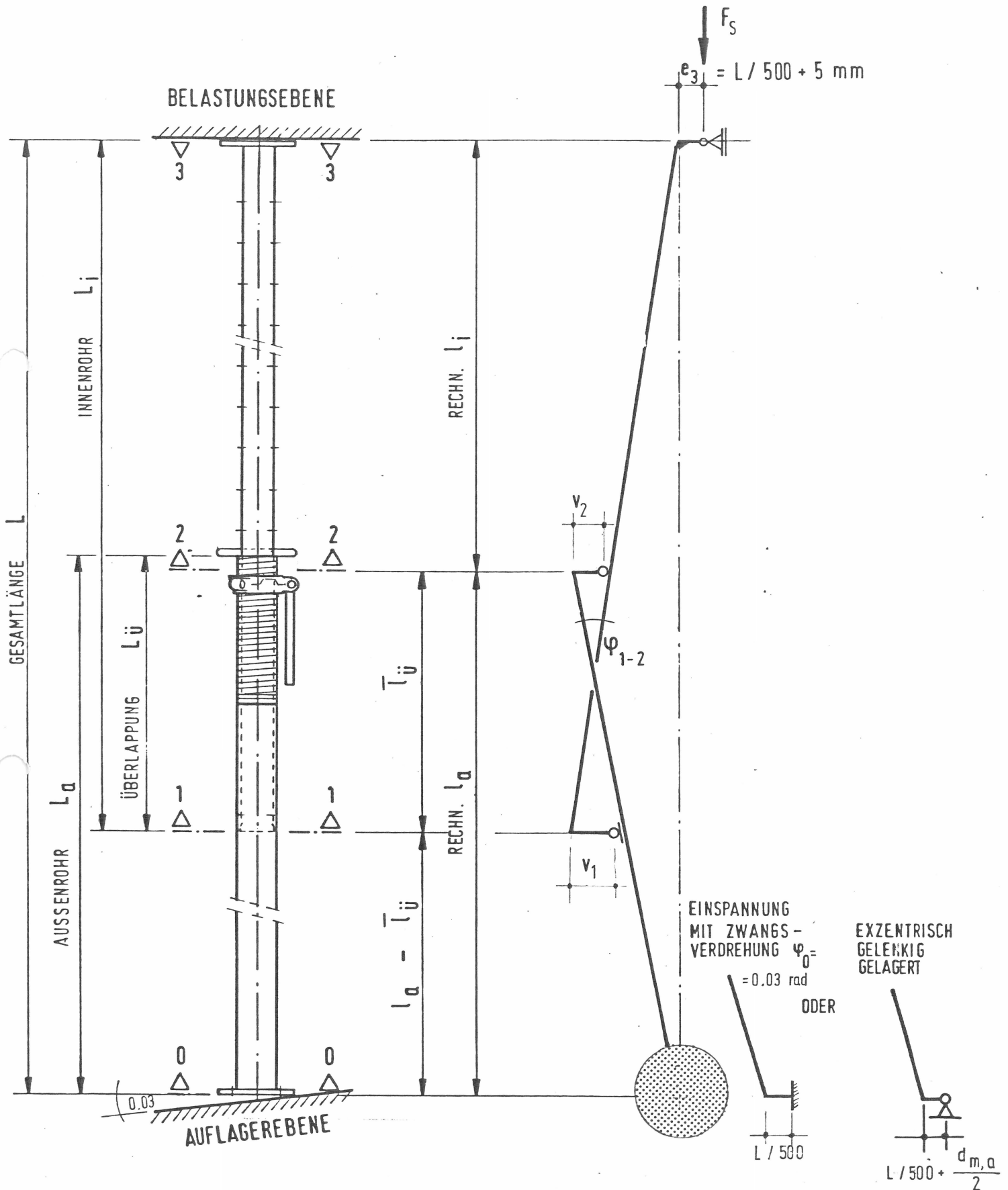
a) Verstelleinheit mit offenem Gewinde



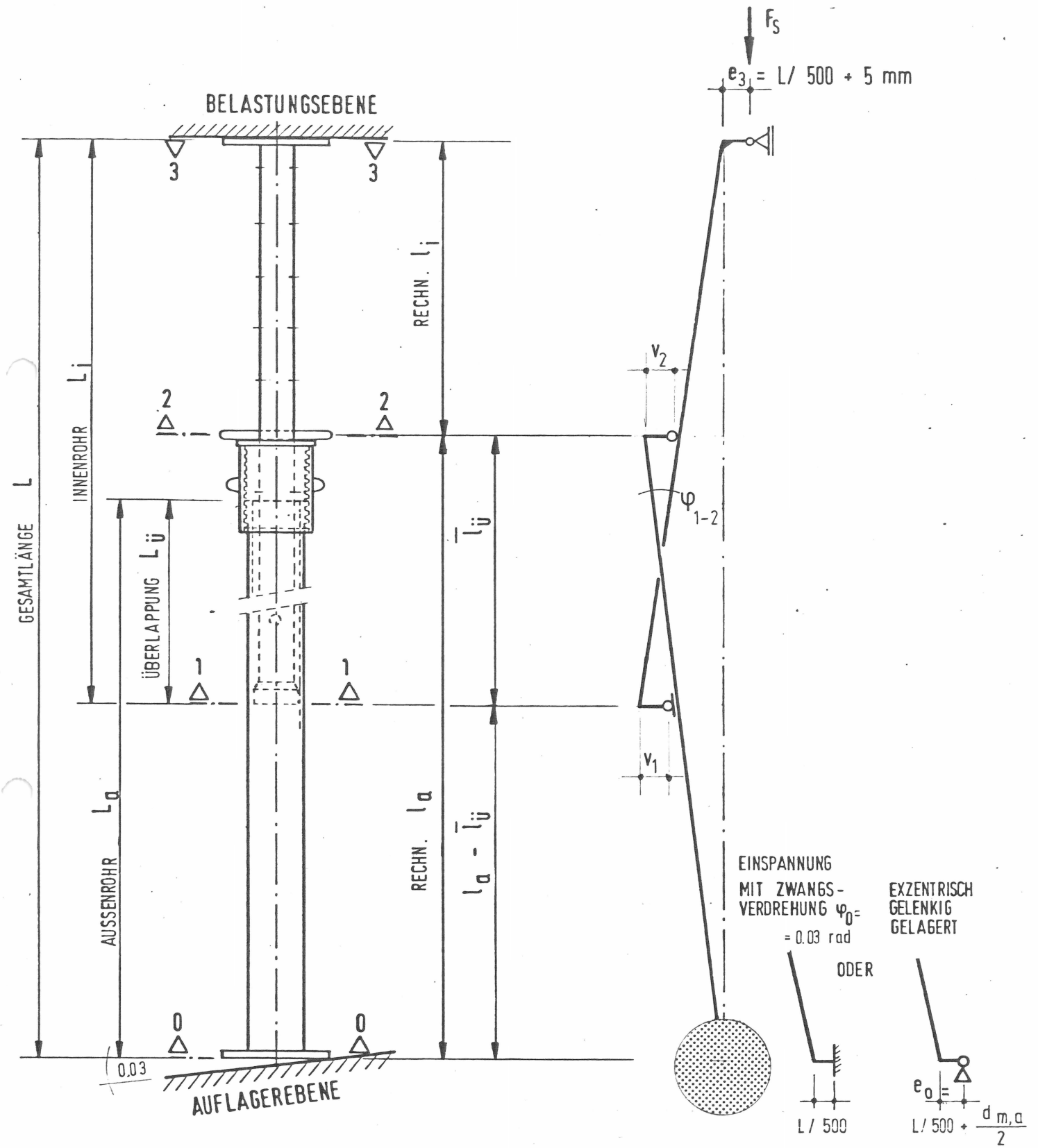
b) Verstelleinheit mit verdecktem Gewinde

Weiterhin muß davon ausgegangen werden, daß die verwendeten Rohre eine Vorkrümmung aufweisen, die mit einem Mittenstich von  $L/500$  anzusetzen ist. Es wird vorgeschlagen, die Lasteinleitungs- und Lastübertragungsexzentrizität am Kopf und Fuß der Stütze um diese  $L/500$  zu vergrößern.

Die abstrahierten mechanischen Modelle für die Berechnung von Baustützen mit offenem und verdecktem Gewinde zeigen die beiden folgenden Darstellungen.







## Querschnittswerte und Widerstände

### Innenrohr

Im Bereich der regelmäßigen Lochung des Innenrohrs muß die Biegesteifigkeit reduziert werden. Siehe hierzu DIN 4421, Abschnitt 6.5.7

$$E \cdot J_i = E \frac{J_B}{1 + 2 \frac{d}{a} \left( \frac{J_B}{J_N} - 1 \right)}$$

Die Reduzierung der Dehnsteifigkeit im gelochten Bereich bleibt ohne nennenswerte Auswirkung auf die Schnittgrößen und kann deshalb vernachlässigt werden.

Die Lochschwächung ist örtlich begrenzt und im Verhältnis zur Stablänge bzw. zum Lochabstand kurz. Bei Plastizierungen können sich Fließzonen nicht ausbreiten. Es erscheint zulässig, plastische Reserven zu nutzen. Vereinfacht wird ein Spannungsnachweis mit  $A_{\text{netto}}$  und  $W_{\text{nplastisch}}$  als Widerstandswerte für den Lochbereich geführt. Im Bolzenloch kann mit  $A_{\text{brutto}}$  gerechnet werden, da in Bolzenachse der Querschnitt normalkraftfrei ist.

### Außenrohr

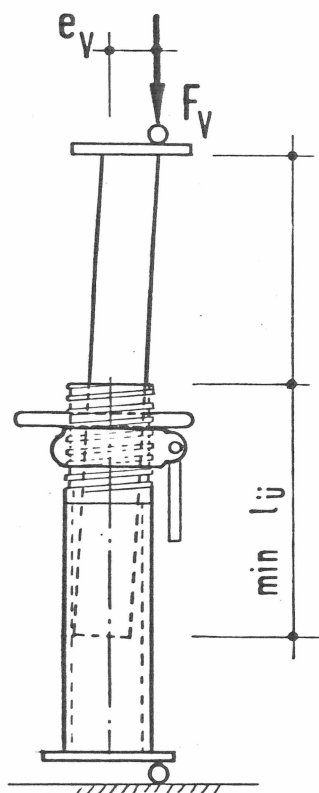
Außerhalb des Verstellbereichs sind die Querschnittswerte aus den Nennmaßen des Außenrohres anzusetzen.

Der Gewindebereich kann mit den Querschnittswerten des Außenrohres übermessen werden, wenn die Nettoquerschnittswerte (Schlitz) größer sind als die Bruttoquerschnittswerte des Innenrohres.

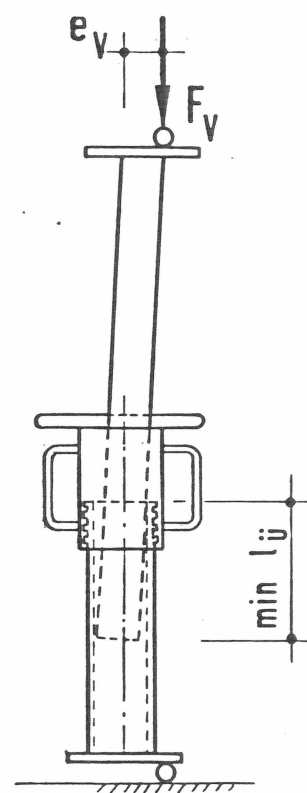
### Verstellbereich

Es wird vorgeschlagen, den rechnerischen Nachweis der Verbindung auf den Nachweis der Lochleibungsscherverbindung im Innenrohr zu beschränken. Die zulässigen Beanspruchungen hierfür müssen in Anlehnung an die DIN 4421 bzw. DIN 18800, Teil 1 geregelt werden.

Zusätzlich sollten Bauteilversuche vorgeschrieben werden. Hierfür wird nachfolgend eine prinzipielle Versuchsanordnung vorgeschlagen.



a) OFFENES GEWINDE



b) VERDECKTES GEWINDE

Aus versuchstechnischen Gründen wird vorgeschlagen:

- die Exzentrizität der Lasteinleitung auf den halben Durchmesser des Innenrohres zu begrenzen:  $e_v = \frac{1}{2} d_{a,i}$
- Anordnung, Durchführung und Auswertung der vorbeschriebenen Bauteilversuche so zu regeln, daß nach einem weiteren Erfahrungszeitraum die rechnerischen Grundlagen zur Festlegung übertragbarer Schnittgrößen für die Verbindung im Verstellbereich von Baustützen formuliert werden können.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Begleitend zur Arbeit des Unterausschusses "Baustützen" wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes verschiedene Baustützen mit den jeweils diskutierten Berechnungsannahmen berechnet und mit den zulässigen Lasten entsprechend DIN 4421 bzw. Versuchsergebnissen zur Prüfzeichenerteilung verglichen.

Die Berechnungsergebnisse sind in den Abschnitten 7.2 und 7.3 dokumentiert und diskutiert worden.

Mit den zur Normung vorgeschlagenen Berechnungsannahmen wurde ein exemplarischer Standsicherheitsnachweis für eine Baustütze durchgeführt. Als wesentliches Ergebnis ist festzuhalten, daß sich bei konsequenter Anwendung der hier als richtig erkannten Berechnungsannahmen die erhöhten zulässigen Lasten nach DIN 4421 nicht in allen Fällen nachweisen lassen:

für ausgezogene bzw. lange Stützen kann 50% Erhöhung der zulässigen Lasten vermutlich durch die Rechnung bestätigt werden, während bei eingeschobenen Stützen nur die einfachen Lasten erreichbar erscheinen.

Für die Praxis bedeutet diese Einschränkung in aller Regel jedoch keinen Nachteil, da die erhöhten zulässigen Lasten im Allgemeinen besonders bei den ausgezogenen Stützen benötigt werden.

Als praxisgerechte Lösung erscheint folgende Regelung:

die mit den vorbeschriebenen Rechenannahmen ermittelten zulässigen Lasten sind der nutzbare Widerstand der Baustützen entsprechend DIN 4421. Je nach den Einsatzbedingungen sind die Einwirkungen mit den Gruppenfaktoren der vorhandenen

Gruppe zu erhöhen und mit dem nutzbaren Widerstand zu vergleichen. Damit wären die Baustützen sinngemäß in die bestehenden Regelungen der DIN 4421 eingebunden.

Karlsruhe, den 21.12.1983

ANLAGE 1

ZUM SCHLUSSBERICHT

"STANDSICHERHEITSNACHWEIS FÜR BAUSTÜTZEN"

ZUSAMMENSTELLUNG WICHTIGER KENNDATEN

BEKANNTER BAUSTÜTZEN MIT PRÜFZEICHEN

1. NORMALE BAUSTÜTZEN

(N - STÜTZEN)



Querschnittsabmessungen

N-Stütze Nr.	Außenrohr		Innenrohr				Bolzen- $\phi$ $d_B$ [mm]
	Außen- $\phi$ $D_{aa}$ [mm]	Wandd. $s_a$ [mm]	Außen- $\phi$ $D_{ia}$ [mm]	Wandd. $s_i$ [mm]	Loch- $\phi$ $d_i$ [mm]	Lochabst. $a_i$ [mm]	
1	60,3	2,9	48,3	4,0	14,5	100	13,5
2	60,3	1,9	48,3	4,0	14,5	100	13,5
3	60,3	2,9	48,3	4,0	14,5	100	13,5
4	60,3	2,9	48,3	4,0	14,5	100	13,5
5	60,3	4,5	48,3	4,5	17,0	140	16,0
6	60,0	2,5	48,3	3,25	15,0	100	14,0
7	60,3	3,65	48,3	4,05	15,0	100	14,0
8	57,0	2,6	48,3	4,0	14,5	100	14,0
9	57,0	2,6	48,3	4,05	15,0	80	14,0
10	57,0	2,6	48,3	4,05	15,0	80	14,0
11	57,0	2,65	48,3	3,25	—	—	13,0
12	57,3	2,5	48,1	4,2	16,0	100	15,2
13	57,0	2,9	48,3	4,05	16,0	100	15,0

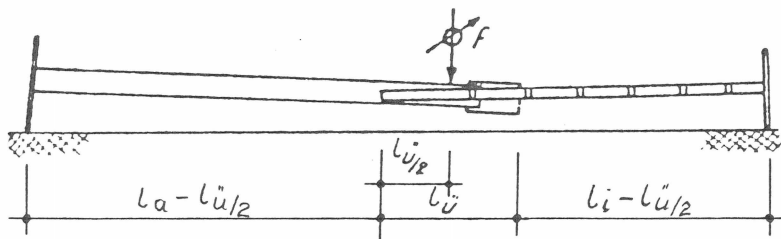
Systemmaße

N-Stütze Nr.	Stützenlänge/Durchhang h			Exzentrizität $e = 2 K + l_s / 500 + 1,2 h_{max}$		
	eingeschoben [mm]	halb ausgezogen [mm]	ganz ausgezogen [mm]	eingeschoben [mm]	halb ausgezogen [mm]	ganz ausgezogen [mm]
1	1600/0,5	2100/1,0	2600/4,5	24,2	25,8	31,0
2	1800/0,35	2400/1,6	3000/5,5	24,4	27,2	33,0
3	2000/0,5	2800/1,6	3500/6,55	25,4	28,3	35,6
4	2300/0,45	3200/2,7	4100/10,20	25,5	30,0	40,9
5	3100/1,95	3800/5,0	4500/12,0	28,7	33,7	43,5
6	1900/0,35	2500/1,3	3000/3,75	25,4	27,7	31,7
7	2200/0,3	2800/1,5	3500/5,0	25,2	27,8	33,4
8	1900/0,6	2400/1,85	3000/6,8	24,9	27,4	34,6
9	1800/0,5	2400/0,5	3000/3,5	24,6	25,8	30,0
10	2100/0,5	2850/1,0	3500/3,5	25,2	27,3	31,6
11	1900/0	2630/1,0	3000/3,0	25,0	27,7	30,8
12	1900/0,85	2400/1,0	3000/5,1	25,2	27,2	32,6
13	2203/1,0	2803/3,0	3503/6,0	26,0	29,6	34,6

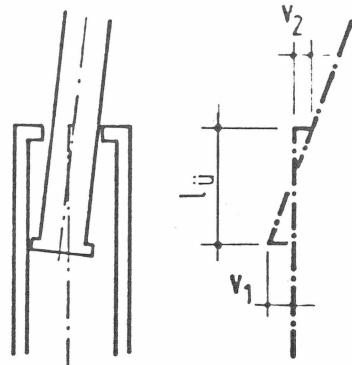
zul. Stützenlasten

N-Stütze Nr.	eingeschoben		halb ausgezogen		ganz ausgezogen	
	L [m]	zul. $F_s$ [kN]	L [m]	zul. $F_s$ [kN]	L [m]	zul. $F_s$ [kN]
1	1,6	30,469	2,1	17,687	2,6	11,539
2	1,8	27,778	2,4	15,625	3,0	10,0
3	2,0	26,25	2,8	13,39	3,5	8,57
4	2,3	23,25	3,2	12,02	4,1	7,32
5	3,1	14,05	3,8	9,35	4,5	6,67
6	1,9	24,93	2,5	14,40	3,0	10,0
7	2,2	21,69	2,8	13,39	3,5	8,57
8	1,9	24,93	2,4	15,63	3,0	10,0
9	1,8	27,78	2,4	15,63	3,0	10,0
10	2,1	23,81	2,85	12,93	3,5	8,57
11	1,9	24,93	2,63	13,01	3,0	10,0
12	1,9	24,93	2,4	15,63	3,0	10,0
13	2,203	21,65	2,803	13,38	3,503	8,56

Vergleich der rechnerisch ermittelten Knickwinkel  $\varphi_{1-2}$  der Stützen mit den Durchhangmessungen



$$\varphi_{1-2} = \arctan \frac{h}{l_a - \frac{l_u}{2}} + \arctan \frac{h}{l_i - \frac{l_u}{2}}$$



$$\varphi_{1-2} = \arctan \frac{v_1 + v_2}{l_u}$$

N-Stütze Nr.	$\varphi_{1-2}$ [Grad]					
	eingeschoben Durchh. gerech.		halb ausgezogen Durchh. gerech.		ausgezogen Durchh. gerech.	
1	0,07177	— *)	0,10927	— *)	0,39697	— *)
2	0,04464	— *)	0,15293	— *)	0,42042	— *)
3	0,05737	— *)	0,13105	— *)	0,42908	— *)
4	0,04489	— *)	0,19347	— *)	0,57034	— *)
5	0,14930	0,08547	0,30862	0,13111	0,62129	0,28132
6	0,04223	0,03255	0,11919	0,05435	0,28651	0,12299
7	0,03126	0,02736	0,12278	0,04127	0,32742	0,10146
8	0,07239	0,02968	0,17669	0,04533	0,51952	0,12348
9	0,06371	0,03461	0,04776	0,05794	0,26745	0,17782
10	0,05458	0,02818	0,08415	0,04775	0,22918	0,19921
11	0,0	— *)	0,08743	— *)	0,22976	— *)
12	0,10292	— *)	0,15315	— *)	0,39020	— *)
13	0,10404	— *)	0,24530	— *)	0,39256	— *)

\*) fehlende Maßangaben in den Zeichnungen

## Lochleibungsscherverbindung

N-Stütze Nr.	Bolzen					Innenrohr						Übertragbare Normalkraft d. Lochleibungs- scherverbind. zul. N [kN]
	Durchm. $d_B$ [cm]	Fläche $A_B$ [cm <sup>2</sup> ]	Material- güte	zul. $T_a$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	zul. $N_a$	Wandd. s [cm]	Material- güte	Gelenkbolzen		Paßschraube		
								zul. $G_L$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	zul. $N_L$ [kN]	zul. $G_L$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	zul. $N_L$ [kN]	
1	1,35	1,431	St 50 (300)	14,1	40,354	0,4	St 34 (205)	18	19,44	27	29,16	19,44
2	1,35	1,431	St 50 (300)	14,1	40,354	0,4	St 37	21	22,68	32	34,56	22,68
3	1,35	1,431	St 50 (300)	14,1	40,354	0,4	St 37	21	22,68	32	34,56	22,68
4	1,35	1,431	St 50 (300)	14,1	40,354	0,4	St 37	21	22,68	32	34,56	22,68
5	1,60	2,011	St 50 (300)	14,1	56,71	0,45	St 37	21	30,24	32	46,08	30,24
6	1,40	1,539	St 45 (260)	12,1	37,244	0,325	St 37	21	19,11	32	29,12	19,11
7	1,40	1,539	St 45 (260)	12,1	37,244	0,405	St 37	21	23,814	32	36,288	23,814
8	1,40	1,539	St 37k (240)	11,2	34,474	0,4	St 37-1	21	23,52	32	35,84	23,52
9	1,40	1,539	St 50 (300)	14,1	43,4	0,405	St 37	21	23,814	32	36,288	23,814
10	1,40	1,539	St 50 (300)	14,1	43,4	0,405	St 37	21	23,814	32	36,288	23,814
11	1,30	1,327	St 37-1 (240)	14,0	37,156	0,325	RSt 42-2	22,8	19,266	34,7	27,04	19,266
12	1,52	1,815	St 55 (300)	16,8	60,984	0,42	St 37	21	26,813	32	40,858	26,813
13	1,50	1,767	St 52 (360)	21,0	74,214	0,405	St 37	21	25,515	32	38,88	25,515

2. SCHWERE BAUSTÜTZEN  
(G - STÜTZEN)

Querschnittsabmessungen

G-Stütze Nr.	Außenrohr		Innenrohr				Bolzen- $\phi$ $d_B$ [mm]
	Außen- $\phi$ $D_{aq}$ [mm]	Wandd. $s_a$ [mm]	Außen- $\phi$ $D_{iq}$ [mm]	Wandd. $s_i$ [mm]	Loch- $\phi$ $d_i$ [mm]	Lochabst $a_i$ [mm]	
1	70,0	2,9	60,3	3,3	16,5	100	16,0
2	76,1	2,6	60,3	3,6	14,5	100	13,5
3	76,1	2,6	60,3	4,0	14,5	100	13,5
4	76,1	2,6	62,3	3,5	18,0	80	18,0
5	76,1	2,6	62,3	3,5	19,0	80	18,0
6	76,1	2,6	62,3	3,5	19,0	80	18,0
7	76,1	2,6	63,5	3,2	16,5	100	16,0
8	76,1	2,6	63,5	3,2	16,5	100	16,0
9	70,0	2,9	60,3	4,0	15,4	100	15,0
10	70,0	2,9	60,3	4,0	15,4	100	15,0
11	70,0	2,9	60,3	4,0	15,4	100	15,0

Systemmaße

G-Stütze Nr.	Stützenlänge / Durchhang h			Exzentrizität $e = 2K + l_s / 500 + 1,2 h_{max}$		
	eingeschoben [mm]	halb ausgezogen [mm]	ganz ausgezogen [mm]	eingeschoben [mm]	halb ausgezogen [mm]	ganz ausgezogen [mm]
1	2600/0,4	3300/1,5	4100/5,5	32,7	35,4	41,8
2	2700/0,9	3800/4,15	4900/16,75	33,3	39,4	56,8
3	3100/0,85	4300/3,9	5500/16,7	33,6	39,7	57,5
4	2350/1,0	3250/2,25	4100/9,0	33,7	37,0	46,2
5	—*)/1,25	3850/3,5	4900/13,5	—*)	39,7	53,8
6	—*)/1,5	5500/4,0	—*)/17,5	—*)	59,8	—*)
7	2500/0,3	3300/2,15	4100/4,3	34,5	38,0	42,2
8	3200/0,35	4100/2,45	4900/6,75	35,6	39,9	46,7
9	2400/0	3300/2,0	4100/6,3	31,2	35,4	42,2
10	2800/0	3800/2,0	4900/10,5	32,0	36,4	48,8
11	3100/0	4200/2,0	5500/13,5	32,6	37,2	53,6

\*) fehlende Maßangaben

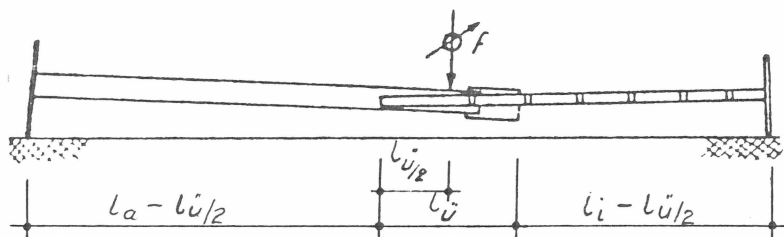


zul. Stützenlasten

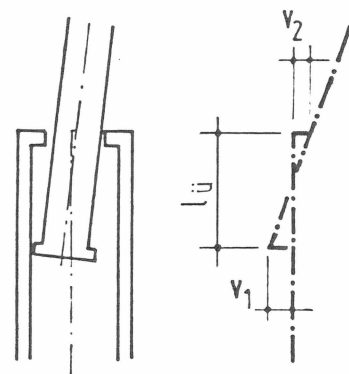
G-Stütze Nr.	eingeschoben		halb ausgezogen		ganz ausgezogen	
	l [m]	zul. $F_s$ [kN]	l [m]	zul. $F_s$ [kN]	l [m]	zul. $F_s$ [kN]
1	2,6	27,29	3,3	16,94	4,1	10,98
2	2,7	30,25	3,8	15,27	4,9	9,18
3	3,1	25,75	4,3	13,39	5,5	8,18
4	2,35	33,41	3,25	17,47	4,1	10,98
5	— *)	— *)	3,85	14,88	4,9	9,18
6	— *)	— *)	5,5	— *)	— *)	— *)
7	2,5	29,52	3,3	16,94	4,1	10,98
8	3,2	21,53	4,1	13,12	4,9	9,18
9	2,4	32,03	3,3	16,94	4,1	10,98
10	2,8	28,13	3,8	15,27	4,9	9,18
11	3,1	25,75	4,2	14,03	5,5	8,18

\*) fehlende Maßangaben

Vergleich der rechnerisch ermittelten Knickwinkel  $\varphi_{1-2}$   
der Stützen mit den Durchhangmessungen



$$\varphi_{1-2} = \arctan \frac{h}{l_a - \frac{l_{\ddot{u}}}{2}} + \arctan \frac{h}{l_i - \frac{l_{\ddot{u}}}{2}}$$



$$\varphi_{1-2} = \arctan \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$$

G-Stütze Nr.	$\varphi_{1-2}$ [Grad]					
	eingeschoben Durchh. gerech.		halb ausgezogen Durchh. gerech.		ausgezogen Durchh. gerech.	
1	0,03626	— *)	0,10599	— *)	0,31091	— *)
2	0,07645	— *)	0,25038	— *)	0,78359	— *)
3	0,06287	— *)	0,20791	— *)	0,69596	— *)
4	0,09753	0,06598	0,15867	0,1127	0,50308	0,34023
5	— *)	— *)	0,20835	0,09738	0,63142	0,34023
6	— *)	— *)	0,16668	0,28879	— *)	— *)
7	0,02756	0,03009	0,14948	0,04740	0,24054	0,11168
8	0,02595	0,03009	0,13985	0,05108	0,32036	0,13447
9	0,0	0,07251	0,13927	0,13103	0,3527	0,46381
10	0,0	0,06047	0,12087	0,10318	0,49171	0,46235
11	0,0	0,05218	0,10937	0,08594	0,56325	0,36526

\*) fehlende Maßangaben in den Zeichnungen

### Lochleibungsscherverbindung

Stütze Nr.	Bolzen					Innenrohr						Übertragbare Normalkraft d. Lochleibungsscherverbind. zul. N [kN]
	Durchm. $d_B$ [cm]	Fläche $A_B$ [cm <sup>2</sup> ]	Materialgüte	zul. $\tau_a$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	zul. $N_a$	Wandd. s [cm]	Materialgüte	Gelenkbolzen		Paßschrauben		
								zul. $\sigma_L$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	zul. $N_L$ [kN]	zul. $\sigma_L$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	zul. $N_L$ [kN]	
1	1,60	2,011	St 50 (300)	14,1	56,710	0,33	St 37	21	22,176	32	33,792	22,176
2	1,35	1,431	St 50 (300)	14,1	40,354	0,36	St 37	21	20,412	32	31,104	20,412
3	1,35	1,431	St 50 (300)	14,1	40,354	0,40	St 37	21	22,68	32	34,56	22,68
4	1,80	2,545	C 45 (380)	17,7	90,093	0,35	St 37	21 <sup>*)</sup>	(26,46) 28,95	32	40,32	26,46
5	1,80	2,545	C 45 (380)	17,7	90,093	0,35	St 37	21	26,46	32	40,32	26,46
6	1,80	2,545	C 45 (380)	17,7	90,093	0,35	St 37	21	26,46	32	40,32	26,46
7	1,60	2,011	St 37k (240)	11,2	45,046	0,32	St 37-1	21	21,504	32	32,768	21,504
8	1,60	2,011	St 37k (240)	11,2	45,046	0,32	St 37-1	21	21,504	32	32,768	21,504
9	1,50	1,767	St 360-2	Angaben fehlen		0,40	St 360-2	Angaben fehlen				
10	1,50	1,767	St 360-2									
11	1,50	1,767	St 360-2									

\*) Erhöhte Streckgrenze  $\beta_s = 30 \text{ kN/cm}^2$   
 zul.  $\sigma_L = \frac{30}{24} \cdot 21 = 26,25$

ANLAGE 2

ZUM SCHLUSSBERICHT

"STANDSICHERHEITSNACHWEIS FÜR BAUSTÜTZEN"

BERECHNUNGSGRUNDLAGEN FÜR DEN STANDSICHER-  
HEITSNACHWEIS DER BAUSTÜTZE

HÜNNEBECK AS 410-S

## 1. Technische Beschreibung - Vorbemerkungen

Berechnet werden sollen mit dem in Abschnitt 4 beschriebenen mechanischen Modell Schnittgrößen, Verformungen und Beanspruchungen der Stütze, um sie mit den entsprechenden Ergebnissen aus den der Prüfzeichenerteilung zugrundeliegenden Belastungsversuchen zu vergleichen.

