

Vergleichende rechnerische
Untersuchungen zum
Stand sicherheitsnachweis und
zu Großversuchen im Rahmen
der Anträge zur allgemeinen
bauaufsichtlichen Zulassung von
Gerüsten besonderer Bauart

T 2195

T 2195

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**Vergleichende rechnerische Untersuchungen zum
Stand sicherheitsnachweis und zu Großversuchen im
Rahmen der Anträge zur allgemeinen bauaufsichtlichen
Zulassung von Gerüsten besonderer Bauart**

Schl u ß b e r i c h t

zum Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik Berlin IV 1-5-375/83

Bericht-Nr.: 147

München, den 27/11/89

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. F. Nather

Dipl.-Ing. Martina Stephan

Dipl.-Ing. Robert Hertle

Inhalt	Seite
0. Bezeichnungen	2
1. Einleitung	3
2. Parameterstudien zur Definition der typischen Eigenschaften von Gerüstsystemen	5
3. Entwicklung eines Näherungsverfahrens zur Berechnung von Rahmengerüsten nach Theorie II. Ordnung	9
4. Programm GERNAE - Näherungsverfahren zur Berechnung von Rahmengerüstsystemen nach Theorie II. Ordnung	13
5. Vergleichsuntersuchungen zu den Ergebnissen der statischen Berechnungen und zu den Ergebnissen der Großversuche von Gerüstsystemen besonderer Bauart	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Vergleich mit [12] "Statische Berechnungen zu Großversuchen an Fassadengerüsten"	16
5.2.1 BERA-Europagerüst	17
5.2.2 KERN-Schnellbaugerüst Typ II	18
5.2.3 FIX-Rahmengerüst II	18
5.3 Vergleich der Ergebnisse des Programms GERNAE mit denen des Stabwerkprogramms TOPSET	19
5.4 Nachrechnung von Großversuchen	20
5.4.1 Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100	21
5.4.2 FIX-Rahmengerüst IV	22
5.4.3 ETUBE-Stahlrohrgerüst II	24
6. Schlußbemerkungen	25
7. Literatur	28
8. Bildverzeichnis	32
9. Anlagenverzeichnis	34

0. Bezeichnungen

H_i ...	Horizontallast am Knoten i
K_i ...	Konsollast am Knoten i
P_1 ...	Stielauflast Stiel 1
P_2 ...	Stielauflast Stiel 2
P ...	Vertikalbelastung $\hat{=} P_1 + P_2$
P_{el} ...	elastische Grenzlast $\hat{=} P_{1el} + P_{2el}$
P_T ...	Traglast $\hat{=} P_{1T} + P_{2T}$
W_i ...	Summe der Horizontallasten am Knoten i
M ...	Biegemoment eines Rahmenstiels
N ...	Normalkraft eines Rahmenstiels
Q ...	Querkraft eines Rahmenstiels
b ...	Gerüstbreite
b' ...	Riegelbreite zwischen den Eckaussteifungen
h ...	Stockwerkshöhe
h_{sp} ..	Spindelauszugslänge
Δh ...	Höhe der Eckaussteifung
h' ...	Wirksame Länge des Rahmenstiels
e_s ...	Exzentrizität der Lasteinleitung an der Spindel
c_f ...	Federkonstante der horizontalen Aussteifung
c_i ...	Federkonstante der Gerüstlage i
c_s ...	Federkonstante der Fußplatte
w, v, f ..	Horizontalverschiebungen eines Gerüstknotens i
Δw ...	Relativverformung zweier Gerüstlagen $\hat{=} w_i - w_{i-1}$
Δw_j ..	zusätzliche Relativverformung je Iterationsschritt
w_0 ...	Spannungslose Vorverformung
Δ ...	Relativer Fehler [%]
Δ_L ...	Lose einer horizontalen Aussteifung
β_s ...	Fließspannung
γ_M ...	Teilsicherheitsbeiwert für die Materialseite
γ_F ...	Teilsicherheitsbeiwert für die Lastseite
ε ...	Fehlerparameter
ψ ...	Gegenseitige Schiefstellung der Ständer-Imperfektionsannahme
ψ_s ...	Schiefstellung der Spindel-Imperfektionsannahme
ω_i^I ..	Verschieblichkeit einer Gerüstlage nach Theorie I. Ordnung
ω_i^{II} ..	Verschieblichkeit einer Gerüstlage nach Theorie II. Ordnung

1. Einleitung

Um die Vergleichsuntersuchungen zu statischen Berechnungen und zu Großversuchen laufender Zulassungsverfahren übersichtlicher zu gestalten, wird die Entwicklung eines vereinfachten Rechenmodells angestrebt, welches vor allem die Ermittlung der Schnittgrößen von Rahmengerüsten als Fassadengerüste erleichtert.

Dieses Berechnungsverfahren fußt auf umfangreichen Parameterstudien, die an drei Gerüstsystemen aus vorgefertigten Rahmen durchgeführt wurden, und die der Definition und Quantifizierung der wichtigsten Systemkennwerte dienen. Mit den dabei gewonnenen Ergebnissen wird im folgenden ein Näherungsverfahren nach Theorie II. Ordnung entwickelt, welches eine einfache und übersichtliche Berechnung von Rahmengerüsten senkrecht zur Fassade erlaubt. Besonderes Gewicht wurde dabei auf die realistische Modellierung der elastischen Horizontalaussteifung, hierbei handelt es sich im allgemeinen um eine Senkfeder mit Lose, und auf die Berücksichtigung variabler Spindellängen, -schiefstellungen und Spindelfußexzentrizitäten gelegt.

Die Praxistauglichkeit der hier entwickelten Vorgehensweise zeigt sich sowohl in der guten Übereinstimmung der Ergebnisse mit den in Großversuchen gemessenen, und durch eigene Vergleichsberechnungen mit Hilfe eines Stabwerksprogramms bestätigten Verformungswerten, als auch in einer wesentlich kürzeren Rechenzeit, verglichen mit Stabwerksprogrammen.

Einschränkend ist allerdings an dieser Stelle anzumerken, daß eine Übertragung des, auf ebenen Ersatzsystemen basierenden Algorithmusses auf Stahlrohr-Kupplungs- oder Modulgerüste mit nachgiebigen, und vielfach auch nichtlinearen, Anschlußkonstruktionen [4, 5] nicht ohne weiteres möglich ist. Die statische Berechnung dieser sehr flexiblen und vielseitig einsetzbaren Systeme ist je nach Ausführungsvariante sogar am räumlichen Gerüstausschnitt durchzuführen, um die Interaktion der einzelnen Gerüstebenen und die durch die Bauart bedingten

Besonderheiten, z.B. exzentrische Anschlüsse, oder Reduktion der Steifigkeit einer Diagonalaussteifung hervorgerufen durch nachgiebige Verbindungsmittel, wirklichkeitsnah zu erfassen.

Diese Restriktion in der Anwendbarkeit der hier vorgestellten Berechnungsmethodik betrifft aber im wesentlichen nur die Sonderkonstruktionen, wie sie beispielsweise bei Sanierungen von Kühltürmen oder bei Baumaßnahmen zur Nachrüstung von Kraftwerken mit Entstickungs- und Entschwefelungsanlagen anzutreffen sind. Der übliche Arbeits- und Schutzgerüstbau verwendet aufgrund ihrer einfachen Montageeigenschaften bevorzugt Rahmengerüste.

Das im nachfolgenden entwickelte und im BASIC programmierte Berechnungsverfahren ist auch für zukünftige Vergleichsuntersuchungen auf Basis der E-DIN 4420, Entwurf Dezember 1988, tauglich, obgleich während der Abwicklung des Forschungsvorhabens das Berechnungs- und Bemessungskonzept für Arbeits- und Schutzgerüste an die Vorgehensweise von DIN 18800, Entwurf März 1988 und Eurocode 3 mit elastisch-plastischen Arbeitslinien und gesplitteten Sicherheitsbeiwerten γ_M und γ_F angepaßt wurde.

Zur einfacheren Handhabung des in Anlage 1 wiedergegebenen Programms enthält Anlage 4 ein Benutzerhandbuch mit Eingabebeispielen. Dieser Teil des Abschlußberichtes ist, da er sich nur an den Anwender richtet, separat gebunden.

2. Parameterstudien zur Definition der typischen Eigenschaften von Gerüstsystemen

Zur Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen Belastung, gewähltem statischen System und Traglast wurden an drei verschiedenen Gerüstsystemen Parameterstudien nach Elastizitätstheorie II. Ordnung und Fließzonentheorie II. Ordnung mit Hilfe eines Stabwerkprogramms durchgeführt. Als Rechenhilfsmittel diente das Programm TOPSET aus der Programmkette SET der Arbeitsgruppe für elektronisches Rechnen im konstruktiven Ingenieurbau an der TU München [1, 2]. Die Berechnung im Programm TOPSET erfolgt unter Beachtung der Normal- und Querkraftverformungen. Die geometrisch und physikalisch nichtlineare Berechnung wird abgebrochen, wenn die inneren und äußeren Schnittgrößen in allen betrachteten Punkten Unterschiede $\leq 1\%$ aufweisen bzw. ein Vorzeichenwechsel der Determinante vorliegt.

Folgende Gerüsttypen wurden untersucht:

- BOSTA 70 Stahl
Ein Rahmengerüst aus Stahl mit einer Systembreite der Rahmen von 740 mm. Die Ersatzfeder für die Schubsteifigkeit der Horizontalbeläge weist eine sehr große Lose ($\Delta_L=33$ mm) auf.
- Layher-Blitzgerüst
Ein Rahmengerüst aus Stahl mit einer Rahmenbreite von 1088 mm. Der Spindelversatz und die zugehörige rechnerische maximale Spindelschrägstellung sind relativ groß.
- Koala 2000
Ein Rahmengerüst aus Aluminium mit einer Systembreite der Rahmen von 765 mm. Es wurde in die Untersuchung mit einbezogen, um die Ergebnisse auch auf Aluminiumgerüste übertragen zu können.
Die gekrümmte Arbeitslinie für Aluminium ist [3] entnommen.

Die folgenden Konstanten bzw. variablen Kenngrößen lagen der Parameterstudie zugrunde, (Bild 1):

A) Konstante Kenngrößen:

- Stockwerkshöhe $h = 2,0$ m
- Querschnittswerte der Einzelbauteile
- Höhenkoten der Verankerungen
- Gegenseitige Schiefstellung der Ständer $\psi = 1/200$

B) Variable Kenngrößen:

- a) Anzahl der Geschosse
- b) Federkennlinie der Ersatzfeder für die Schubsteifigkeit der horizontalen Ebene c_f
- c) Gerüstbreite b
- d) Verhältnis der Gesamtbreite b zur Riegelbreite b' zwischen den Aussteifungen
- e) Belastung - Horizontallast
 - Verhältnis der Stiellasten
- f) Auflagerungs konstruktion - Fußspindeln

Es wurde jeweils nur ein Parameter variiert, die anderen wurden konstant gehalten.

zu a) In den Bildern 2 und 3 sind die Traglastunterschiede für die verschiedenen Bauhöhen dargestellt. Sie liegen unter Berücksichtigung der Randbedingungen bei 1 - 2 Prozent, sind also vernachlässigbar. Alle weiteren Untersuchungen wurden (mit Ausnahme der Spindeluntersuchungen) an einem viergeschossigen System entsprechend den unteren Geschossen des Bilds 1 durchgeführt.

zu b) Die hier verwendeten Federkennlinien wurden aus den Versuchsberichten für das Zulassungsverfahren des jeweiligen Gerüsts entnommen [6, 7, 8].
Die Ergebnisse der Variationen der Federparameter sind in den Tabellen 1 und 2 angegeben.

zu c) In Bild 4 ist dieser Einfluß für zwei Gerüsttypen aufgezeigt. Mit zunehmender Breite wird sowohl die Traglast als auch die elastische Grenzlast etwas geringer.

- zu d) Dieser Einfluß ist an zwei Gerüsttypen in Bild 5 dokumentiert.
- zu e) Die Zunahme der Horizontallasten W (Summe der Knotenlasten in jedem Stockwerk) hat erwartungsgemäß eine große Abnahme von Trag- und elastischer Grenzlast zur Folge (Bild 6). Dagegen hat das Verhältnis der Stielauflasten nur einen geringen Einfluß (Bild 7).
- zu f) Alle oben angeführten Untersuchungen wurden an Systemen ohne Spindel durchgeführt. Am ungünstigsten Fall maximaler Auszugslänge der Spindeln wurde der Einfluß der Fußpunktausbildung betrachtet.
Die Schiefstellung und Exzentrizität der Fußspindel wurde wie in Bild 8 angegeben, angesetzt.

Δ_L cm	c_f kN/cm	P_{el} kN	P_T kN
0	∞	90,0	96,4
0	0,698	90,0	95,8
1	0,698	84,6	93,4
2	0,698	82,4	89,8
3	0,698	82,4	88,8
4	0,698	82,4	88,8
5	0,698	82,4	88,8
6	0,698	82,4	88,8
0	0	82,4	88,8

Tabelle 1: Traglasten für das Gerüst BOSTA 70 - Variation der Federkennlinie c_f

Δ_L cm	c_f kN/cm	P_T kN
0	∞	50,6
0	1,09	50,4
1	1,09	50,2
2	1,09	50,0
3	1,09	49,4
4	1,09	49,0
0	0	46,6

Tabelle 2: Traglasten für das Gerüst KOALA - Variation der Federkennlinie c_f

Zur besseren Einschätzung des Einflusses von Randbedingungen auf das Systemverhalten diente eine im Zuge der Parameterstudie zusätzlich durchgeführte Variation der Spindelmodellierung. Neben der Annahme eines gelenkigen Spindelfußes erstreckte sich die Untersuchung auch auf nachgiebig eingespannte und starr eingespannte Ausführungen.

Hervorzuheben ist dabei, daß die Traglasten bei volleingespannter Spindel über denen der gelenkig gelagerten Systeme ohne Spindel liegen.

Bei gelenkiger Auflagerung des Fußpunktes wächst die Verschiebung des Basisquerriegels v auf das Dreifache der Verschiebung bei volleingespanntem Spindelfuß an. Die Traglast variiert hierbei um maximal 30 Prozent.

Eine weitergehende Verfeinerung der Berechnungsannahmen zur Erfassung der komplexen, von der Vertikalbeanspruchung abhängigen, Momenten-Drehwinkelbeziehung einer Spindel-Fußplattenkombination [13], wurde bei den hier durchgeführten Parametervariationen nicht verfolgt.

Um ein einseitiges Abheben der Fußplatte simulieren zu können, wurden die Federn nur als Druckfedern abgebildet. In den Bildern 9 und 10 sind die großen Unterschiede im Tragverhalten der drei Systeme aufgezeigt.

3. Entwicklung eines Näherungsverfahrens zur Berechnung von Rahmengerüsten nach Theorie II. Ordnung

Auf der Grundlage der Parameterstudien, die den Einfluß der einzelnen Bemessungsparameter auf das Systemverhalten dokumentieren, wurde ein Näherungsverfahren zur Berechnung von Rahmengerüsten nach Elastizitätstheorie II. Ordnung entwickelt. Das Prinzip dieses Verfahrens ist in Bild 11 am Beispiel eines viergeschossigen Gerüsts mit Spindel dargestellt.

Es handelt sich, wie aus den Erläuterungen ersichtlich, um ein auf dem Gedanken des Durchbiegungsverfahrens [9] aufbauendes Näherungsverfahren, das die Affinität der Verformung nach Theorie II. Ordnung mit den für Rahmengerüste realen Zwangs- und Gebrauchsverformungen ausnutzt. Da die Güte der Näherung bei dieser Vorgehensweise stark von der eingangs geforderten Affinität der Biegelinien abhängt, ist daher eine Übertragung des Verfahrens auf andere Systeme nur eingeschränkt möglich.

Die vorhergehenden Parameterstudien zeigen, daß die Biegeverformung der Gesamtleiter vernachlässigt werden kann. Die Einzelverformungen Δw sind daher Schubverformungen, die in den einzelnen Stielen Biegemomente erzeugen. Damit ist es möglich, die drei unbekanntes Verformungsgrößen eines Gerüstknötens in der Ebene auf die unbekanntes Horizontalverschiebung w zu reduzieren. Dies führt zwangsläufig zur Entwicklung einer auf den Regeln der Deformationsmethode fußenden Rechensystematik.

Der Zusammenhang von Verformungen Δw und Querkräften Q bzw. Momenten M wird für alle Rahmen oberhalb des Fußrahmens in Bild 12 und für den Fußrahmen in Bild 13 erläutert.

Bis auf den Fußpunkt sind alle Riegel und Rahmenecken durch Eckaussteifungen und Mitwirken des unteren Riegels des aufgesteckten Rahmens so steif, daß die Riegelverformung als End-

verdrehung der Stiele näherungsweise erfaßt werden kann. Dazu wird die Länge $h - \Delta h$ eines Stiels, die an der Verschiebung Anteil hat, um einen Teil von Δh vergrößert. Für die weitere Berechnung werden dann die Riegel als starre Kopplungselemente ($EI_R \rightarrow \infty$) der Rahmenstiele aufgefaßt.

Nach [10] wird für den Fußrahmen die wirksame Länge h' des Stiels aus Bild 14 ermittelt. Dort sind, basierend auf Parameterstudien, zwei Kurven angegeben: Zum einen für Systeme ohne Spindeln, zum anderen für Systeme mit maximaler Spindelauszugslänge zwischen 20 - 35 cm. Für eine kleinere als die maximale Auszugslänge darf zwischen den beiden Kurven linear interpoliert werden. Für alle Rahmen oberhalb des Fußrahmens wird $h' = h - 1/2 \cdot \Delta h$ gesetzt.

Eine ausführliche Untersuchung zum Einfluß der wirksamen Länge h' eines Ständers ist in [23] zu finden. Dort sind auch für verschiedene Gerüstsysteme verbesserte Berechnungsannahmen angegeben.

Ist keine Spindel vorhanden, so wird h_{sp} und Q_0 zu Null und damit auch M_{sp} , M_S , M_R , $\Delta w_0^{I,II}$, $\Delta w_{00}^{I,II}$ und $\Delta w_{10}^{I,II}$.

Für den Ablauf der Näherungsberechnung werden zunächst Vorwerte als Quotient aus Verformungen $\Delta w_j^{I,II}$ und der zugehörigen Querkraft Q_j berechnet.

$$\text{Vereinbarung: } \omega_j^{I,II} := \frac{\Delta w_j^{I,II}}{Q_j}$$

Im ersten Schritt setzen sich die Horizontallasten H_i^1 aus den äußeren Kräften (z.B. Windlasten) und den Abtriebskräften, bedingt durch die Vorverformungen w_i^0 (Schrägstellungen), zusammen. Für die Bestimmung der Abtriebskräfte (Theorie I. Ordnung) wird deshalb die Gesamthöhe h eines Gerüstrahmens herangezogen. Über die Knotengleichgewichtsgleichungen werden dann die Querkräfte Q_j^1 berechnet, aus denen wiederum über die ω_j^I -Werte die Verschiebungen w_i^1 für den 1. Schritt berechnet werden.

Für den zweiten Schritt errechnen sich aus den Verschiebungen w_i^1 des ersten Schritts die Horizontallasten als Abtriebskräf-

te H_j^2 mit der Höhe $h - \Delta h$. Über die Knotengleichgewichtsgleichungen werden dann die Querkräfte Q_j^2 bestimmt, aus denen wiederum über die ω_j^{II} -Werte die Verschiebungen w_j^2 für den zweiten Schritt bestimmt werden. Alle folgenden Schritte laufen analog Schritt zwei ab.