Nachfolgend sollen unter Bezug auf das

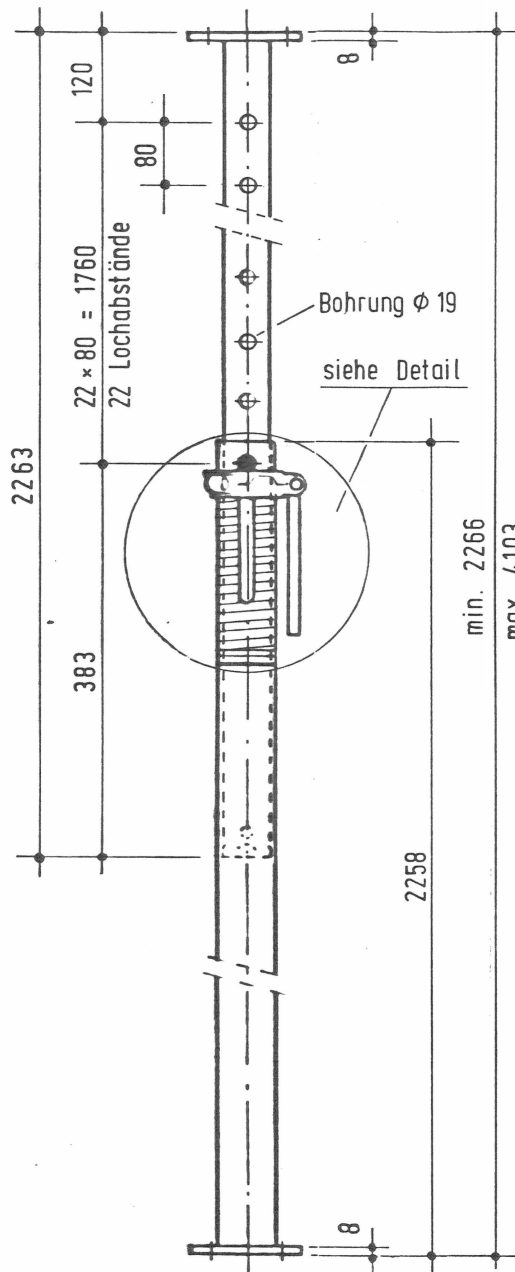
Prüfzeugnis Nr. 6179

der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TH Karlsruhe, die System- und Querschnittsabmessungen sowie die Querschnittswerte der Stütze AS 410-S der Firma Hünnebeck als Berechnungsgrundlage für die Systemaufbereitung einer EDV-Berechnung zusammengestellt werden.

Mit dem nachfolgend beschriebenen Rechenmodell wurden zunächst Berechnungen durchgeführt, die sich direkt mit den Versuchsergebnissen vergleichen lassen. Anschließend werden Lagerungsbedingungen als Einflußgrößen variiert, um deren Auswirkungen auf die Verformungen, Schnittgrößen, Beanspruchungen und Grenzlast zu untersuchen.

## 2. Geometrie der Stütze

### 2.1 Äußere Abmessungen und Querschnittswerte



Innenrohr  $\varnothing 62,3 \times 3,5$ , St 37\*

$$d_{a,i} = 62,3 \text{ mm}$$

$$\bar{d}_{a,i} = 68,5 \text{ mm}$$

$$I = 28,03 \text{ cm}^4$$

$$A = 6,46 \text{ cm}^2$$

$$W = 9,0 \text{ cm}^3$$

Infolge

$$d_L = 19 \text{ mm}$$

$$a_L = 80 \text{ mm}$$

$$I_n = 16,3 \text{ cm}^4$$

$$A_n = 5,13 \text{ cm}^2$$

$$W_{n,pl} = 8,19 \text{ cm}^3$$

$$I_{eff} = 20,89 \text{ cm}^4$$

Außenrohr  $\varnothing 76,1 \times 2,6$ , St 37\*

$$d_{a,a} = 76,1 \text{ mm}$$

$$d_{i,a} = 70,9 \text{ mm}$$

$$\bar{d}_{i,a} = 64,9 \text{ mm}$$

$$I = 40,6 \text{ cm}^4$$

$$A = 6,0 \text{ cm}^2$$

$$W = 10,7 \text{ cm}^3$$

\* garantierte Streckgrenze  $\beta_s = 30 \text{ kN/cm}^2$

## 2.2 Abmessungen der Systemlinie

Angaben aus Prüfzeugnis Nr. 6179

Knickwinkel

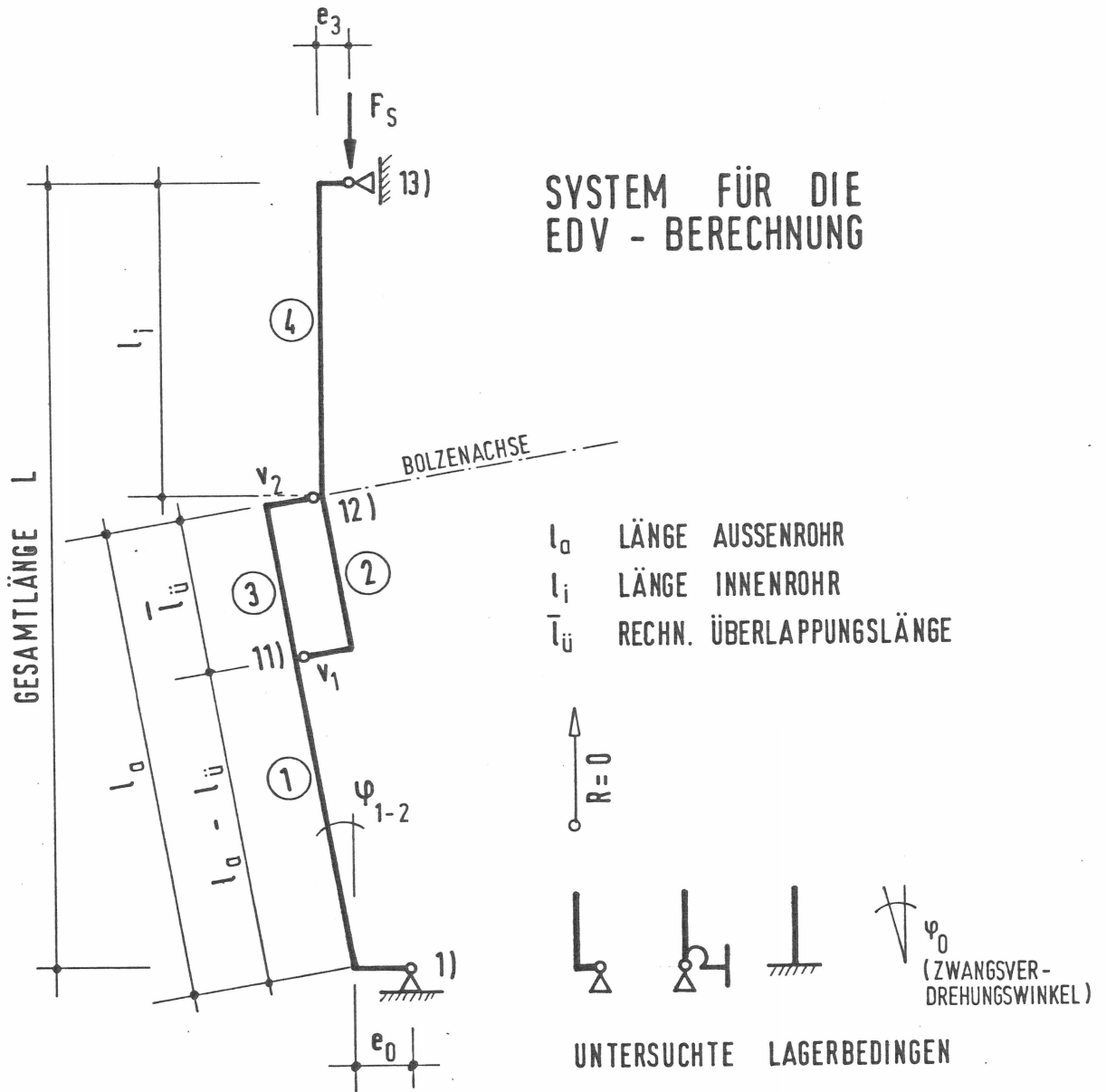
$$\varphi_{1-2} = \arcsin \frac{f}{\text{rechn. } l_a} + \arcsin \frac{f}{\text{rechn. } l_i}$$

	ausge- zogen	halb eingesch.	einges- schoben
Länge* rechn. $l_i$ (cm)	188,0	100,0	12,0
Länge* rechn. $l_a$ (cm)	222,8	222,8	222,8
Gesamtlänge L (cm)	410,8	322,8	234,8
Überlappungslänge $l_e$ (cm)	38,3	126,3	214,3
Durchhang 2 h/2 (cm)	0,9	0,23	0,10
Mittenstich der Rohre L/500	0,82	0,65	0,47
Gesamtmittenstich f (cm)	1,72	0,88	0,57
Knickwinkel $\varphi_{1-2}$	0,97	0,73	2,87
Versatz $\bar{v}_2 =$			
$\frac{d_{i,a} - d_{a,i}}{2}$ (cm)	0,13	0,13	0,13
Exzentrizität bei Prüf- zeichenversuchen $\underline{e}$ (cm)	4,62	3,70	3,37
$e_o = e - f$ (cm)	2,90	2,82	2,80

\* Jeweils von Fußplatte bis Bolzen bzw. Bolzen bis Kopfplatte gemessen

3. Zum Rechenmodell abstrahierte Systemlinie der Stütze

Knoten und Stabbezeichnungen für die EDV-Eingabe





#### 4. Verformungen, Schnittgrößen und Beanspruchungen

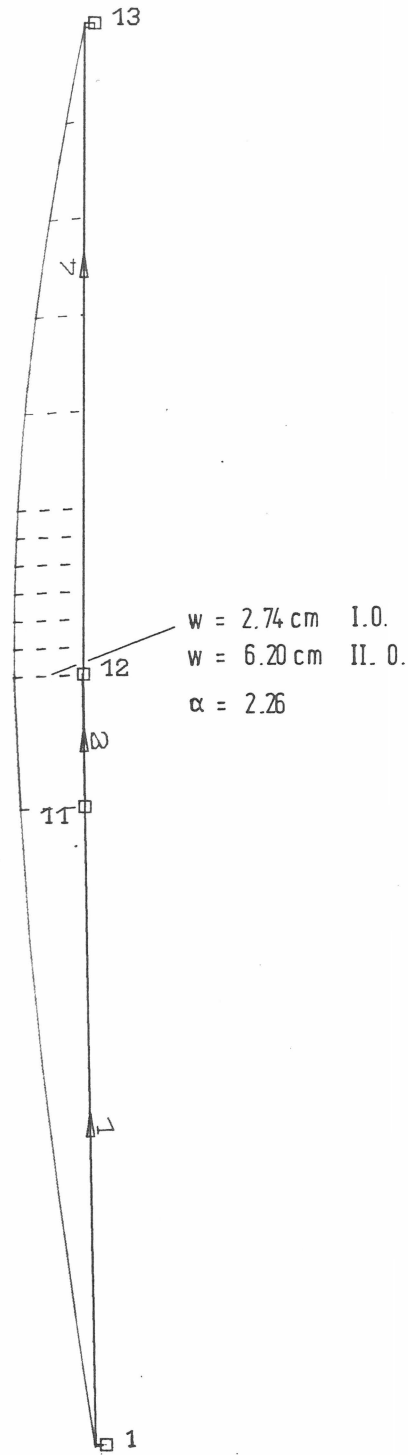
Die Verformungen, Schnittgrößen und Beanspruchungen werden durch EDV-Berechnung mit einem allgemeinen Stabwerksprogramm nach Theorie II.O. (ELAS) errechnet.

Auf eine Wiedergabe der umfangreichen EDV-Ausdrucke wird verzichtet. Die Daten der untersuchten Systemvarianten werden auf Platte gespeichert aufbewahrt und sind somit bei Bedarf verfügbar.

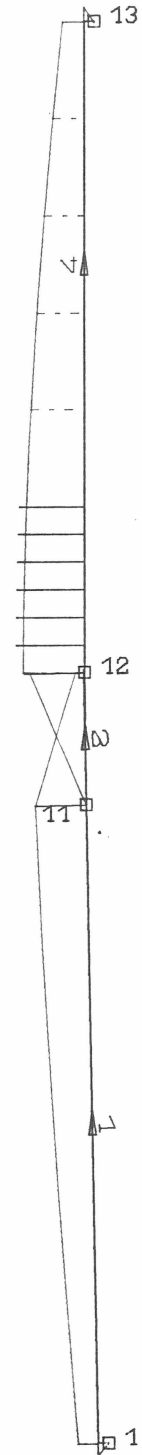
Beispielhaft wurden für das System zum Vergleich von Berechnung und Versuchen die nachfolgenden graphischen Ausgabeprotokolle für die errechneten Grenzlastzustände beigefügt.

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse wurden im Forschungsbericht graphisch wiedergegeben und erläutert.

ELAS-22 AS410SA-PLT



TH 2.0 VERF. SYSTEM

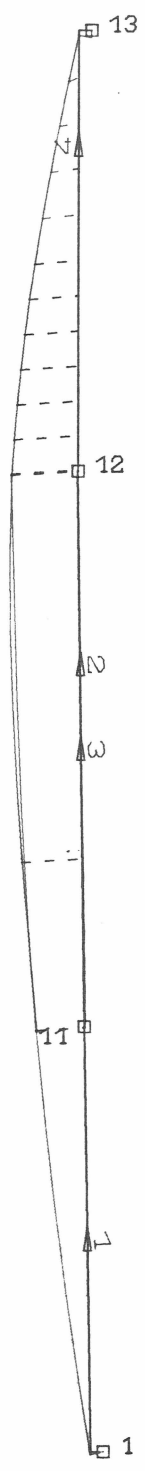


TH 2.0

/SIGMA/

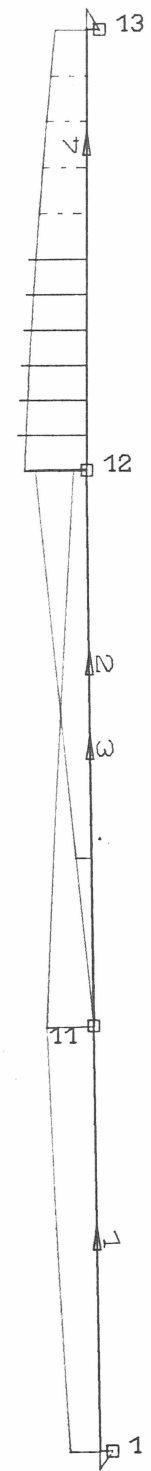
AS 410 S Vollauszug gelenkig  $e_0 = e_3 = 2.9 \text{ cm}$

ELAS-22 AS410SH<sub>6</sub>PLT



w = 1.79 cm I.O.  
w = 3.14 cm II.O.  
 $\alpha = 1.75$

TH 2.0 VERF. SYSTEM



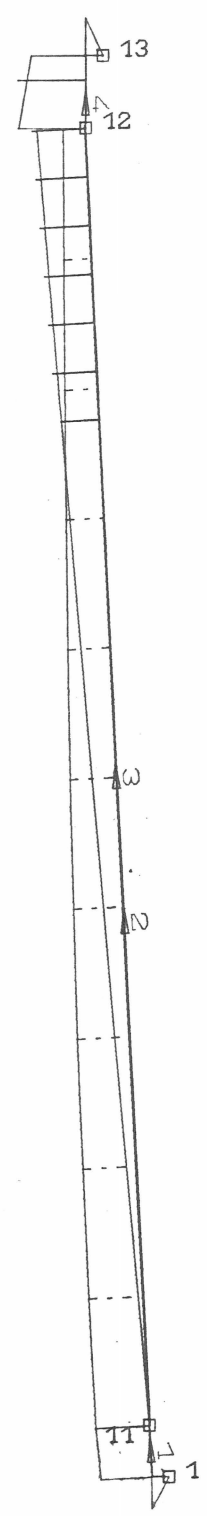
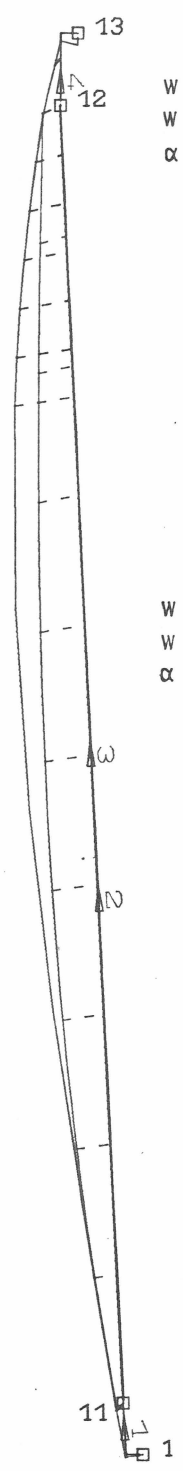
TH 2.0 /SIGMA/

AS 410 S Halbauszug gelenkig  $e_0 = e_3 = 2.82$  cm

ELAS-22 AS410SE.PLT

$w = 0.36 \text{ cm}$  I. O.  
 $w = 0.59 \text{ cm}$  II. O.  
 $\alpha = 1.64$

$w = 0.76 \text{ cm}$  I. O.  
 $w = 1.06 \text{ cm}$  II. O.  
 $\alpha = 1.40$



x  
z

TH 2.0 VERF. SYSTEM

x  
z

TH 2.0 /SIGMA/

AS 410 S eingeschoben gelenkig  $e_0 = e_3 = 2.80 \text{ cm}$

ANLAGE 3

ZUM SCHLUSSBERICHT

"STANDSICHERHEITSNACHWEIS FÜR BAUSTÜTZEN"

VERGLEICHSRECHNUNGEN FÜR BAUSTÜTZEN UNTER-  
SCHIEDLICHER BAUART, JEDOCH MIT GLEICHEN  
SYSTEMANNAHMEN

## 1. Vorbemerkungen

Mit Systemannahmen entsprechend Abschnitt 4. des Berichtes zum

### 'FORSCHUNGSVORHABEN BAUSTÜTZEN'

werden nachfolgend verschiedene Stützen mit Ausziehvorrichtung berechnet, d.h.

- Verformungen
- Schnittgrößen
- Beanspruchungen

unter Drucknormalkraft errechnet.

Die rechnerische Grenzlast als Grundlage des zulässigen bzw. nutzbaren Widerstandes für den Einsatz der Stützen wird nach folgenden Kriterien ermittelt:

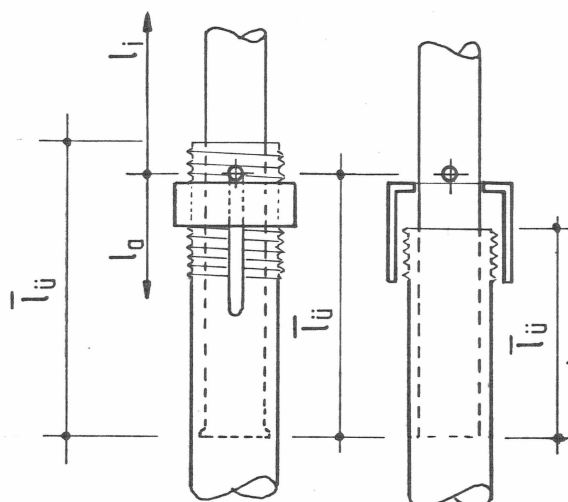
- Erreichen der Streckgrenze (Randfaserfließen) in ungestörten Rohrquerschnitten
- Ausnutzung plastischer Reserven in lochgeschwächten Querschnitten
- Obere Begrenzung der rechnerischen Grenzlast durch die Lochleibungsbeanspruchung in der Bolzenabsteckung\*
- evtl. mögliche absolute Begrenzungen infolge des Versagens der Verstelleinheit werden nicht beachtet.

---

\* Dieser Nachweis wird bei dieser Untersuchung als Begrenzung für die Tragfähigkeit ausgeklammert da z.Z. keine Angaben für die zulässige Beanspruchung vorliegen, die die gegenwärtig geübte Praxis bei der Prüfzeichenerteilung abdecken.

Bei der Verformungsberechnung wird der Überlappungsbereich zwischen Innenrohr und Außenrohr berücksichtigt und zwar

- vom unteren Kontaktpunkt bis zum Bolzen bei Stützen mit offenem Gewinde
- vom unteren bis zum oberen Kontaktpunkt zwischen Innenrohr und Außenrohr bei Rohren mit verdecktem Gewinde (Innengewinde)



Für die Ermittlung des Knicks der Systemlinie wird  $\bar{l}_{\ddot{u}}$  ( $\cong$  Überlappungslänge der Rohre) angesetzt.

Die Biegesteifigkeit des gelochten Innenrohrs wird entsprechend DIN 4421, 08.1982, Abschnitt 6.5.7, eingeführt. Zur Ausnutzung plastischer Reserven im lochgeschwächten Querschnitt wird dort der Querschnittswiderstand mit  $W_{pl}$  und  $A_n$  angesetzt. (linearer Verlauf  $N_{pl}/M_{pl}$ )

Die herstellungsbedingte Verformung der Stiele (Mittenschnitt  $1/500$ ) wird ersatzweise durch eine zusätzliche Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf und Fuß von

$\Delta l_i = \Delta l_z = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$  berücksichtigt  
(zwischenzeitlicher Diskussionsstand)

## 2. Durchrechnung einzelner Stütztypen

Es werden die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Stütztypen untersucht.

Die Schnittgrößen, Verformungen und Beanspruchungen werden mittels eines allgemeinen Stabwerksprogrammes nach Theorie II.O. (ELAS) errechnet:

- Für die rechnerische Grenzlast (die iterativ ermittelt wird)
- Für Laststufen, die einzeln nacheinander durchgerechnet werden, so daß die Lastverformungslinien der Versuche nachgefahren werden können.

Die Systemabmessungen und Querschnittswerte werden den in der Tabelle S. 4 aufgezählten Prüfzeugnissen entnommen.



NORMALE BAUSTÜTZEN

Nr.	Größe	Gewinde	Bezeichnung	Hersteller	Prüfzeugnis	Datum	MPA
1	1	A	Standard P1	Acrow Wolff	5949/1	12.05.72	Versuchsanstalt für Stahl, Holz u. Steine TU Karlsruhe
2	2	A	A 300-S	Hünnebeck	6100	25.04.73	
3	3	A	A 340-S	Hünnebeck	6100	25.04.73	
4	4	A	A 410-S	Hünnebeck	6100	25.04.73	
5	5	A	P4/P5	Acrow Wolff	5949/5	10.11.72	
<u>G - STÜTZEN</u>							
6	4	A	AS 410-S	Hünnebeck	6179	29.08.73	Versuchsanstalt f. Stahl, Holz und Steine, TU Kirh
7	5	A	AS 490-S	Hünnebeck	6179	29.08.73	
8	6	A	AS 550-S	Hünnebeck	6179	29.08.73	

Stütze Nr. 1Mitgeltende Unterlagen

Prüfzeugnis Nr. 5949 vom 12.05.72

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 48,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 40,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 44,3 mm
Wanddicke	$s_i$	= 4,0 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 14,5 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 13,5 mm
Lochabstand	$a$	= 100 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 21 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 13,77 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 5,7 cm <sup>3</sup>
$A$	= 5,57 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 8,08 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 3,34 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 4,41 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 5,28 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 11,43 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 60,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 54,5 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 57,4 mm
Wanddicke	$s_a$	= 2,9 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 21,0 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 21,59 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 7,16 cm <sup>3</sup>
$A$	= 5,23 cm <sup>2</sup>	

Systemabmessungen

	voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge $l_i$ (cm)	121,4	71,4	21,4
Länge $l_a$ (cm)	139,1	139,1	139,1
Gesamtlänge $l$ (cm)	260,5	210,5	160,5
Überlappungslänge der Rohre $l_{\ddot{u}}$ (cm)	31,0	81,0	131,0
Überlappungslänge bis Bolzen $\bar{l}_{\ddot{u}}$ (cm)	28,0	78,0	128,0
Mittenstich der Rohre $L/500$ (cm)	0,521	0,421	0,321
Versatz $v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$ (cm)	0,31	0,31	0,31
Versatz $v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$ (cm)	0,31	0,31	0,31
$e_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$ (cm)	0,35	0,28	0,21
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$ (cm)	0,85	0,78	0,71
Knickwinkel $\psi_{1-2} = \arctan. \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$	1,146	0,439	0,271

Stütze Nr. 2Mitgeltende Unterlagen

Prüfzeugnis Nr. 6100 vom 25.04.1973

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 51,0 mm	
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 43,4 mm	
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 47,2 mm	
Wanddicke	$s_i$	= 3,8 mm	
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 16,0 mm	
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 15,0 mm	
Lochabstand	$a$	= 80 mm	
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>	
$I$	= 15,79 cm <sup>4</sup> ;	$W$	= 6,79 cm <sup>3</sup>
$A$	= 5,64 cm <sup>2</sup>		
$I_{\text{netto}}$	= 9,02 cm <sup>4</sup>	$(W_{\text{netto}}$	= 3,54 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 4,42 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$	= 5,59 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$		= 12,15 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 63,5 mm	
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 58,3 mm	
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 60,9 mm	
Wanddicke	$s_a$	= 2,6 mm	
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>	
$I$	= 23,10 cm <sup>4</sup> ;	$W$	= 7,28 cm <sup>3</sup>
$A$	= 4,97 cm <sup>2</sup>		

Systemabmessungen

	voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge $l_i$ (cm)	136,5	72,5	8,5
Länge $l_a$ (cm)	163,8	163,8	163,8
Gesamtlänge $l$ (cm)	300,3	236,3	172,3
Überlappungslänge der Rohre $l_{\ddot{u}}$ (cm)	33,3	97,3	161,3
Überlappungslänge bis Bolzen $\bar{l}_{\ddot{u}}$ (cm)	30,3	94,3	158,3
Mittenstich der Rohre $L/500$ (cm)	0,601	0,473	0,345
Versatz $v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$ (cm)	0,04	0,04	0,04
Versatz $v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$ (cm)	0,365	0,365	0,365
$e_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$ (cm)	0,401	0,315	0,230
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$ (cm)	0,901	0,815	0,730
Knickwinkel $\psi_{1-2} = \text{arc.tan.} \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$	0,697	0,238	0,144

Stütze Nr. 3Mitgeltende UnterlagenPrüfzeugnis Nr. 6100 vom 25.04.1973

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 51,0 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 43,4 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 47,2 mm
Wanddicke	$s_i$	= 3,8 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 16,0 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 15,0 mm
Lochabstand	$a$	= 80 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 15,79 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 6,19 cm <sup>3</sup>
$A$	= 5,64 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 9,02 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 3,54 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 4,42 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 5,60 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 12,15 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 63,5 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 58,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 60,9 mm
Wanddicke	$s_a$	= 2,6 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 23,1 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 7,28 cm <sup>3</sup>
$A$	= 4,97 cm <sup>2</sup>	

Systemabmessungen

			voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge	$l_i$	(cm)	156,0	84,0	12,0
Länge	$l_a$	(cm)	183,6	183,6	183,6
Gesamtlänge	$l$	(cm)	339,6	267,6	195,6
Überlappungslänge der Rohre	$l_{\ddot{u}}$	(cm)	33,3	105,3	177,3
Überlappungslänge bis Bolzen	$\bar{l}_{\ddot{u}}$	(cm)	30,3	102,3	174,3
Mittenstich der Rohre	$L/500$	(cm)	0,68	0,535	0,391
Versatz	$v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$	(cm)	0,04	0,04	0,04
Versatz	$v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$	(cm)	0,365	0,365	0,365
$e_0$	$= \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$	(cm)	0,453	0,357	0,261
$e_3$	$= \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$	(cm)	0,953	0,857	0,761
Knickwinkel	$\psi_{1-2} = \arctan. \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$		0,703	0,220	0,131

Stütze Nr. 4Mitgeltende Unterlagen

Prüfzeugnis Nr. 6100 vom 25.04.1973

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 51,0 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 43,4 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 47,2 mm
Wanddicke	$s_i$	= 3,8 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 16,0 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 15,0 mm
Lochabstand	$a$	= 80 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 15,793 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 6,793 cm <sup>3</sup>
$A$	= 5,635 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 9,020 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 3,537 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 5,596 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 4,419 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 12,745 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 63,5 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 58,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 60,9 mm
Wanddicke	$s_a$	= 2,6 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 23,103 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 7,277 cm <sup>3</sup>
$A$	= 4,974 cm <sup>2</sup>	



Systemabmessungen

		voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge	$l_i$ (cm)	191,5	103,5	15,5
Länge	$l_a$ (cm)	218,8	218,8	218,8
Gesamtlänge	$l$ (cm)	470,3	322,3	234,3
Überlappungslänge der Rohre	$l_{\ddot{u}}$ (cm)	33,3	121,3	209,3
Überlappungslänge bis Bolzen	$\bar{l}_{\ddot{u}}$ (cm)	30,3	118,3	206,3
Mittenstich der Rohre	$L/500$ (cm)	0,821	0,645	0,469
Versatz	$v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$ (cm)	0,04	0,04	0,04
Versatz	$v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$ (cm)	0,365	0,365	0,365
$e_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$	(cm)	0,547	0,430	0,312
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$	(cm)	1,047	0,930	0,812
Knickwinkel	$\psi_{1-2} = \text{arc.tan.} \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$	0,703	0,191	0,111

Stütze Nr. 5Mitgeltende Unterlagen

Prüfzeugnis Nr. 5949/5 vom 10.11.1972

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 48,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 39,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 43,8 mm
Wanddicke	$s_i$	= 4,5 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 17 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 16 mm
Lochabstand	$a$	= 140 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 15,006 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 6,214 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,192 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 7,668 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 3,775 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 4,662 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 5,282 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 12,176 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 60,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 51,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 55,8 mm
Wanddicke	$s_a$	= 4,5 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 24 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 30,902 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 10,25 cm <sup>3</sup>
$A$	= 7,889 cm <sup>2</sup>	

Systemabmessungen

		voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge $l_i$	(cm)	228,5	158,5	88,5
Länge $l_a$	(cm)	222,1	222,1	222,1
Gesamtlänge $l$	(cm)	450,6	380,6	311,4
Überlappungslänge der Rohre $l_{\ddot{u}}$	(cm)	59,7	129,7	199,7
Überlappungslänge bis Bolzen $\bar{l}_{\ddot{u}}$	(cm)	55,0	125,0	195,0
Mittenstich der Rohre $L/500$	(cm)	0,907	0,767	0,623
Versatz $v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$	(cm)	-	-	-
Versatz $v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$	(cm)	0,15	0,15	0,15
$e_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$	(cm)	0,607	0,507	0,415
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$	(cm)	1,107	1,007	0,915
Knickwinkel $\psi_{1-2} = \arctan. \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$		0,288	0,132	0,086

Stütze Nr. 6Mitgeltende UnterlagenPrüfzeugnis Nr. 6179 vom 29.08.1973

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 62,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 55,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 58,8 mm
Wanddicke	$s_i$	= 3,5 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 19 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 18 mm
Lochabstand	$a$	= 80 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 30 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 28,0 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 9,00 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,46 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 16,53 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 5,57 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 5,13 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 8,19 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 21,34 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 76,1 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 70,9 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 73,5 mm
Wanddicke	$s_a$	= 2,6 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 30 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 40,6 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 10,7 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,0 cm <sup>2</sup>	

Systemabmessungen

	voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge $l_i$ (cm)	187,5	99,5	11,5
Länge $l_a$ (cm)	222,8	222,8	222,8
Gesamtlänge $l$ (cm)	410,3	322,3	234,3
Überlappungslänge der Rohre $l_{\ddot{u}}$ (cm)	-	-	-
Überlappungslänge bis Bolzen $\bar{l}_{\ddot{u}}$ (cm)	38,3	126,3	214,3
Mittenstich der Rohre $L/500$ (cm)	0,82	0,65	0,47
Versatz $v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$ (cm)	-	-	-
Versatz $v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$ (cm)	0,13	0,13	0,13
$e_o = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$ (cm)	-	-	-
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$ (cm)	-	-	-
Knickwinkel $\psi_{1-2} = \arctan. \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$	-	-	-

Stütze Nr. 7Mitgeltende UnterlagenPrüfzeugnis Nr. 6179 vom 29.08.1973

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 62,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 55,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 58,8 mm
Wanddicke	$s_i$	= 3,5 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 19 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 18 mm
Lochabstand	$a$	= 80 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 30 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 28,000 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 9,00 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,46 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 16,53 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 5,57 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 5,73 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 8,19 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 21,34 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 76,1 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 70,9 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 73,5 mm
Wanddicke	$s_a$	= 2,6 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 30 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 40,6 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 10,7 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,0 cm <sup>2</sup>	

Systemabmessungen

		voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge $l_i$	(cm)	228,0	116,0	12,0
Länge $l_a$	(cm)	262,8	262,8	262,8
Gesamtlänge $l$	(cm)	490,8	378,8	274,8
Überlappungslänge der Rohre $l_{\ddot{u}}$	(cm)	38,3	150,3	254,3
Überlappungslänge bis Bolzen $\bar{l}_{\ddot{u}}$	(cm)	-	-	-
Mittenstich der Rohre $L/500$	(cm)	0,982	0,758	0,550
Versatz $v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$	(cm)	0,12	0,12	0,12
Versatz $v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$	(cm)	0,43	0,43	0,43
$e_o = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$	(cm)	0,654	0,505	0,366
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$	(cm)	1,154	1,005	0,866
Knickwinkel $\psi_{1-2} = \text{arc.tan.} \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$		0,763	0,210	0,124

Stütze Nr. 8Mitgeltende UnterlagenPrüfzeugnis Nr. 6179 vom 29.08.1973

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, TU Karlsruhe

Geometrie der StützeQuerschnittswerte und WiderständeInnenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,i}$	= 62,3 mm
Innendurchmesser	$d_{i,i}$	= 55,3 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,i}$	= 58,8 mm
Wanddicke	$s_i$	= 3,5 mm
Lochdurchmesser	$d_{L,i}$	= 19 mm
Bolzendurchmesser	$d_B$	= 18 mm
Lochabstand	$a$	= 80 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 30 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 28,000 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 9,00 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,46 cm <sup>2</sup>	
$I_{\text{netto}}$	= 16,53 cm <sup>4</sup>	( $W_{\text{netto}}$ = 5,57 cm <sup>3</sup> )
$A_{\text{netto}}$	= 5,13 cm <sup>2</sup>	$W_{n,\text{plast.}}$ = 8,19 cm <sup>3</sup>
$I_{\text{eff.}}$	= $\frac{I}{1 + 2 \cdot \frac{d_{L,i}}{a} \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right)}$	= 21,34 cm <sup>4</sup>

Außenrohr

Außendurchmesser	$d_{a,a}$	= 76,1 mm
Innendurchmesser	$d_{i,a}$	= 70,9 mm
Mittlerer Durchmesser	$d_{m,a}$	= 73,5 mm
Wanddicke	$s_a$	= 2,6 mm
Garantierte Streckgrenze	$\beta_s$	= 30 kN/cm <sup>2</sup>
$I$	= 40,6 cm <sup>4</sup> ;	$W$ = 10,7 cm <sup>3</sup>
$A$	= 6,0 cm <sup>2</sup>	



Systemabmessungen

	voll ausgezog.	halb ausgezog.	eingesch.
Länge $l_i$ (cm)	253,5	125,5	5,5
Länge $l_a$ (cm)	296,8	296,8	296,8
Gesamtlänge I (cm)	550,3	422,3	310,3
Überlappungslänge der Rohre $l_{\ddot{u}}$ (cm)	46,3	174,3	286,3
Überlappungslänge bis Bolzen $\bar{l}_{\ddot{u}}$ (cm)	—	—	—
Mittenstich der Rohre L/500 (cm)	1,707	0,845	0,605
Versatz $v_1 = \frac{D_{ai} - D_{iaa}}{2}$ (cm)	0,12	0,12	0,12
Versatz $v_2 = \frac{D_{ai} - D_{ia}}{2}$ (cm)	0,43	0,43	0,43
$e_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500}$ (cm)	0,734	0,563	0,403
$e_3 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{500} + 0,5$ (cm)	1,234	1,063	0,903
Knickwinkel $\psi_{1-2} = \text{arc.tan.} \frac{v_1 + v_2}{l_{\ddot{u}}}$	0,639	0,178	0,107

## 3. Ergebnisse der Berechnung

## 3.1 Zusammenstellung der rechnerischen Grenzlasten für alle untersuchten Stützen

Nr.	Stützenlänge (cm)			Rechnerische Grenzlasten der Stützen					
				Fußlagerung gelenkig			Fußlagerung eingespannt		
	a	h	e	a	h	e	a	h	e
1	260,50	210,50	160,50	32,57	44,66	50,27	50,27	55,84	58,66
2	300,30	236,30	172,30	29,64	45,65	67,19	50,16	60,47	67,25
3	339,60	267,60	195,60	24,30	38,93	65,05	43,24	54,52	65,56
4	410,30	322,30	234,30	17,27	29,61	61,79	31,90	43,77	63,02
5	450,60	380,60	311,40	14,41	20,25	30,27	28,01	34,53	39,01
	<u>G-Stützen</u>								
6	410,80	322,80	234,80	30,37	52,26	80,98	55,13	74,86	81,69
7	490,80	378,80	274,80	22,12	40,82	77,76	41,33	59,97	78,42
8	550,30	422,30	302,30	18,00	34,60	74,49	33,71	50,52	75,41

Anmerkung: Die Fuß einspannung bringt eine deutliche Erhöhung der rechn. Grenzlast für die ausgezogene Stütze. Sie bleibt praktisch wirkungslos für die eingeschobene Stütze

Um zulässige Lasten zu erhalten sind die rechnerischen Grenzlaster mit dem Faktor  $1/1,71$  zu multiplizieren. Für den direkten Vergleich mit den zulässigen Lasten der DIN 4421, Traggerüstgruppen II und III sind die folgenden Formelausdrücke zu verwenden:

N-Stützen 1 ÷ 5

$$\text{zul } F_S = 1,5 \cdot \frac{30 \cdot L}{l^2}$$

G-Stützen 6 ÷ 8

$$\text{zul } F_S = 1,5 \cdot \frac{45 \cdot L}{l^2}$$

Die entsprechenden Vergleiche werden in graphischer Form in Abschnitt 7.3 des Forschungsberichtes wiedergegeben.

### 3.2 Lastverformungsverhalten der einzelnen Stützen

Das einheitlich unterschiedliche Tragverhalten der Stützen wird bei

- ausgezogenem
  - teileingeschobenem
  - eingeschobenem
- } Zustand

dokumentiert.

Es zeigt sich, daß bei allen Stützentypen in ausgezogenem Zustand die rechnerische Grenzlast in der Nähe der Verzweigungslast des Druckstabes liegt, so daß sowohl entlastende als auch belastende Exzentrizitäten der Fußauflagerung ohne Einfluß auf die Traglast bleiben.

Die entsprechenden Lastverformungsbeziehungen werden mit Erläuterungen in Abschnitt 7.3 des Forschungsberichtes wiedergegeben.

ANLAGE 4

ZUM SCHLUSSBERICHT

"STANDSICHERHEITSNACHWEIS FÜR BAUSTÜTZEN"

EXEMPLARISCHER STANDSICHERHEITSNACHWEIS

FÜR DIE

HÜNNEBECK BAUSTÜTZE AS 410-S

MIT RECHENANNAHMEN DIE FÜR EINE NORMUNG

VORGESCHLAGEN WERDEN

## 1. Technische Beschreibung - Vorbemerkungen

### 1.1 Grundsätzliche Überlegungen

Zu ermitteln ist die rechnerische Grenzlast der

#### Hünnebeck Baustütze AS 410 S

unter baupraktischen Einsatzbedingungen bei planmäßig in Stützenachse wirkender Druckbelastung.

Es wird vorausgesetzt, daß die Stütze im baupraktischen Einsatz Schalungen zu tragen hat, die durch gekreuzte Trägerlagen (Kantholzlagen) ausgesteift werden. Die Stützen werden planmäßig mittig unter den Trägern angeordnet. Als unvermeidbare Ausmitte der Lastübertragung von Trägerlage zu Stütze wird eine Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf der Stütze von  $e_o = 5 \text{ mm}$  berücksichtigt.

Die Fußauflagerung der Stütze soll auf planmäßig ebenen Betonflächen erfolgen. Die unvermeidbare Unebenheit der Aufstandfläche wird abgedeckt durch den Relativdrehwinkel von  $\psi_o = 0,03 \text{ rad}$  zwischen Stützenfuß und Gründungsebene der als Lose bis zum vollflächigen Aufliegen des Stützen-

fußes eingeführt wird. Bis zum Über-

winden dieser Lose wird am Fuß eine

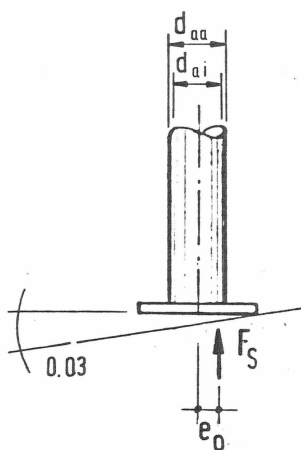
Lasteinleitungsexzentrizität von  $e_o = \frac{1}{2} \cdot d_{a,m}$  angesetzt. Übersteigt

der rechnerische Endverdrehungswinkel den Wert  $\psi_o = 0,03$ , so nähert

sich die Lasteinleitungsexzentrizität dem Wert  $\bar{e}_o = 0$ . Anschließend

wird infolge Überdrückung eine elastische Fuß einspannung wirksam, die als

drehfedernde Einspannung mit einer



Drehfedersteifigkeit  $C_\psi \geq 2000 \text{ kNm/rad}$  angesetzt wird.

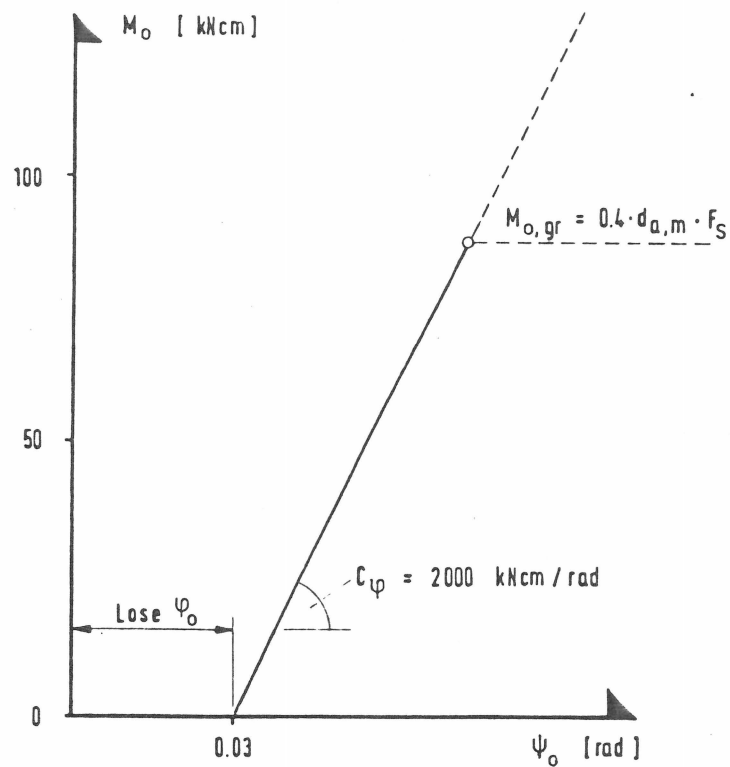
Als obere Grenzbetrachtung wird eine starre Einspannung angesetzt, die nach Überwindung einer Lose von  $\psi_o = 0,03$  wirksam wird.

Alternativ kann eine am Fuß starr eingespannte Stütze untersucht werden, die eine Zwangsverdrehung zu erleiden hat.

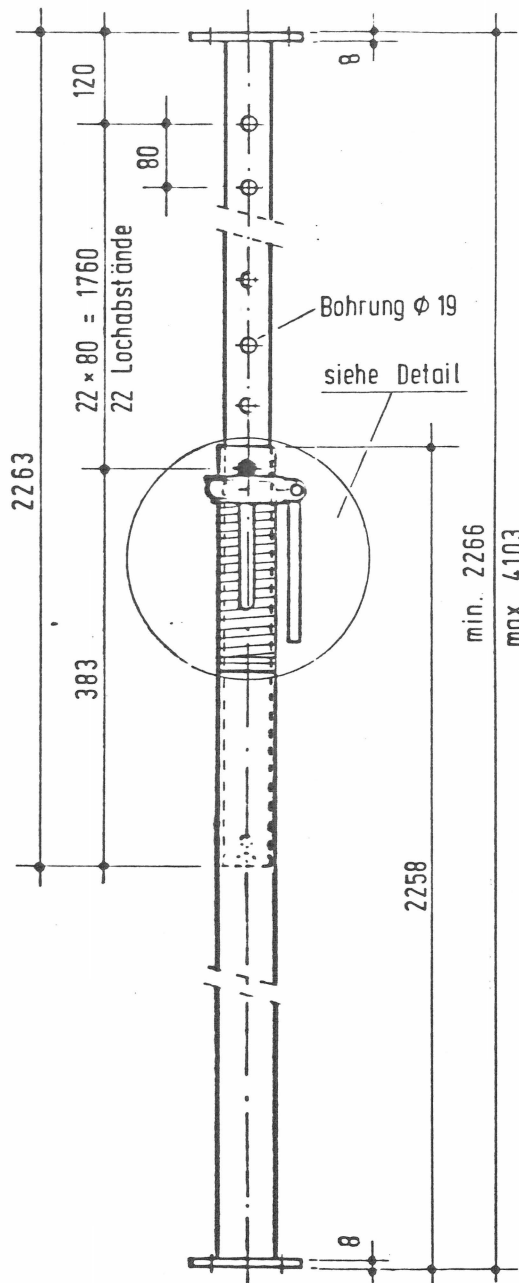
Der unvermeidbare Mittenstich von  $L/500$  wird ungünstigst der Lasteinleitungsexzentrizität am Kopf und Fuß zugeschlagen.

Das mit dieser elastischen Fuß einspannung übertragene Moment wird auf  $M_{o,gr} = 0,4 \cdot d_{a,m} \cdot F_s$  begrenzt.

Die Lastverformungsbedingung für die Fußauflagerung ist im nachfolgenden Diagramm beschrieben:



## 1.2 Geometrie der Stütze und Querschnittswerte



Innenrohr  $\emptyset$  62,3 x 3,5, St 37 \*

$$d_{a,i} = 62,3 \text{ mm}$$

$$\bar{d}_{a,i} = 68,5 \text{ mm}$$

$$I = 28,03 \text{ cm}^4$$

$$A = 6,46 \text{ cm}^2$$

$$W = 9,0 \text{ cm}^3$$

Infolge

$$d_L = 19 \text{ mm}$$

$$a_L = 80 \text{ mm}$$

$$I_n = 16,3 \text{ cm}^4$$

$$A_n = 5,13 \text{ cm}^2$$

$$W_{n,pl} = 8,19 \text{ cm}^3$$

$$I_{eff} = 20,89 \text{ cm}^4$$

Außenrohr  $\emptyset$  76,1 x 2,6, St 37\*

$$d_{a,a} = 76,1 \text{ mm}$$

$$d_{i,a} = 70,9 \text{ mm}$$

$$\bar{d}_{i,a} = 64,9 \text{ mm}$$

$$I = 40,6 \text{ cm}^4$$

$$A = 6,0 \text{ cm}^2$$

$$W = 10,7 \text{ cm}^3$$

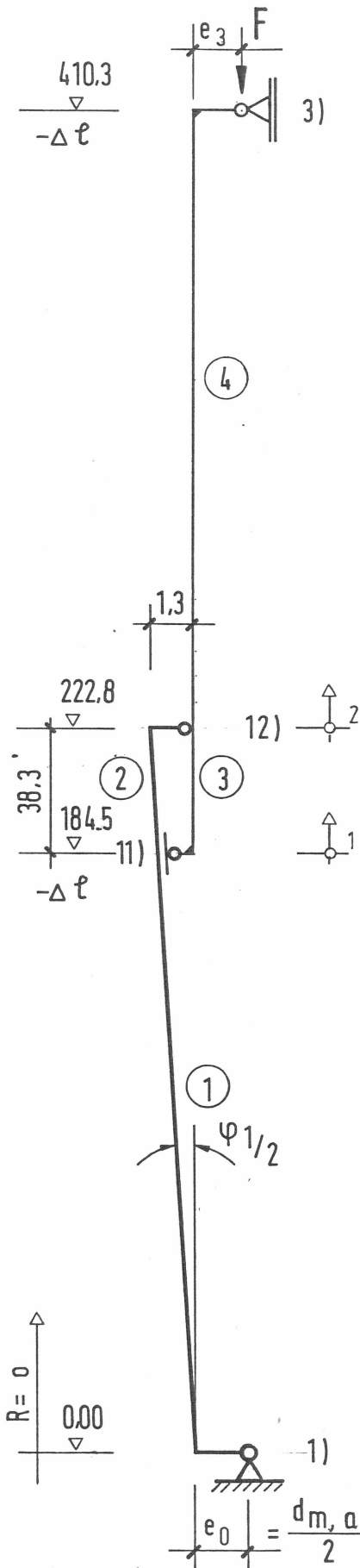
\* garantierte Streckgrenze  $\beta_s = 30 \text{ kN/cm}^2$



Tabelle: Von der Einschublänge abhängige Größen

$f_{\ddot{u}}$ Überdeckungs- länge	L Gesamt- länge	$L/500$	untere Lastein- u leitungsexzentr.	$f_{1/2}$ Knickwinkel	$L_1$ Länge Stab 1	$L_{21}$ Länge Stab 2 ohne Gewinde	$L_{22}$ Länge des Gew.	$L_3 \cong f_{\ddot{u}}$	$L_{41}$ Länge Stab 4 geleuchtet	$L_{42}$ Rasterlänge Stab 4 ungel.	$l_0$ ober Last- einleitungsexz.	$L_{41} + L_{42} + e_0$
38,3	410,3	0,82	4,49	0,37°	184,5	17,3	21	38,3	80	108	1,32	189,32
78,3	370,3	0,74	4,42	0,18°	144,5	57,3	21	78,3	80	68	1,24	149,24
126,3	322,3	0,64	4,32	0,11°	96,5	105,3	21	126,3	80	20	1,14	101,14
206,3	242,3	0,48	4,16	0,07°	16,5	185,3	21	206,3	8	12	0,98	20,98

2. Systemabmessungen des Rechenmodells (cm)



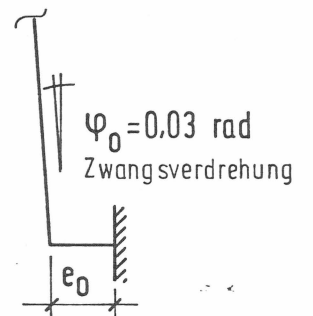
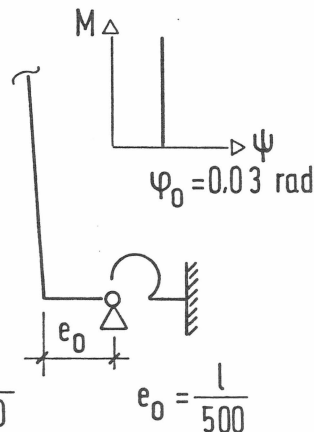
$$e_3 = 0.5 + \frac{l}{500}$$

Schiefstellungen und Versätze:

$$v_2 = \frac{64.9 - 62.3}{2} = 1.3 \text{ mm}$$

$$v_1 = \frac{70.9 - 68.5}{2} = 1.2 \text{ mm}$$

$$\tan \varphi_{1/2} = \frac{1.3 + 1.2}{383 + \Delta l}$$



### 3. EDV-Berechnung zur Ermittlung der Verformungen, Schnittgrößen und Beanspruchungen sowie der elastischen Grenzlasten

Die Berechnung erfolgt mit einem allgemeinen Stabwerksprogramm (ELAS) nach Theorie II.O. Obwohl entsprechend Abschnitt 5.1 des Forschungsberichts mit  $A_n$  und  $W_{n,plastisch}$  im Lochbereich des Innenrohres als Widerstandswerte eingeführt wird, wurden keine Zusatzverformungen infolge fortschreitender Plastifizierung des Querschnitts berücksichtigt. Dies erscheint gerechtfertigt zu sein, da

- Plastizierungen nur örtlich eng begrenzt auftreten
- Mit einer linearen Interaktion von  $M_{pl}/N_{pl}$  gerechnet wird, so daß die plastischen Reserven des Querschnitts nicht voll ausgenutzt werden.

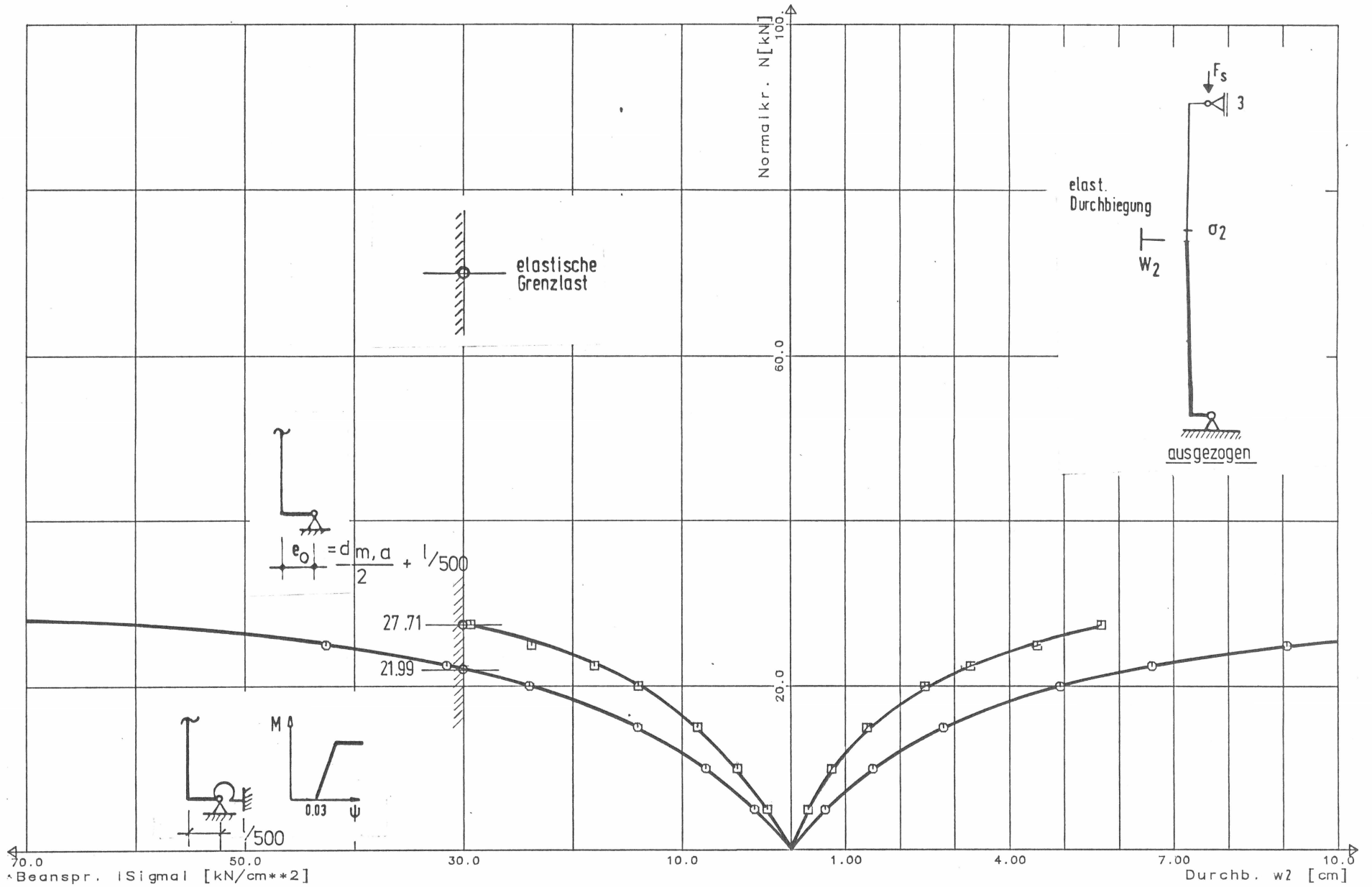
- Die Ergebnisse der Berechnung werden lediglich graphisch dokumentiert. Auf eine Wiedergabe der EDV-Ausdrucke wird verzichtet.

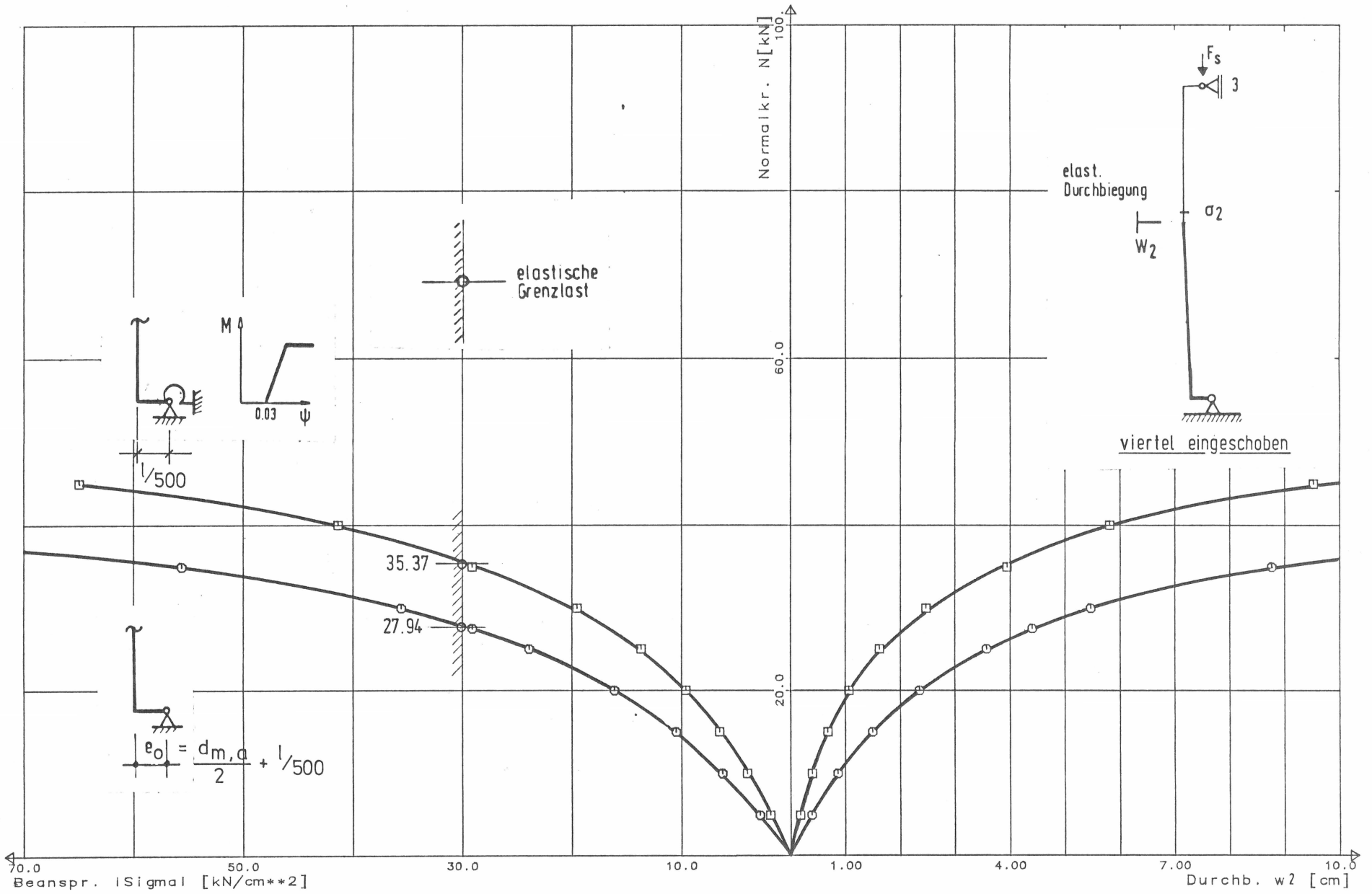
#### 3.1 Stützen am Fuß mit drehfedernder Einspannung und Lose $\psi_0 = 0,03 \text{ rad}$

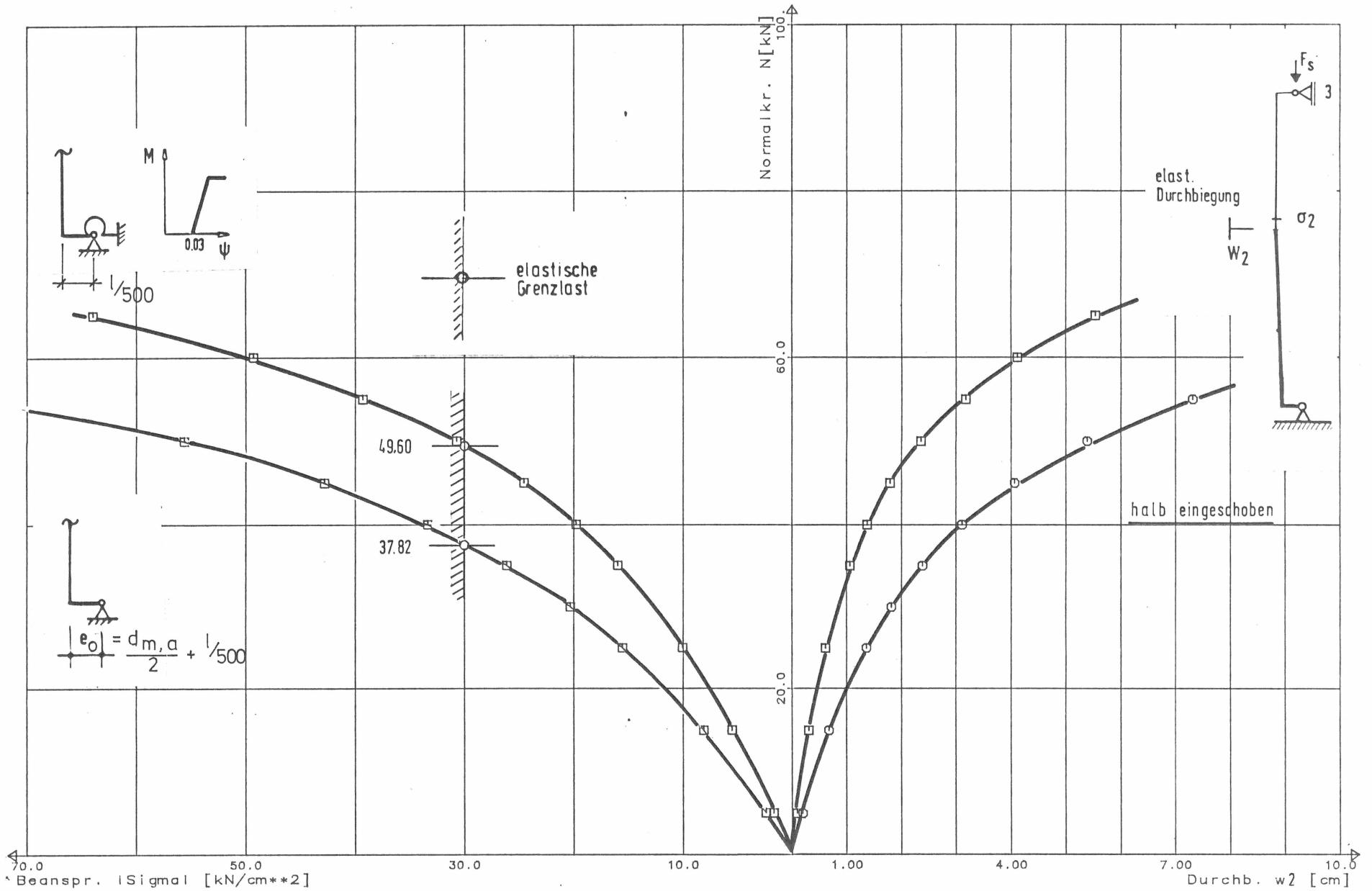
Mit dem angewendeten Rechenprogramm kann die Lastverformungsbeziehung für den Fußbereich vorgegeben werden, so daß nach Überwindung der Lose von  $\psi_0 = 0,03 \text{ rad}$  bei zunehmender Normalkraft die Verformungen mit einer Steigung entsprechend der Drehfeder  $C_\varphi = 2000 \text{ kNcm/rad}$  zunehmen. Es wird ein System veränderlicher Gliederung untersucht. Wenn die Lose nicht überwunden werden kann, wird mit dem gelenkig exzentrisch gelagerten Fuß gerechnet. In den nachfolgenden Diagrammen werden die Durchbiegungen der Stütze und die Beanspruchungen im 1. Loch oberhalb des Bolzens (mit  $A_n$  und  $W_{n,plastisch}$  errechnet) aufgetragen.