Die Iteration wird im n -ten Schritt beendet, wenn an allen Knoten i die Änderung der Verschiebung w_i kleiner ε ist. Dabei ist ε ein frei wählbarer Fehlerparameter zur Steuerung der Iterationsqualität.

Die Stockwerksgleichungen werden über eine Koeffizientenmatrix formuliert, die multipliziert mit dem Vektor der Querkräfte den Vektor der Horizontalkräfte ergibt. Als Beispiel ist für ein 4-stöckiges Gerüstsystem mit Spindel analog Bild 11 die Koeffizientenmatrix in Bild 15 dargestellt, wobei speziell für das System in Bild 11 die Federsteifigkeiten $c_2 = c_4 = 0$ kN/cm und $c_5 \rightarrow \infty$ (sehr große Federsteifigkeit für Festhaltungen) gesetzt werden müßten. Für den ersten Schritt sind die ω_j^I -Werte, für alle weiteren Schritte die ω_j^{II} -Werte einzusetzen. Wäre keine Spindel vorhanden, so würde der zweite Wert der ersten Zeile sowie H_1^n und $\omega_0^{I,II}$ gleich Null gesetzt.

Aus den in jedem Schritt n berechneten Querkräften Q_j^n ergeben sich die Verschiebungen w_i^n wie folgt:

$$w_1^n = \omega_{00}^{I,II} \cdot Q_0^n + \omega_{10}^{I,II} \cdot Q_1^n$$

$$w_2^n = \omega_0^{I,II} \cdot Q_0^n + \omega_1^{I,II} \cdot Q_1^n$$

$$w_3^n = \omega_0^{I,II} \cdot Q_0^n + \omega_1^{I,II} \cdot Q_1^n + \omega_2^{I,II} \cdot Q_2^n$$

$$w_4^n = \omega_0^{I,II} \cdot Q_0^n + \omega_1^{I,II} \cdot Q_1^n + \omega_2^{I,II} \cdot Q_2^n + \omega_3^{I,II} \cdot Q_3^n$$

⋮
⋮
⋮
⋮
⋮

$$w_i^n = \omega_0^{I,II} \cdot Q_0^n + \omega_1^{I,II} \cdot Q_1^n + \omega_2^{I,II} \cdot \sum_{j=2}^{i-1} Q_j^n$$

(1. Schritt ω^I -Werte, ab 2. Schritt ω^{II} -Werte)

Die Werte w_i^n bzw. Q_j^n summiert über alle Schritte n ergeben dann die Gesamtverschiebung w_i für alle Knoten i bzw. die Gesamtquerkräfte Q_j für alle Rahmen j (bzw. die Spindel, $j = 0$). Aus den Gesamtquerkräften Q_j werden nach Bild 12 und 13 die Rahmenstiel- bzw. Spindelmomente berechnet.

Ein ausführliches Zahlenbeispiel für den Berechnungsablauf ist zusammen mit einer Vergleichsrechnung mit dem Stabwerksprogramm SET [1] in Anlage 3 zu finden.

4. Programm GERNAE - Näherungsverfahren zur Berechnung von Rahmengerüstsystemen nach Theorie II. Ordnung

Das Näherungsverfahren wurde am Lehrstuhl für Stahlbau der TU-München in BASIC programmiert und auf einem Sharp-Kleinrechner installiert. Das Programm GERNAE umfaßt (mit Kommentarseiten) circa 700 Programmzeilen. Sein Ablauf ist im Flußdiagramm (Bild 16) dargestellt. Ein Ausdruck des Programms ist in Anlage 1 zu finden.

Die Eingabe kann über einen vorher angelegten Datensatz oder aber interaktiv erfolgen. Ein Beispiel für einen vorher angelegten Datensatz befindet sich in Anlage 2.

Für das zu berechnende Rahmengerüst ist einzugeben:

- Anzahl der Rahmen übereinander (Es können bis zu achtgeschossige Gerüste untersucht werden. Diese Begrenzung ist willkürlich und hängt nur vom vorhandenen Speicherplatz ab.)
- Abmessungen der Rahmen: Höhe, Aussteifungshöhe, Breite
- Steifigkeiten: Stiel, Riegel
- Spindelgeometrie und -steifigkeit (Eingabewerte = 0 für Systeme ohne Spindel)
- Vorverformungen
- Lagerung: Festhaltungen, Federn
- Äußere Lasten: Vertikallast, Horizontallasten.

Dabei ist, da es sich um eine Berechnung am halben System handelt, zu beachten, daß als Vertikallast die halbe Rahmenauflast, d.h. $(P_1 + P_2)/2$, als Horizontallasten die halben äußeren Lasten und als Federsteifigkeiten die halben Werte eingegeben werden müssen.

Zur Beschreibung einer Feder ist die Angabe der Federsteifigkeit und falls vorhanden, der Lose notwendig. Bei Federn ohne

Lose wird mit der angegebenen Federsteifigkeit c_{Eingabe} gerechnet. Bei Federn mit Lose wird, solange die Verschiebungssumme kleiner als die Lose bleibt, mit $c = 0$ gerechnet. Für den Schritt n , in dem die Feder anspringt, wird iterativ ein c mit $0 < c < c_{\text{Eingabe}}$ ermittelt. Für alle weiteren Schritte wird mit $c = c_{\text{Eingabe}}$ gerechnet. Dieses Vorgehen ist in Bild 17 nochmals graphisch beschrieben.

Die Spindelexzentrizität wird nach Merkheft Statik [11] berechnet. Falls gewünscht, kann aber auch eine durch spezielle Randbedingungen gegebene Spindelexzentrizität eingegeben werden.

Die Iterationsschritte des Näherungsprogramms laufen ab wie in Bild 16 dargestellt und unter Punkt 3 beschrieben. Nach Beendigung der Berechnung kann auf Wunsch für den Rahmenstiel mit Rohrquerschnitt eine plastische M-N-Interaktion durchgeführt werden.

Die Ausgabe beinhaltet die Gesamtverschiebungen der einzelnen Knoten, die Gesamtquerkraft der Rahmen und der Spindel, die Feder- und Auflagerkräfte und, falls eine plastische Schnittgrößen-Interaktion durchgeführt wird, ob bzw. wo das plastische Moment $M_{p1,N}$ in Abhängigkeit von der Normalkraft überschritten wird.

5. Vergleichsuntersuchungen zu statischen Berechnungen und zu den Ergebnissen der Großversuche von Gerüstsystemen besonderer Bauart

5.1 Allgemeines

Um die Praxistauglichkeit des unter 3. entwickelten Algorithmusses zu überprüfen, wurden mit dem Näherungsprogramm GERNAE Vergleichsberechnungen zu Großversuchen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden parallel dazu mit bereits bestehenden Berechnungen aus der Literatur oder mit eigenen Berechnungen mit dem Stabwerksprogramm SET [1] verglichen.

Während der Vergleich von Näherungsprogramm mit genaueren Berechnungen sehr gut gelingt, da man die Berechnungen mit denselben Eingangswerten durchführen kann, gestaltet sich die Nachrechnung der Großversuche schwieriger, denn wichtige Berechnungsvoraussetzungen, wie z.B. Vorverformungen, sind meist nicht dokumentiert oder, wie z.B. der tatsächliche Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Horizontalfedern, nur schwer dokumentierbar. Es müßten also die Schrägstellungen der Vertikalrahmen der Hauptbelastungsebene und die Stellung der einzelnen Vertikalrahmenebenen zu einander bekannt sein. Da dies meist nicht der Fall ist, wurden in den Versuchsnachrechnungen im allgemeinen die Imperfektionen nach Merkheft Statik [11] angenommen. Der nichtlineare Charakter der Horizontalfeder entsprach den aus den Schubversuchen erhaltenen Werten. Diese Federn wurden nur in den Horizontalebene angesetzt, in denen die benachbarten Vertikalrahmenebenen mit Ankern versehen sind. In den anderen Ebenen ist eine Angabe effektiver Federwerte, die mit Sicherheit geringer sind, nur relativ willkürlich möglich, da es sich wie in [12] beschrieben, um gekoppelte, lastabhängige Federsysteme handelt. Eine Vernachlässigung dieser Federn auf der sicheren Seite muß also zwangsläufig zu flacheren Last-Verformungskurven führen.

Als Beispiel für die Unterschiede im Verlauf der Last-Verformungslinie bedingt durch unterschiedliche Schrägstellungen der Ständer, wurde ein viergeschossiges System des BERA-Europagerüsts mit Spindel nach Bild 18 mit dem Stabwerksprogramm SET [1] und dem Näherungsprogramm GERNAE nachgerechnet. Die Lose der Feder zwischen zweitem und drittem Stockwerk wurde gleich Null gesetzt. Die Last-Verformungskurven bis zum ersten Fließgelenk bei $\beta_S = 24,0 \text{ kN/cm}^2$ bei elastisch-plastischer Rechnung und bis zur Traglast bei Fließzonentheorie sind in Bild 19 dargestellt. Dazu muß bemerkt werden, daß der Hauptanteil des Unterschieds der beiden Kurven (ca. 70 %) durch die große, nach Merkheft Statik anzusetzenden Spindelvorverformung ψ_S bewirkt wird.

Die Unterschiede in der Last-Verformungslinie aufgrund der Annahmen zur Lose zeigt beispielhaft ein Vergleich der Kurven für Vorverformung nach Merkheft Statik in Bild 19 (Lose = 0) mit einer späteren Berechnung (Kurven für f_2 in Bild 33) mit dem identischen System und einer Lose von 2.32 cm.

5.2 Vergleich mit [12] "Statische Berechnungen zu Großversuchen an Fassadengerüsten"

Im Bericht Nr. 2028 des Instituts für Baukonstruktionen und Festigkeit der TU-Berlin [12] wurden Vergleichsrechnungen zu Großversuchen mit verschiedenen System-, Feder- und Vorverformungsannahmen gemacht. Drei dieser Großversuche wurden mit dem Näherungsprogramm GERNAE nachgerechnet und mit den Kurven C,c aus [12] verglichen. Diese Last-Verformungskurven sind nach Elastizitätstheorie II. Ordnung entsprechend DIN 4114 (Kurve C) bzw. EDIN 18800 / Teil 2, 1980 (Kurve c) mit Federn mit Lose erstellt. D.h. nach DIN 4114 wurden also für Kurve D keine Vorverformungen, nach EDIN 18800 / Teil 2, 1980 für Kurve c eine Vorverformung $\psi = 1/267$ angesetzt.

Die Näherungsberechnungen mit dem Programm GERNAE beruhen ebenfalls auf Elastizitätstheorie II. Ordnung und wurden mit den gleichen nichtlinearen Federannahmen durchgeführt. Die Vorverformungen wurden nach Merkheft Statik angesetzt, die Last-Verformungskurven bis zum ersten Fließgelenk nach dem Verfahren elastisch-plastisch bei $\beta_S = 24,0 \text{ kN/cm}^2$ berechnet.

Die Ergebnisse sind für alle Riegelebenen einzeln mit den Versuchskurven und den Kurven C,c aus [12] dargestellt. Es wurden folgende Systeme betrachtet:

- BERA-Europagerüst
- KERN-Schnellbaugerüst Typ II
- FIX-Rahmengerüst II

Dabei handelt es sich ausschließlich um Systeme ohne Spindeln.

5.2.1 BERA-Europagerüst:

Das Berechnungssystem ist in Bild 20 wiedergegeben. Die Vertikalrahmen sind geschlossen und in den oberen Ecken angesteift. Federsteifigkeit und Lose wurden aus Versuchen mit hölzernen Belagtafeln, wie im Großversuch verwendet, errechnet. Zwischen zweitem und drittem Stoßwerk ist eine Horizontallast $H = 2,5 \text{ kN}$ angesetzt. Die Last-Verformungskurven für f_1 , f_2 und f_3 sind in den Bildern 21 bis 23 zu finden.

Die mit dem Näherungsprogramm GERNAE errechnete Kurve ist flacher als die Kurven C,c, da ihr eine Vorverformung nach Merkheft Statik zugrundeliegt. Die Steigungen aller Berechnungskurven sind kleiner als die der Versuchskurven, da für alle drei Berechnungen die Federn zwischen erstem und zweitem sowie zwischen drittem und viertem Stockwerk auf der sicheren Seite vernachlässigt wurden. Die Verformungen bei $P = 0$ nach GERNAE sind geringfügig (ca. 1 mm) kleiner als die der Kurven C,c. In

zwei Versuchen wird die aus den Horizontalrahmenversuchen ermittelte Lose nicht erreicht, da die Verformungen f_2 bei $P = 0$ die Rechenwerte nicht erreichen.

5.2.2 KERN- Schnellbaugerüst Typ II:

Das Berechnungssystem ist in Bild 24 dargestellt. Die Vertikalrahmen sind unten offen und in den oberen Ecken versteift. Federsteifigkeit und Lose wurden aus Versuchen mit hölzernen Gerüsttafeln, wie im Großversuch verwendet, errechnet. Zwischen zweitem und drittem Stockwerk ist eine Horizontallast $H = 2,5$ kN angesetzt. Die Last-Verformungskurven für f_1 , f_2 und f_3 sind in den Bildern 25 bis 27 zu finden.

Die Anfangssteigung der mit dem Näherungsprogramm GERNAE errechneten Last-Verformungskurven ist etwas kleiner als die der Kurven C,c, da ihr eine Vorverformung nach Merkheft Statik zugrundeliegt. Bei größerer Belastung P werden die Kurven C,c flacher, da dort vermutlich mit einer maximal aufnehmbaren Federlast gerechnet wurde. Insgesamt unterscheiden sich die Steigungen der Berechnungskurven nur sehr wenig. Sie sind aber aufgrund der Vernachlässigung der Federn zwischen erstem und zweitem sowie zwischen drittem und vierstem Stockwerk kleiner als die der Versuchskurven. Die Verformungen bei $P = 0$ nach GERNAE sind 2 bis 3 mm kleiner als die der Kurven C,c. In den Versuchen scheint die Lose noch etwa größer als die aus den Horizontalrahmenversuchen ermittelte gewesen zu sein, da die Verformungen f_2 bei $P = 0$ größer als die Rechenwerte sind.

5.2.3 FIX-Rahmengerüst II:

Das Berechnungssystem ist in Bild 28 dargestellt. Die Vertikalrahmen sind geschlossen und in den oberen Ecken versteift. Federsteifigkeit und Lose wurden aus Versuchen mit Horizontalrahmen, wie im Großversuch verwendet, errechnet. Zwi-

schen zweitem und drittem Stockwerk ist eine Horizontallast $H = 2,5 \text{ kN}$ angesetzt. Die Last-Verformungskurven für f_1 , f_2 und f_3 sind in den Bildern 29 bis 31 zu finden.

Die mit dem Näherungsprogramm GERNAE errechnete Kurve ist flacher als die Kurven C,c, da ihr eine Vorverformung nach Merkheft Statik zugrundeliegt. Die Steigungen aller Berechnungskurven sind kleiner als die der Versuchskurven, da für alle drei Berechnungen die Federn zwischen erstem und zweitem sowie zwischen drittem und viertem Stockwerk auf der sicheren Seite vernachlässigt wurden. Die Verformungen bei $P = 0$ nach GERNAE sind etwa 1 bis 2 mm kleiner als die der Kurven C,c. Die aus den Horizontalrahmenversuchen ermittelte Lose wird in etwa erreicht, da die Verformungen f_2 bei $P = 0$ ziemlich gut den Rechenwerten entsprechen.

5.3 Vergleich der Ergebnisse des Programms GERNAE mit denen des Stabwerkprogramms TOPSET

Da bei den Vergleichsberechnungen zum Bericht Nr. 2028 des Instituts für Baukonstruktionen und Festigkeit der TU-Berlin [12] hinsichtlich der Vorverformung für die einzelnen Berechnungskurven verschiedene Annahmen gelten, wurde anhand des BERA-Europagerüsts eine Vergleichsrechnung von Näherungsprogramm GERNAE und Stabwerksprogramm TOPSET mit exakt denselben Eingangswerten durchgeführt. Dafür wurde ein vierstöckiges System mit Spindeln gewählt, das in Bild 32 aufgezeichnet ist. Die Windlasten werden nach DIN 4420 Teil 1, 1980 berechnet und in drei Stockwerksebenen angesetzt. Zwischen zweitem und drittem Stockwerk greift eine Feder mit Federsteifigkeit von $1,38 \text{ kN/cm}$ und einer Federlose von $2,32 \text{ cm}$ an. Die Vorverformungen wurden nach Merkheft Statik gewählt.

In Bild 33 sind die Verformungen der vier Belageebenen in Abhängigkeit von der Vertikallast gemeinsam aufgezeichnet. Die Verformungen stimmen für f_1 , f_3 und f_4 sehr gut überein. Das

gleiche gilt für f_2 bei kleineren Auflasten P . Die Differenzen in den beiden Berechnungskurven für die größte Verformung f_2 bei größeren Auflasten P sind folgendermaßen zu beschreiben: Dieselben Verformungen wie bei genauerer Rechnung mit dem Stabwerksprogramm SET [1] werden mit dem Näherungsprogramm GERNAE bereits bei um ca. 10 % geringeren Lasten erzielt. Dies erscheint für ein Näherungsprogramm als akzeptables Ergebnis und liegt zudem auf der sicheren Seite.

5.4 Nachrechnung von Großversuchen

Es wurden weitere drei Großversuche nachgerechnet. Dabei wurden aber nicht die Vorverformungen nach Merkheft Statik verwendet, sondern in zwei Fällen die im Versuch gemessenen und in einem Fall die aufgrund der Versuchskurven wahrscheinlichen Vorverformungen. In diesem einen Fall wurden auch Federn in der ersten und dritten Gerüstlage und nicht wie sonst üblich nur in der zweiten Lage angesetzt.

Die Last-Verformungskurven wurden für die verschiedenen Be-lagsebenen gemeinsam aufgezeichnet. Die Berechnungskurven sind dabei bis zur Bildung des ersten Fließgelenks bei $\beta_S = 24.0$ kN/cm² aufgetragen. Die tatsächlichen Fließgrenzen lagen, wie aus den Zugversuchen hervorgeht, meist weitaus höher.

Nachgerechnet wurden im einzelnen:

- Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100
- FIX-Rahmengerüst IV
- ETUBE-Stahlrohrgerüst II

Dabei wurde beim FIX-Rahmengerüst zusätzlich eine Vergleichsrechnung mit dem Näherungsprogramm GERNAE zu einer Nachrechnung des Ingenieur-Büros Hohnholz und Partner durchgeführt.

5.4.1 Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100:

Das Berechnungssystem ist in Bild 34 dargestellt. Die Vertikalrahmen sind geschlossen und in den oberen Ecken aussteift. Zwischen zweitem und drittem Stockwerk wurde eine Feder angesetzt, deren Federsteifigkeit aus Versuchen der Universität Karlsruhe nach Prüfzeugnis Nr. 6858 [17], von Rahmentafeln 250/50 auf die im Versuch verwendeten Rahmentafeln 300/50 näherungsweise umgerechnet wurde. Als Lose wurde ein mittlerer Wert von 17 mm angesetzt. Zwischen erstem und zweitem sowie zweitem und drittem Stockwerk greift jeweils eine Horizontallast $H_1 = H_2 = 1,25$ kN an. Die Vorverformungen sind hier im Versuchsbericht dokumentiert.