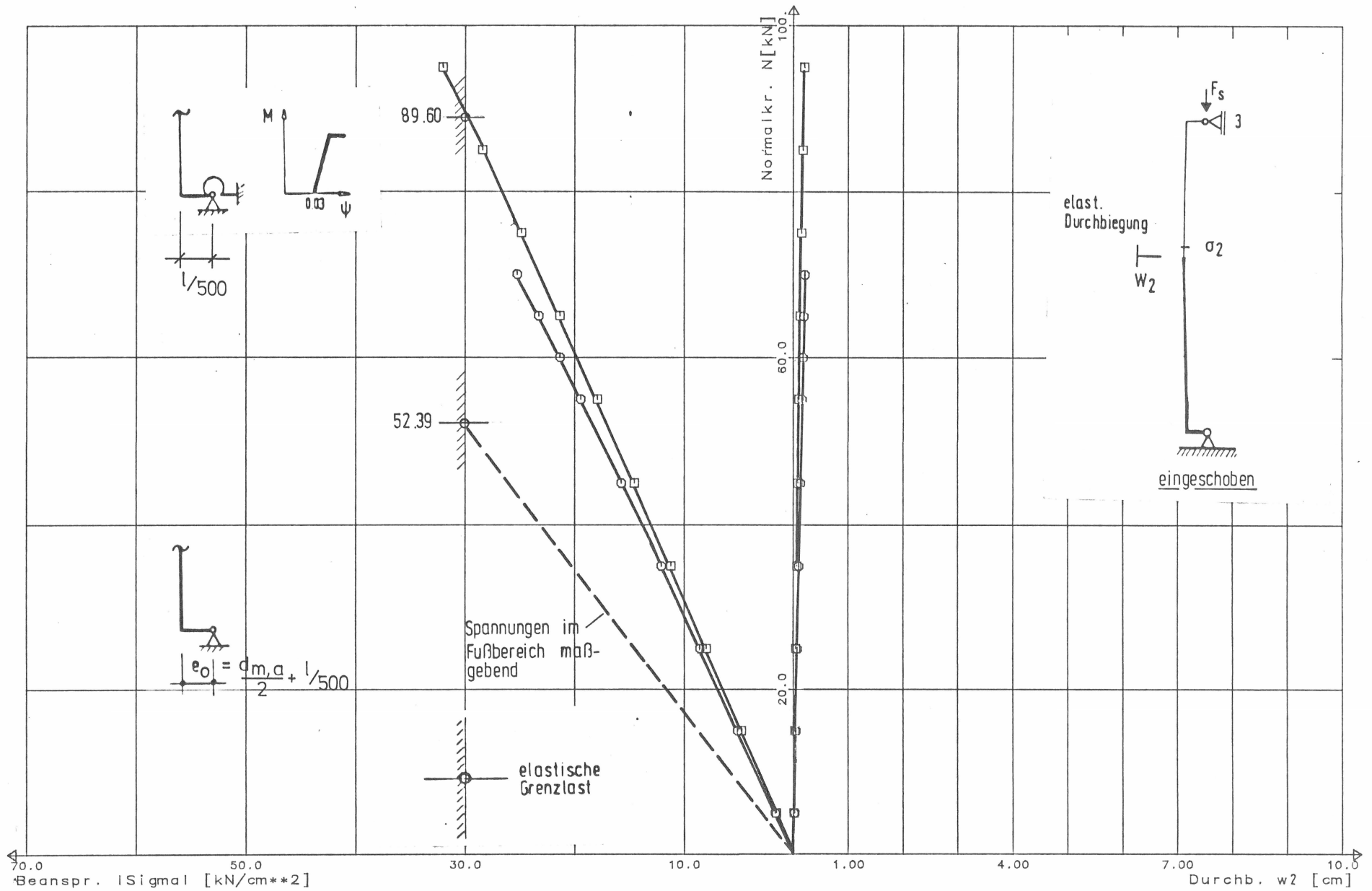
Man erkennt, daß die beiden Systeme unterschiedliche Grenzlasten erreichen. Wird  $\psi_0 = 0,03$  rad überwunden, so gelten die höheren Grenzlasten. Diese Kontrolle wird anhand der  $M/N/\psi$ -Beziehung für die Fußauflagerung durchgeführt. Diese Darstellung befindet sich auf Bildern 38 u.39 in Abschnitt 7.4 des Forschungsberichtes

NORMALKRAFT/DURCHBIEGUNG/BEANSPRUCHUNG AS410-S





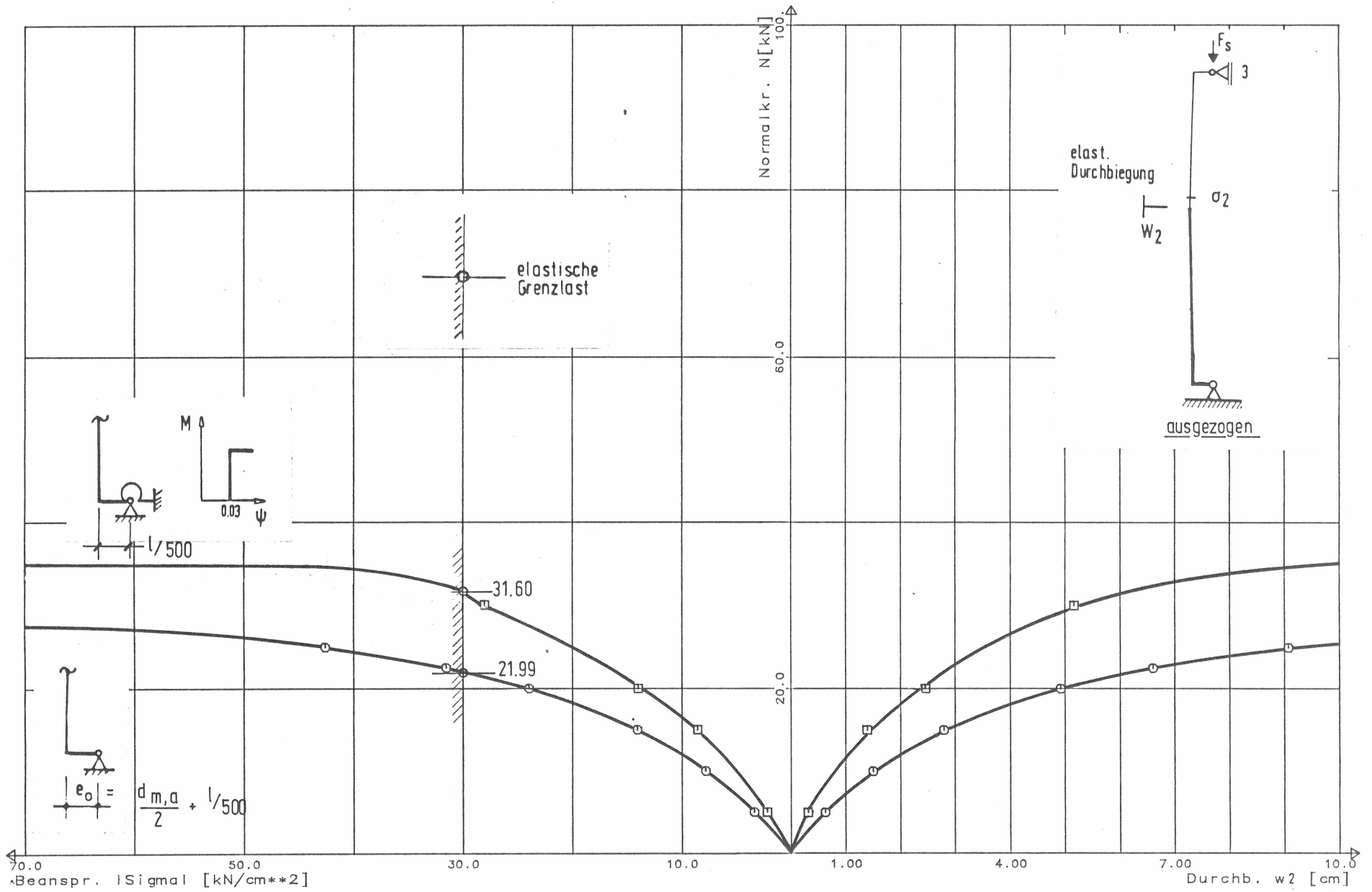


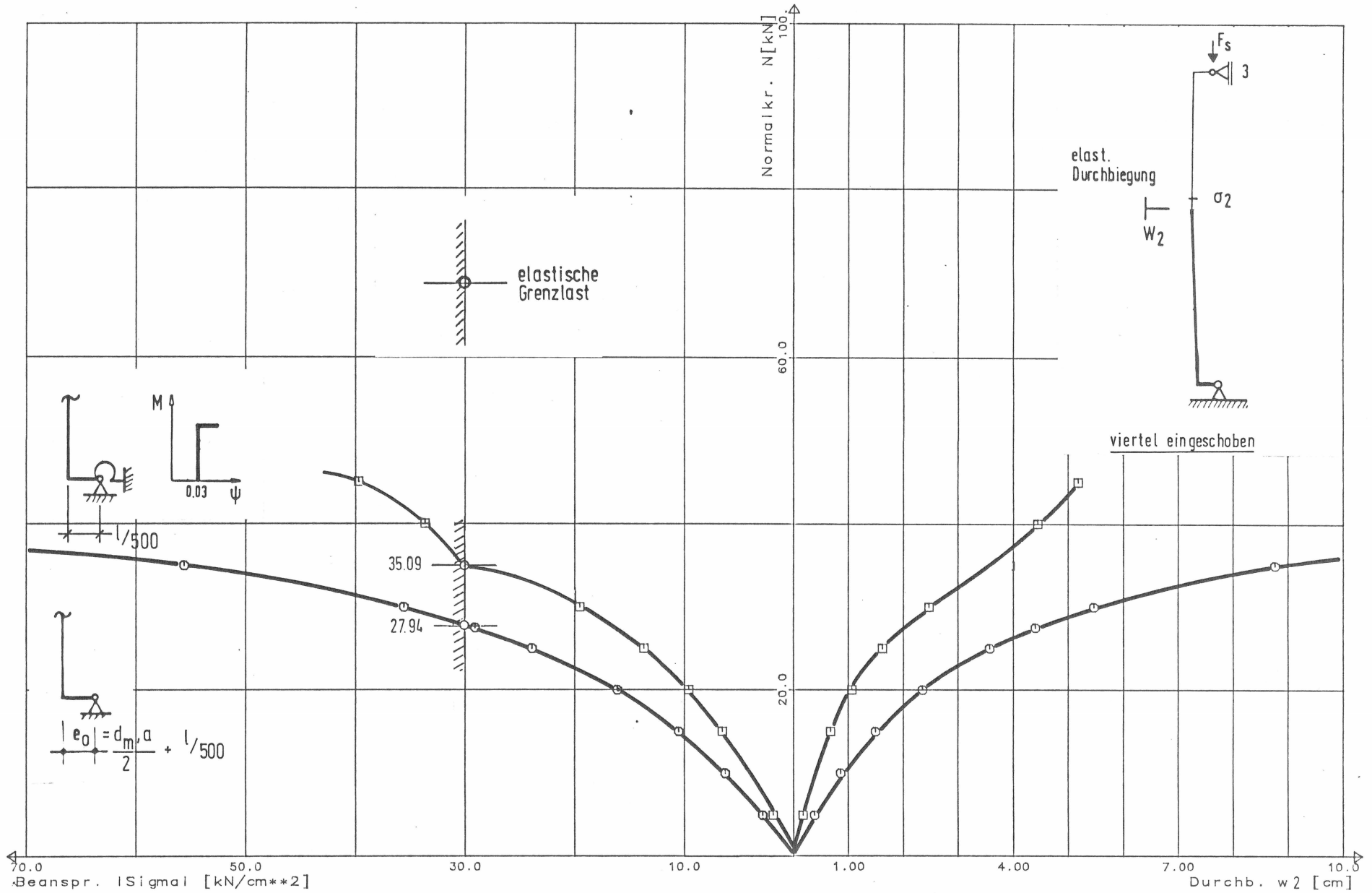


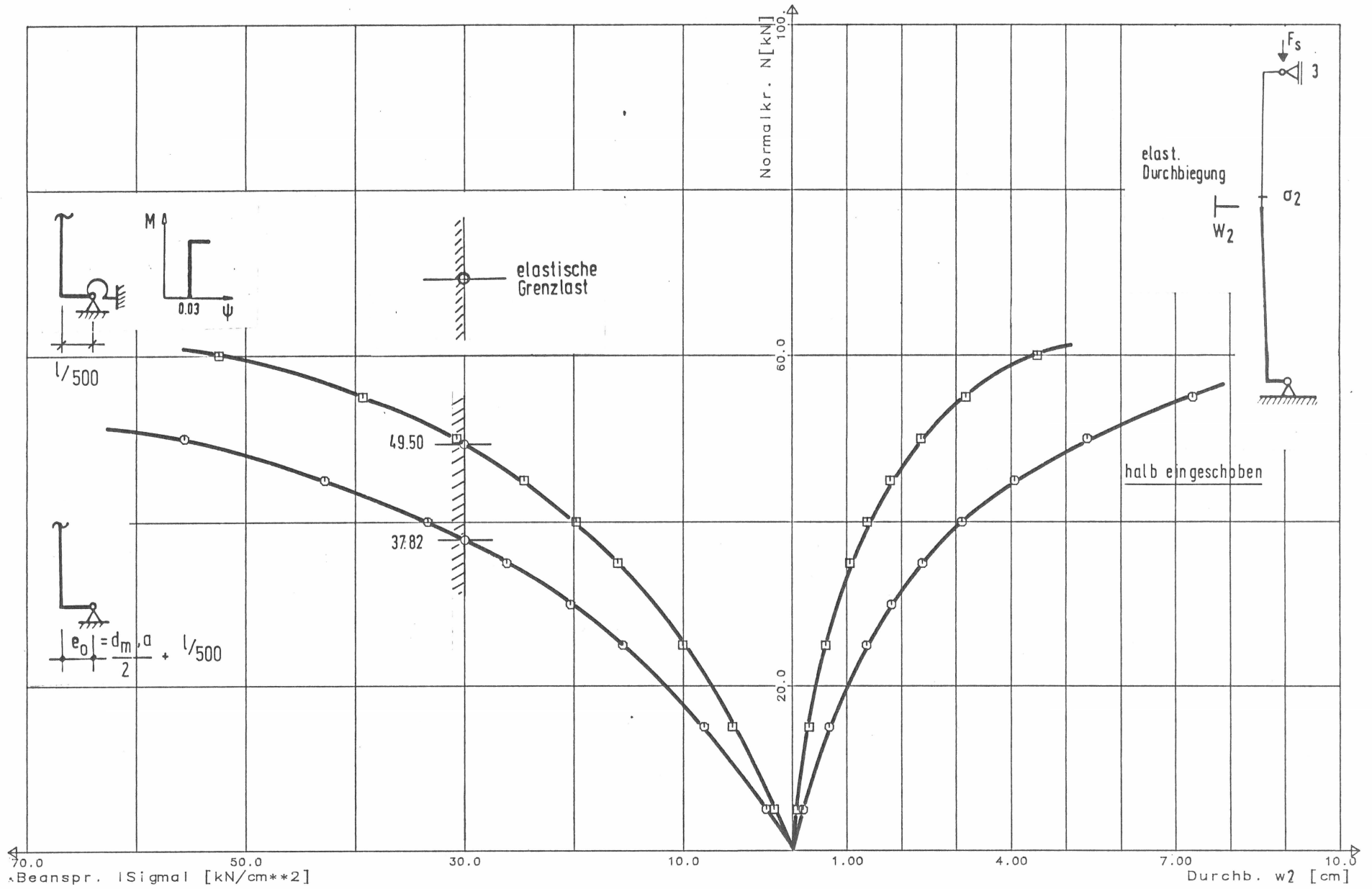


### 3.2 Stütze am Fuß mit starrer Einspannung und Lose $\psi_0 = 0,03$ rad

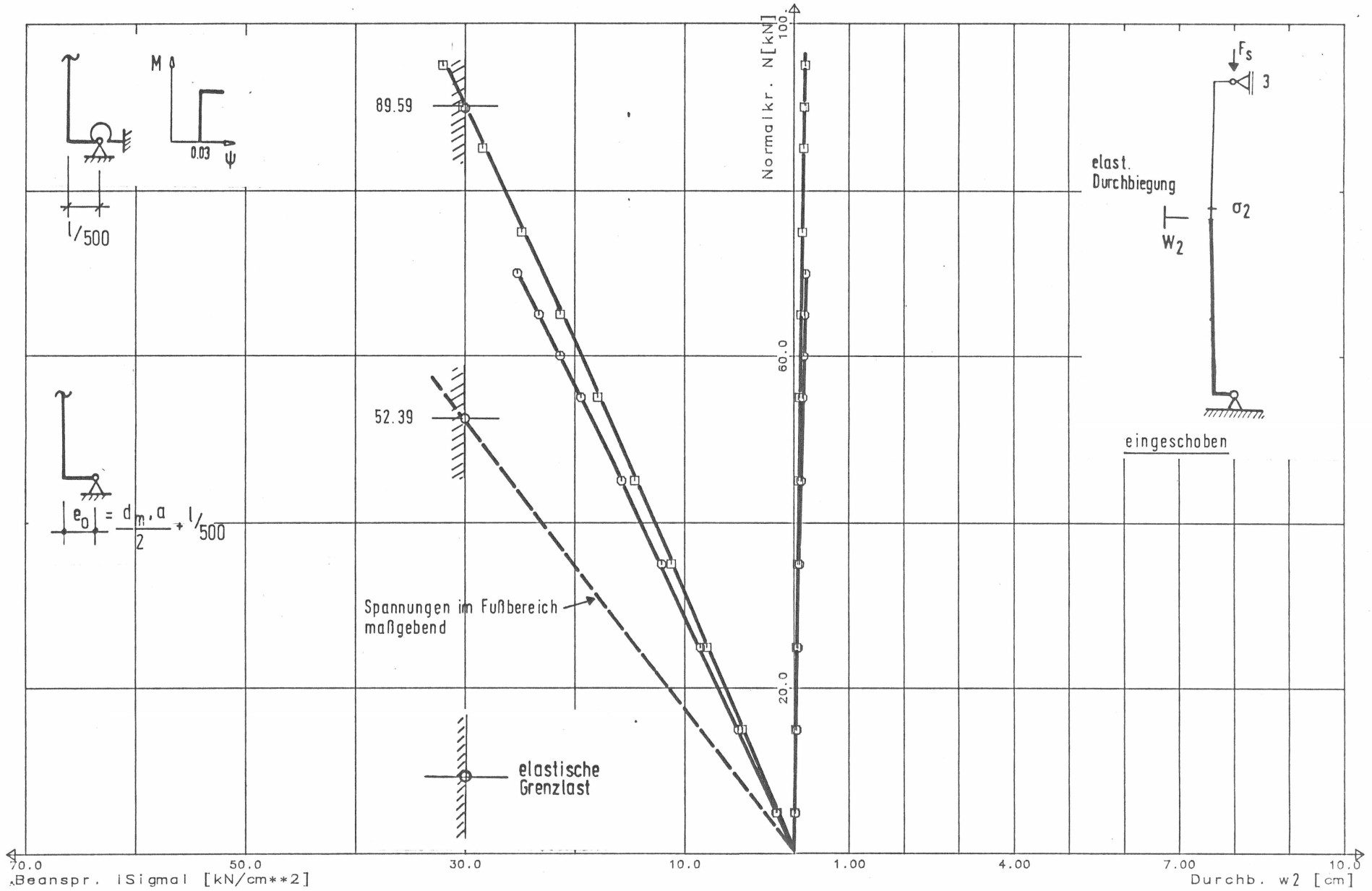
Hierbei wird grundsätzlich vorgegangen wie unter 3.1.  
Nachfolgend die entsprechenden Diagramme







NORMALKRAFT/DURCHBIEGUNG/BEANSPRUCHUNG AS410-S



### 3.3 Stütze mit starrer Einspannung am Fuß und Zwangsverdrehung

$$\psi_0 = \underline{0,03 \text{ rad}}$$

Diese Berechnung ist als gleichwertig mit Abschnitt 3.2 anzusehen. Sie wird durchgeführt um aufzuzeigen, daß das vorgeschlagene Rechenverfahren auch durchführbar ist, wenn das verwendete EDV-Programm es nicht ermöglicht, ein System veränderlicher Gliederung nachzufahren.

Außerdem kann mit dieser Berechnung deutlich gemacht werden, daß die Auswirkungen einer Zwangsverdrehung mit zunehmender Stützenlänge und steigender Last abgebaut werden.

ANLAGE 5

ZUM SCHLUSSBERICHT

"STANDSICHERHEITSNACHWEIS FÜR BAUSTÜTZEN"

VERSUCHSBERICHT ÜBER BAUTEILVERSUCHE MIT  
VERBINDUNGSTÜCKEN VON BAUSTÜTZEN UNTER-  
SCHIEDLICHER GRÖSSE UND VERSCHIEDENER BAU-  
ART

BERICHT NR. 802283

EXEMPLARISCHE VERSUCHE ZUR ÜBERPRÜ-  
FUNG DES TRAGVERHALTENS VON BAU-  
STÜTZEN MIT BOLZENVERBINDUNG

BERATENDE INGENIEURE  
SIGMA KARLSRUHE



ENTWURF UND BERECHNUNG  
ENTWICKLUNG UND ERPROBUNG  
VON BAUKONSTRUKTIONEN

DIPL.-ING. GERALD AST

BERATENDER INGENIEUR VBI



## 1. Vorbemerkungen

Mit diesen Versuchen soll das Tragverhalten der Verbindungskonstruktion des Innenrohrs zum Außenrohr von Baustützen aus Stahl mit Ausziehvorrichtung exemplarisch untersucht werden. Die Auswahl der Probekörper erfolgte unter dem Gesichtspunkt, daß ein Vergleich der beiden grundsätzlich unterschiedlichen Bauarten:

- offenes (Außen-) Gewinde
- verdecktes (Innen-) Gewinde

möglich wird.

## 2. Technische Beschreibung der Versuchskörper

Es wurden 8 Versuche mit 4 unterschiedlichen Stützen durchgeführt (siehe untenstehende Tabelle 1).

Tabelle 1: Zusammenstellung der durchgeführten Versuche

Versuchs-Nr. 8o22...	Hersteller	Bez.	∅ Außen- rohr (mm)	Wand- stärke Außenr. (mm)	∅ Innen- rohr (mm)	Wand- stärke Innenr. (mm)	∅ Bolzen (mm)	Gewinde- art
JV1	Ischebeck	Gr.2	57	2,6	48,3	4,0	13,0	verdeckt
JV2	"	Gr.2	57	2,6	48,3	4,0	13,0	"
JV3	"	Gr.4	70	2,9	60,3	3,2	15,0	"
JV4	"	Gr.4	70	2,9	60,3	3,2	15,0	"
PV1	Peri	N	63,5	3,2	51,0	3,8	16,0	offen
PV2	"	N	63,5	3,2	51,0	3,8	16,0	"
PV3	"	G	76,1	3,2	62,3	4,0	18,0	"
PV4	"	G	76,1	3,1	62,3	4,0	18,0	"

### 3. Versuchsordnung

#### 3.0 Ziel der Versuche

Die Versuchsordnung wurde so angelegt, daß Aussagen zu den nachfolgenden Fragen zum Tragverhalten im Übergangsbereich Innen- zu Außenrohr erhalten werden.

- Wie groß ist die übertragbare Normalkraft bei gleichzeitig wirkender Biegebeanspruchung?
- Was sind die Versagensursachen?

Der Beginn des Versagens sollte beobachtet werden können als

- überproportionale Zunahme der Stauchung
- überproportionale Zunahme der Endtangentialverdrehung der Prüfkörper

#### 3.1 Belastungsvorrichtung und Kraftmessung

Die Belastungsvorrichtung ist in Anlage 5 dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus 2 parallelgeführten Querhäuptern, die sich gegeneinander frei verdrehen können. Die Last wird über 3 zur Versuchsachse parallel stehende Kolben aufgebracht. D.h. die Lasteinleitung erfolgt immer richtungstreu.

Die aufgebrachte Versuchslast wird aus der Summe der drei Kraftmeßdosen (Wägezellen) ermittelt, die sich zwischen Belastungsplatte und oberem Querhaupt befinden.

### 3.2 Meßvorrichtung zur Wegmessung

Die Relativverschiebungen von oberer zu unterer Belastungsplatte wurden mit Hilfe dreier Wegaufnehmer gemessen. Die Anordnung der Wegaufnehmer ist Anlage 6 zu entnehmen.

## 4. Versuchsdurchführung

Über eine verstellbare Zentriervorrichtung, die an der oberen und unteren Belastungsplatte angebracht ist, wurde eine planmäßige Exzentrizität in z-Richtung von  $e_z = 25$  mm eingestellt.

Die Stützen wurden so in die Prüfmaschine eingebaut, daß die Bolzenachse orthogonal zur Achse des angreifenden Biegemoments stand, und zwar so, daß sich die abgebogene Schlaufe des Bolzens auf der Biegedruckseite befand.

Die Belastung der Versuchskörper erfolgte bei den Versuchen JV1 und JV2 sowie bei den Versuchen PV1 und PV2 in Laststufen von jeweils 10 kN, während sie bei den Versuchen JV3, JV4 und PV3, PV4 in 15 kN Laststufen erfolgte.

Nach Erreichen jeder Laststufe erfolgte eine Ablesung sämtlicher Meßstellen (Wägezellen, Wegaufnehmer) mit dem Meßwert-erfassungssystem UPH 3200 der Firma HBM. Die Ansteuerung des Meßwert-erfassungssystems sowie die Auswertung und Speicherung der Meßdaten auf Magnetplatte erfolgte mittels einer elektronischen Rechenanlage unter dem Programmsystem SIVAS.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Lastverformungsbeziehungen

Für jeden Versuche wurde die Sehnenverkürzung sowie die Verdrehung der Endtangente in Abhängigkeit von der Versuchslast ermittelt.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in den graphischen Lastverformungsbeziehungen der Anlagen 8 - 15.

Eine tabellarische Zusammenstellung der graphisch dargestellten Ergebnisse befindet sich in Anlageblock 32 als EDV-Ausdrucke des Programmes SIVAS.

Außerdem werden dort die Erläuterungen und Formeln zur Auswertung wiedergegeben.

## 5.2 Fotografische Dokumentation des Lastverformungsverhaltens

Bei je einem Typ der verschiedenen Prüfkörper wurde bei jeder 2. Laststufe eine Fotografie des Anschlußbereichs gemacht.

Außerdem wurde jeder Probekörper nach Erreichen der Höchstlast fotografiert.

Die Fotos befinden sich in den Anlagen 16 - 28.

Die Bilder 39 - 44 der Anlagen 29 - 31 zeigen Details der Probekörper nach dem Ausbau aus der Belastungsvorrichtung.

## 5.3 Versagensursachen

Eine Zusammenstellung der Versagensursachen ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Außerdem enthält diese Tabelle eine Zusammenstellung der erreichten Höchstlasten.

Die Höchstlasten sind die maximal von den Probekörpern aufgenommenen Lasten, die unmittelbar vor dem Bruch bzw. Versagen der Probekörper abgelesen wurden. Eine Abspeicherung dieser Höchstlasten war in den Fällen nicht möglich, bei denen ein Bruch mit raschem Abfall der Last erfolgte.