Im Großversuch des Materialprüfungsamtes der Technischen Universität München, Untersuchungsbericht Nr. 1125 [18] war in rechnerisch ermittelter ungünstigster Position in Höhe der untersten Belageebene eine Verbreiterungskonsole mit einer Auflast $K = 1,6$ kN befestigt. Diese Konsole wurde für die Berechnungen mit dem Stabwerksprogramm TOPSET wie in Bild 34 angesetzt. Da das Näherungsprogramm GERNAE nur Knotenlasten in den einzelnen Gerüstlagen erfassen kann, ist es nicht ohne weiteres möglich, diesen Lastfall mit am Stiel angreifenden Einzellasten zu berechnen. Um den Einfluß der Konsole zumindest näherungsweise zu berücksichtigen, wurden die aus dem Lastfall "Konsollast" durch das Programm TOPSET ermittelten Verformungen zu den gemessenen Imperfektionen addiert und mit diesen neu gewonnene "Vorverformungen" ein Berechnungslauf mit GERNAE durchgeführt. Der Einfluß der Konsollast auf die Berechnungen ist bei diesem Beispiel allerdings relativ gering.

Wie aus den Unterlagen zum Großversuch zu erkennen ist, war der Versuchsaufbau zwar auf Spindeln gelagert, jedoch ergeben sich keinerlei Verformungen der Spindel. Somit wurde die Nachrechnung am System ohne Spindel durchgeführt.

Die Last-Verformungskurven für f_1 , f_2 und f_3 sind gemeinsam in Bild 35 zu finden. Dabei zeigt sich, daß die Berechnungen mit Stabwerksprogramm TOPSET und mit Näherungsprogramm GERNAE gut

übereinstimmen. Bei höheren Auflasten P ergibt sich, auf der sicheren Seite liegend, für die größte Verformung f_1 bei Berechnung mit dem Näherungsprogramm bereits bei um ca. 10 % geringeren Vertikallasten P dieselbe Verformung wie bei genauere Berechnung. Wie aus dem Vergleich der Berechnungskurven für f_2 mit der Versuchskurve hervorgeht, ist die Federsteifigkeit und Lose der Feder zwischen zweitem und drittem Stockwerk gut getroffen. Die Vernachlässigung der Federn zwischen erstem und zweitem sowie zwischen drittem und viertem Stockwerk ergibt jedoch im Vergleich zu den Versuchskurven f_1 und f_3 flachere Berechnungskurven.

5.4.2 FIX-Rahmengerüst IV:

Das Berechnungssystem ist in Bild 36 dargestellt. Die Vertikalrahmen sind geschlossen und in den oberen Ecken angesteift. Aus der Gerüstgeometrie ist zu erkennen, daß die Horizontalrahmen sich sehr paßgenau in die Vertikalrahmen einfügen. Somit wird die Lose der Federn zu Null angenommen, was auch durch Horizontalsteifigkeitsversuche der Materialprüfanstalt der Technischen Universität Hannover, Prüfungszeugnis Nr. 92/79 [19], bestätigt wird. Die Auswertung des selben Prüfberichts ergibt eine Federsteifigkeit von 1.39 kN/cm, die für die Feder zwischen zweitem und drittem Stockwerk voll angesetzt wird. Für die Federn zwischen erstem und zweitem sowie drittem und viertem Stockwerk werden hier näherungsweise Federkonstanten berechnet, die aufgrund der indirekten Lagerung der benachbarten Vertikalrahmen in der selben Belageebene etwas kleiner sind. Die zugehörigen Lose werden ebenfalls gleich Null gesetzt. Wie aus dem Großversuch der Technischen Universität Hannover, Prüfungsbericht Nr. 534/79 [20], zu ersehen ist, greift zwischen erstem und zweitem Stockwerk eine Horizontallast $H = 2,5$ kN an. Die Vorverformungen wurden wegen fehlender Dokumentation unter Betrachtung der Versuchskurvenverläufe mit zum Teil negativen Steigungen abgeschätzt. Es wurde also eine Verschiebung des zweiten Stockwerks um 10 mm

man der einen und eine zusätzliche Schrägstellung der Spindel um 5 mm nach der anderen Seite angenommen.

Die Lastverformungskurven für f_1 , f_2 und f_3 sind gemeinsam in Bild 37 aufgezeichnet. Dabei decken sich wiederum die Berechnungskurven nach Stabwerks- und nach Näherungsprogramm sehr gut. Der sprunghafte Verlauf der Versuchskurven wird dadurch verursacht, daß die Verschiebungen mit einer Genauigkeit von 1 mm abgelesen wurden. Die Versuchskurven stimmen mit den Berechnungskurven aufgrund der Vorverformungswahl ebenfalls gut überein, wobei die Versuchskurve bei f_2 für größere Auflasten flacher wird als die Berechnungskurven. Die Verformungen infolge der Horizontallast decken sich in Versuch und Berechnung innerhalb einer Genauigkeit von 1 mm, dies läßt auf eine versuchsnahe Wahl der Federn schließen. Da hier die Federn zwischen erstem und zweitem sowie zwischen drittem und viertem Stockwerk nicht vernachlässigt wurden und auch die Vorverformung nicht nach Merkheft Statik und möglicherweise für f_2 etwas zu klein gewählt wurde, liegen die Berechnungsergebnisse nicht auf der sicheren Seite.

Wie vorstehend erwähnt, wurde bei FIX-Rahmengerüst IV zusätzlich eine Vergleichsberechnung mit dem Näherungsprogramm GERNAE zu einer Berechnung des Ingenieur-Büros Hohnholz und Partner, EHP-Nr. 3859/3 [21], durchgeführt. Dabei gehen die Voraussetzungen aus EHP-Nr. 3859/3 in die Näherungsberechnung mit ein. Prinzipiell entspricht dies Bild 36. Im Detail weicht EHP-Nr. 3859/3 davon in folgenden Punkten ab:

- Keine Vorverformung der Vertikalrahmen
- Spindelschrägstellung 10 mm
- Spindellänge 360 mm
- Federsteifigkeiten $c_2 = c_4 = 1,00 \text{ kN/cm}$

Im Bild 38 ist die Lastverformungskurve für f_2 aufgezeichnet. Dabei ist zu sehen, daß die Berechnungskurven annähernd parallel verlaufen, die Kurve nach dem Näherungsprogramm GERNAE jedoch um 1 bis 3 mm kleinere Verformungen als die nach EHP-Nr. 3859/3 zeigt. Die Versuchskurve weist nochmals um etwa das selbe Maß kleinere Verformungen auf, nimmt aber mit zunehmender Auflast eine geringere Steigung als die Berechnungskurven an.

5.4.3 ETUBE-Stahlrohrgerüst II:

Das Berechnungssystem ist in Bild 39 dargestellt. Es handelt sich um ein Stahlrohrgerüst, das aus Ständern, Querriegeln und Streben über Kupplungen zusammengesetzt wird. Diese Verbindungen werden für die Nachrechnung als biegesteif angesetzt. Wie man aus dem Großversuch der Technischen Universität Hannover ersieht, ist das Gerüst an jeder Eckaussteifung verankert. Deshalb wird hier ein System mit nur 2 Stockwerken untersucht. In der ersten Gerüstlage greift eine Horizontallast $H = 2,5 \text{ kN}$ an. Die Vorverformungen wurden nach Gerüstaufmessungen vor Belastungsbeginn gewählt.

Die Last-Verformungskurven für f_2 sind in Bild 40 aufgetragen. Die beiden Berechnungskurven nach Stabwerksprogramm SET und Näherungsprogramm GERNAE stimmen sehr gut überein und verlaufen etwas flacher als die Versuchskurven. Die Verformungen im Versuch wurden allerdings erst nach dem Aufbringen der Horizontallast gemessen, was daraus zu ersehen ist, daß die Versuchskurve bei $P = 0$ keine Verschiebung aufweist. Verschiebt man also die Berechnungskurven ebenfalls bis zum Nullpunkt, so ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung. Dies deutet daraufhin, daß die näherungsweise Annahme biegesteifer Verbindungen für dieses Gerüstsystem, richtig war.

6. Schlußbemerkungen

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit war es, ein einfaches und übersichtliches Rechenverfahren zur statischen Untersuchung von Rahmengerüstsystemen zu entwickeln. Damit sollen Vergleichsbetrachtungen zu statischen Berechnungen, wie auch zu Großversuchen erleichtert werden. Die ursprüngliche Zielsetzung von seiten des Obmanns des Sachverständigenausschusses (B) "Arbeits- und Schutzgerüste", termingebundene Vergleichsuntersuchungen zu statischen Berechnungen und zu Großversuchen laufender Zulassungsverfahren durchzuführen, ist durch die Entwicklung der letzten Jahre überholt. Allerdings wird sowohl der Bauaufsicht als auch den Erstellern statischer Berechnungen für Gerüste mit dem hier entwickelten Näherungsprogrammen ein hervorragendes, auf üblichen PC's problemlos zu installierendes Hilfsmittel zur Lösung der nicht alltäglichen Probleme des Gerüstbaus im Rahmen ingenieurmäßiger Genauigkeit an die Hand gegeben.

Dieses Verfahren, das sowohl für die Handrechnung, als auch für den Einsatz auf Computern geeignet ist, zeichnet sich dadurch aus, daß es bei einer minimalen Anzahl unbekannter Verformungsgrößen die Berechnung von konservativen Rahmengerüstsystemen sogar unter Beachtung von gerüstbautypischen nichtlinearen Aussteifungselementen, wie Federn mit Lose, ermöglicht.

Um eine Reduktion der den Berechnungsaufwand bestimmenden Anzahl von unbekanntem Kraft- oder Verformungsgrößen zu erreichen, sind einige vereinfachende Annahmen nötig. Deren Auswirkungen, sie liegen durchwegs auf der sicheren Seite, sind durch umfangreiche Vergleiche mit in Großversuchen gemessenen Werten und durch Vergleichsberechnungen mit einem Stabwerksprogramm nach Theorie II. Ordnung dokumentiert.

Da der vorgestellte Berechnungsalgorithmus, ein auf der Affinität der Biegelinien nach Theorie I. und II. Ordnung beruhenden

des Durchbiegungsverfahrens, an den Gebrauchs- und Zwangsdeformationen von Rahmengerüstsystemen, kalibriert wurde, ist eine Übertragung auf die flexiblen und daher für Sonderkonstruktionen besonders geeigneten Modulsysteme oder Stahlrohr-Kuppelungsgerüste nicht ohne weiteres möglich. Der Montageaufwand dieser Bauarten liegt aber weit über dem der Rahmengerüste, so daß der übliche Arbeits- und Schutzgerüstbau, hierbei handelt es sich hauptsächlich um Fassadengerüste, aus Gründen der leichteren Handhabbarkeit die konservativen Rahmensysteme bevorzugt.

Die Praxistauglichkeit des Näherungsverfahrens zur Berechnung der Gerüstsysteme senkrecht zur Fassade wurde in Abschnitt 2 und 5 des vorliegenden Berichts durch Vergleichsuntersuchungen an neun verschiedenen, das Spektrum des Markts abdeckenden, Rahmengerüsten demonstriert. Dabei zeigte sich, daß die mit genaueren Berechnungsmethoden erhaltenen Ergebnisse, wie auch die in den Prüfzeugnissen verschiedener Materialprüfungsanstalten dokumentierten Meßdaten von Großversuchen, in guter Übereinstimmung mit den durch das Näherungsverfahren gewonnenen Resultaten sind. Gegenüber üblichen, für alle Problemkreise verwendbaren, Stabwerksprogrammen, die bei nichtlinearen Berechnungen häufig einen großen Zeitaufwand für die notwendigen Steifigkeitsiterationen zeigen, ist die Berechnung des für den Gerüstbau typischen Elements, Feder mit Lose, im Näherungsverfahren automatisiert. Dies führt zu einer beträchtlichen Verkürzung der Rechenzeit.

Wie schon einleitend bemerkt, stellt das auf die zukünftigen an internationalen Normen - Eurocode 3 - ausgerichtete Berechnungs- und Bemessungskonzept des Entwurfs 12.88 der DIN 4420 "Arbeits- und Schutzgerüste", keine Einschränkung der Gültigkeit des Näherungsverfahrens dar, da die neuen Elemente ohne Schwierigkeiten in die Berechnung implementiert werden können.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß mit dem hier entwickelten Berechnungsverfahren ein für übliche Fälle des Arbeits- und

Schutzgerüstbaus hervorragend einsetzbares Rechenhilfsmittel zur Verfügung steht. Sondersituationen, wie sie z.B. durch nachgiebige oder nichtlineare Anschlußkonstruktionen oder aber durch geometrische Zwangspunkte und Überbrückungskonstruktionen, hervorgerufen werden, bedürfen einer detaillierteren Betrachtungsweise, die sich, so stellt es sich heute dar, noch nicht vereinheitlichen läßt.

Literatur

- [1] Axhausen, K., Fink, Th., Katz, C., Rank, E., Stieda, J., v. Verschuer, Th., Werner, H.: Die Programmkette SET, Berechnungen im konstruktiven Ingenieurbau, Benutzerhandbuch, Teile 1, 2 und 3.
Kernforschungszentrum Karlsruhe CAD-Berichte 173, 174 und 175, 1980/81
- [2] Fink, Th., Kreutz, J.-St.: Berechnungsverfahren nach Fließzonentheorie II. Ordnung für räumliche Rahmen aus metallischen Werkstoffen.
Bauingenieur 57 (1982), Heft 8, S. 297 - 302
- [3] Heil, W.: Traglastermittlung von räumlich belasteten Durchlaufträgern mit offenem, dünnwandigem Querschnitt bei beliebigem Werkstoffgesetz.
Dissertation Universität Karlsruhe, 1979
- [4] Völkel, G.E., Zimmermann, W.: Ergänzende Untersuchungen zu Normalkupplungen für Gerüstrohre; FMPA Stuttgart 1985; Nr.: II.5-14 215
- [5] Hertle, R.: Zur Berechnung der Regelausführungen der Stahlrohr-Kupplungsgerüste in E-DIN 4420 Teil 3.
Stahlbau 58 (1989) S. 303 - 308
- [6] Zulassungsbescheid vom 30.4.82 "Layher-Blitzgerüst",
Zulassungs-Nr.: Z-8.1-16.2
- [7] Zulassungsbescheid vom 19.9.80 "Hünnebeck-Schnellbaugerüst BOSTA 70",
Zulassungs-Nr.: Z-8.1-54.2

- [8] Zulassungsbescheid vom 19.8.81 "Leichtmetall-Fassaden-Gerüst KOALA 2000",
Zulassungs-Nr.: Z-8.1-18.3

- [9] Petersen, Ch.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen Vieweg; Braunschweig/Wiesbaden 1980

- [10] Uhrig, Th.: Zuschärfung eines bestehenden Näherungsverfahrens zur Berechnung von Rahmengerüsten.
Diplomarbeit Nr. 144, Lehrstuhl für Stahlbau TU München, 1984 (unveröffentlicht)

- [11] Institut für Bautechnik, Berlin: Merkheft STATIK, Anforderungen an Fassadengerüstsysteme im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Berlin 1983

- [12] Lindner, J., Fröhlich, K.-C., Hamaekers, K.: Statische Berechnungen zu Großversuchen an Fassadengerüsten.
Bericht Nr. 2028 des Instituts für Baukonstruktionen und Festigkeit der TU-Berlin. Berlin 1979

- [13] Lindner, J., Hamaekers, K.: Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Gerüstspindeln.
Bericht Nr. 2044-A, B, C des Instituts für Baukonstruktionen und Festigkeit der TU-Berlin. Berlin 1983

- [14] Prüfzeugnis Nr. 497/73/1155/74
Prüfung des BERA-Europagerüstes zur Erlangung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vom 12.12.74, aufgestellt vom Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Univesität Hannover

- [15] Prüfungsbericht S12197
Zulassungsversuche mit dem "Schnellbaugerüst Typ II" vom
21.8.1974, aufgestellt vom Otto-Graf-Institut an der Uni-
versität Stuttgart
- [16] Prüfungszeugnis Nr. 1999/72/544/73
Prüfung des neuen FIX-Maurergerüsts vom 28.6.1973, auf-
gestellt vom Institut für Baustoffkunde und Materialprü-
fungswesen der Technischen Universität Hannover
- [17] Prüfzeugnis Nr. 6858
Ermittlung der Horizontalsteifigkeit von Horizontalrahmen
und Rahmentafeln des Hünnebeck-Fassadengerüsts BOSTA 100
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine; Amtliche Ma-
terialprüfungsanstalt der Universität Karlsruhe, 11.4.77
- [18] Untersuchungsbericht Nr. 1125
Großversuche im Rahmen eines Antrags auf bauaufsichtliche
Zulassung des Hünnebeck-Schnellbaugerüsts BOSTA 100;
Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen der technischen
Universität München, 16.5.1978
- [19] Prüfungszeugnis Nr. 92/79
Prüfung von 4 Varianten des FIX-Arbeitsgerüsts aus Hori-
zontalsteifigkeit
Lehrstuhl und Institut für Baustoffkunde und Materialprü-
fung der Universität Hannover, 9.2.1979
- [20] Prüfungszeugnis Nr. 534/79
Prüfung der FIX-Arbeitsgerüste III und IV, Großversuche
und Prüfung der Kippriegel
Lehrstuhl und Institut für Baustoffkunde und Materialprü-
fung der Universität Hannover, 9.2.1979

- [21] Auswertung von Groß- und Detailversuchen am FIX-Rahmengerüst IV
Dipl.-Ing. Erich Hohnholz + Partner, Nr. 3859/3
- [22] Prüfungszeugnis Nr. 406/81
Prüfung des ETUBE-Stahlrohrgerüsts II - Großversuche -
und 5 Zusatzversuche an Vertiaklrahmenscheiben
Lehrstuhl und Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover, 2.6.81
- [23] Stephan, M.: Betrachtungen zu den Federannahmen der horizontalen Lagerung von Traggerüsten und zu den Aussteifungsfaktoren des am Lehrstuhl entwickelten Gerüst-Näherungsprogramms GERNAE. In Mitteilungen aus dem Lehrstuhl für Stahlbau TUM, Heft 25. München 1989

Bildverzeichnis

- Bild 1 System und Imperfektionsannahmen - Parameterstudie
- Bild 2 Traglasten für unterschiedlich hohe Gerüste (BOSTA70)
- Bild 3 Traglasten für unterschiedlich hohe Gerüste (LAYHER-BLITZ)
- Bild 4 Einfluß der Gerüstbreite
- Bild 5 Einfluß des Verhältnisses b'/b
- Bild 6 Einfluß der Horizontalbelastung ($P_1 = P_2$)
- Bild 7 Einfluß von unterschiedlicher Belastung der zwei Ständer
- Bild 8 Imperfektionsannahmen für die Spindel
- Bild 9 Einfluß der Spindelauflagerungsart (LAYHER-BLITZ)
- Bild 10 Einfluß der Spindelauflagerungsart (BOSTA70)
- Bild 11 Schematische Erläuterung zum Näherungsverfahren
- Bild 12 Zusammenhang von Verformungen Δw und Querkräften Q bzw. Momenten M für alle Rahmen ab dem 2. Stockwerk
- Bild 13 Zusammenhang von Verformungen Δw und Querkräften Q bzw. Momenten M für den Fußrahmen
- Bild 14 Ermittlung der wirksamen Länge h' des Stiels für den Fußrahmen
- Bild 15 Koeffizientenmatrix für die Berechnung des Querkraftvektors aus dem Vektor der Horizontallasten im n -ten Schritt
- Bild 16 Flußdiagramm für das Näherungsverfahren GERNAE
- Bild 17 Nichtlineare Federkennlinien - Berücksichtigung der Lose im Programm GERNAE
- Bild 18 BERA - Europagerüst mit Spindel
- Bild 19 BERA - Europagerüst: Vergleich der Lastverformungskurven bei unterschiedlichen Annahmen zur Vorverformung
(Lose = 0)
- Bild 20 BERA - Europagerüst: Berechnungssystem
- Bild 21 Last-Verschiebungskurven für das BERA-Europagerüst
Vergleichsrechnung zu Bericht Nr. 2028 [12]
- Bild 22 Last-Verschiebungskurven für das BERA-Europagerüst