Tabelle 2 s. S. 5

Tabelle 2 : Versagensarten, Höchstlasten

Versuch Nr.	Versagensart	Höchstlast (kN)
JV1	Ausknicken des Innenrohres	96,0
JV2	Ausknicken des Innenrohres	93,4
JV3	Ausreißen des Bolzeneinsteckloches	98,4
JV4	Ausreißen des Bolzeneinsteckloches sehr starke Verformungen des Bolzens	102,0
PV1	Aufplatzen des Verstellringes	87,0
PV2	Aufplatzen des Verstellringes	92,1
PV3	Starke Verbiegung des Bolzens Aufweiten des Verstellringes	119,0
PV4	Starke Verbiegung des Bolzens Aufweitung des Verstellringes	119,0

Karlsruhe, den 23.11.1983



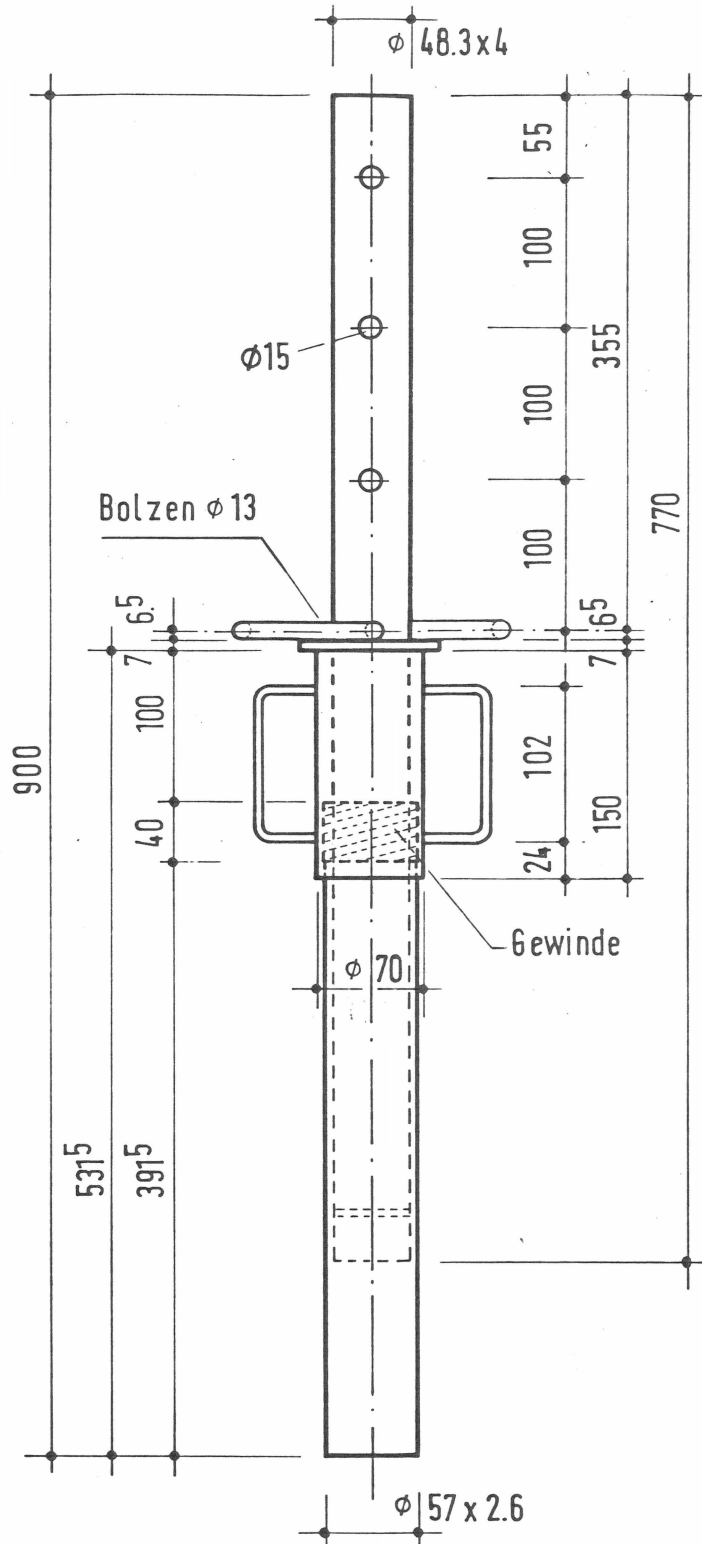


Bild 1 : ISCHEBECK Stütze Gr. 2 ( Versuch IV 1, IV 2)

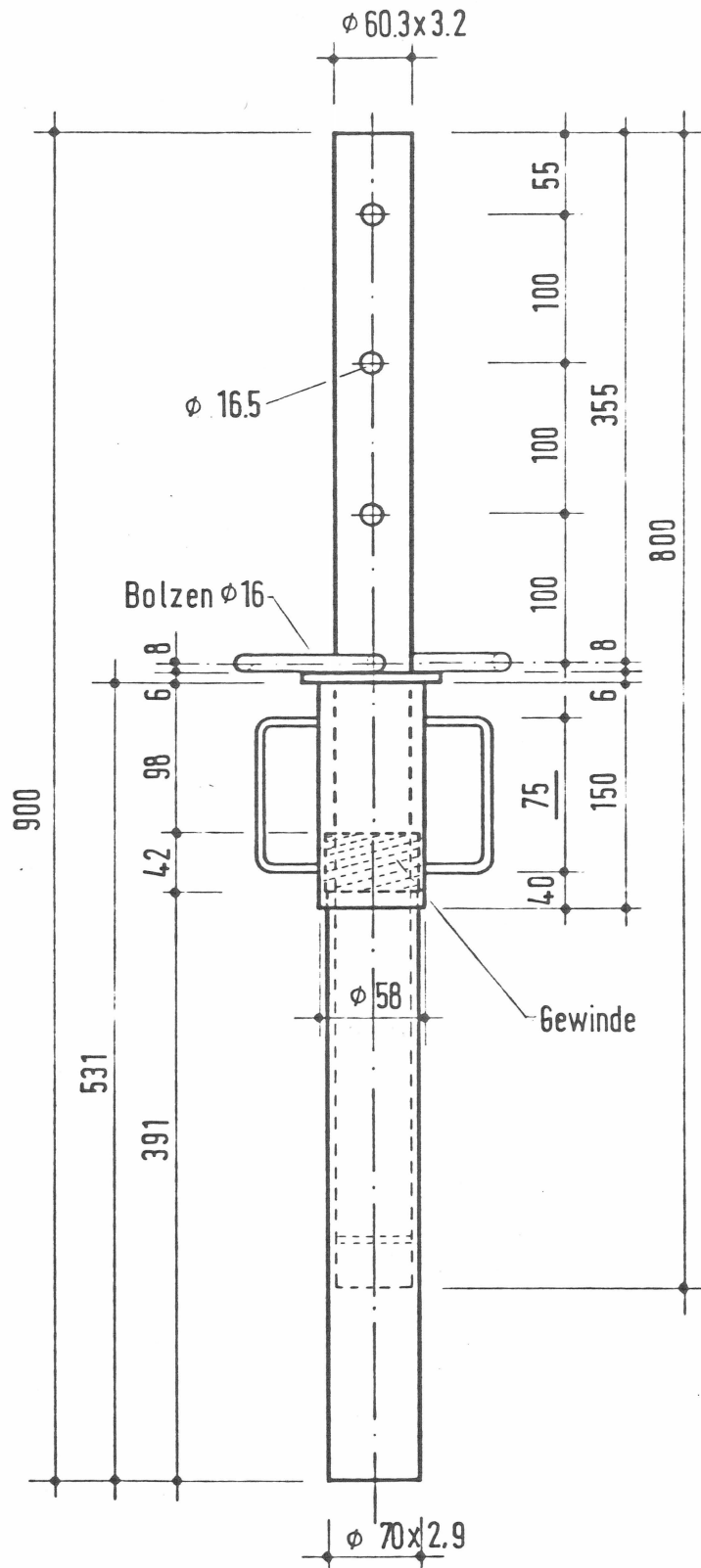


Bild 2 : ISCHEBECK Stütze Gr. 4 (Versuch IV3 IV4)

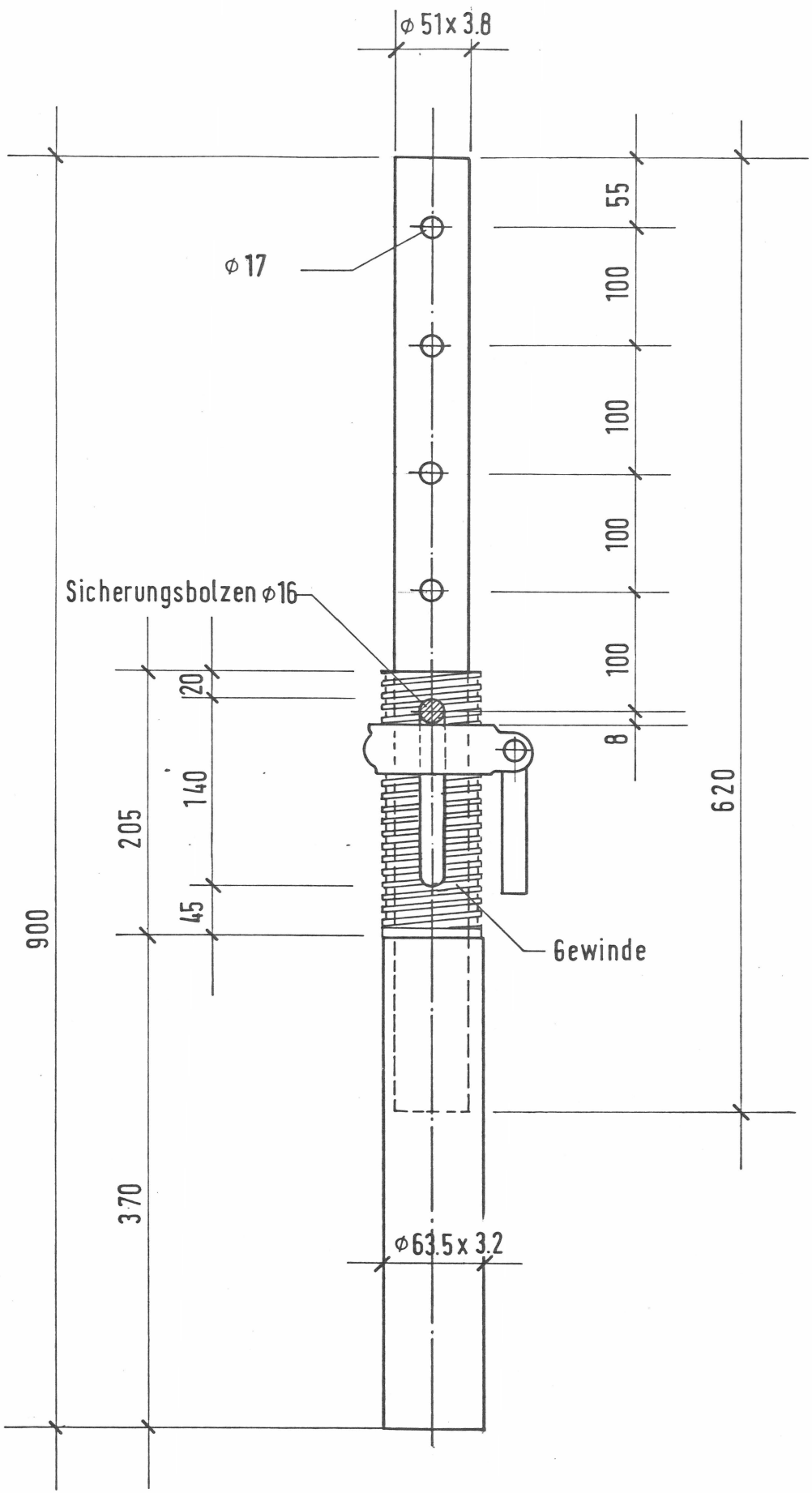


Bild 3 : PERI Stütze N (Versuch PV1, PV2)



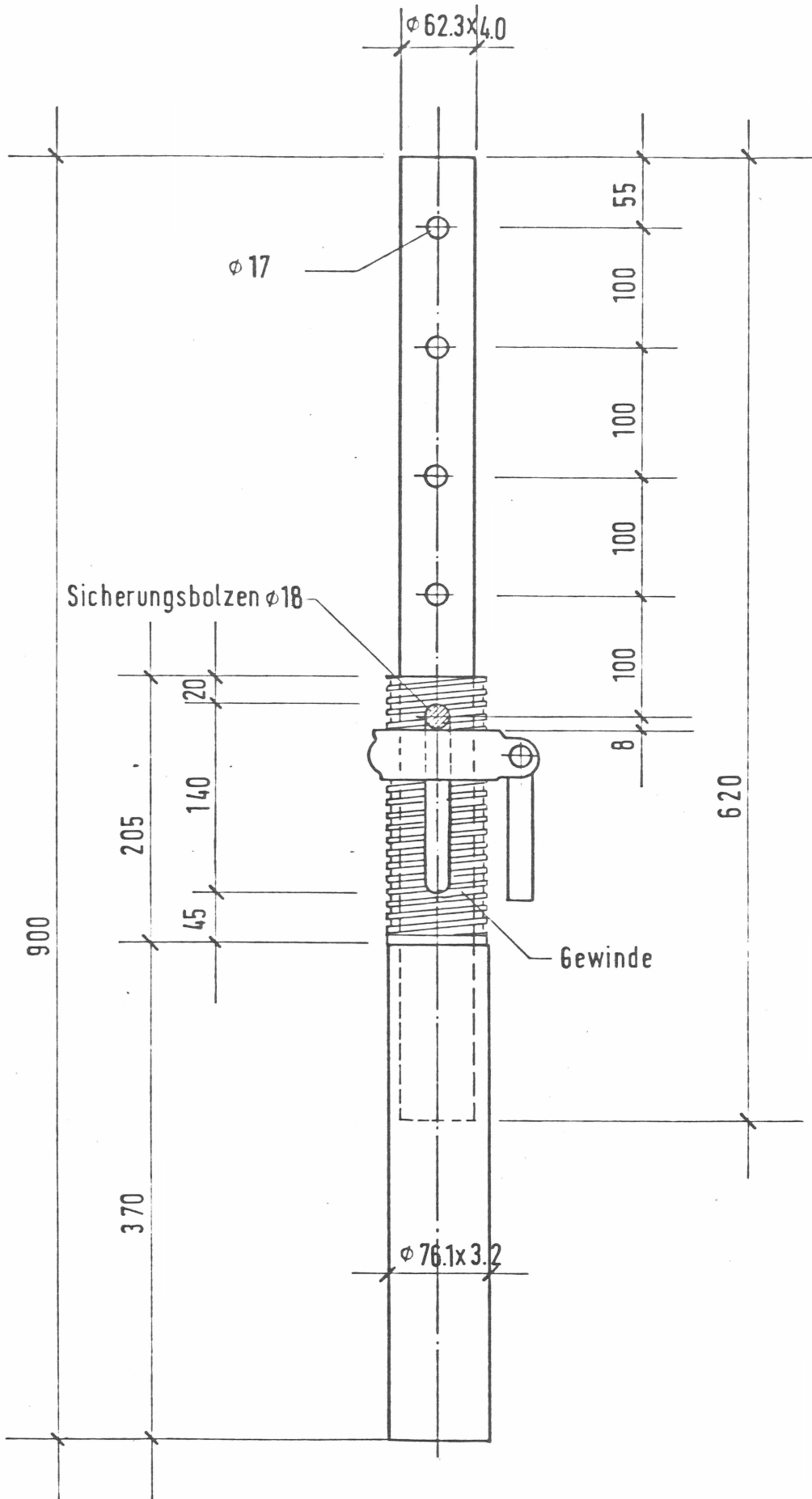
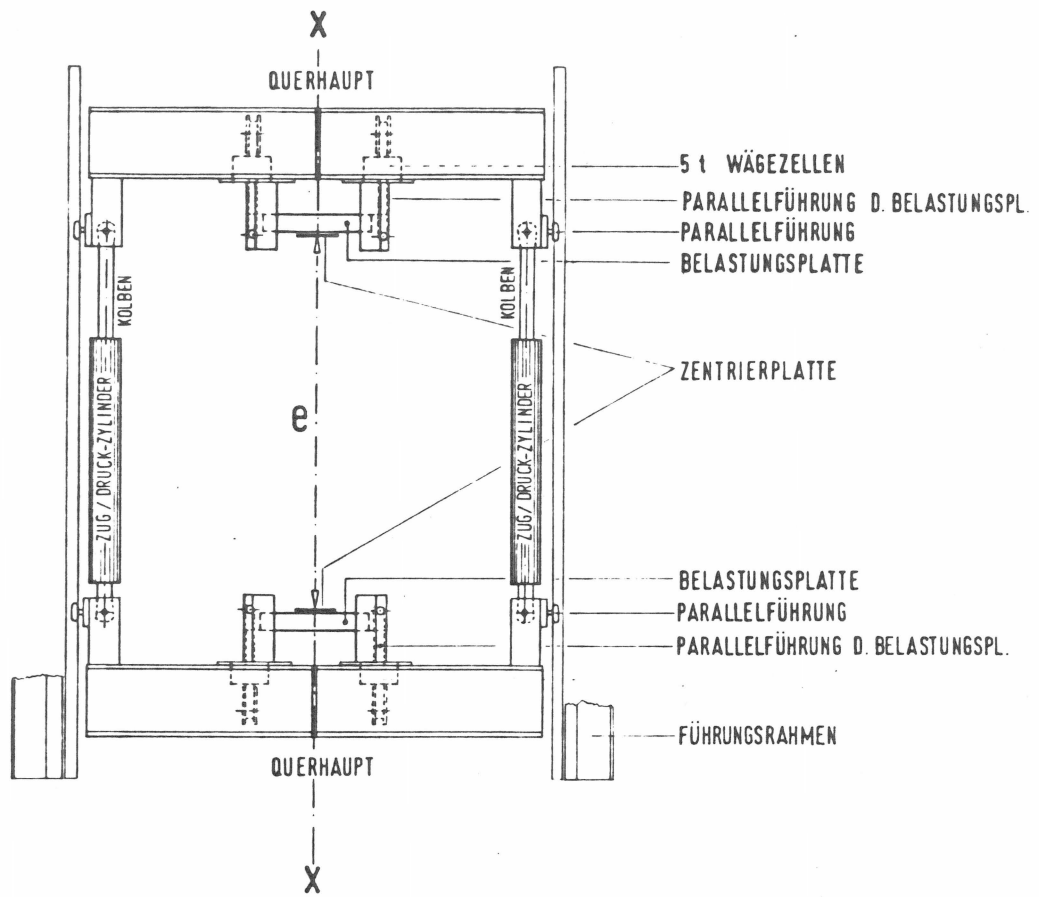


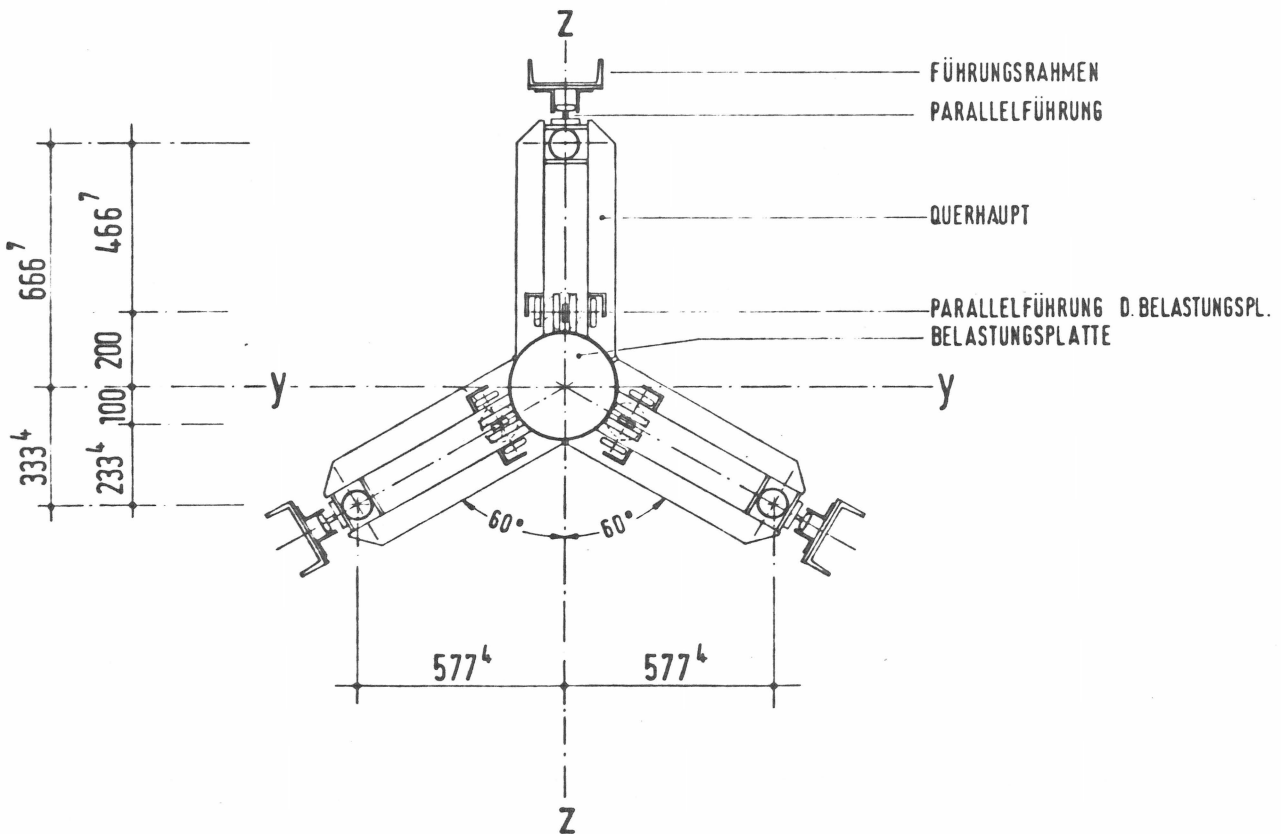
Bild 4 : PERI Stütze G

( Versuch PV 3 , PV 4 )

**ANSICHT**

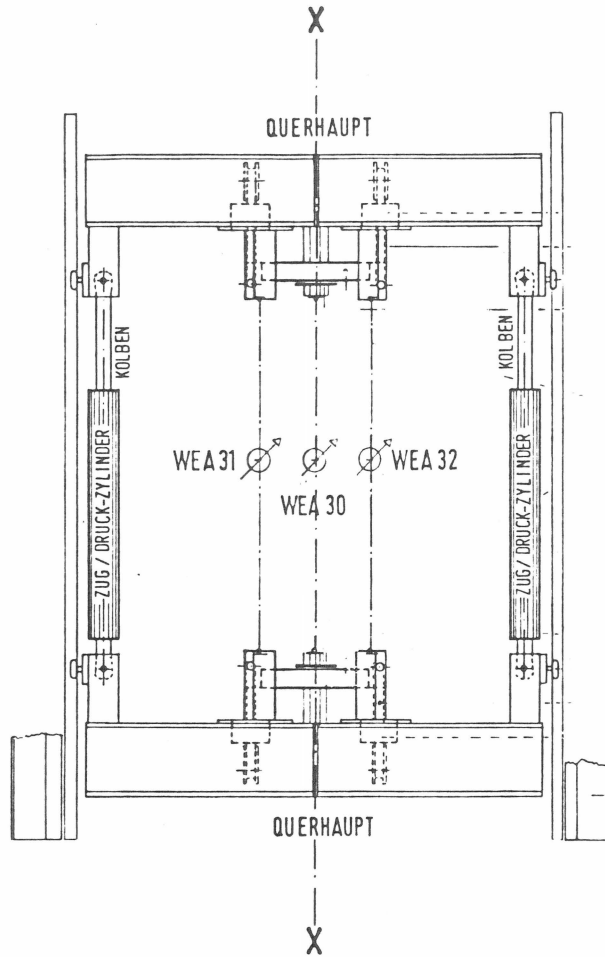


**DRAUFSICHT**



**Bild 5 : Übersicht Belastungsvorrichtung**

ANSICHT



DRAUFSICHT

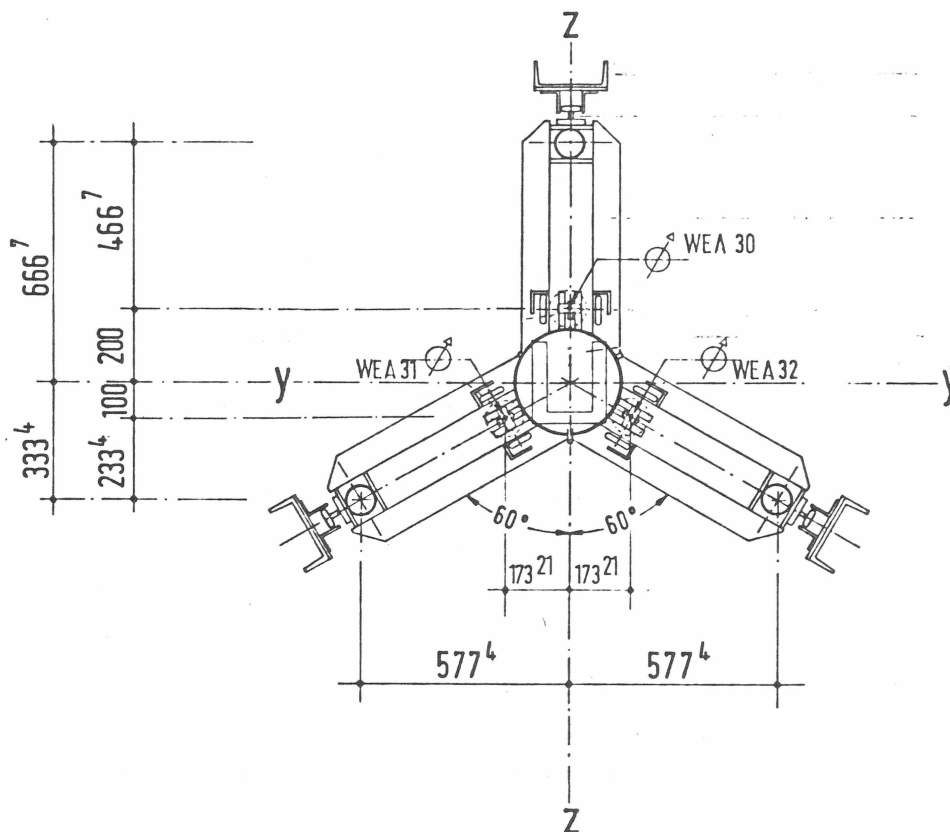


Bild 6 : Übersicht Wegmessungen

Anlage 7

zum Bericht

Nr. : 8022

vom : 23.11.83

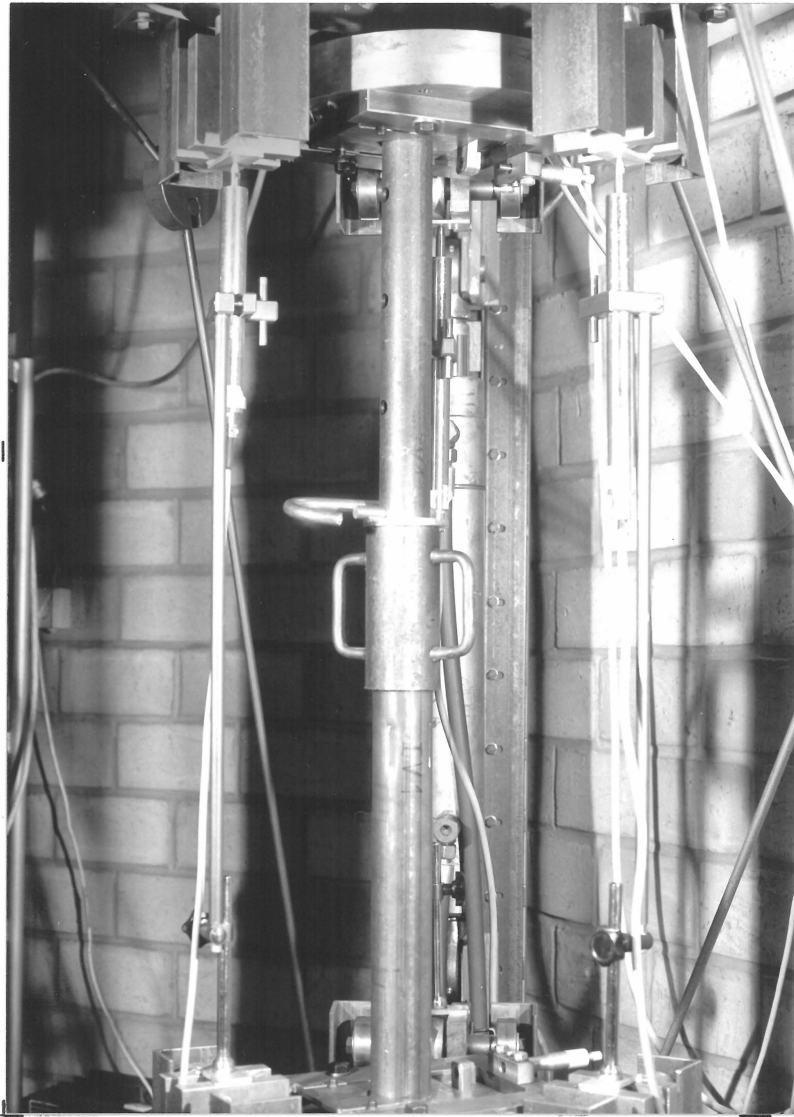
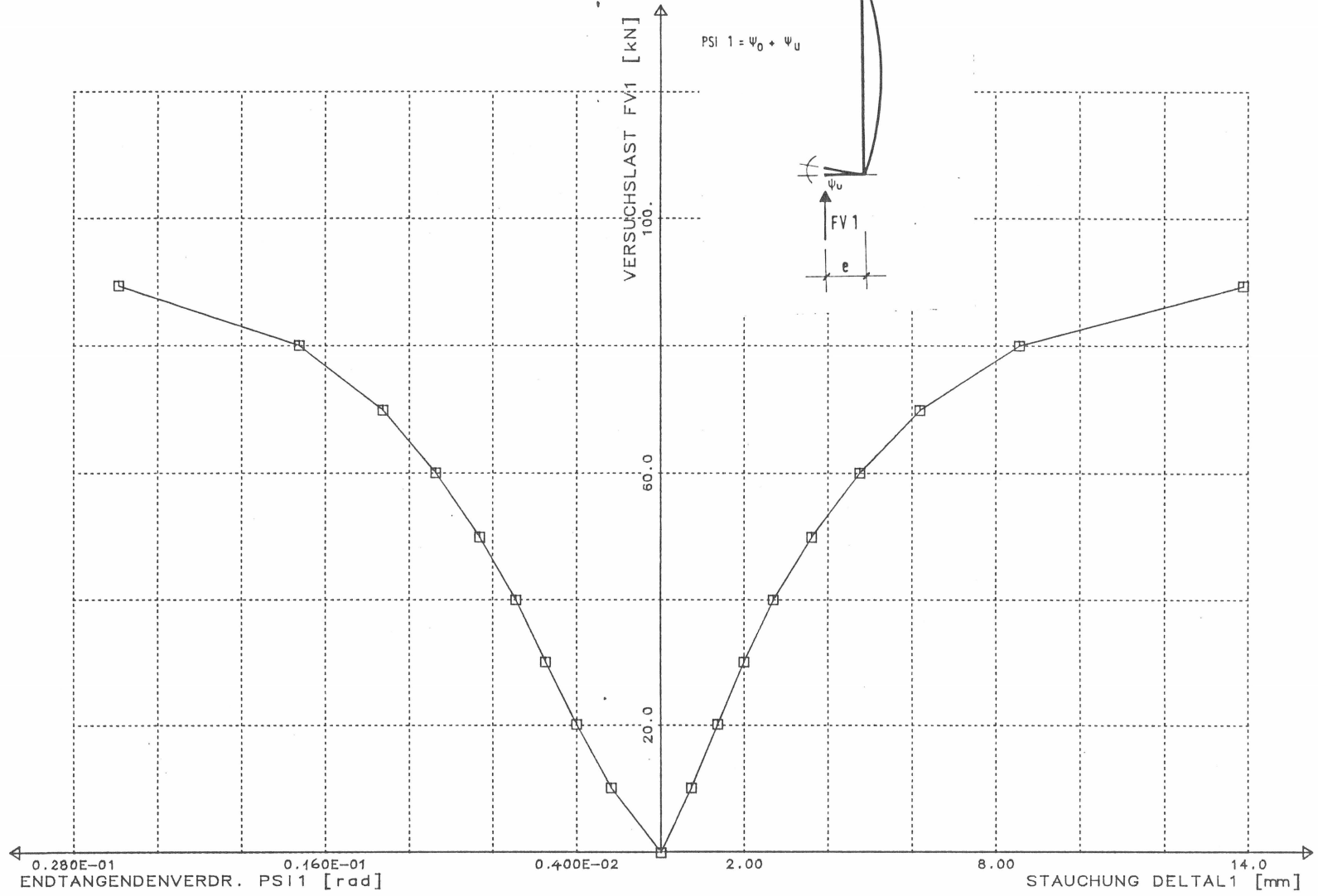


Bild 7 : Versuchsanordnung für die Versuche  
IV 1 ÷ 4 + PV 1 ÷ 4

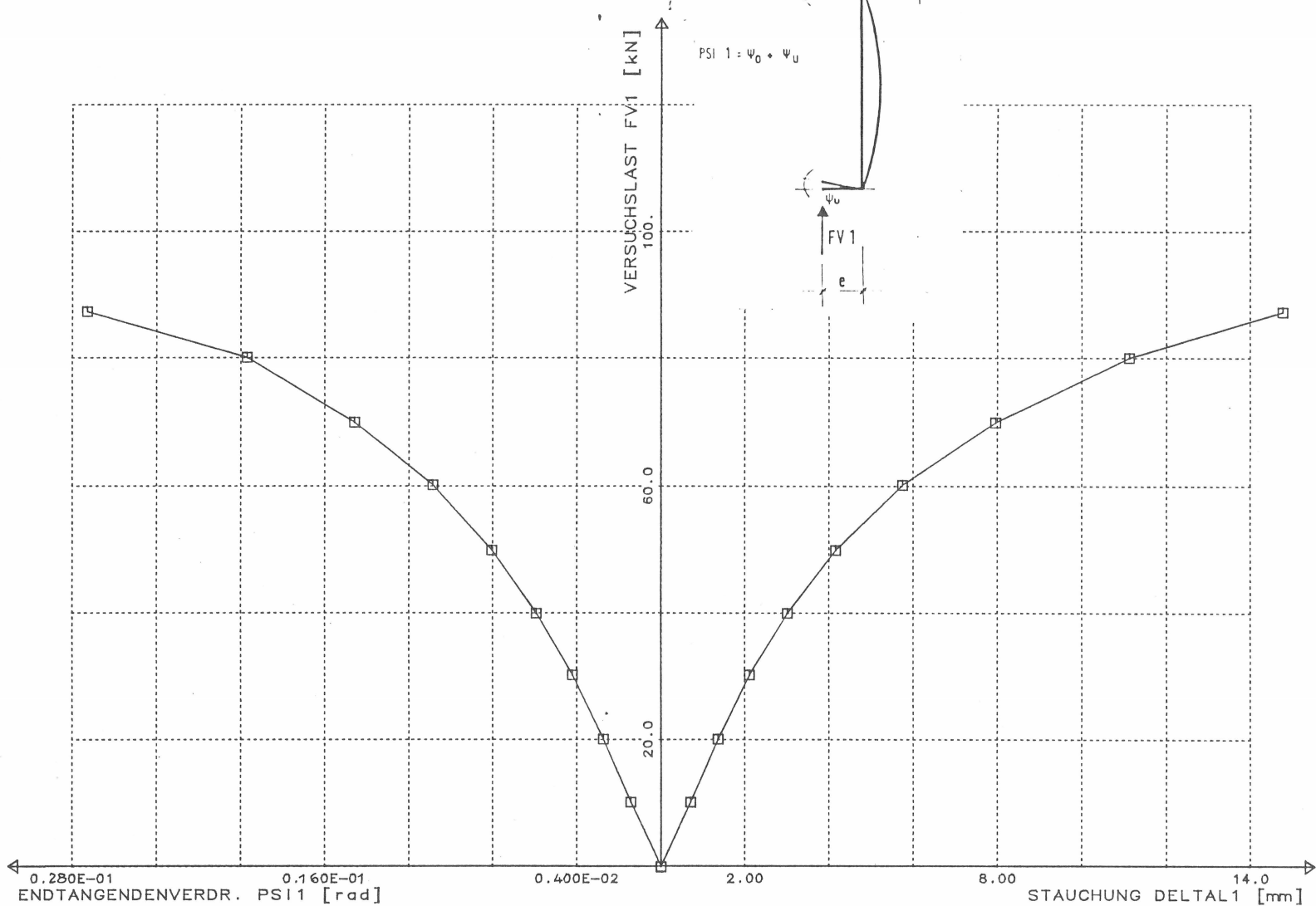
Bild 8 : BAUSTUETZEN - DRUCKVERSUCHE VERSUCH IV1



PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm

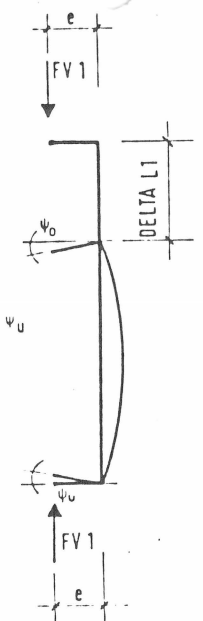
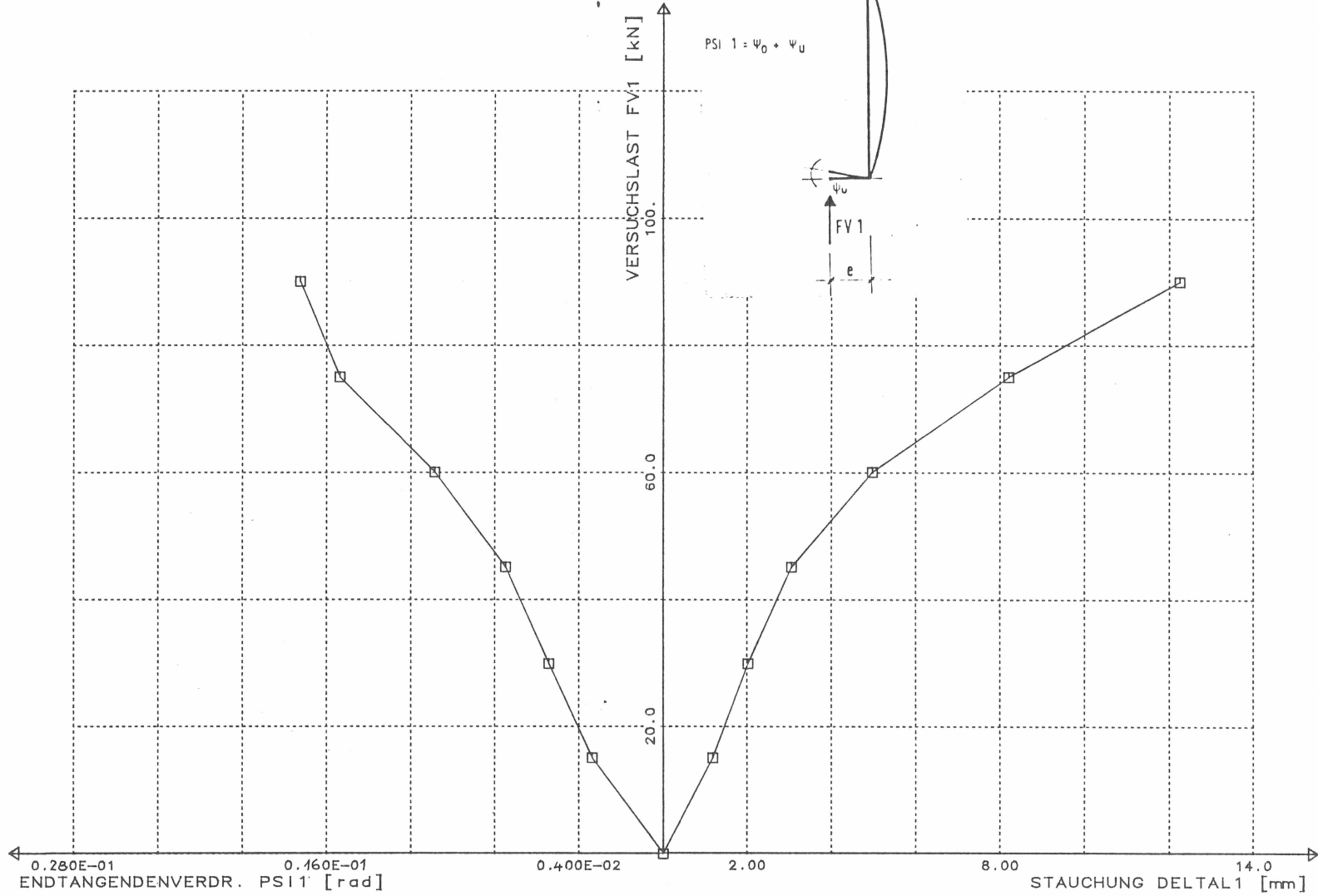
ANLAGE 8  
 z. Bericht  
 Nr. . 8022  
 vom . 23.11.83

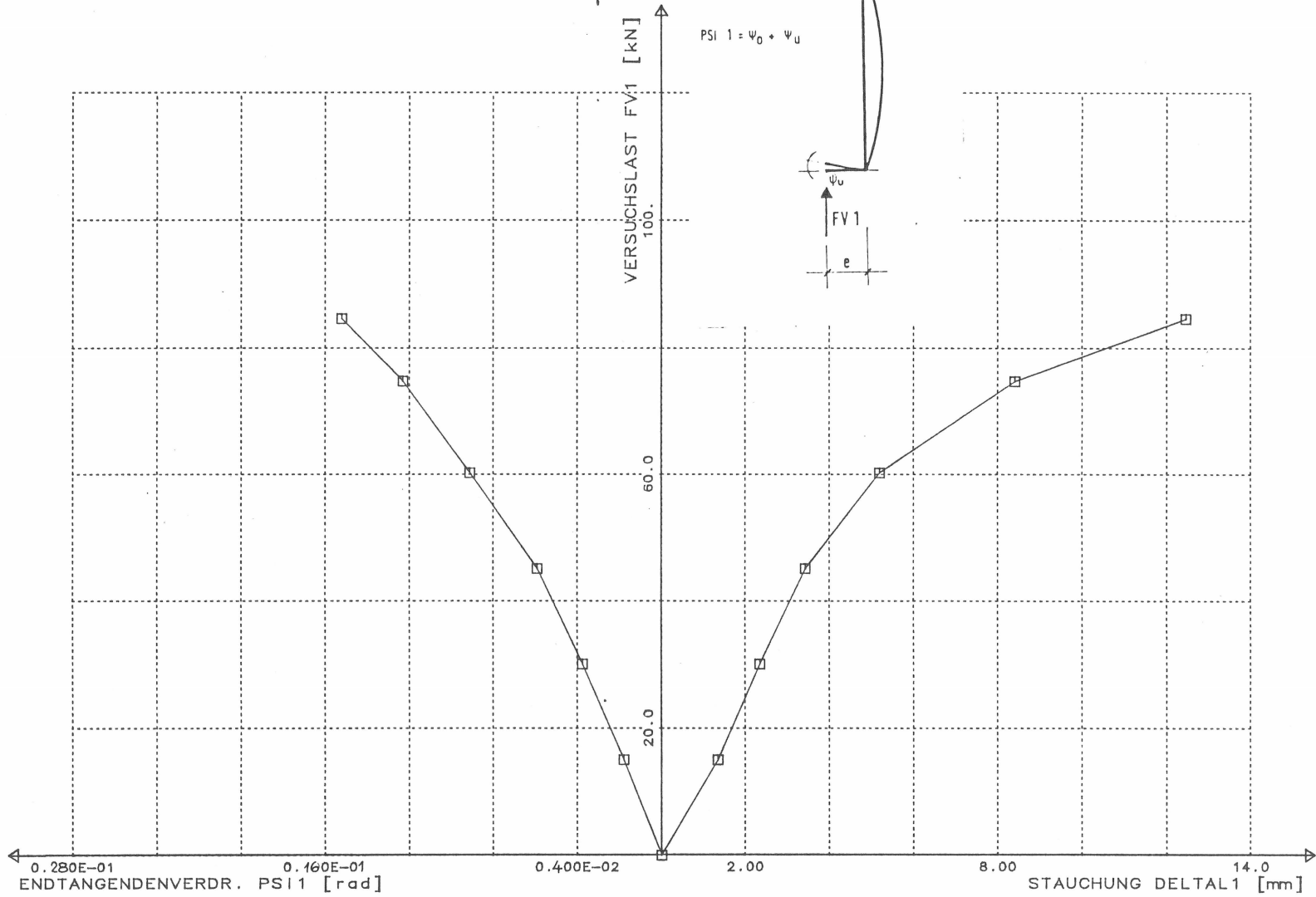
Bild 9 : BAUSTUETZEN - DRUCKVERSUCHE VERSUCH IV2



PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm

ANLAGE 9  
 z. Bericht  
 Nr. . 8022  
 vom . 23.11.83

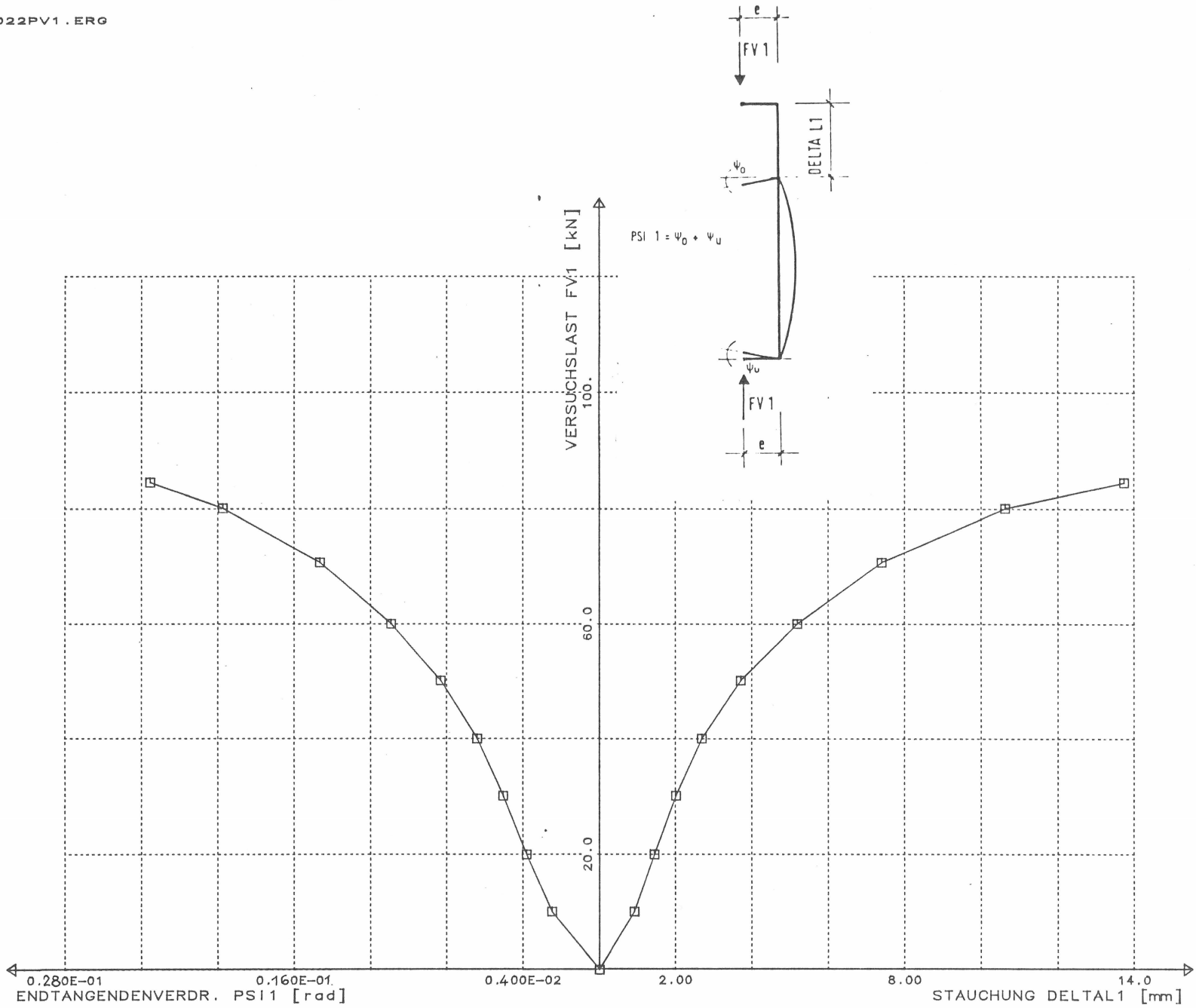




PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm

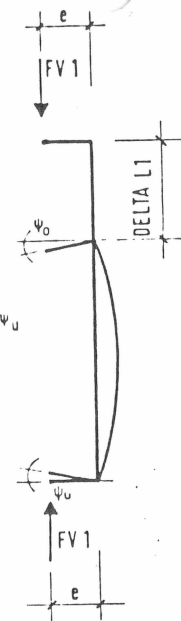
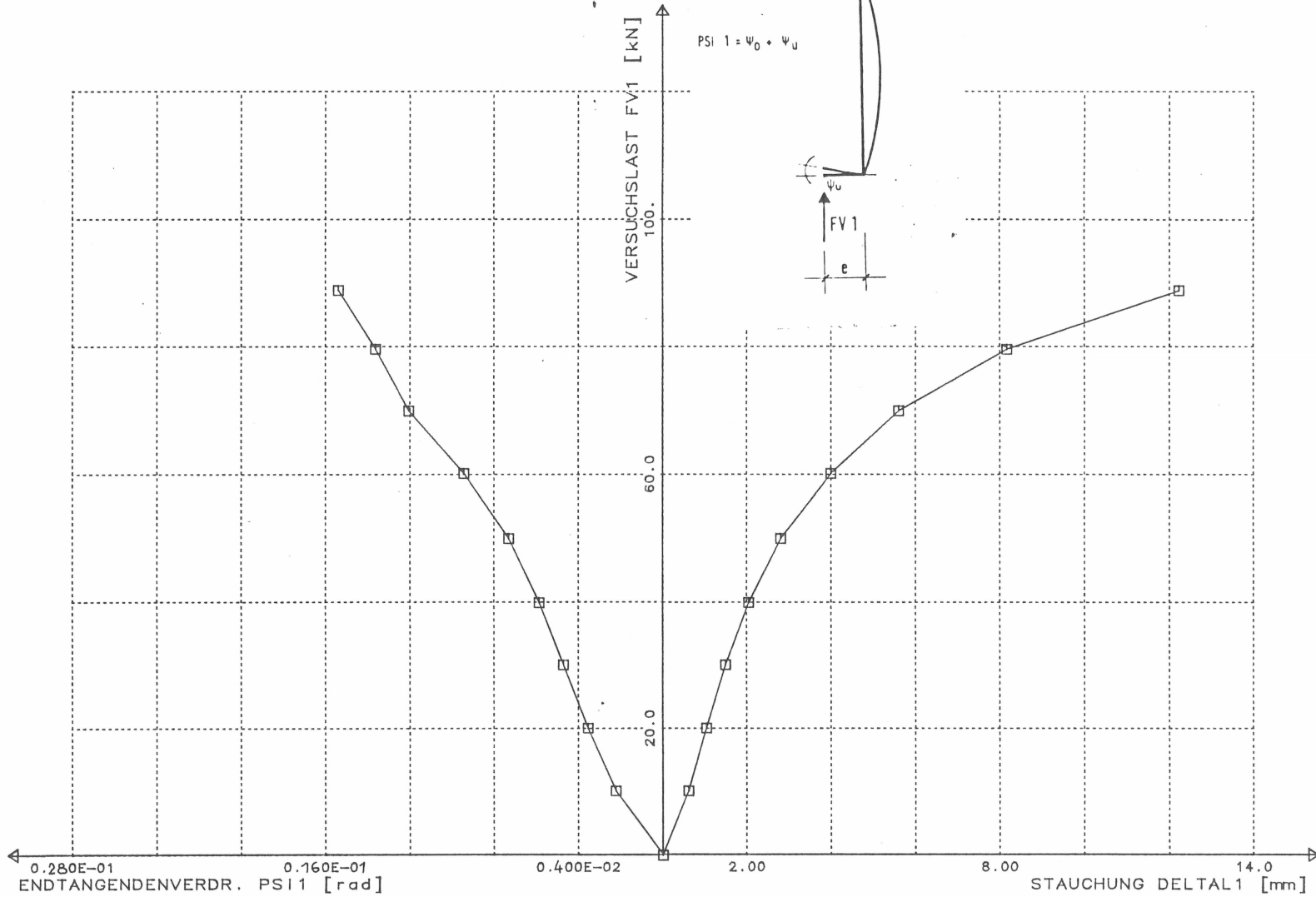
ANLAGE 11  
 z. Bericht  
 Nr. . 8022  
 vom . 23.11.83





PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm

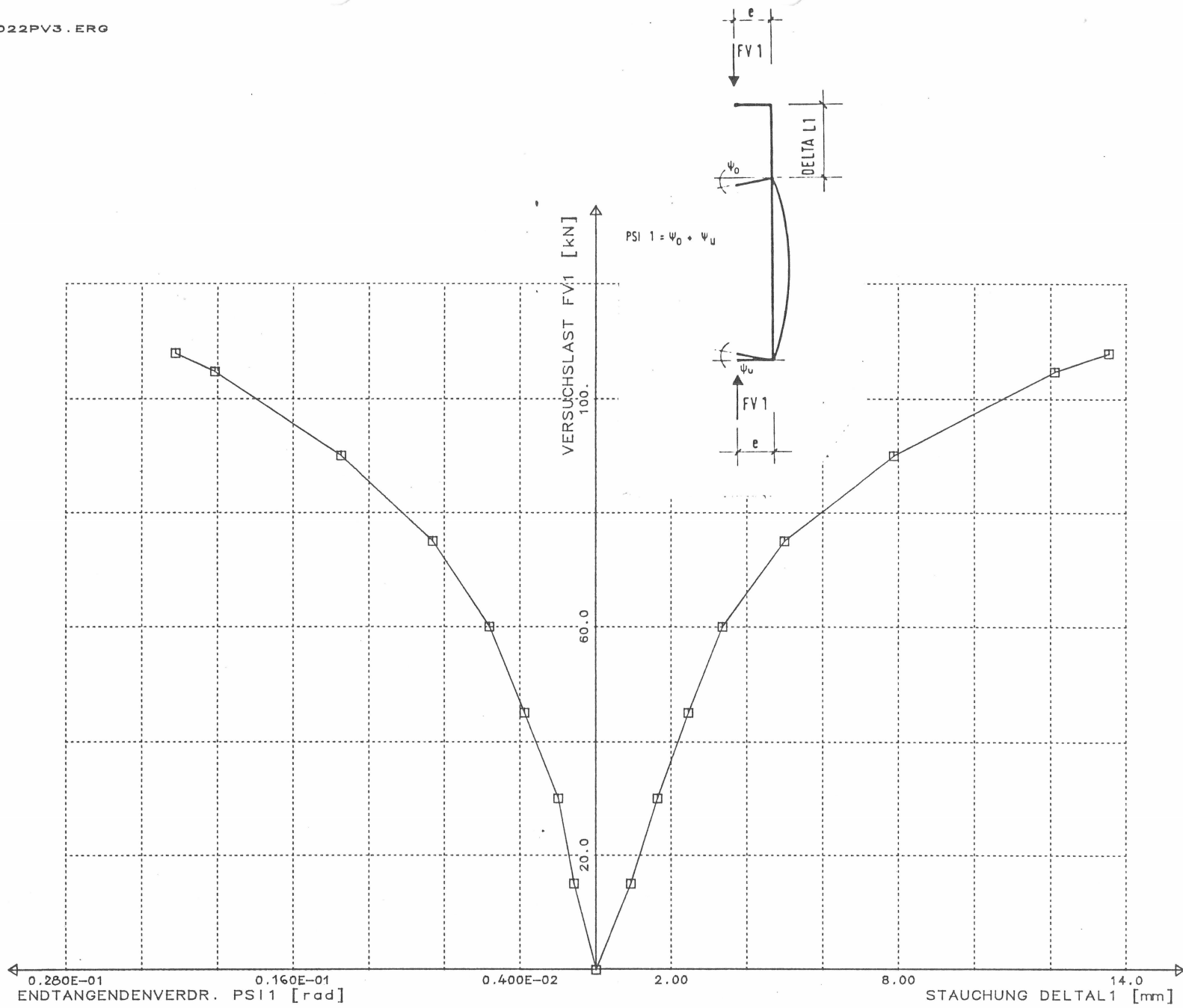
Bild 13 : BAUSTUETZEN - DRUCKVERSUCHE VERSUCH PV2



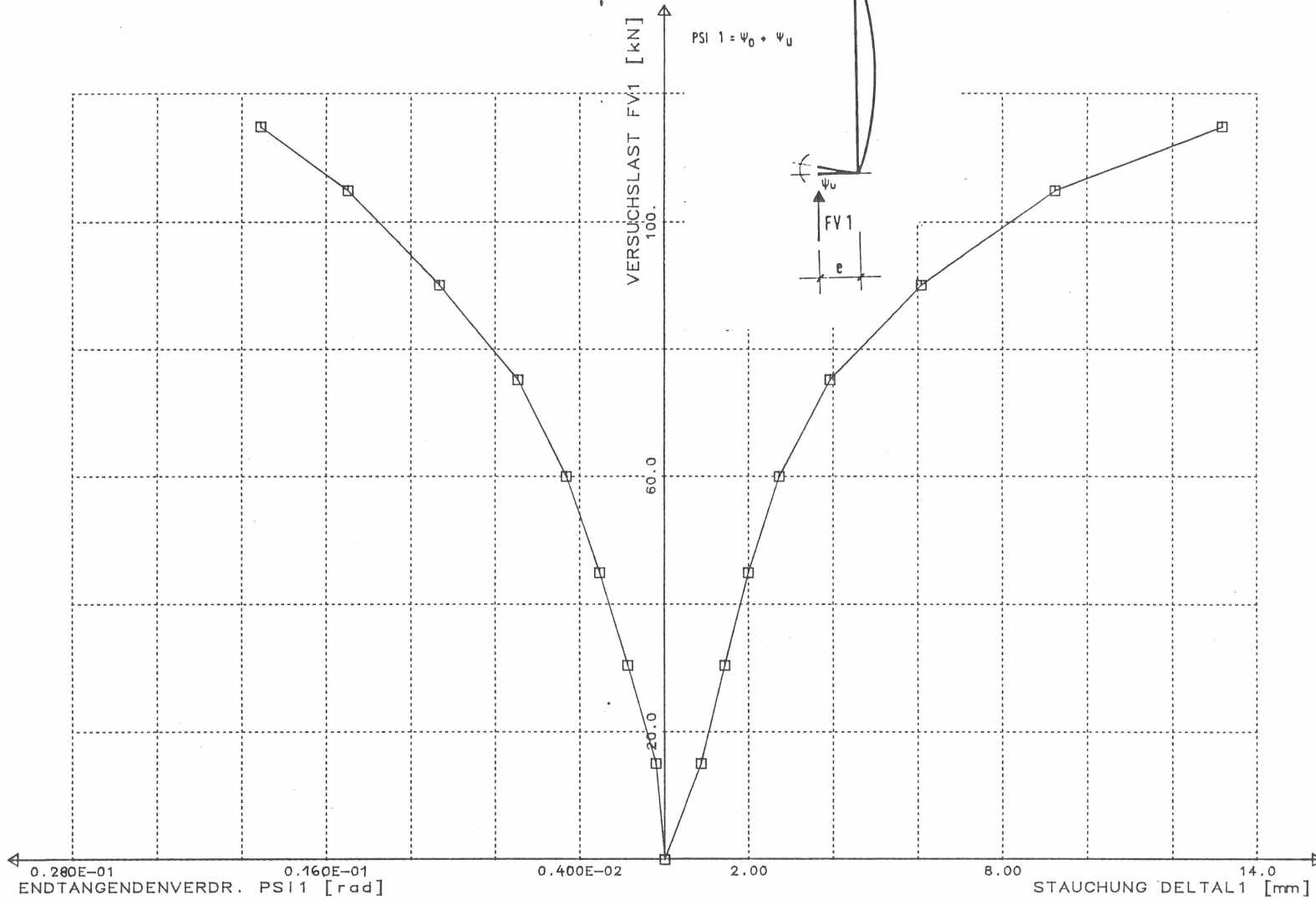
PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm

ANLAGE 13  
 z. Bericht  
 Nr. 8022  
 vom 23.11.83

Bild 14: BAUSTUETZEN - DRUCKVERSUCHE VERSUCH PV3



PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm



PLANMAESSIGE EXZENTRIZITAET e=25mm

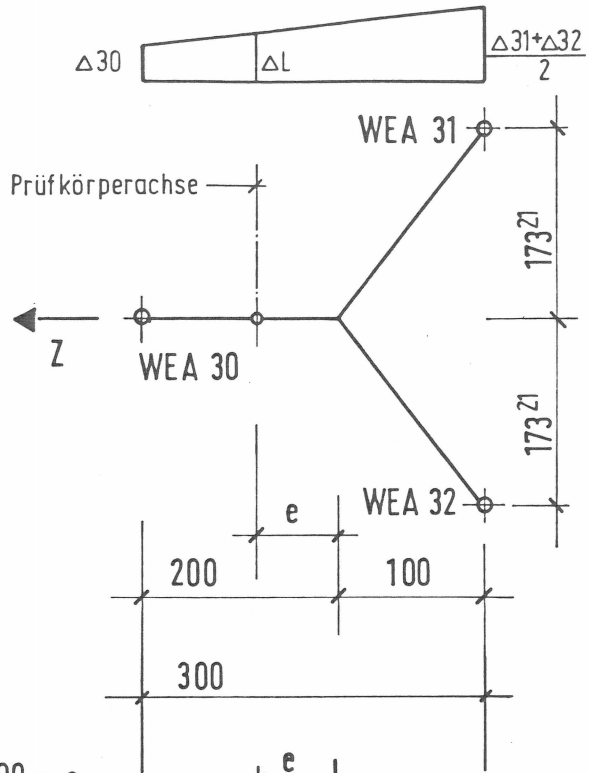
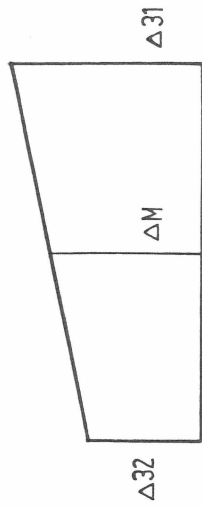
Anlage : 32

zum Bericht

Nr. : 8022

vom : 23.11. 83

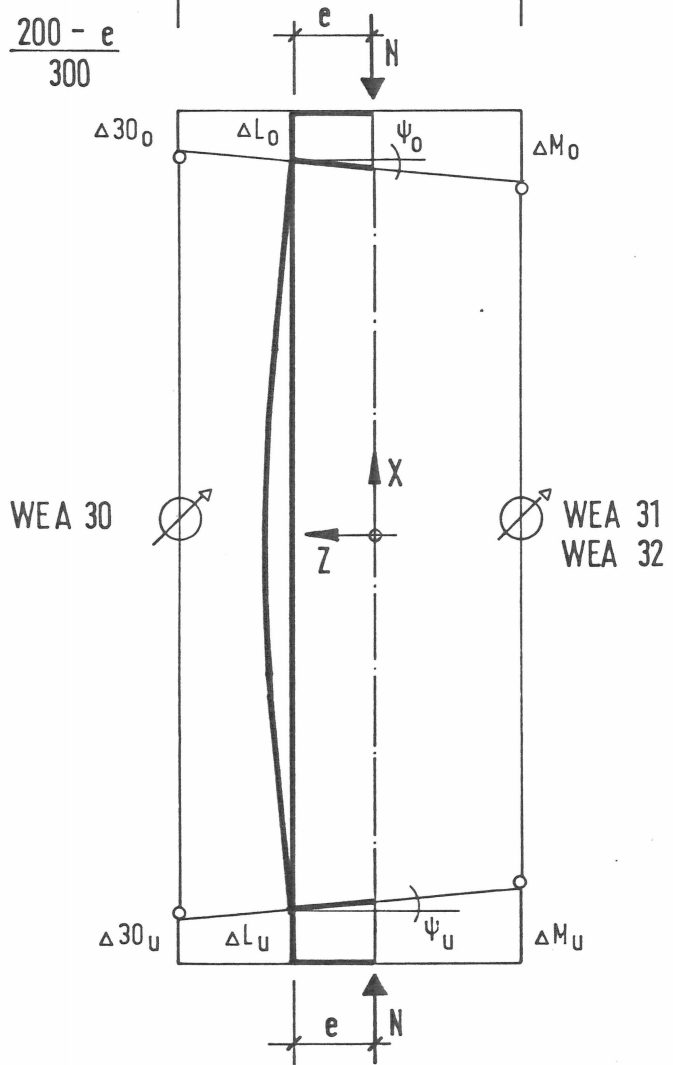
EDV - Ausdrucke mit SIVAS (Blatt 1÷8)  
mit Erläuterungen



$$\Delta M = \Delta M_0 + \Delta M_U = \frac{\Delta 31 + \Delta 32}{2}$$

$$\Delta L = \Delta L_0 + \Delta L_U = \Delta 30 + (\Delta M - \Delta 30) \cdot \frac{200 - e}{300}$$

$$\Psi = \Psi_0 + \Psi_U = (\Delta M - \Delta 30) / 300$$



Bestimmung der Stauchung und der Endtangentialverdrehung

\*\*\*\*\* KRAFT-NEG-VERDREHUNGSBEZIEHUNG \*\*\*\*\*

FV1 = VERSUCHSLAST

DELTA1 =  $(UEA30 + (UEA31 + UEA32) / 2 - UEA30) * ((200 - 25) / 300)$

PSI1 =  $(UEA31 + UEA32) / 2 - UEA30 / 300$

--- FV1 --- (FND)	--- DELTA1 --- (MM)	--- PSI1 --- (RAD)
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.150348E+02	0.871875E+00	0.416667E-03
0.302688E+02	0.143449E+01	0.174667E-02
0.456900E+02	0.199294E+01	0.307000E-02
0.609882E+02	0.271795E+01	0.463667E-02
0.751937E+02	0.352081E+01	0.694000E-02
0.900758E+02	0.404869E+01	0.106500E-01
0.104928E+03	0.523400E+01	0.149800E-01
0.114800E+03	0.171727E+02	0.191233E-01
0.117965E+03		