- Bild 23 Last-Verschiebungskurven für das BERA-Europagerüst
Bild 24 KERN-Schnellbaugerüst Typ II
Bild 25 Last-Verschiebungskurven für das KERN-Schnellbaugerüst Typ II
Vergleichsrechnung zu Bericht Nr. 2028 [12]
Bild 26 Last-Verschiebungskurven für das KERN-Schnellbaugerüst Typ II
Bild 27 Last-Verschiebungskurven für das KERN-Schnellbaugerüst Typ II
Bild 28 FIX-Rahmengerüst II
Bild 29 Last-Verschiebungskurven für das FIX-Rahmengerüst II
Vergleichsrechnung zu Bericht Nr. 2028 [12]
Bild 30 Last-Verschiebungskurven für das FIX-Rahmengerüst II
Bild 31 Last-Verschiebungskurven für das FIX-Rahmengerüst II
Bild 32 BERA-Europagerüst mit Spindel
Bild 33 BERA-Europagerüst: Vergleich Stabwerksprogramm SET -
Näherungsprogramm GERNAE
Bild 34 Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100
Bild 35 Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100: Nachrechnung
eines Großversuchs (TU-München: Untersuchungsbericht
Nr. 1125 [18])
Bild 36 FIX-Rahmengerüst IV
Bild 37 FIX-Rahmengerüst IV: Nachrechnung eines Großversuchs
(TU-Hannover: Prüfzeugnis Nr. 534/79 [20])
Bild 38 FIX-Rahmengerüst IV: Vergleichsrechnung zu Stabwerks-
berechnung Hohnholz + Partner (Nr. 3859/3) [21]
Bild 39 ETUBE-Stahlrohrgerüst II
Bild 40 Last-Verschiebungskurven für das ETUBE-Stahlrohrgerüst II
Vergleichsrechnung zu Großversuch 2 aus Prüfzeugnis
Nr. 406/81 [22]

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Listing des Programms GERNAE
- Anlage 2: Beispiel für einen Eingabedatensatz zum Programm GERNAE
- Anlage 3: Beispielberechnung und Erläuterungen zur Benutzung des Programms GERNAE
- Anlage 4: Benutzerhandbuch zum Programm GERNAE

BILDER

Knickwinkel $2 \cdot \psi$
 an den horizontal
 nicht gehaltenen
 Stößen der Rahmen

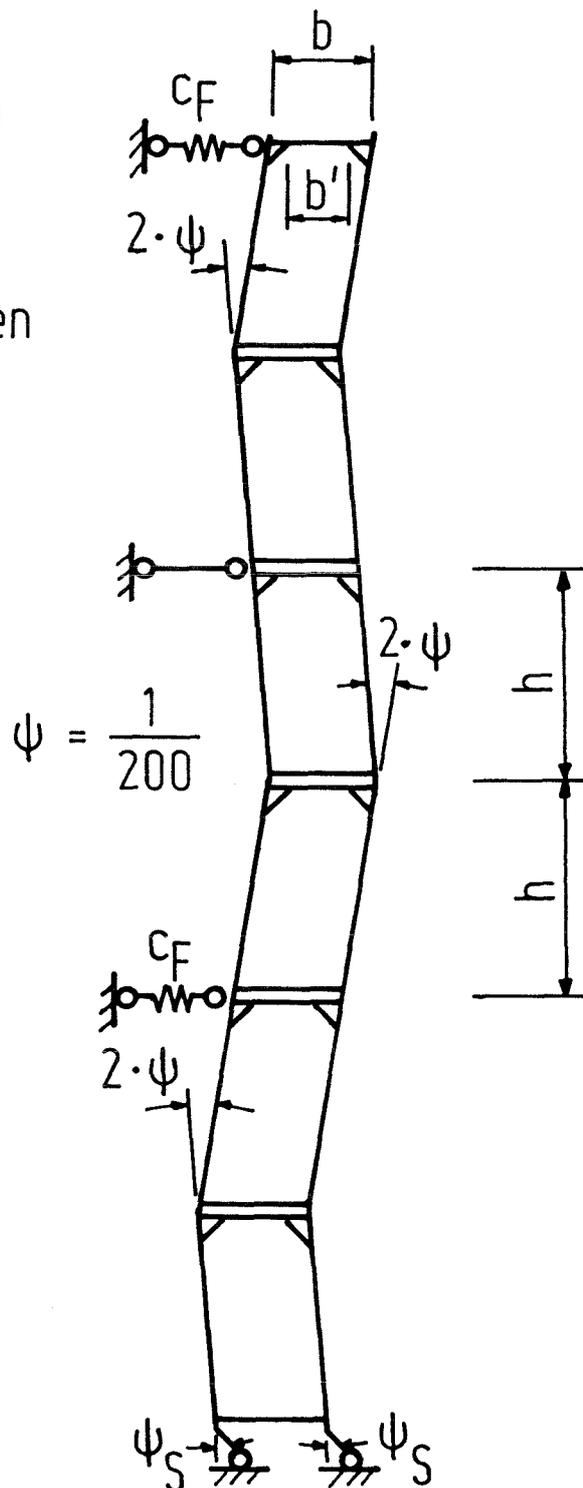


Bild 1 System und Imperfektionsannahmen - Parameterstudie

Traglast : $P_T = 96,4 \text{ kN} = 83,8 \text{ kN} = 88,8 \text{ kN} = 89,6 \text{ kN}$

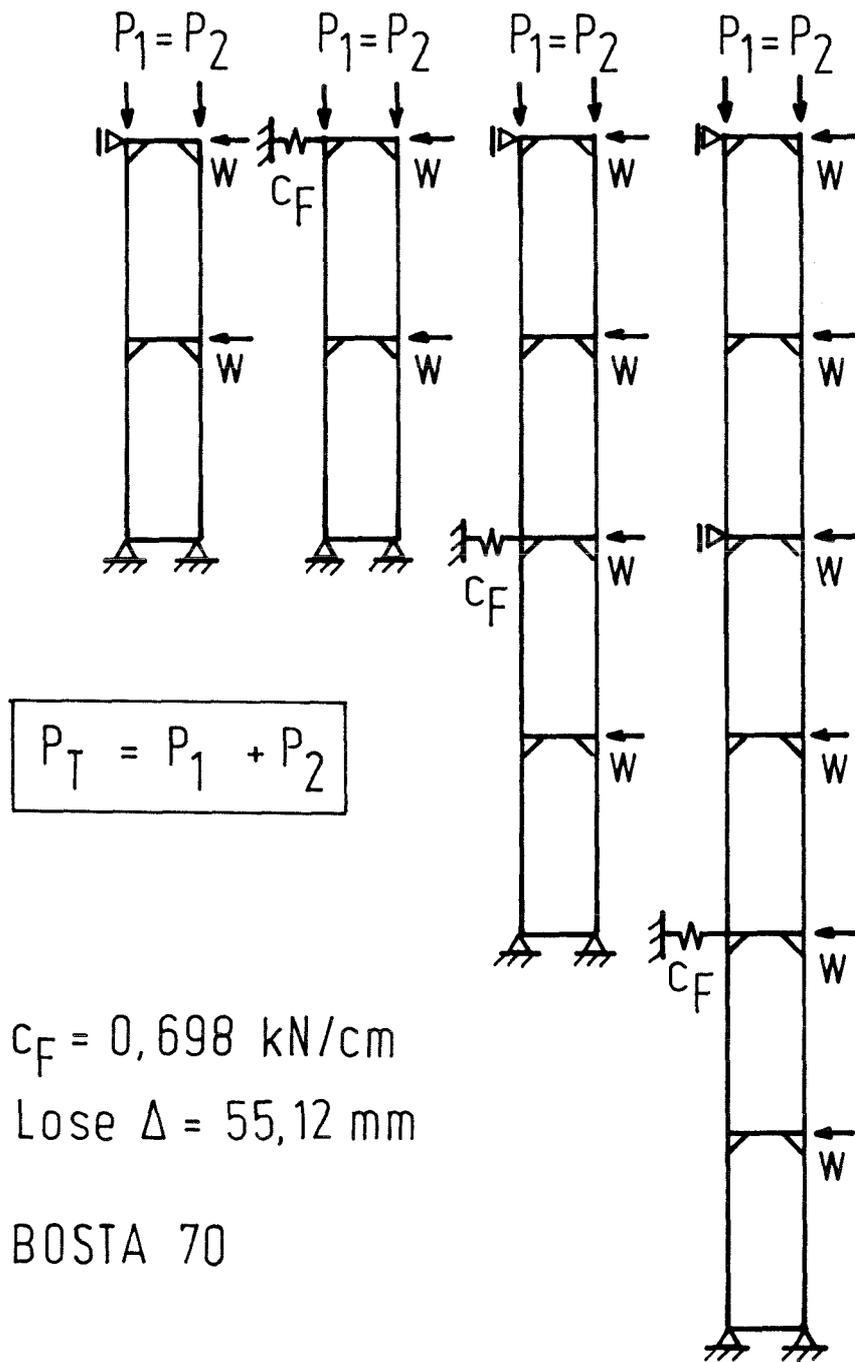
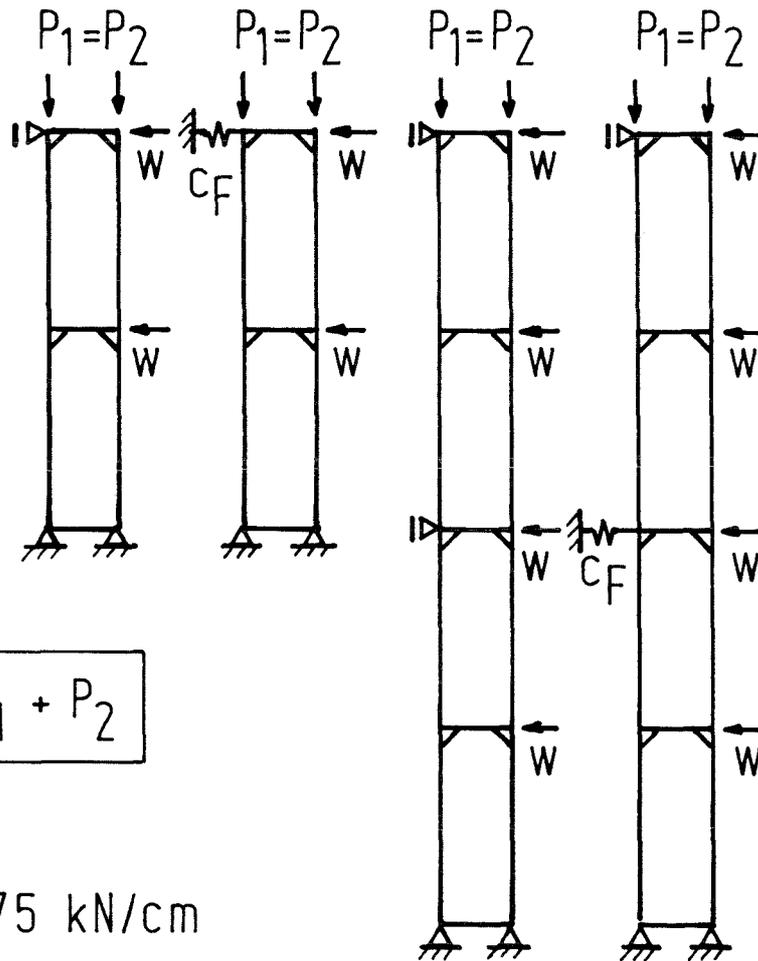


Bild 2 Traglasten für unterschiedlich hohe Gerüste

Traglast: $P_T = 67,4 \text{ kN} = 61,6 \text{ kN} = 66,8 \text{ kN} = 60,6 \text{ kN}$



$$P_T = P_1 + P_2$$

$$c_F = 0,75 \text{ kN/cm}$$

$$\text{Lose } \Delta = 22,0 \text{ mm}$$

LAYHER - BLITZ

Bild 3 Traglasten für unterschiedlich hohe Gerüste

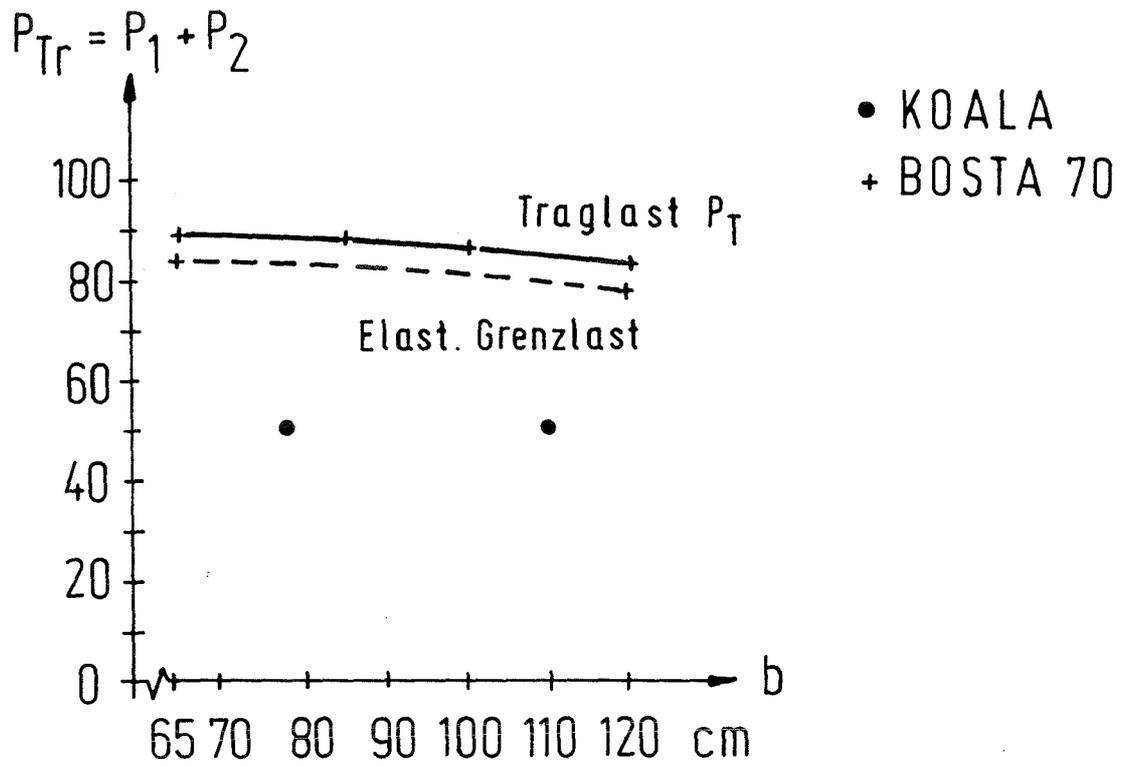


Bild 4 Einfluß der Gerüstbreite

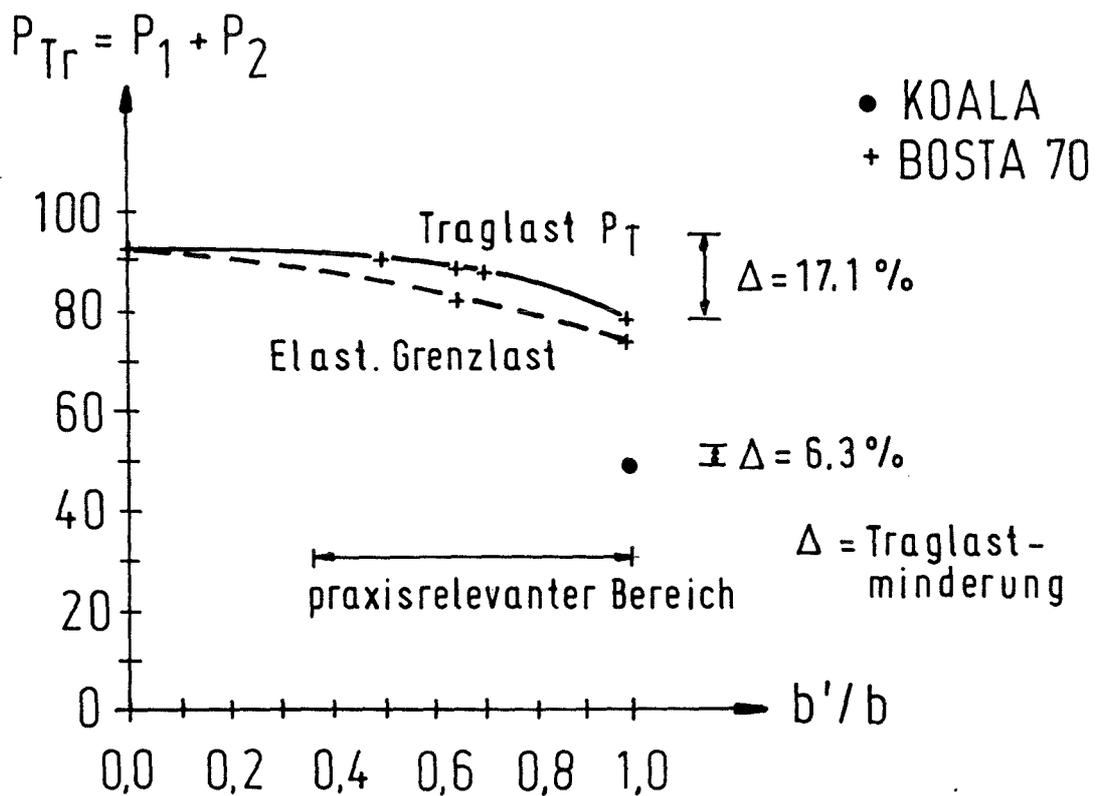


Bild 5 Einfluß des Verhältnisses b'/b

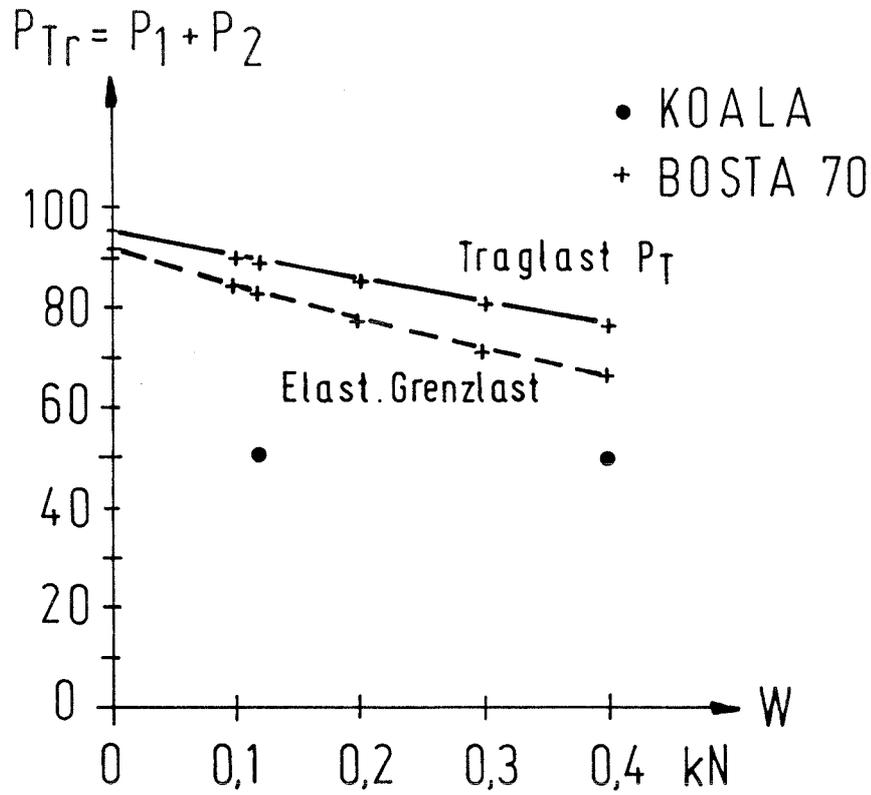


Bild 6 Einfluß der Horizontalbelastung ($P_1 = P_2$)