\*\*\*\*\* PFCAT-MEG-VERDREHUNGSGEBIETHUNG \*\*\*\*\*

CV1 = VERSUCHSLAST  
DELTA1 = MEA30 + ((MEA31 + MEA32) / 2 - MEA30) + ((200 - 25) / 300)  
FSI1 = ((MEA31 + MEA32) / 2 - MEA30) / 300

----CV1----	---DELTA1---	-----FSI1-----
[MN]	[MN]	[FAD]
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.150103E+02	0.902301E+00	0.115667E-02
0.200204E+02	0.160663E+01	0.109333E-02
0.451358E+02	0.244090E+01	0.377333E-02
0.600070E+02	0.334610E+01	0.562667E-02
0.750466E+02	0.498200E+01	0.861667E-02
0.900550E+02	0.707407E+01	0.134767E-01
0.104845E+03	0.121042E+02	0.261500E-01
0.088022E+03	0.135340E+02	0.222300E-01
0.115340E+03		



\*\*\*\* KRAFT-VEG-VERDREHUNGSBEZIEHUNG \*\*\*\*

FV1 = VERSUCHSLAST  
DELTA1 =  $WEA30 + ((WEA31 + WEA32) / 2 - WEA30) * ((200 - 25) / 300)$   
PSI1 =  $((WEA31 + WEA32) / 2 - WEA30) / 300$

-----FV1----- [KN]	---DELTA1--- [MM]	-----PSI1----- [RAD]
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.100806E+02	0.617027E+00	0.223000E-02
0.200907E+02	0.104431E+01	0.354667E-02
0.300932E+02	0.149336E+01	0.471333E-02
0.399267E+02	0.204666E+01	0.587000E-02
0.499035E+02	0.260010E+01	0.731333E-02
0.601353E+02	0.339314E+01	0.942333E-02
0.699649E+02	0.559229E+01	0.120600E-01
0.795689E+02	0.815439E+01	0.136500E-01
0.888884E+02	0.122239E+02	0.153967E-01
0.919884E+02		

\*\*\*\*\* KRAFT- WEG- VERDREHUNGSBEZIEHUNG \*\*\*\*\*

FV1 = VERSUCHSLAST  
DELTA1 = WEAR30 + ((WEAR31 + WEAR32) / 2 - WEAR30) \* ((200 - 25) / 300)  
PS11 = ((WEAR31 + WEAR32) / 2 - WEAR30) / 300

-----FV1----- (KN)	---DELTA1--- (MM)	-----PS11----- (RAD)
0.000000E+00	0.583000E-03	0.333333E-05
0.100435E+02	0.928752E+00	0.248000E-02
0.200252E+02	0.144854E+01	0.381667E-02
0.300240E+02	0.201725E+01	0.505000E-02
0.400346E+02	0.269111E+01	0.641000E-02
0.500601E+02	0.370659E+01	0.831667E-02
0.600274E+02	0.518274E+01	0.109133E-01
0.706516E+02	0.739870E+01	0.148467E-01
0.801281E+02	0.100243E+02	0.197500E-01
0.845916E+02	0.137356E+02	0.255367E-01

\*\*\*\*\* KRAFT-UEG-VERDREHUNGSBEZIEHUNG \*\*\*\*\*

FV1 = VERSUCHSLAST

DELTA1 =  $WEA30 + ((WEA31 + WEA32) / 2 - WEA30) * ((200 - 25) / 300)$

PSI1 =  $((WEA31 + WEA32) / 2 - WEA30) / 300$

-----FV1----- [KN]	---DELTA1--- [MM]	-----PSI1----- [RAD]
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.150593E+02	0.135165E+01	0.179333E-02
0.100608E+02	0.234262E+01	0.376000E-02
0.451458E+02	0.342741E+01	0.592000E-02
0.402040E+02	0.518634E+01	0.911000E-02
0.747522E+02	0.639695E+01	0.123033E-01
0.646309E+02	0.124510E+02	0.152200E-01
0.962177E+02		
0.101524E+03		

113.017 zu Anlage 13

\*\*\*\*\* KRAFT-NEG-VERDEHNUNGSREZISTENZ \*\*\*\*\*

F01 = VERSUCHSLAST  
 DELTAL1 = (WEA30+(WEA31+WEA32)/2-WEA30)/(200-25)/300  
 PS11 = ((WEA31+WEA32)/2-WEA30)/300

-----F01----- [FND]	---DELTA1--- [FND]	-----PS11----- [RAD]
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.51202E+00	0.118100E+01	0.337333E-02
0.108597E+02	0.202287E+01	0.543667E-02
0.51457E+02	0.304817E+01	0.749667E-02
0.100764E+02	0.496908E+01	0.102467E-01
0.150956E+02	0.619363E+01	0.153667E-01
0.100466E+02	0.122458E+02	0.172600E-01
0.100902E+02		

\*\*\*\*\* PRG7-VEG-VERDEHNUNGSGEZEHNUNG \*\*\*\*\*

FVI = VEG-LADENLAST  
DELTA1 = (WEA00+((WEA31+WEA32)/2-WEA30))\*((100-25)/300)  
FS11 = ((WEA31+WEA30)/2-WEA30)/300

-----FVI----- (FVI)	-----DELTA1----- (FVI)	-----FS11----- (FVI)
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.000205E+00	0.718524E+00	0.142607E-02
0.000410E+00	0.136681E+01	0.274333E-02
0.001314E+00	0.210791E+01	0.421333E-02
0.003754E+00	0.301057E+01	0.598667E-02
0.008131E+00	0.410053E+01	0.805333E-02
0.013440E+00	0.573925E+01	0.108533E-01
0.020876E+00	0.799237E+01	0.148933E-01
0.030600E+00	0.111161E+02	0.197033E-01
0.042305E+00	0.147056E+02	0.270933E-01
0.054690E+00		

\*\*\*\*\* KRAFT-DEG-VERDREHUNGSGEZEICHNUNG \*\*\*\*\*

FV1 = VERSUCHSLAST  
DELTA1 =  $WEA30 + ((WEA31 + WEA32) / 2 - WEA30) * ((200 - 25) / 300)$   
PSI1 =  $((WEA31 + WEA32) / 2 - WEA30) / 300$

FV1----- [KN]	---DELTA1--- [MM]	-----PSI1----- [RAD]
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.100562E+02	0.738513E+00	0.237000E-02
0.201851E+02	0.136793E+01	0.401333E-02
0.299951E+02	0.198178E+01	0.549333E-02
0.399954E+02	0.268556E+01	0.691000E-02
0.499427E+02	0.360014E+01	0.864000E-02
0.600470E+02	0.474943E+01	0.107400E-01
0.698080E+02	0.617876E+01	0.132633E-01
0.800490E+02	0.854936E+01	0.172633E-01
0.894182E+02	0.138882E+02	0.258732E-01

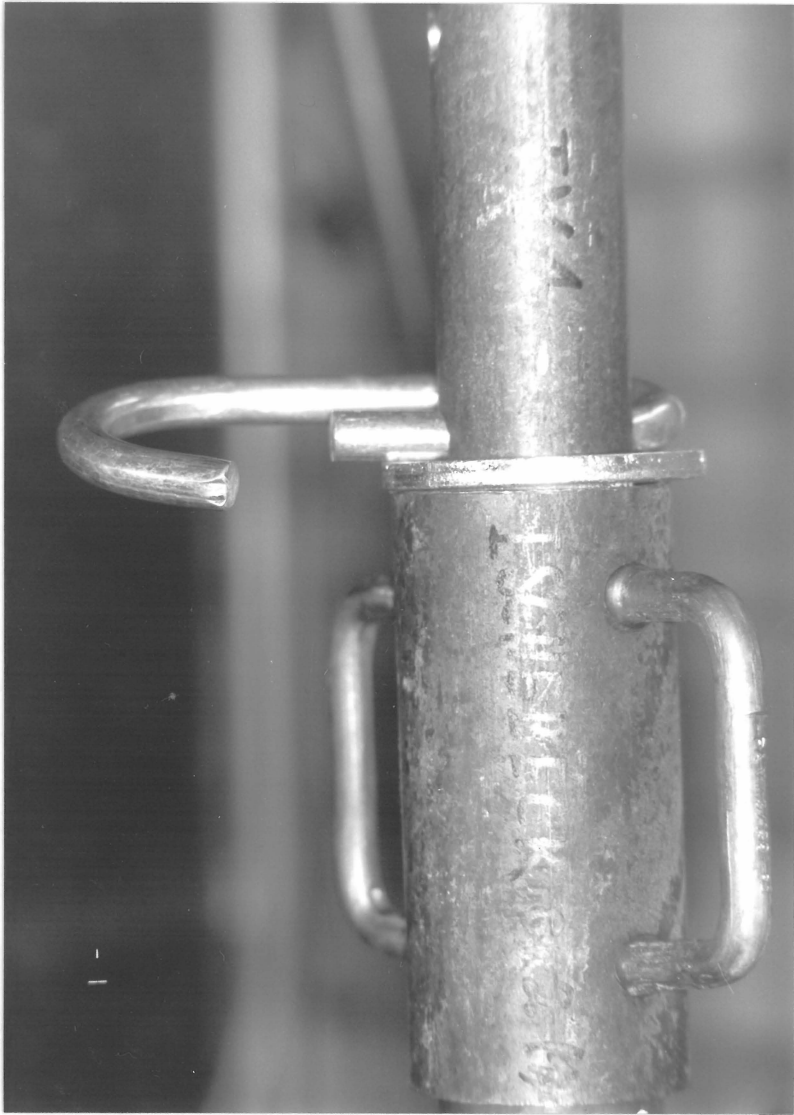


Bild 16 : Laststufe 20 kN  
ISCHEBECK Gr. 2 (1)

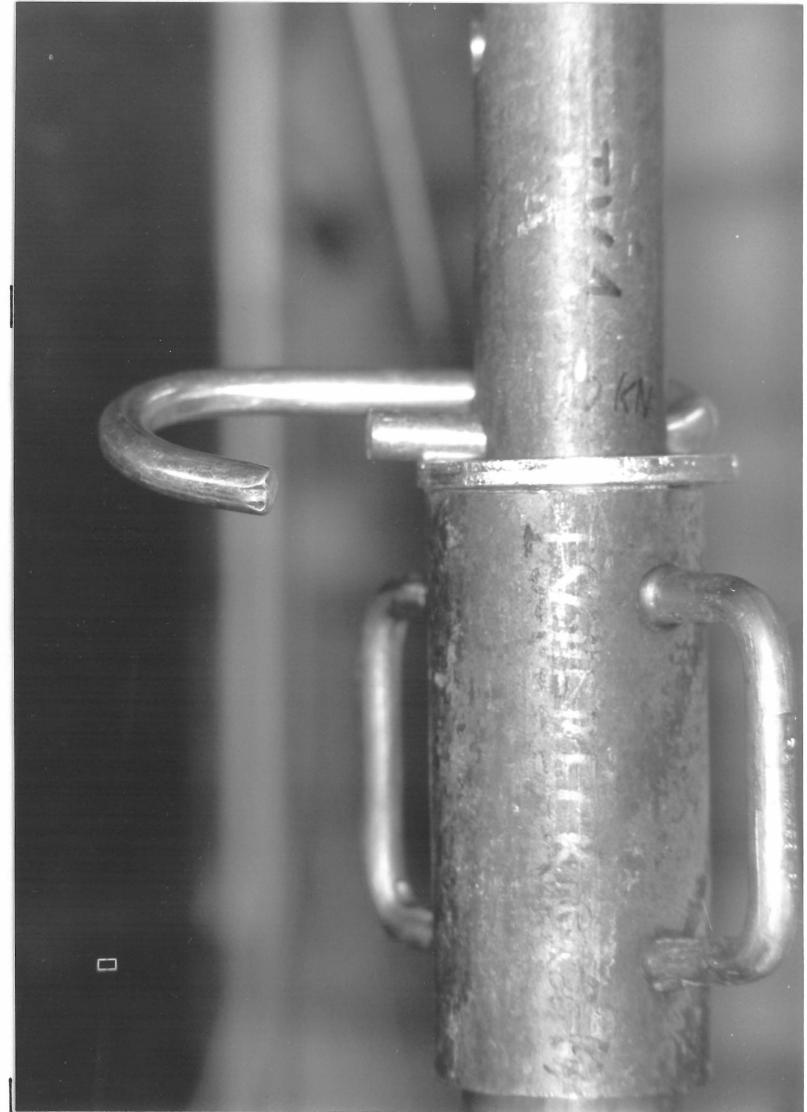


Bild 17 : Laststufe 40 kN  
ISCHEBECK Gr. 2 (1)

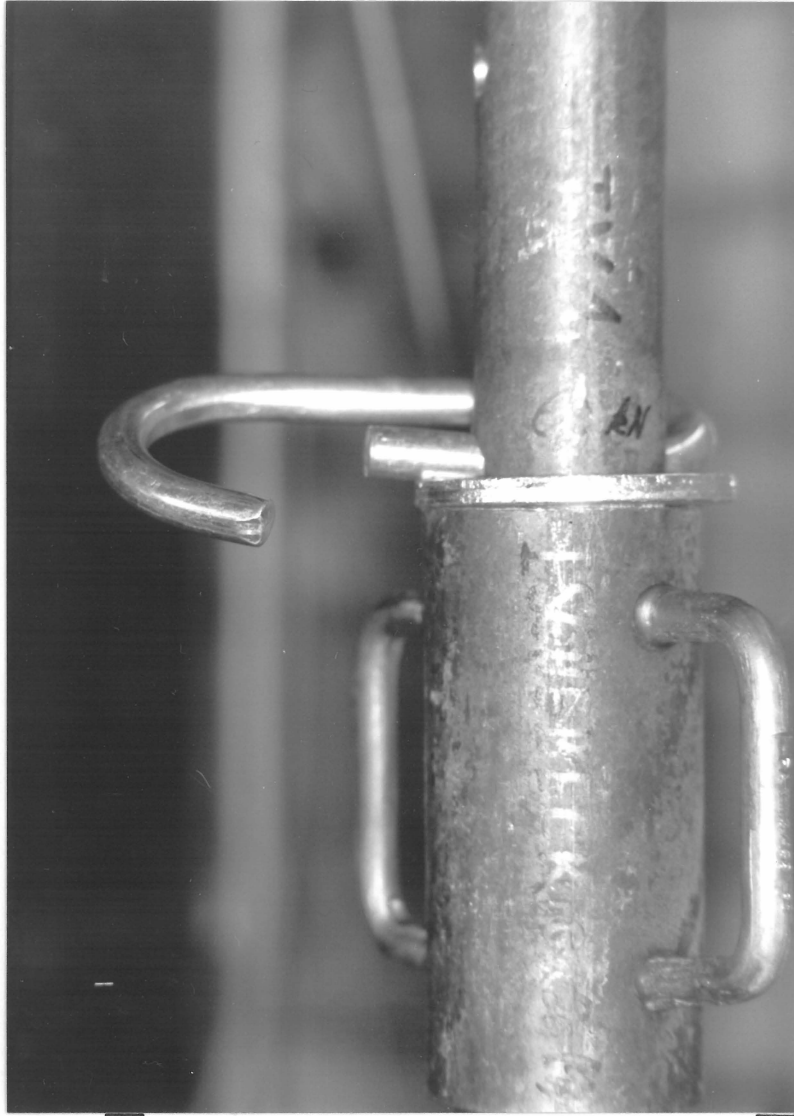


Bild 18 : Laststufe 60 kN  
ISCHEBECK Gr. 2 (1)

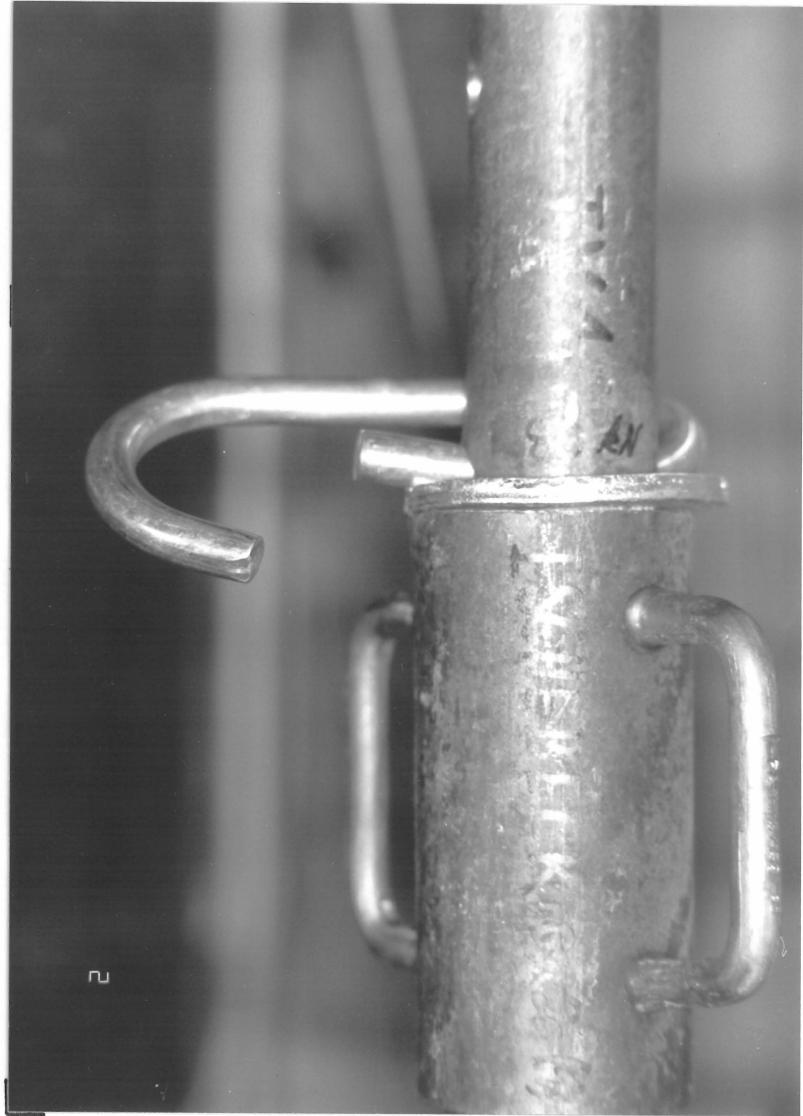


Bild 19 : Laststufe 80 kN  
ISCHEBECK Gr. 2 (1)





Bild 20 : Laststufe 89 kN  
ISCHEBECK Gr. 2 (1)



Bild 21 : Laststufe 96 kN =  $P_{max}$ . Höchstlast  
ISCHEBECK Gr. 2 (1)



Bild 22 : Laststufe 93.4 kN Höchstlast  
ISCHEBECK Gr. 2

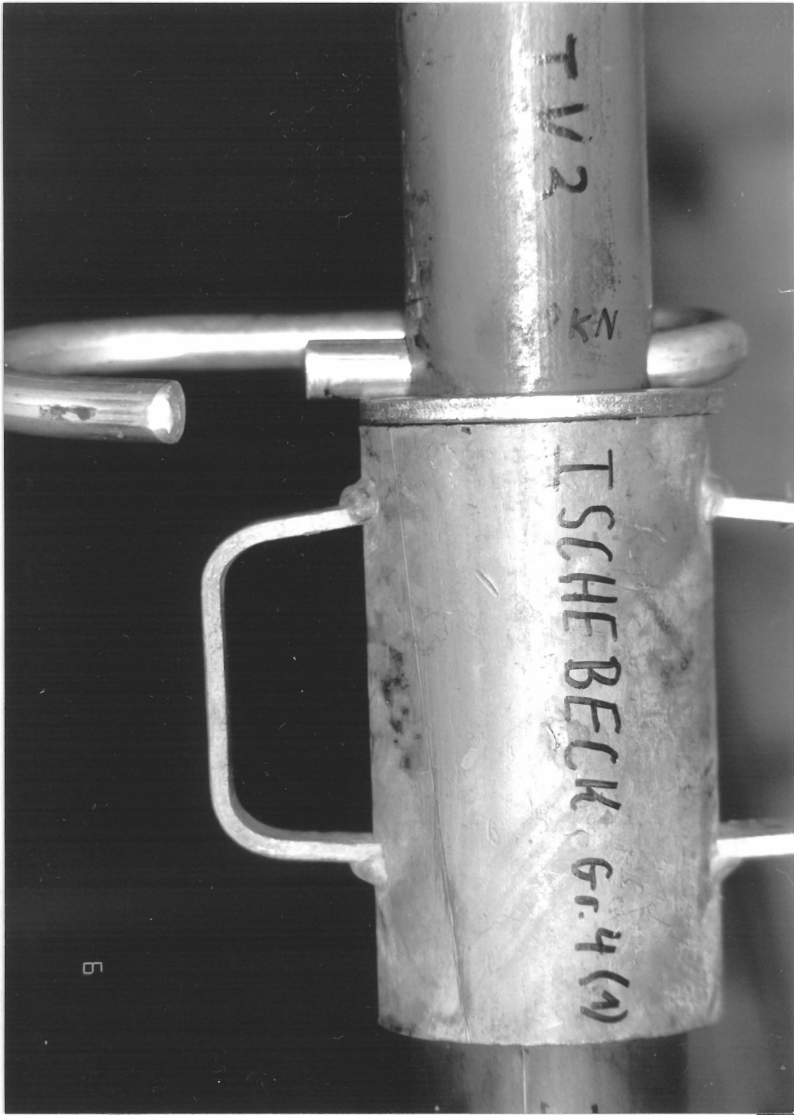


Bild 23 : Laststufe 30 kN  
ISCHEBECK Gr. 4 (1)

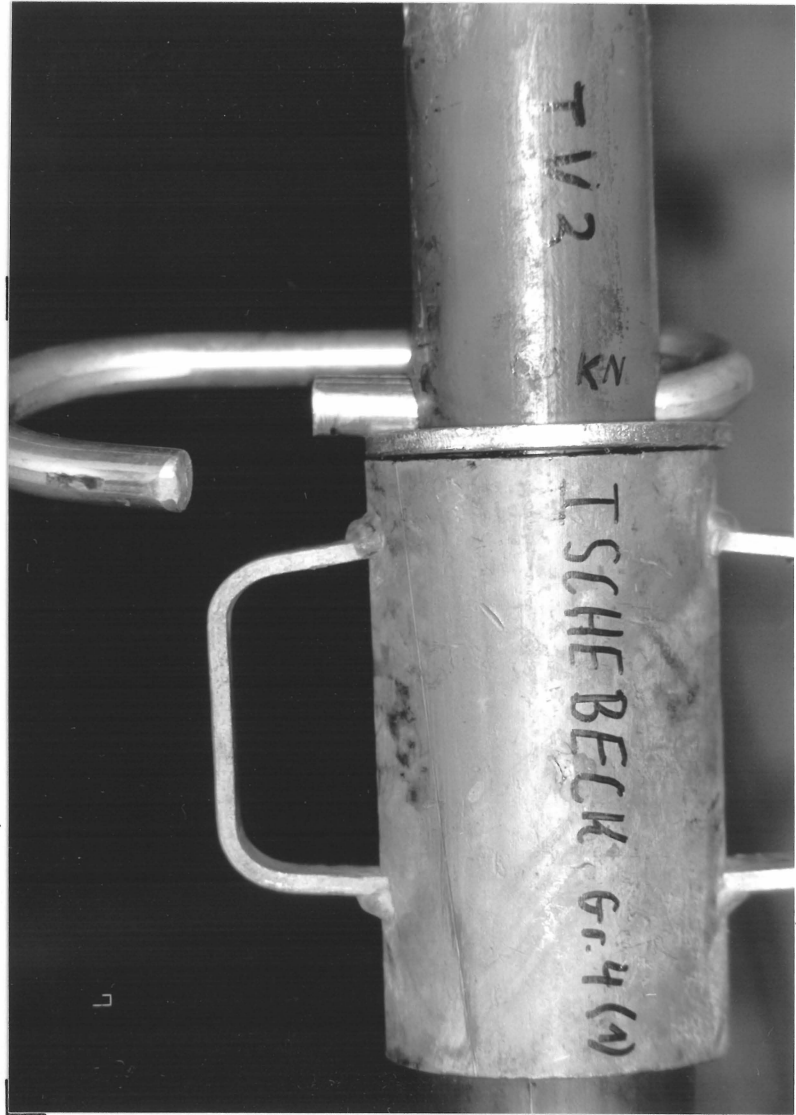


Bild 24 : Laststufe 60 kN  
ISCHEBECK Gr. 4 (1)



Bild 25 : Laststufe 90 kN  
ISCHEBECK Gr. 4 (1)



Bild 26 : Laststufe 98.4 kN Höchstlast  
ISCHEBECK Gr. 4 (1)



Bild 27: Laststufe 102 kN Höchstlast  
ISCHEBECK Gr. 4 (2)

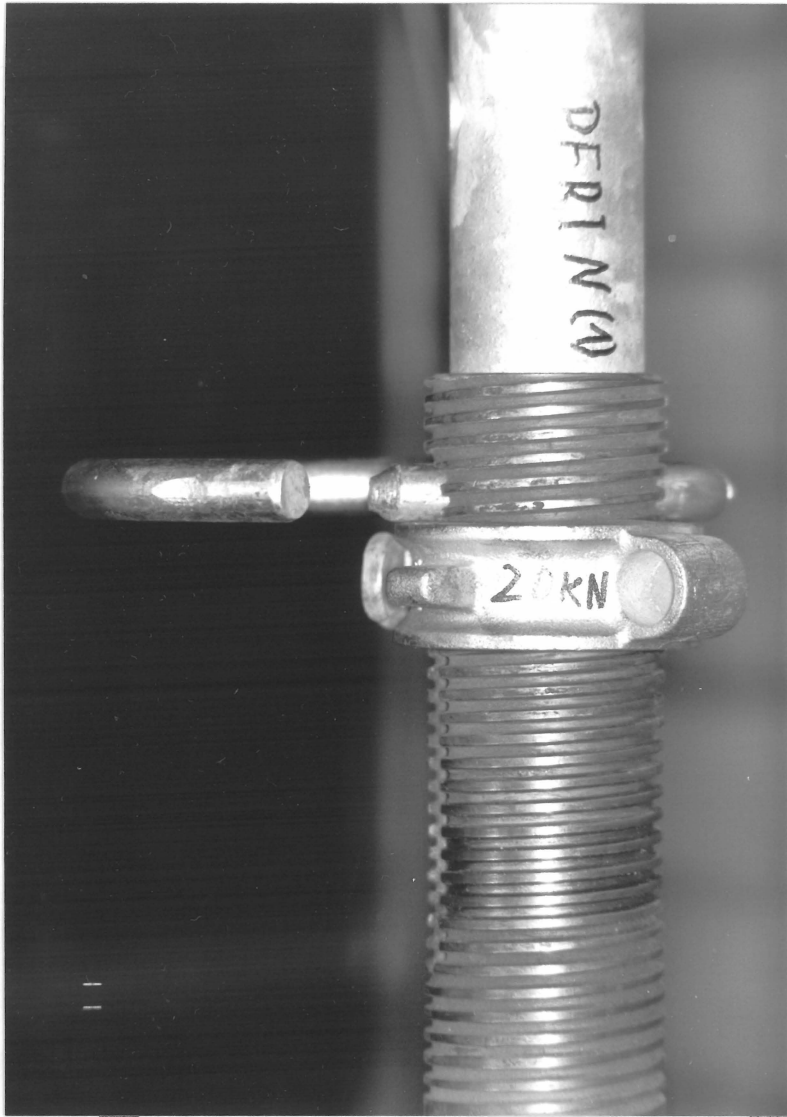


Bild 28: Laststufe 20 kN  
PERI Stütze N (1)

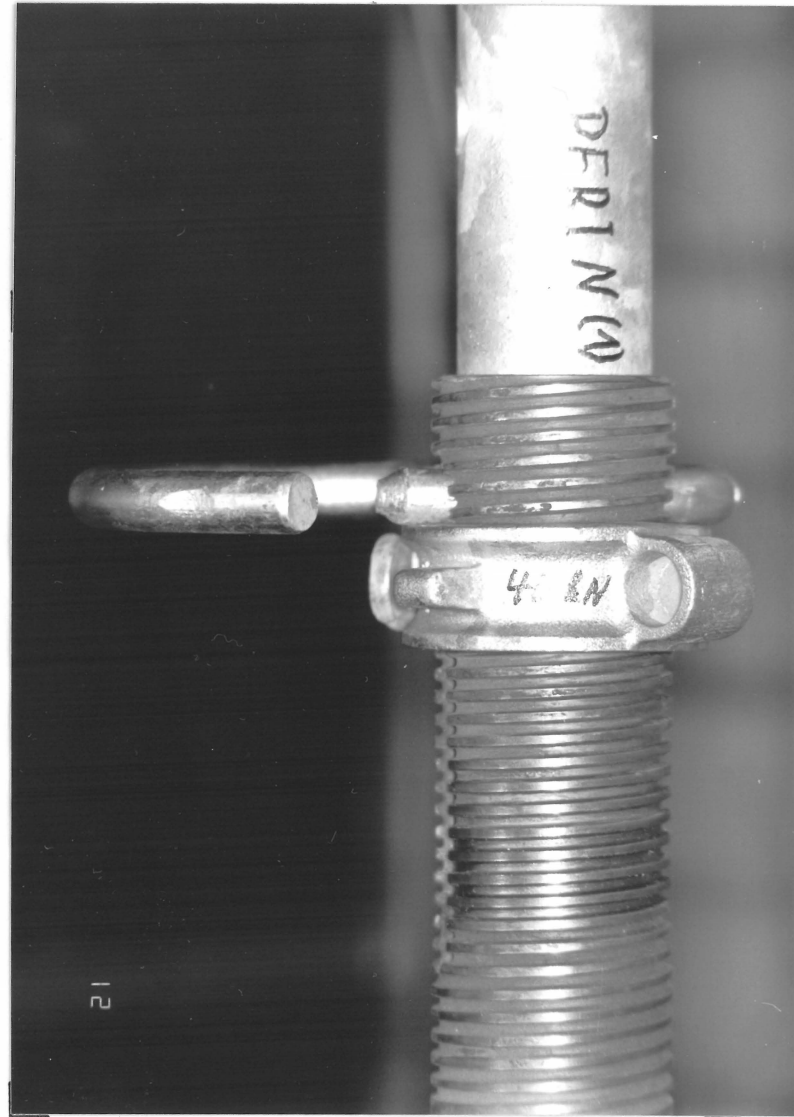


Bild 29: Laststufe 40 kN  
PERI Stütze N (1)