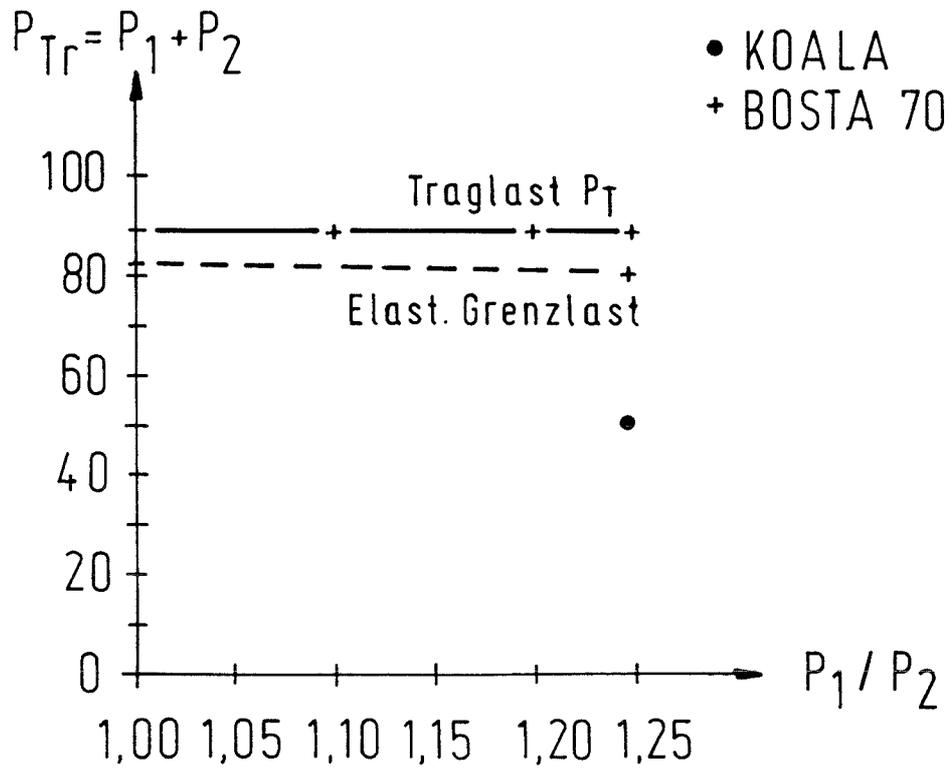


Bild 7 Einfluß von unterschiedlicher Belastung der zwei Ständer

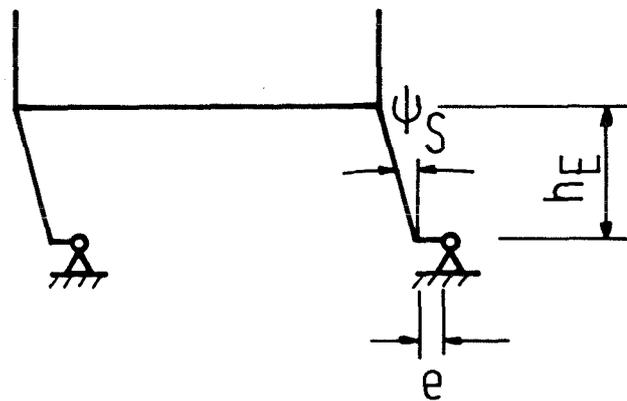


Bild 8 Imperfektionsannahmen für die Spindel

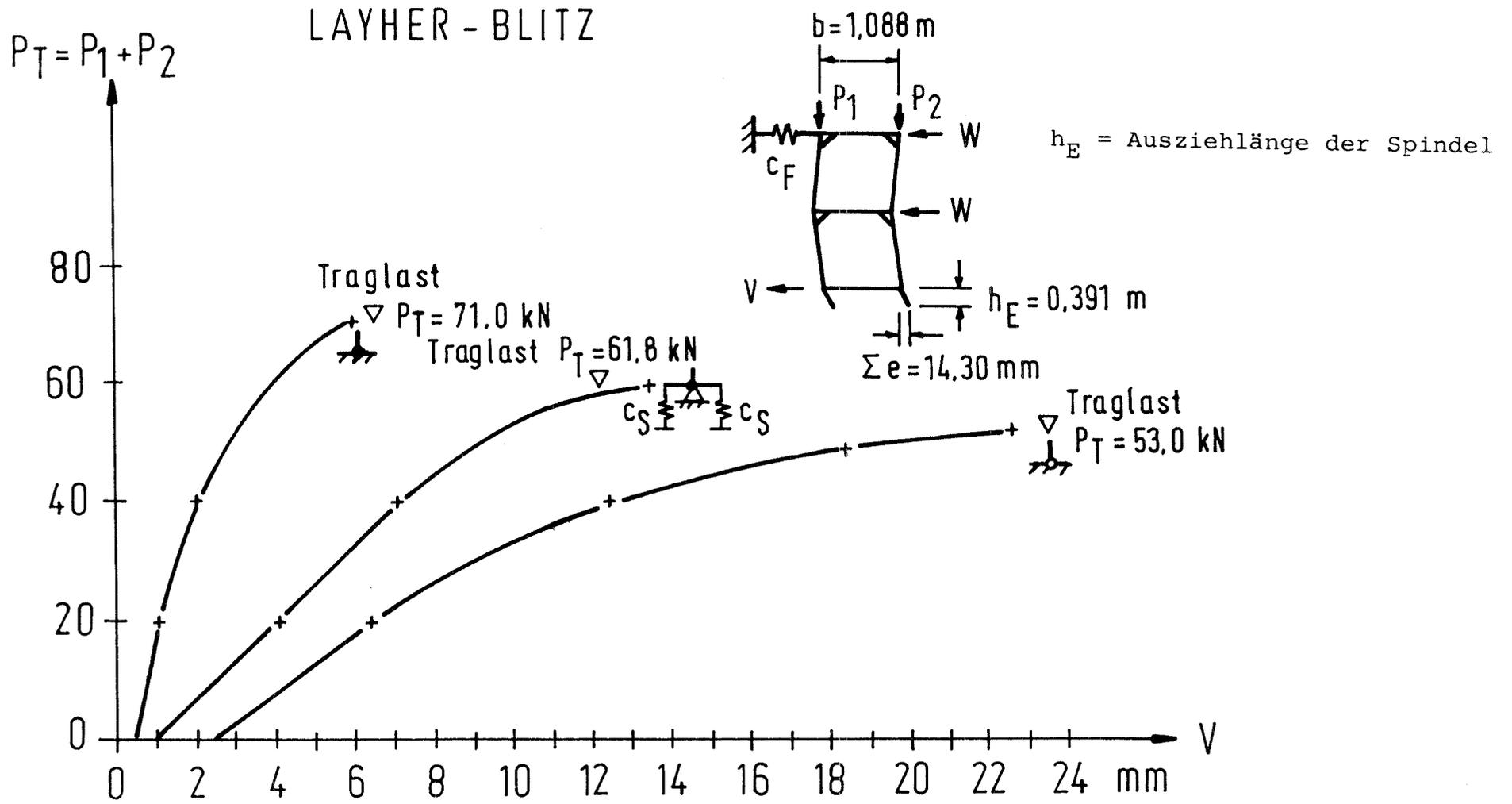


Bild 9 Einfluß der Spindelauflagerungsart

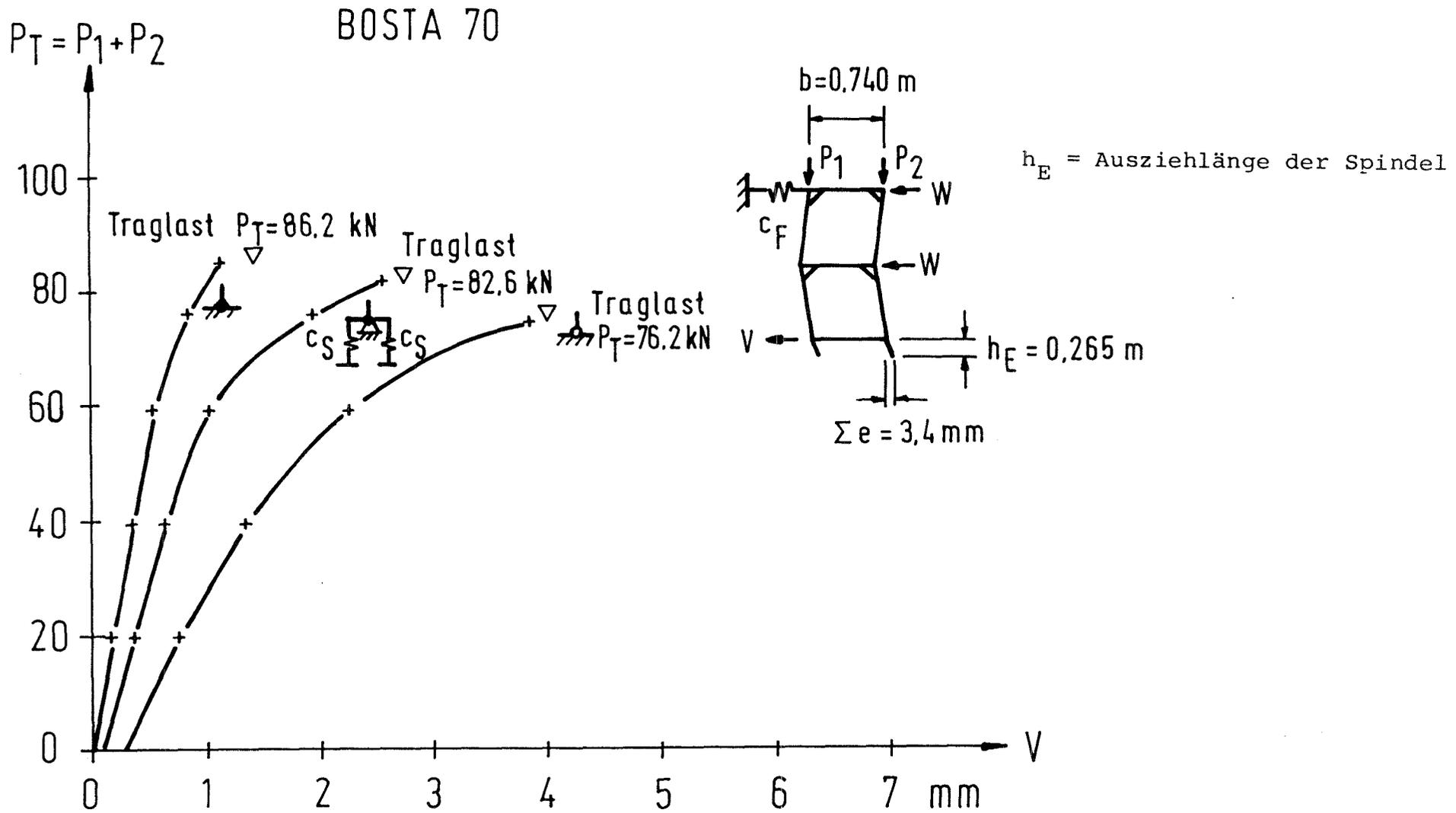
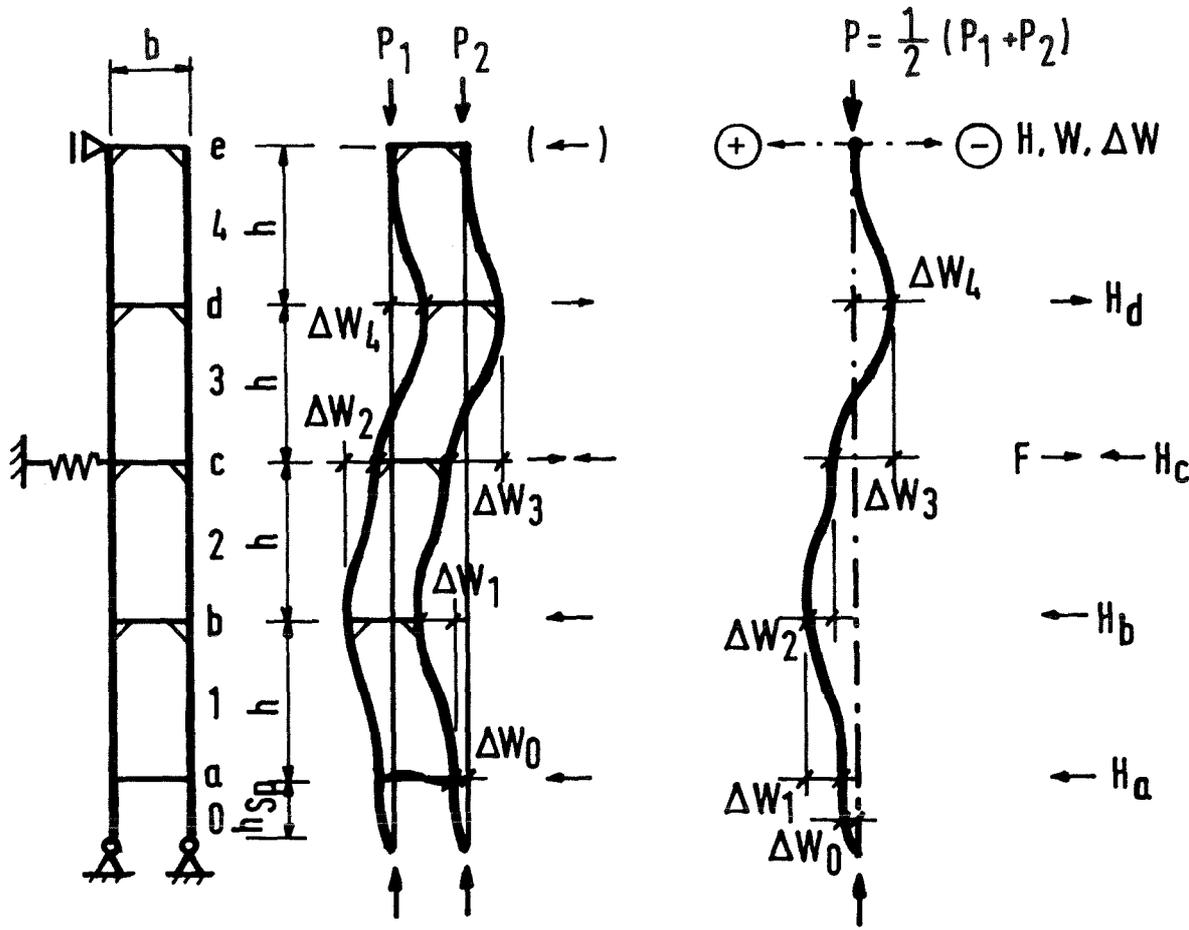


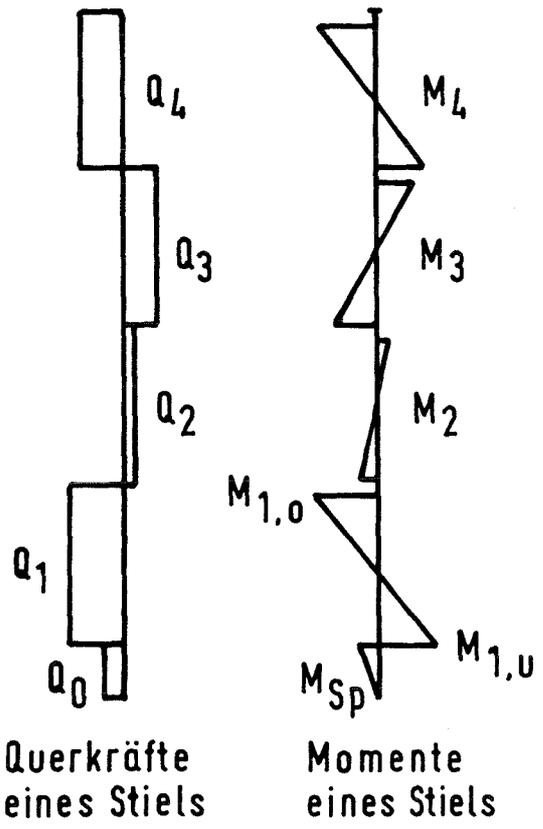
Bild 10 Einfluß der Spindelauflagerungsart



Unverformte Struktur

Verformte Struktur

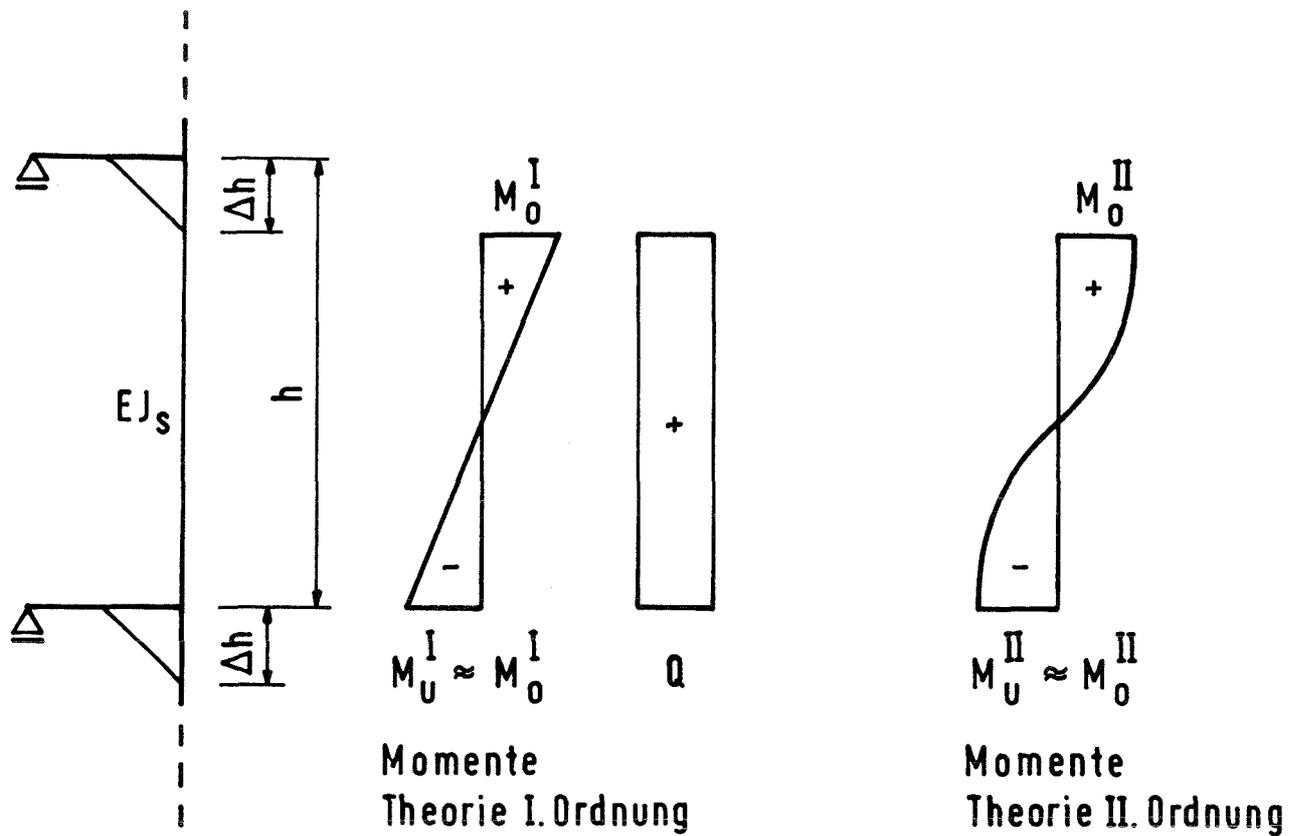
Halbe Struktur (1 Stiel)



$$\begin{aligned}
 \Delta W_0 + \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_4 &= 0; \\
 \kappa_0 \cdot Q_0 + \kappa_1 \cdot Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 &= 0; \\
 Q_4 - Q_3 - H_d &= 0; \\
 Q_3 - Q_2 - H_c + F &= 0; \\
 Q_2 - Q_1 - H_b &= 0; \\
 Q_1 - Q_0 - H_a &= 0.
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \Delta W_0 + \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_4 = 0; \\ \kappa_0 \cdot Q_0 + \kappa_1 \cdot Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0; \\ Q_4 - Q_3 - H_d = 0; \\ Q_3 - Q_2 - H_c + F = 0; \\ Q_2 - Q_1 - H_b = 0; \\ Q_1 - Q_0 - H_a = 0. \end{aligned}} \right\} \text{Knotengleichgewichte}$$

Biegeverformungen der Gesamtleiter werden vernachlässigt.
 ΔW_i nur aus der Schubverformung errechnet.