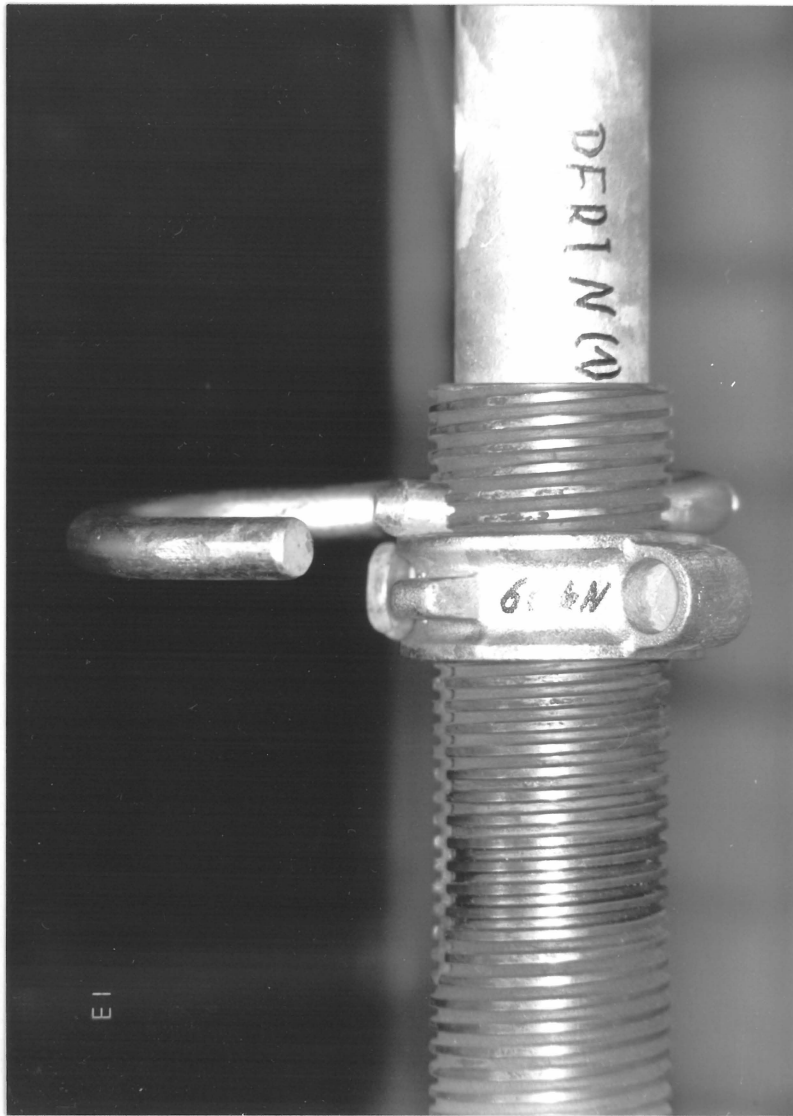


Bild 30 : Laststufe 60 kN  
PERI Stütze N(1)

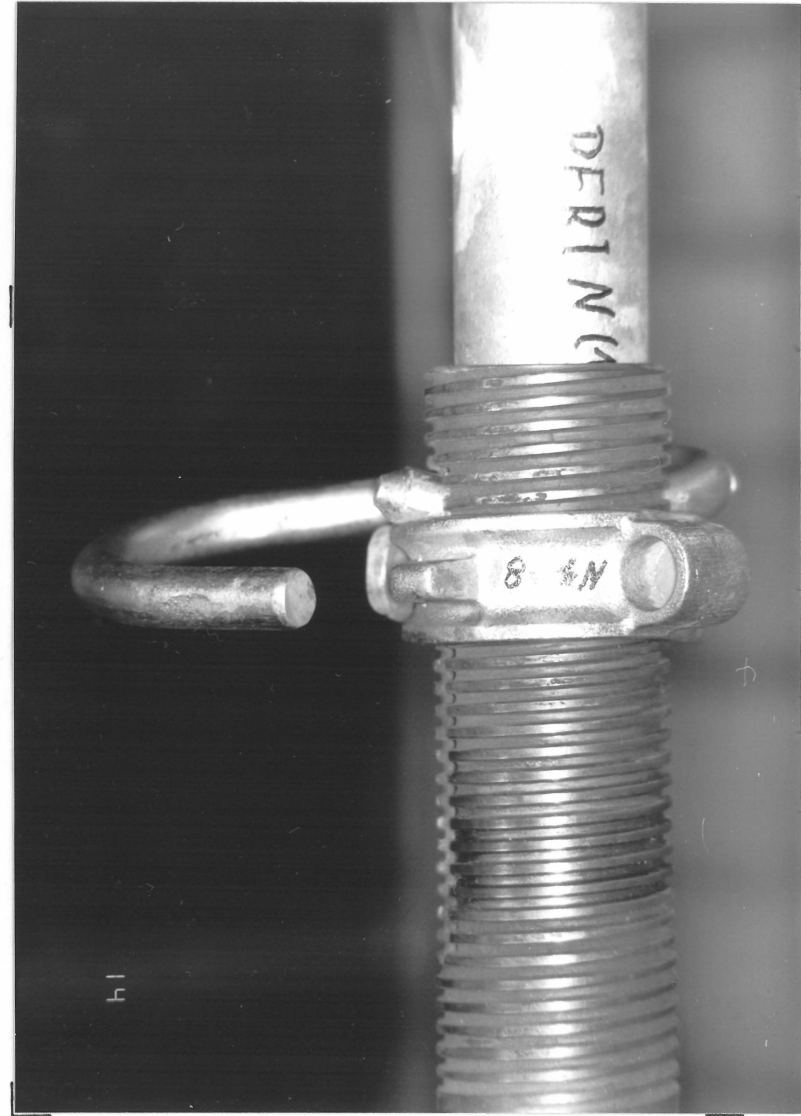


Bild 31 : Laststufe 80 kN  
PERI Stütze N(1)

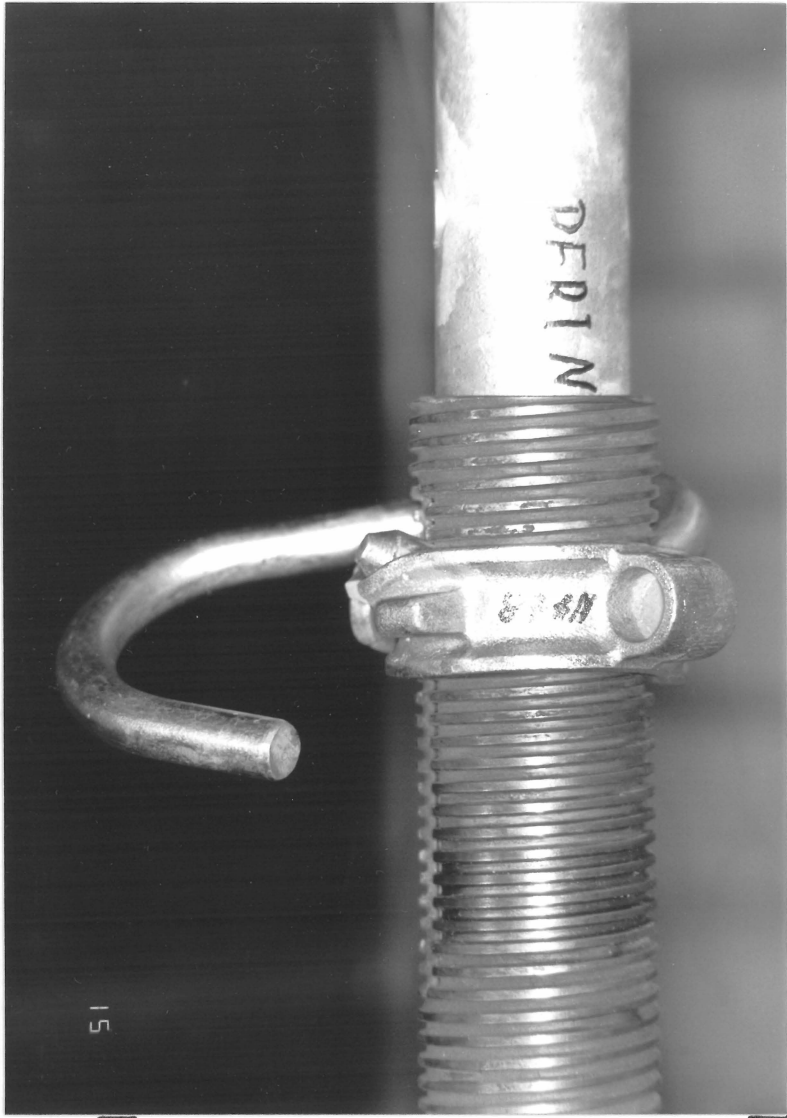


Bild 32 : Laststufe 87 kN Höchstlast  
PERI Stütze N (1)

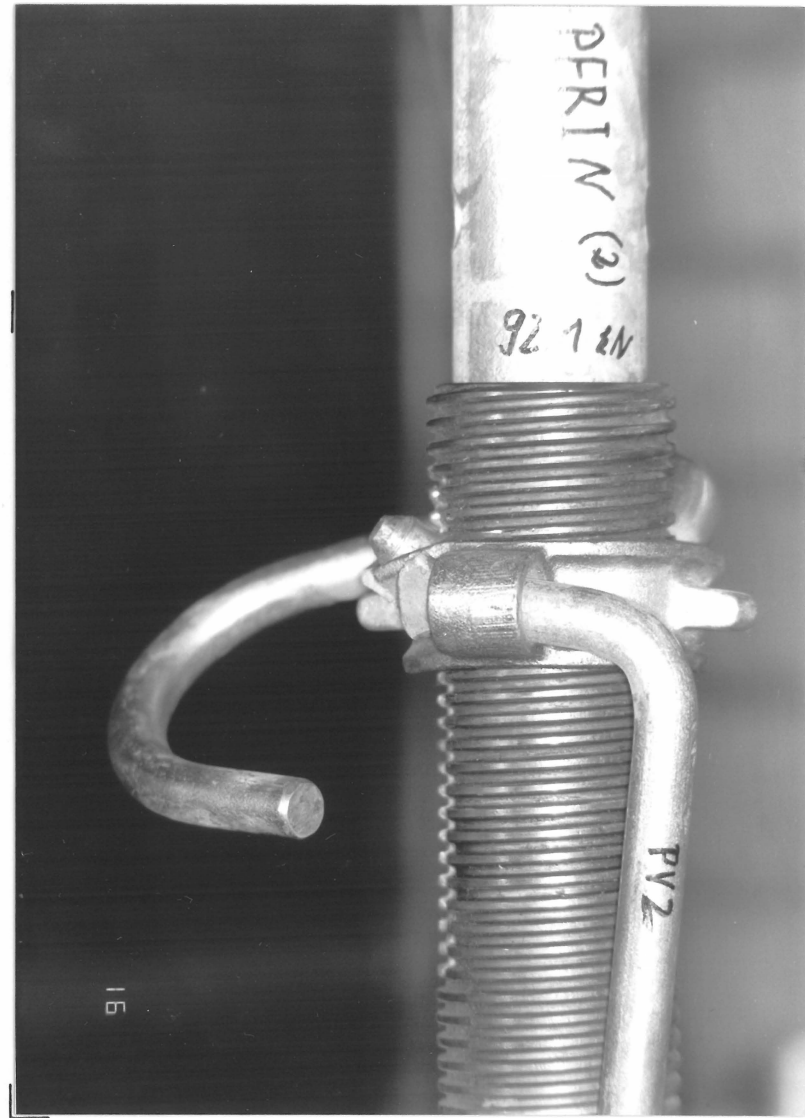


Bild 33 : Laststufe 91.2 kN Höchstlast  
PERI Stütze N (2)



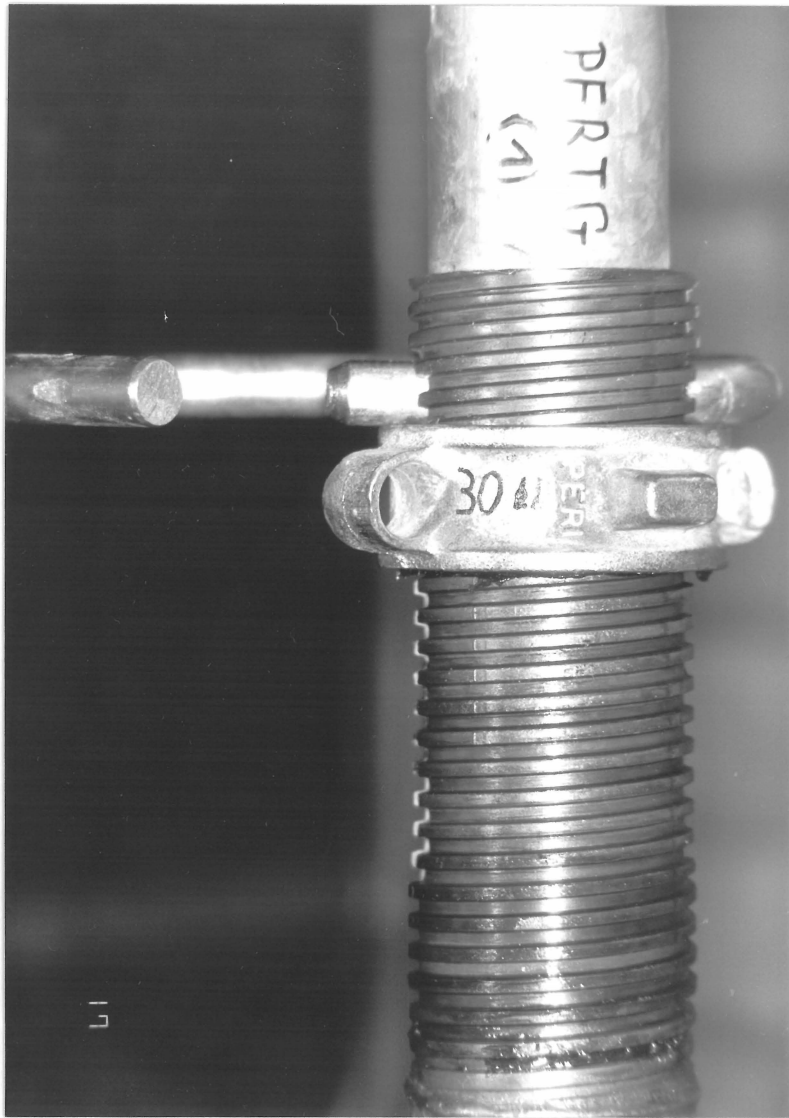


Bild 34 : Laststufe 30 kN  
PERI Stütze G (1)

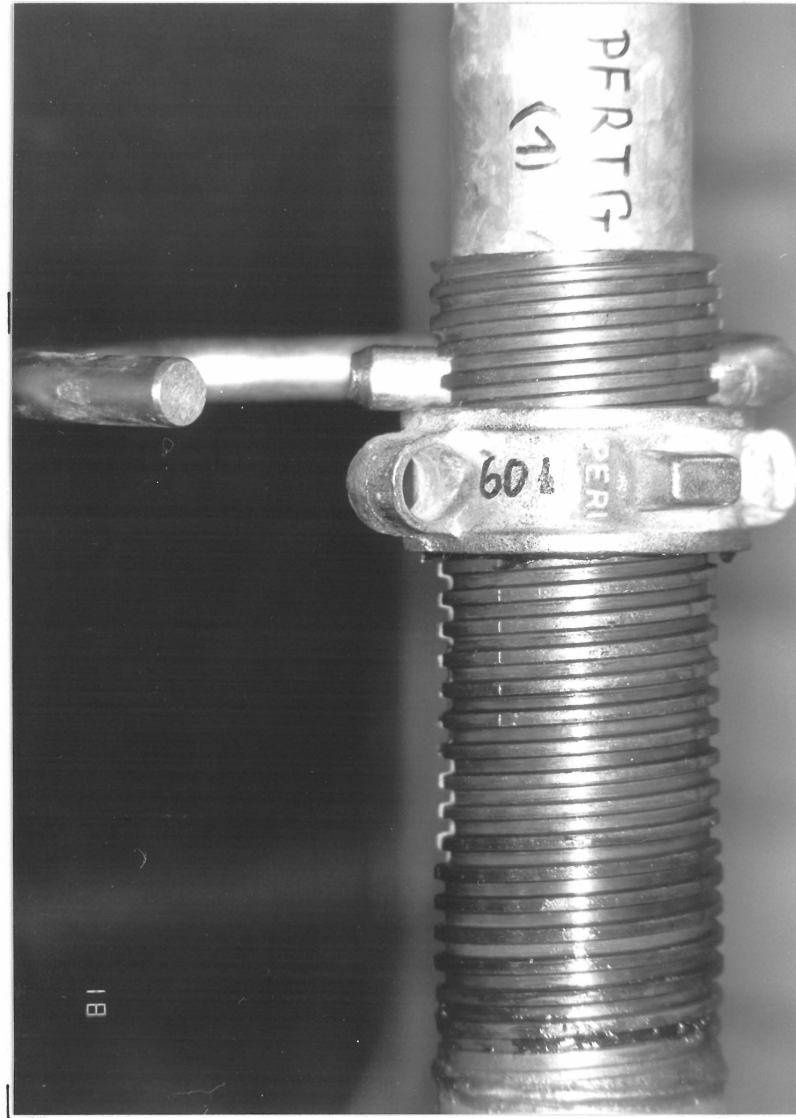


Bild 35 : Laststufe 60 kN  
PERI Stütze G (1)

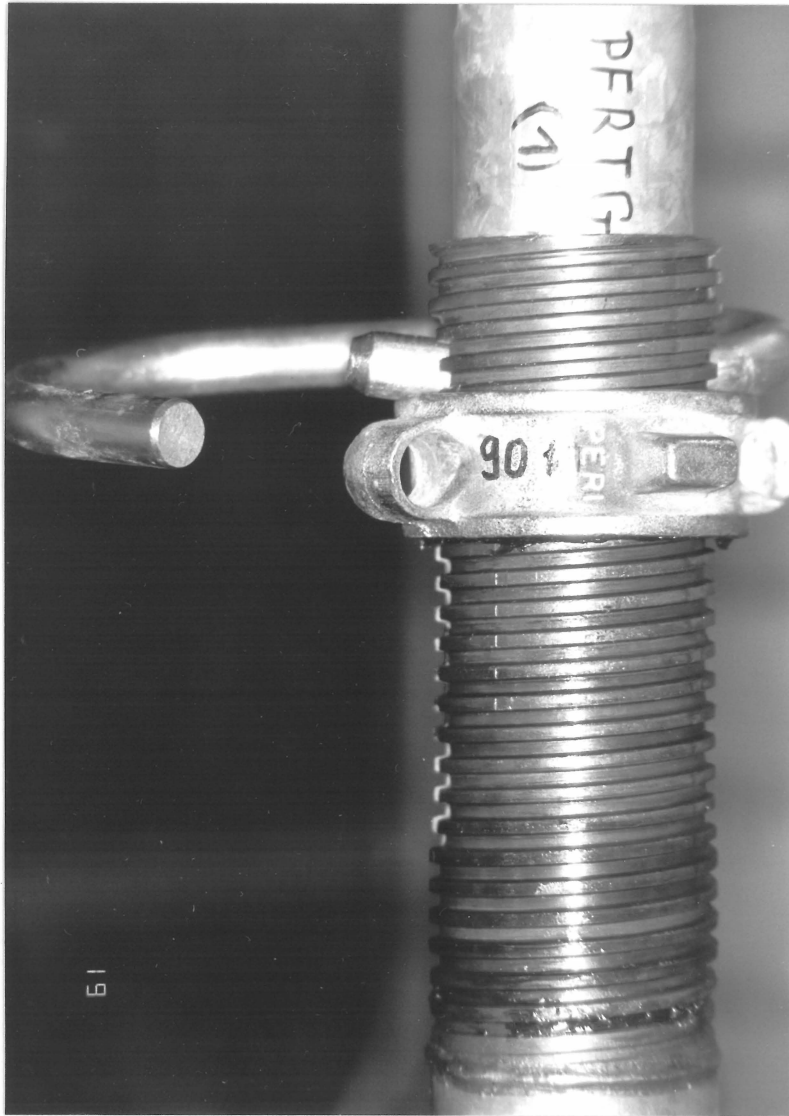


Bild 36 : Laststufe 90 kN  
PERI Stütze G (1)

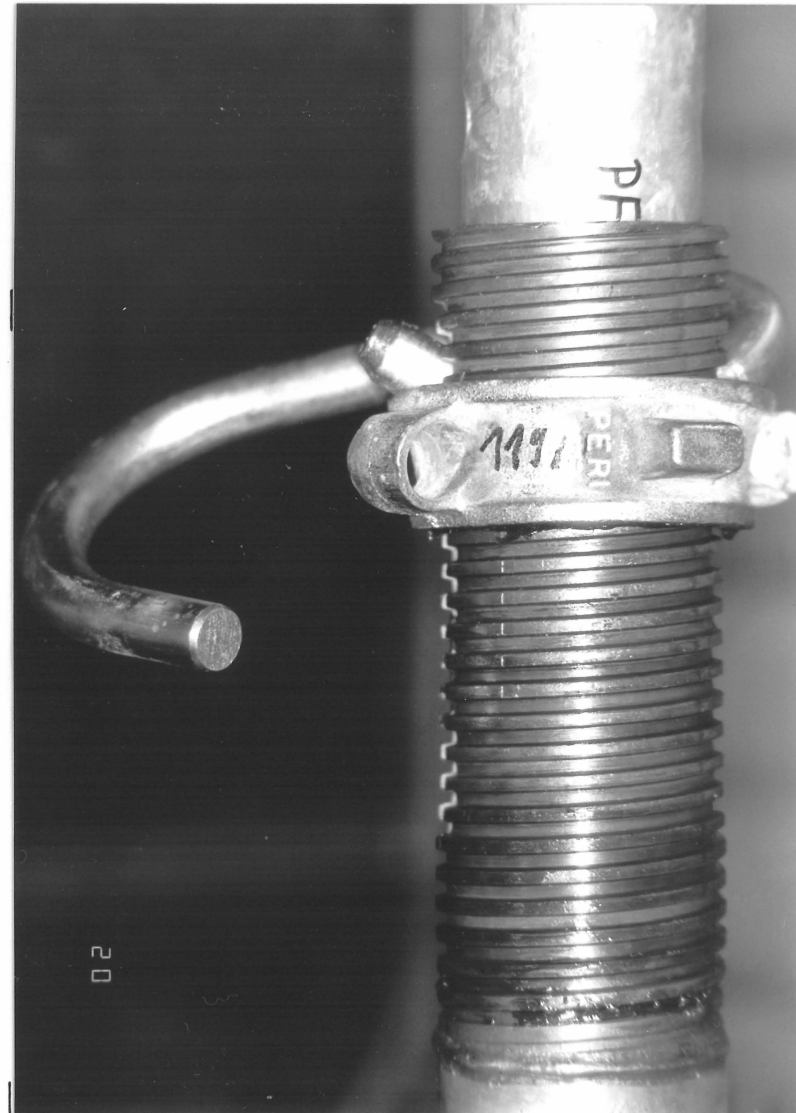


Bild 37 : Laststufe 119 kN Höchstlast  
PERI Stütze G (1)

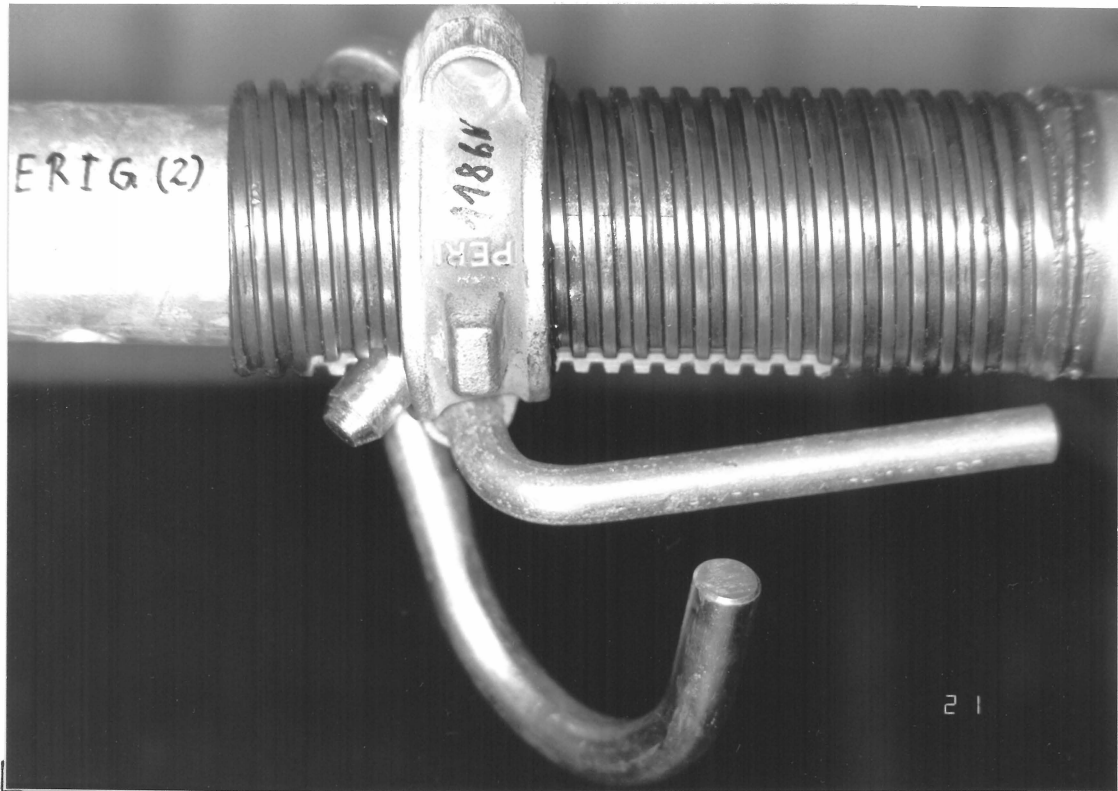


Bild 38: Laststufe 118 kN Höchstlast  
PERI Stütze G



Bild 39 : Probekörper nach dem Versagen  
(ISCHEBECK Gr. 2 , PERI N )



Bild 40 : Probekörper nach dem Versagen  
(ISCHEBECK Gr. 2 , PERI N )



Bild 41 : Details der Probekörper nach dem Versagen  
ISCHEBECK Gr. 2



Bild 42 : Details der Probekörper nach dem Versagen  
ISCHEBECK Gr. 4

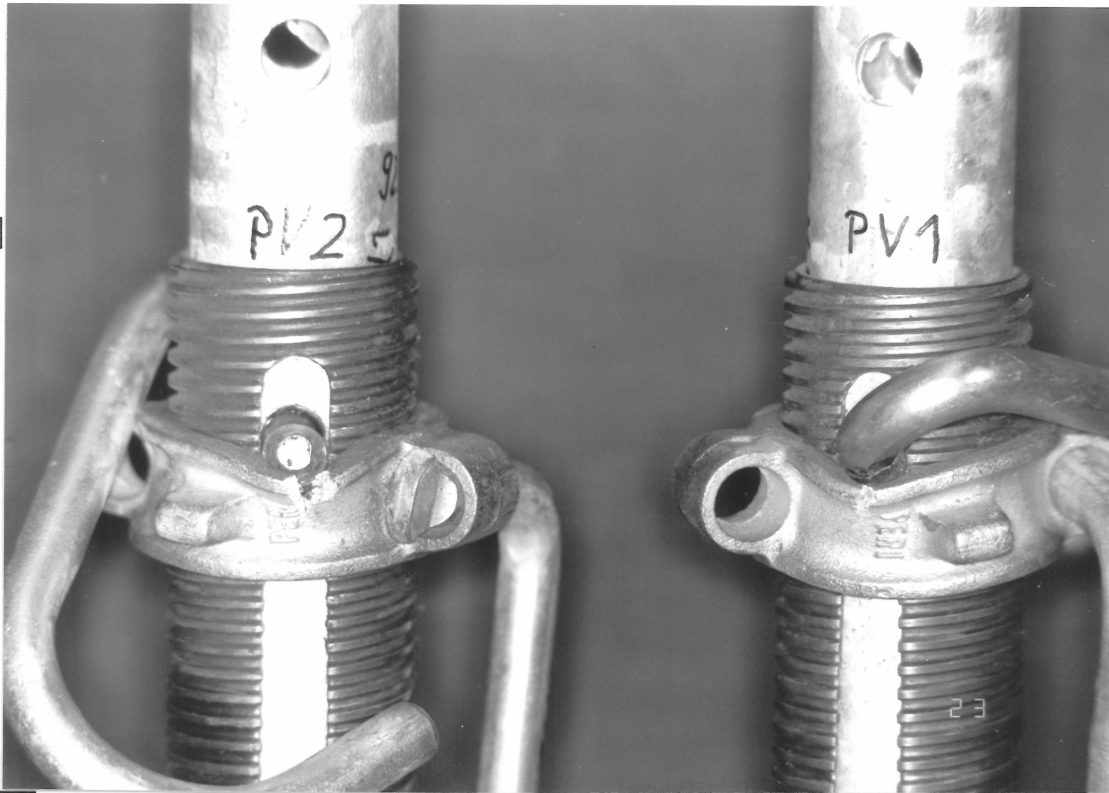


Bild 43: Details der Probekörper nach dem Versagen  
PERI N

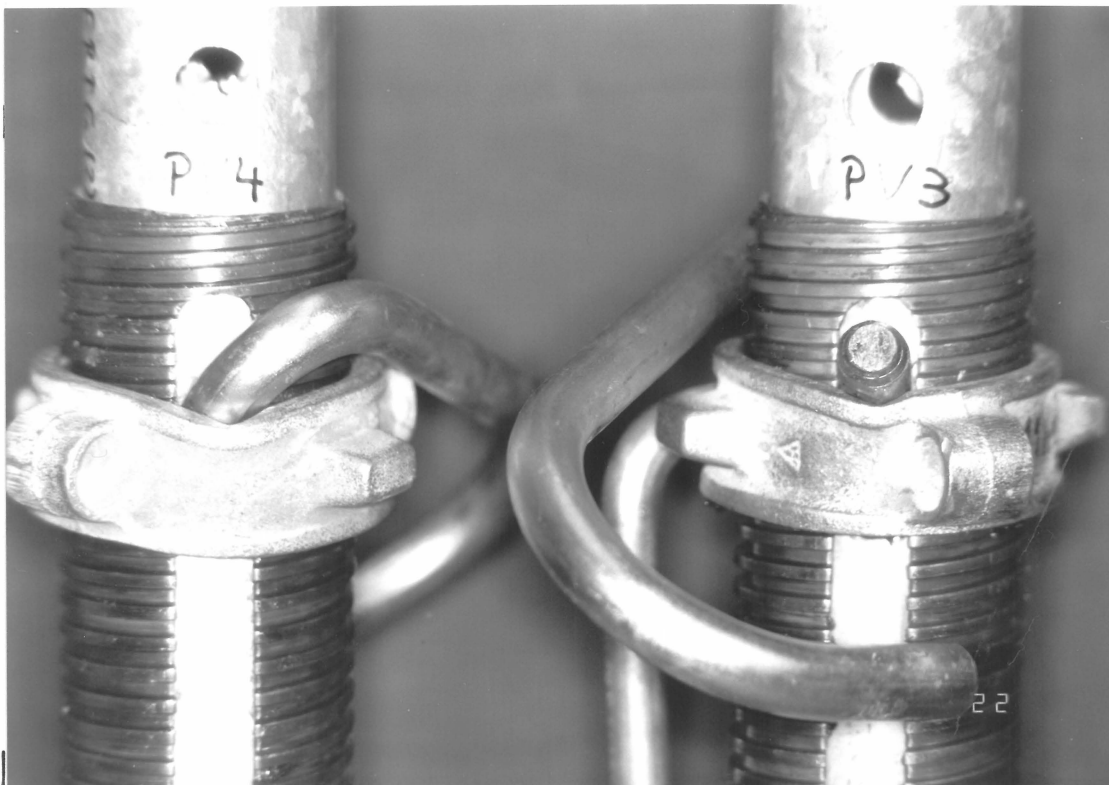


Bild 44: Details der Probekörper nach dem Versagen  
PERI G