Bild 11 Schematische Erläuterung zum Näherungsverfahren



$$\Rightarrow M_{0,U} = \pm \frac{h - \Delta h}{2} \cdot Q$$

$$\Delta w_2^I = - \frac{Qh^3}{12 EJ_s}$$

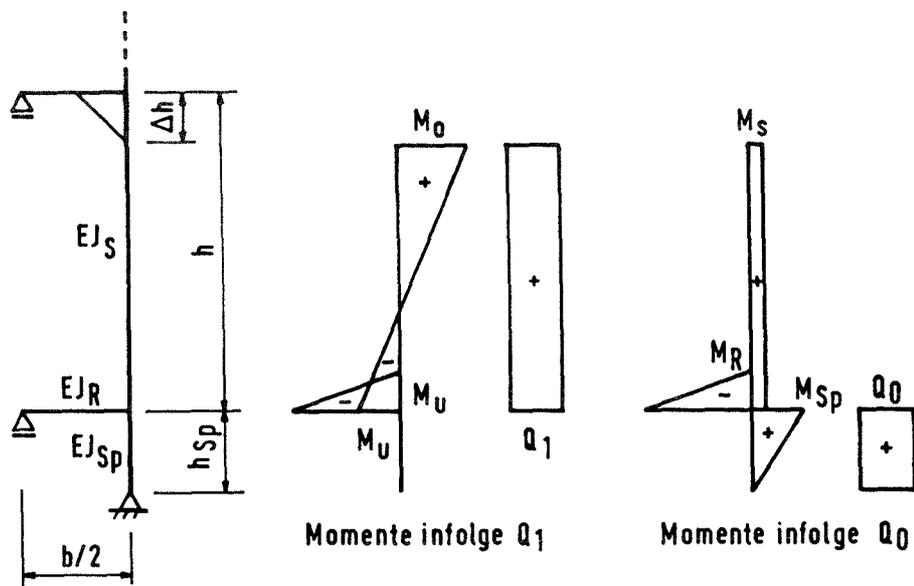
mit $h' = h - \frac{1}{2} \Delta h$

(Näherungsweise Berücksichtigung
der Riegelverformungen)

$$\Delta w_2^{II} = - \frac{5Qh'^3}{48 EJ_s} = 1.25 \cdot \Delta w_2^I$$

(Annahme einer parabolischen
Verformung nach Theorie II. Ordn.)

Bild 12 Zusammenhang von Verformungen Δw und Querkräften Q bzw. Momenten M für alle Rahmen ab dem 2. Stockwerk



$$\Rightarrow M_0 = Q_1 \cdot \frac{3h'^2 + h' \cdot b \cdot \frac{EJ_S}{EJR}}{6h' + b \cdot \frac{EJ_S}{EJR}} \quad \text{mit } h' = h - f_{\Delta h} \cdot \Delta h$$

(Näherungsweise Berücksichtigung der Riegelverformungen, $f_{\Delta h}$ aus Bild 14)

$$M_U = M_0 - Q_1 \cdot h'$$

$$M_{Sp} = Q_0 \cdot h_{Sp}$$

$$M_S = Q_0 \cdot \frac{h_{Sp} \cdot b}{6h' \cdot \frac{EJR}{EJS} + b}$$

$$M_R = M_S - M_{Sp}$$

— Verschiebung des oberen Fußrahmenknotens durch die Spindelquerkraft Q_0 :

$$\Delta w_0^I = \frac{M_S \cdot h'^2}{2EJ_S} + \frac{M_R (h' + h_{Sp}) \cdot b}{6EJR} - \frac{M_{Sp} \cdot h_{Sp}^2}{3EJ_{Sp}}$$

$$\Delta w_0^{II} = 1,25 \cdot \Delta w_0^I \quad (\text{Näherung})$$

— Verschiebung des oberen Fußrahmenknotens durch die Stielquerkraft Q_1 :

$$\Delta w_1^I = \frac{(2M_U + M_0) \cdot h'^2}{6EJ_S} + \frac{M_U (h' + h_{Sp}) \cdot b}{6EJR}$$

$$\Delta w_1^{II} = 1,25 \cdot \Delta w_1^I \quad (\text{Näherung})$$

— Verschiebung des unteren Fußrahmenknotens durch die Spindelquerkraft Q_0 :

$$\Delta w_{00}^I = \frac{M_R \cdot h_{Sp} \cdot b}{6EJR} - \frac{M_{Sp} \cdot h_{Sp}^2}{3EJ_{Sp}}$$

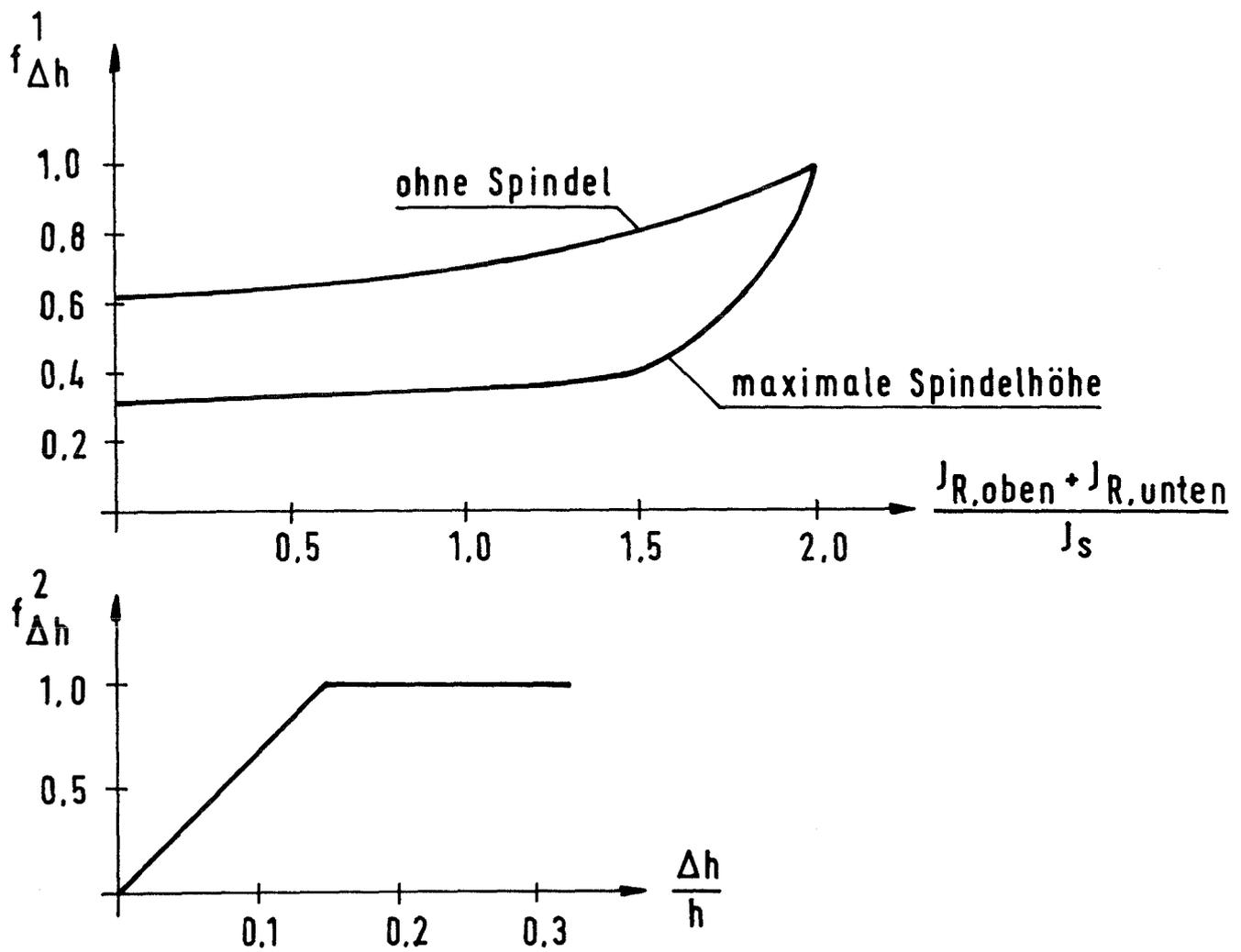
$$\Delta w_{00}^{II} = 1,25 \cdot \Delta w_{00}^I \quad (\text{Näherung})$$

— Verschiebung des unteren Fußrahmenknotens durch die Stielquerkraft Q_1 :

$$\Delta w_{10}^I = \frac{M_U \cdot h_{Sp} \cdot b}{6EJR}$$

$$\Delta w_{10}^{II} = \Delta w_{10}^I$$

Bild 13 Zusammenhang von Verformungen Δw und Querkräften Q bzw. Momenten M für den Fußrahmen



$$f_{\Delta h} = f_{\Delta h}^1 \cdot f_{\Delta h}^2$$

$$h' = h - f_{\Delta h} \cdot \Delta h$$

Bild 14 Ermittlung der wirksamen Länge h' des Stiels für den Fußrahmen

$$\underbrace{\begin{bmatrix}
 -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \omega_0^{I,II} \cdot c_2 & -1 + \omega_1^{I,II} \cdot c_2 & 1 & 0 & 0 \\
 \omega_0^{I,II} \cdot c_3 & \omega_1^{I,II} \cdot c_3 & -1 + \omega_2^{I,II} \cdot c_3 & 1 & 0 \\
 \omega_0^{I,II} \cdot c_4 & \omega_1^{I,II} \cdot c_4 & \omega_2^{I,II} \cdot c_4 & -1 + \omega_2^{I,II} \cdot c_4 & 1 \\
 \omega_0^{I,II} \cdot c_5 & \omega_1^{I,II} \cdot c_5 & \omega_2^{I,II} \cdot c_5 & \omega_2^{I,II} \cdot c_5 & -1 + \omega_2^{I,II} \cdot c_5
 \end{bmatrix}}_{\text{Koeffizientenmatrix}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} Q_0^n \\ Q_1^n \\ Q_2^n \\ Q_3^n \\ Q_4^n \end{bmatrix}}_{\text{Vektor der Querkräfte}} = \underbrace{\begin{bmatrix} H_1^n \\ H_2^n \\ H_3^n \\ H_4^n \\ H_5^n \end{bmatrix}}_{\text{Vektor der Horizontallasten}}$$

Bild 15 Koeffizientenmatrix für die Berechnung des Querkraftvektors aus dem Vektor der Horizontallasten im n-ten Schritt

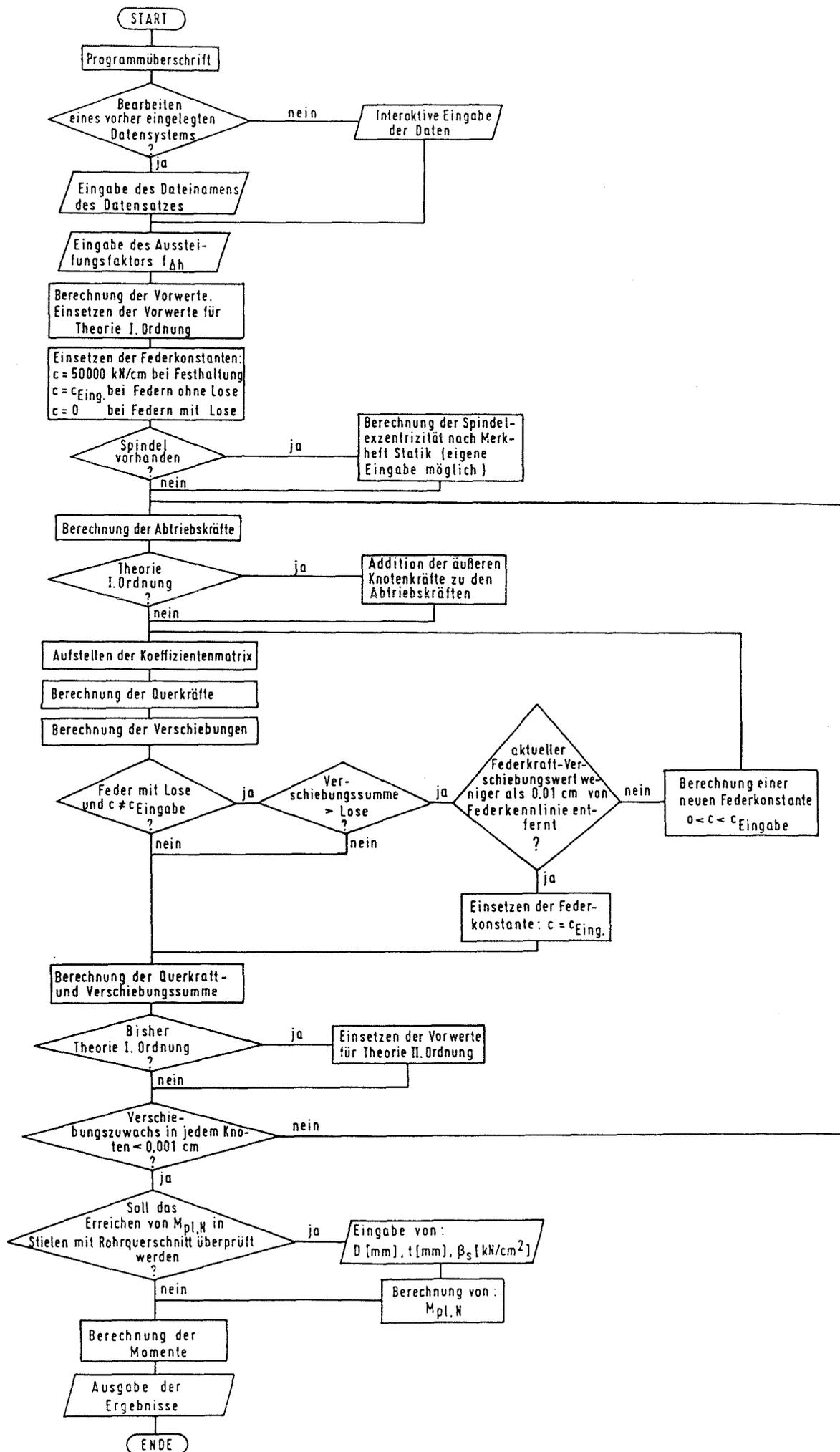


Bild 16 Flußdiagramm für das Näherungsverfahren GERNAE

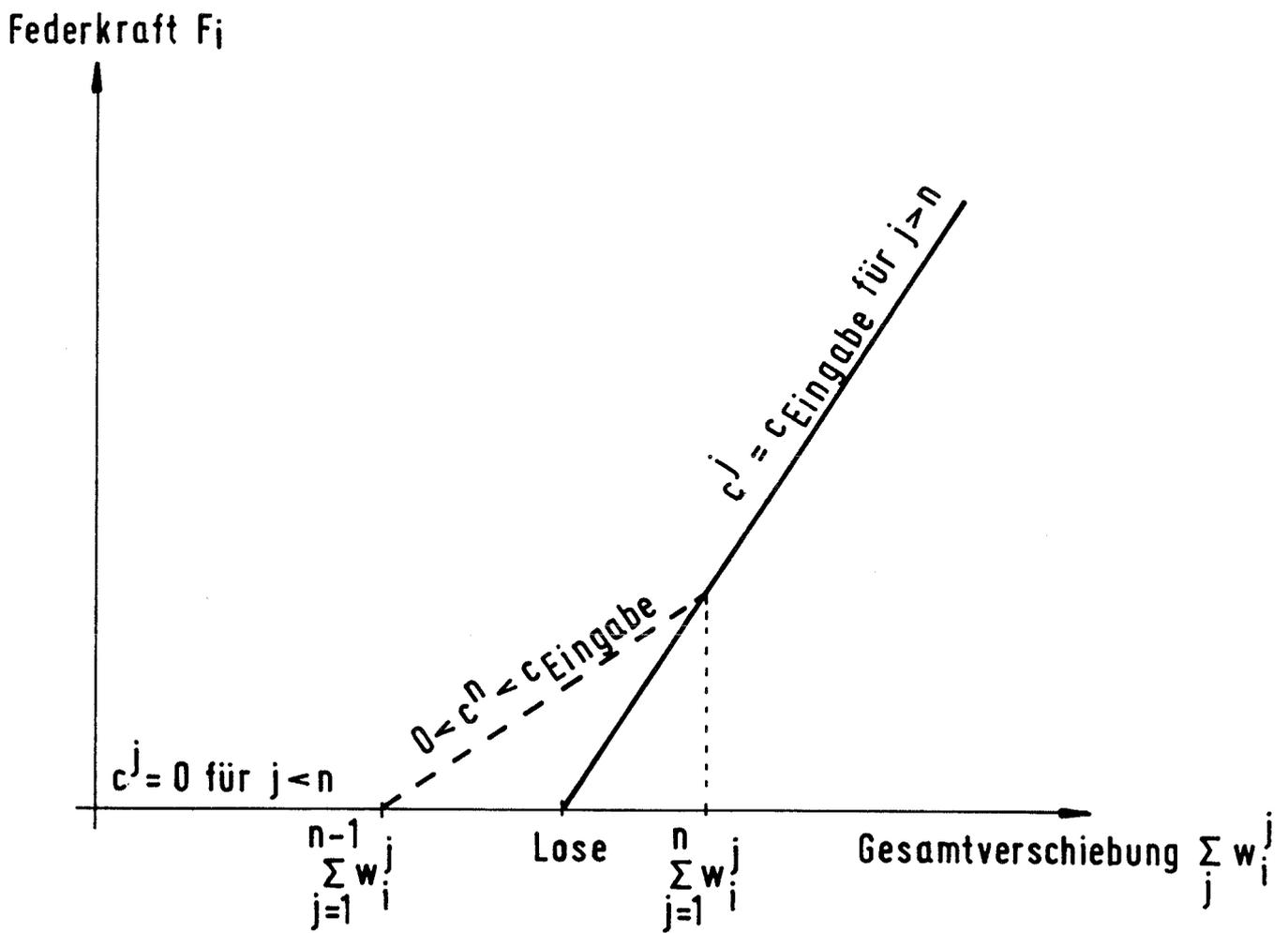


Bild 17 Nichtlineare Federkennlinien - Berücksichtigung der Lose im Programm GERNAE

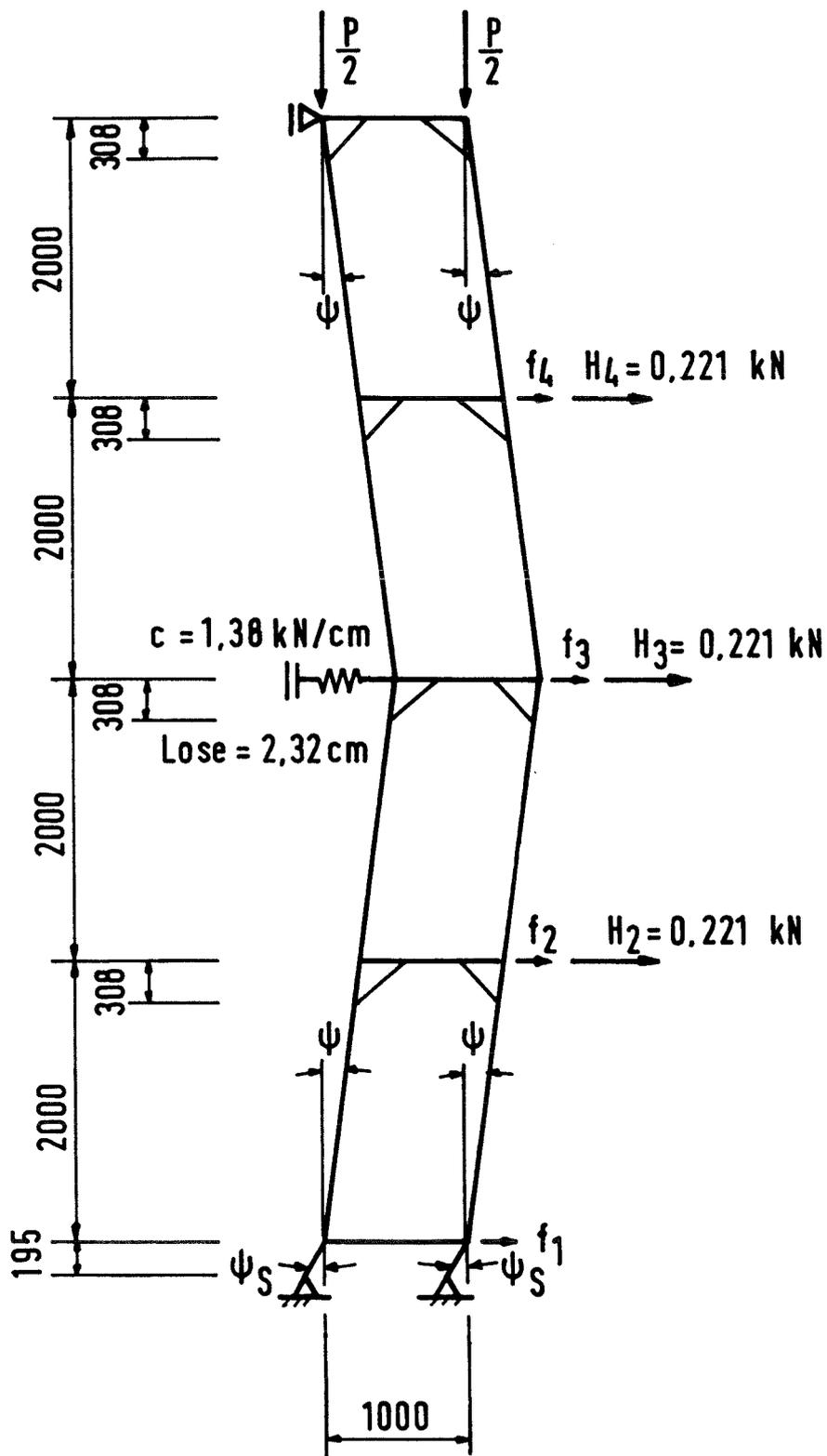


Bild 18 BERA - Europagerüst mit Spindel

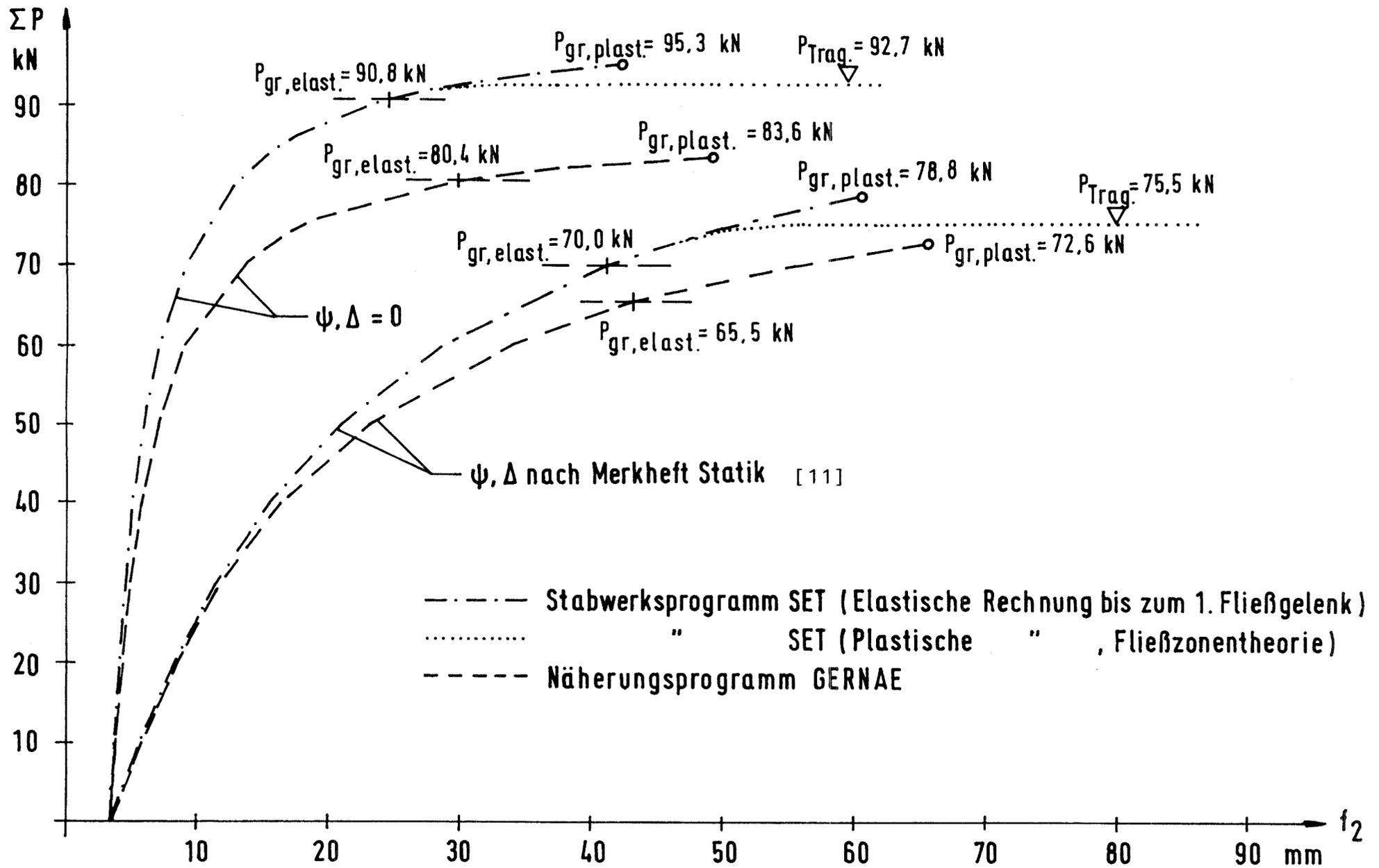


Bild 19 BERA - Europagerüst: Vergleich der Lastverformungskurven bei unterschiedlichen Annahmen zur Vorverformung (Lose = 0)

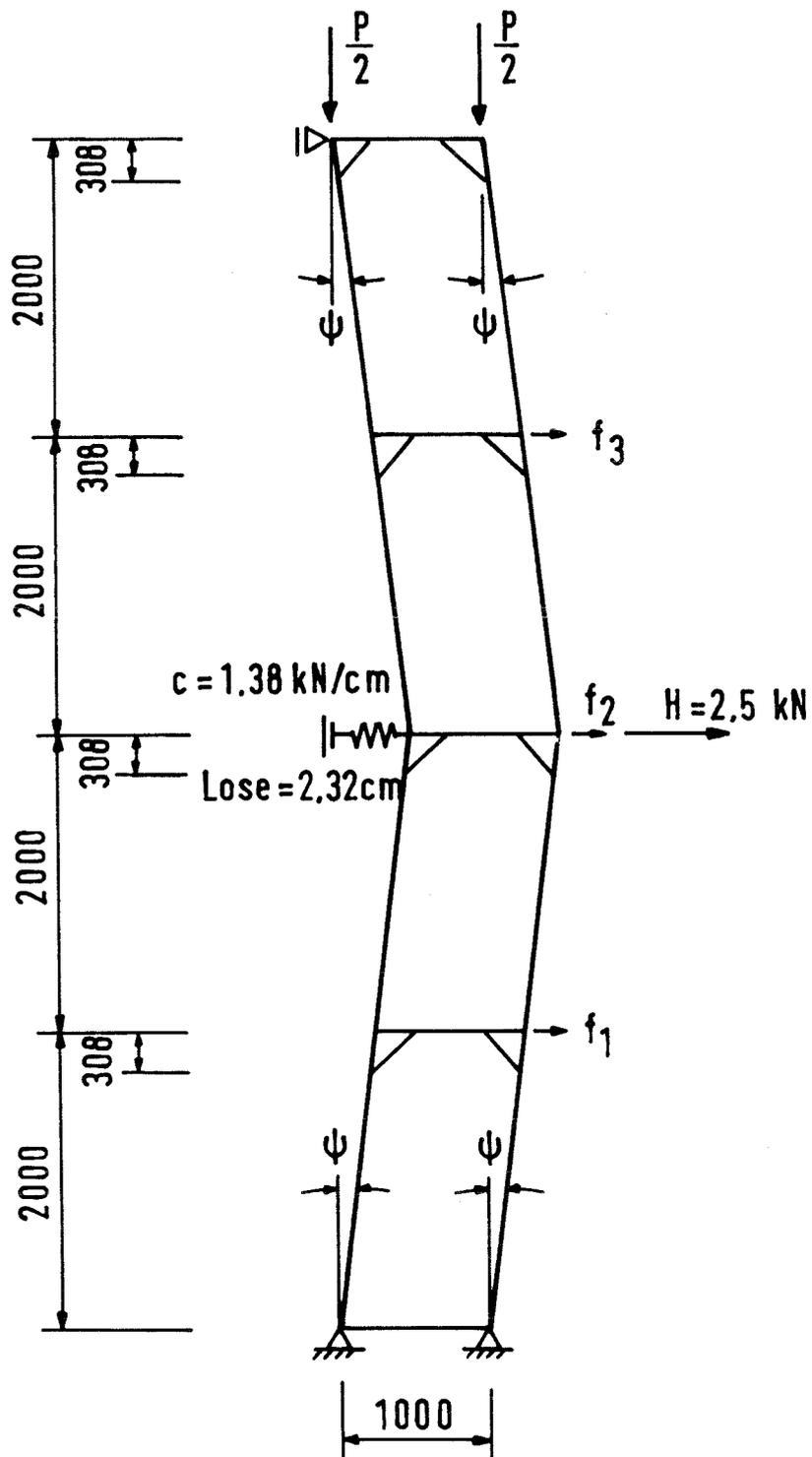


Bild 20 BERA - Europagerüst: Berechnungssystem

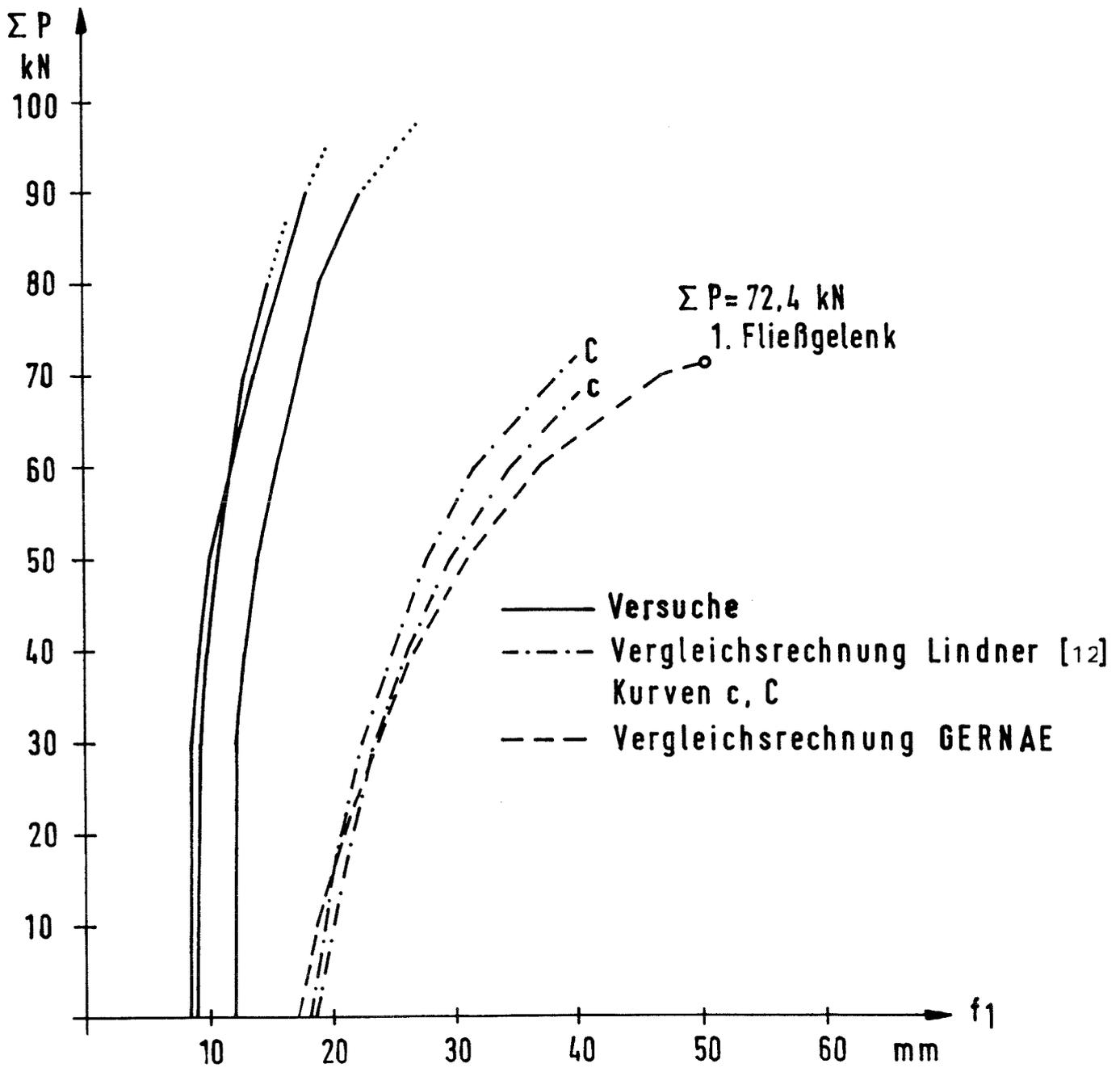


Bild 21 Last-Verschiebungskurven für das BERA-Europagerüst
Vergleichsrechnung zu Bericht Nr. 2028 [12]

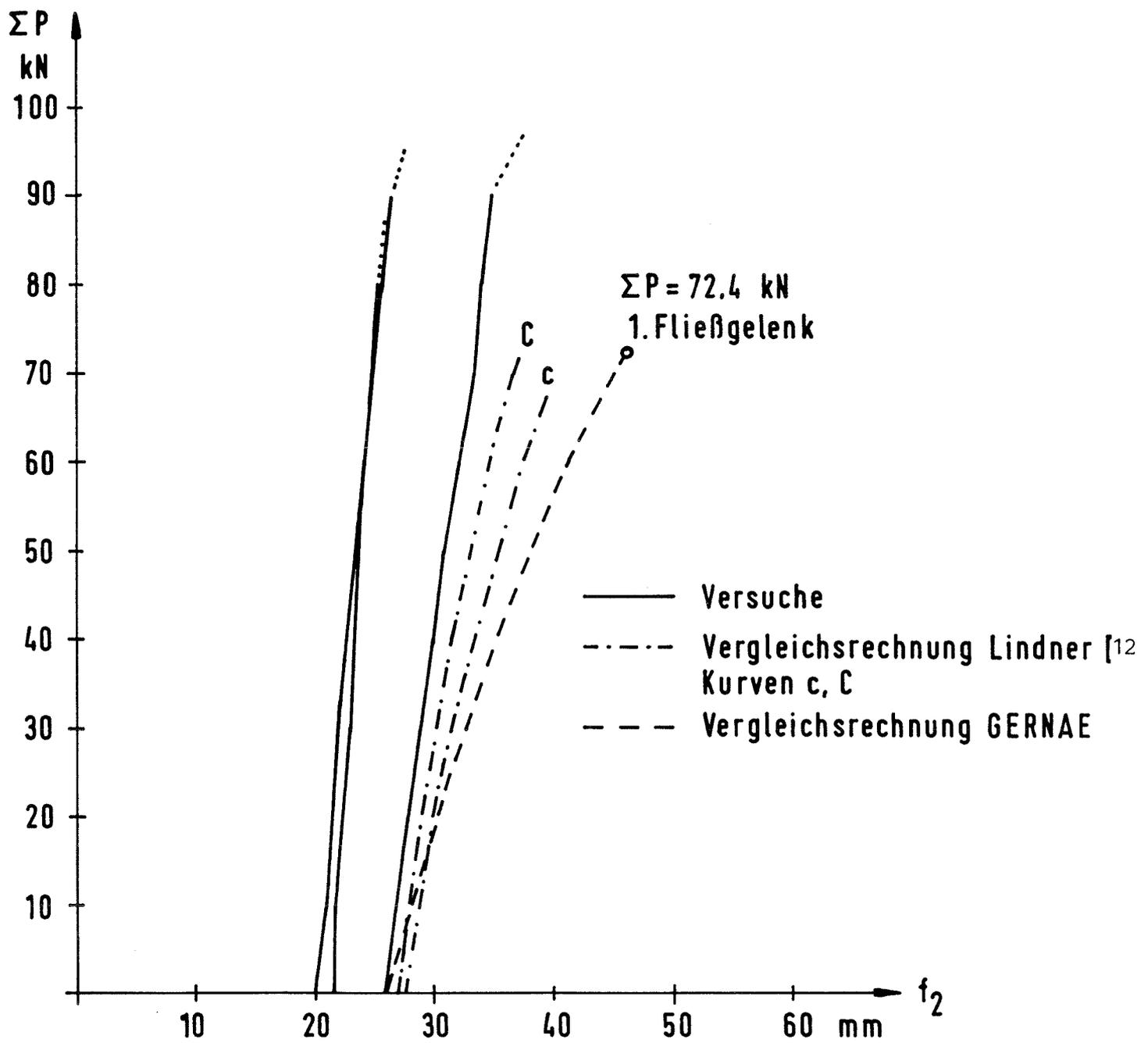


Bild 22 Last-Verschiebungskurven für das BERA-Europagerüst

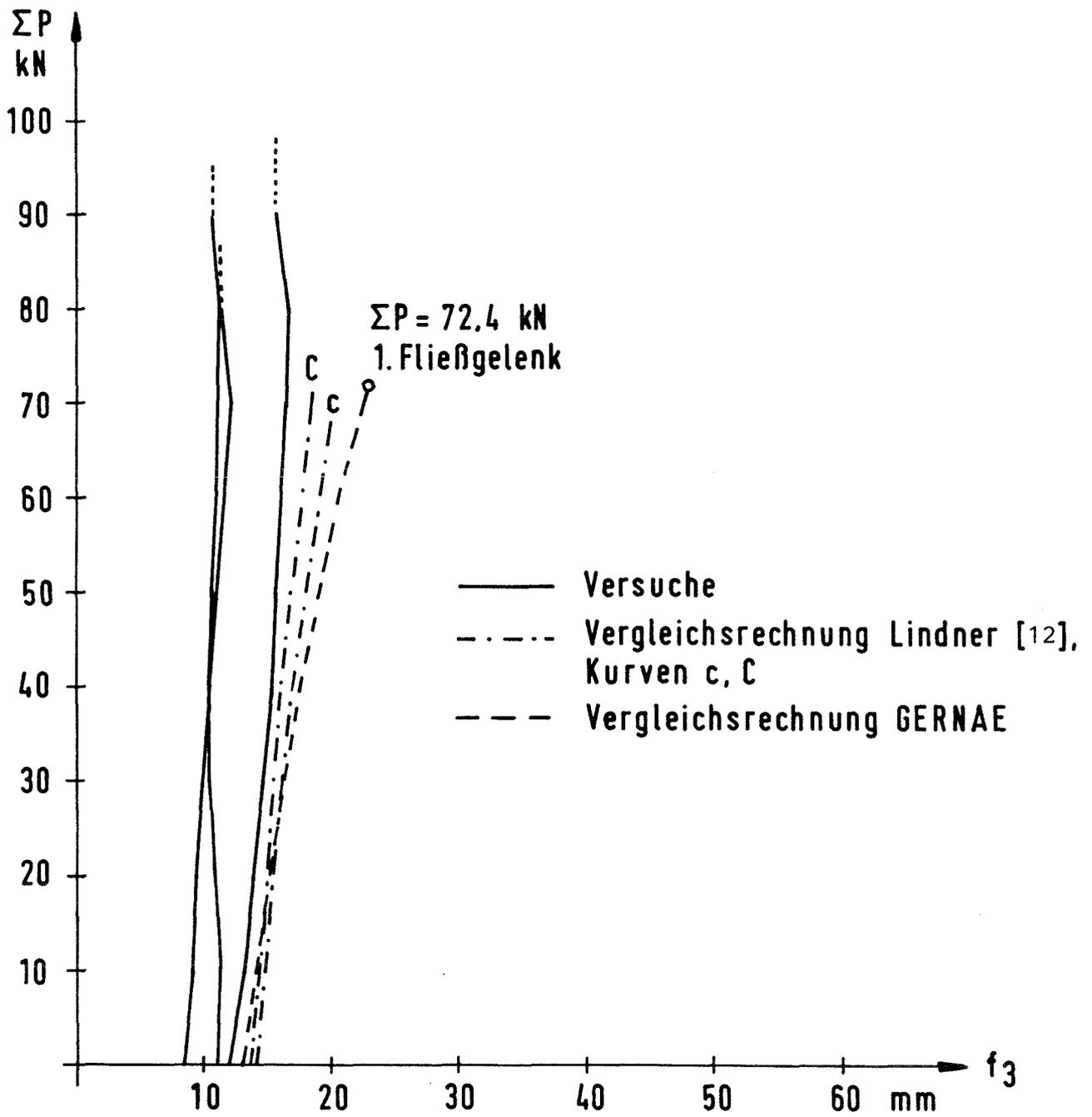


Bild 23 Last-Verschiebungskurven für das BERA-Europagerüst

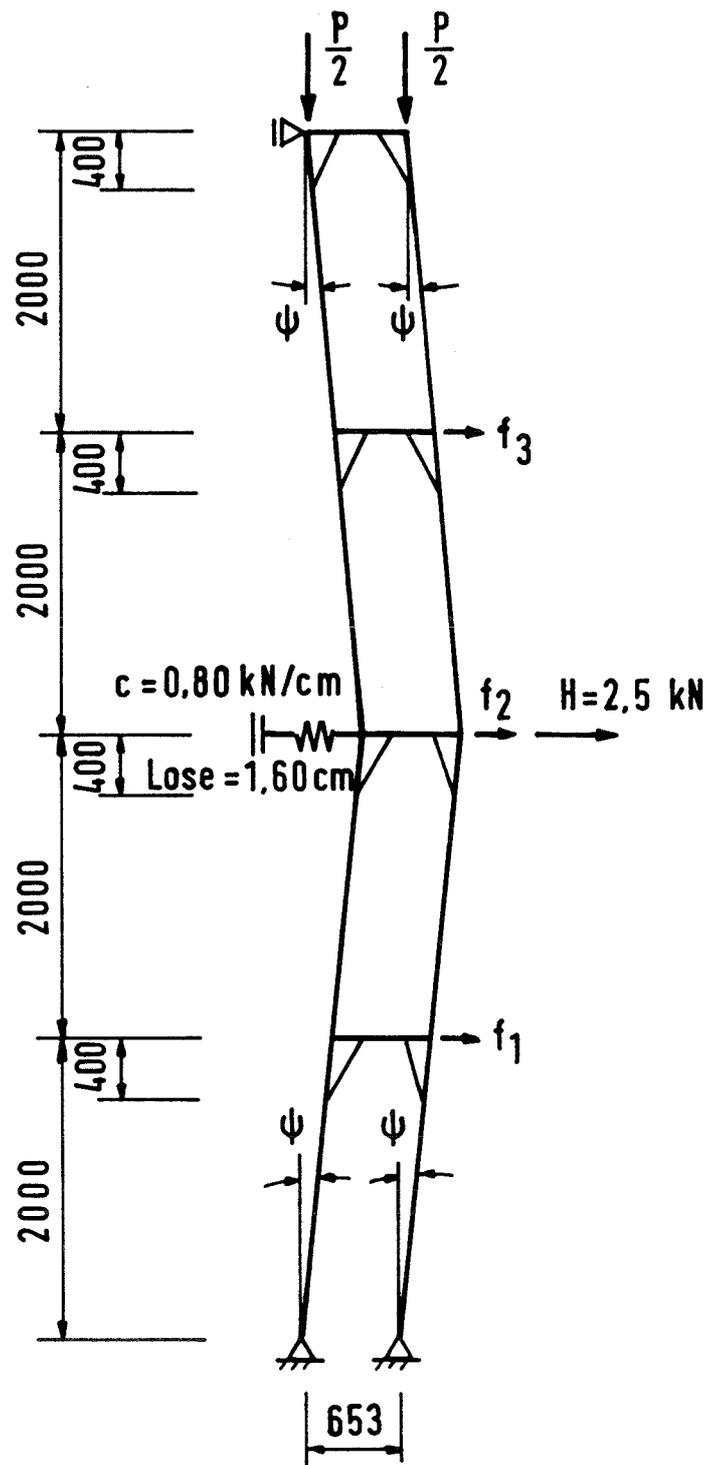


Bild 24 KERN Schnellbaugerüst Typ II

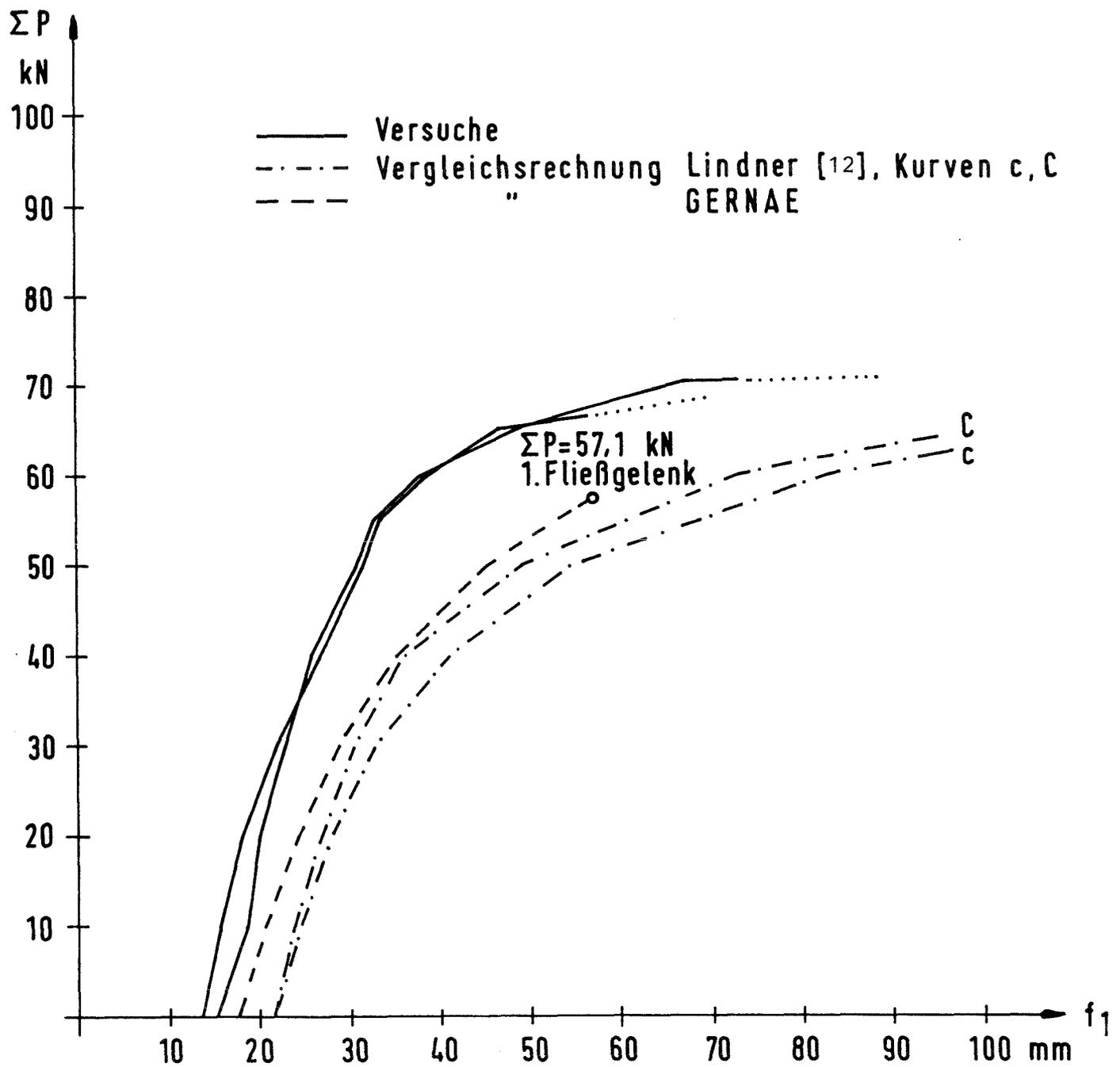


Bild 25 Last-Verschiebungskurven für das KERN - Schnellbaugerüst Typ II
 Vergleichsrechnung zu Bericht Nr. 2028 [12]

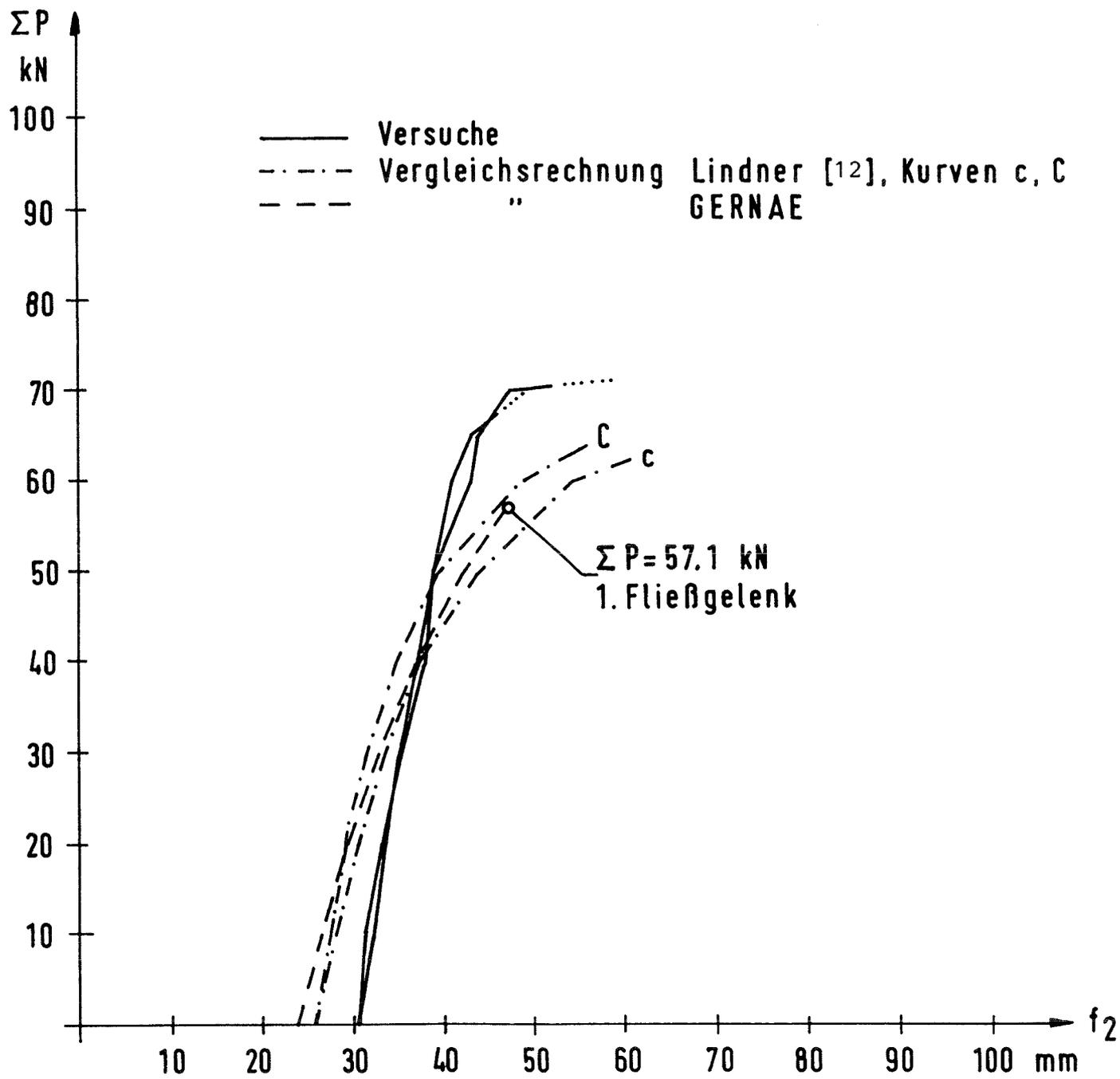


Bild 26 Last-Verschiebungskurven für das KERN - Schnellbaugerüst Typ II

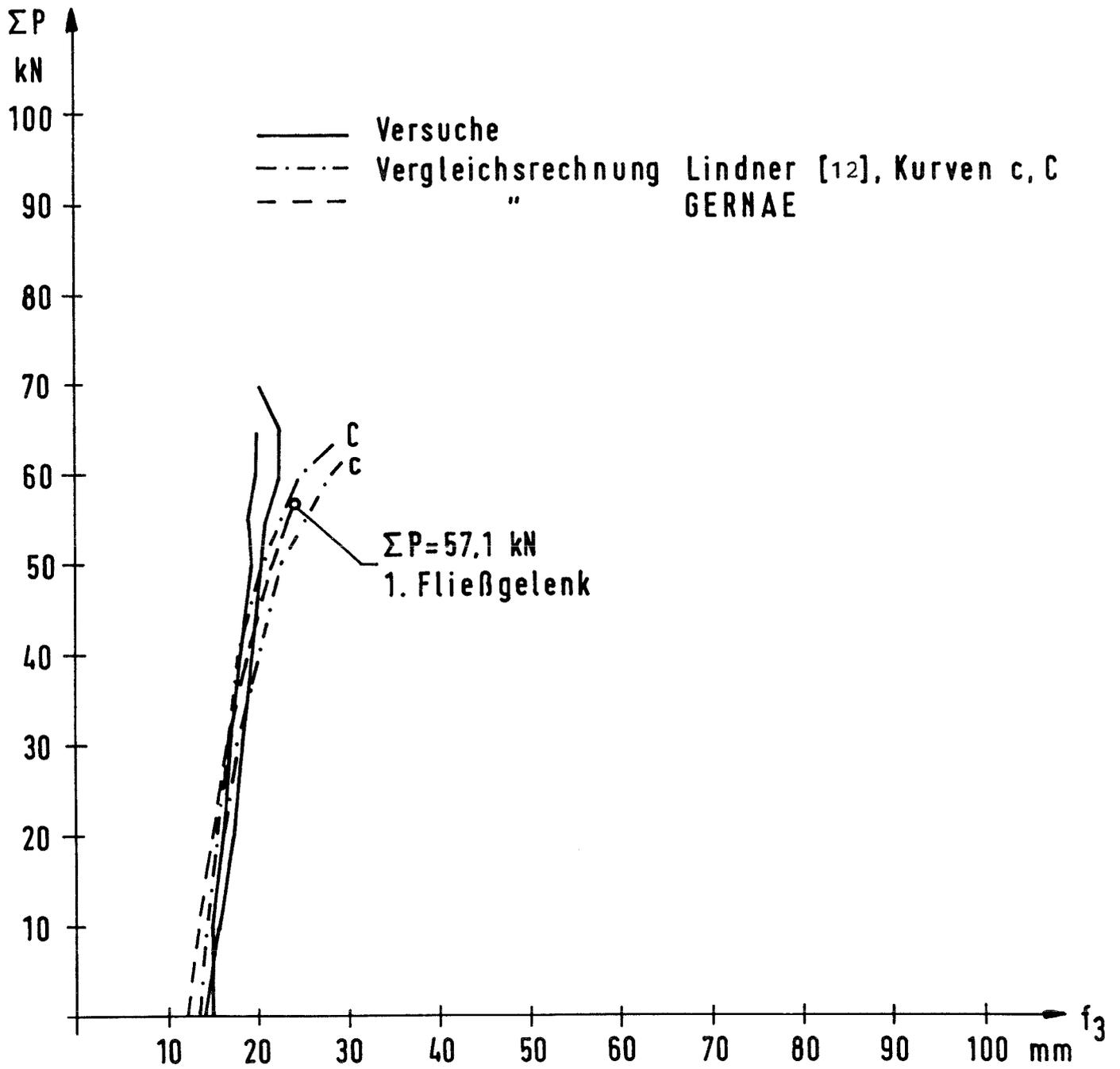


Bild 27 Last-Verschiebungskurven für das KERN - Schnellbaugerüst Typ II

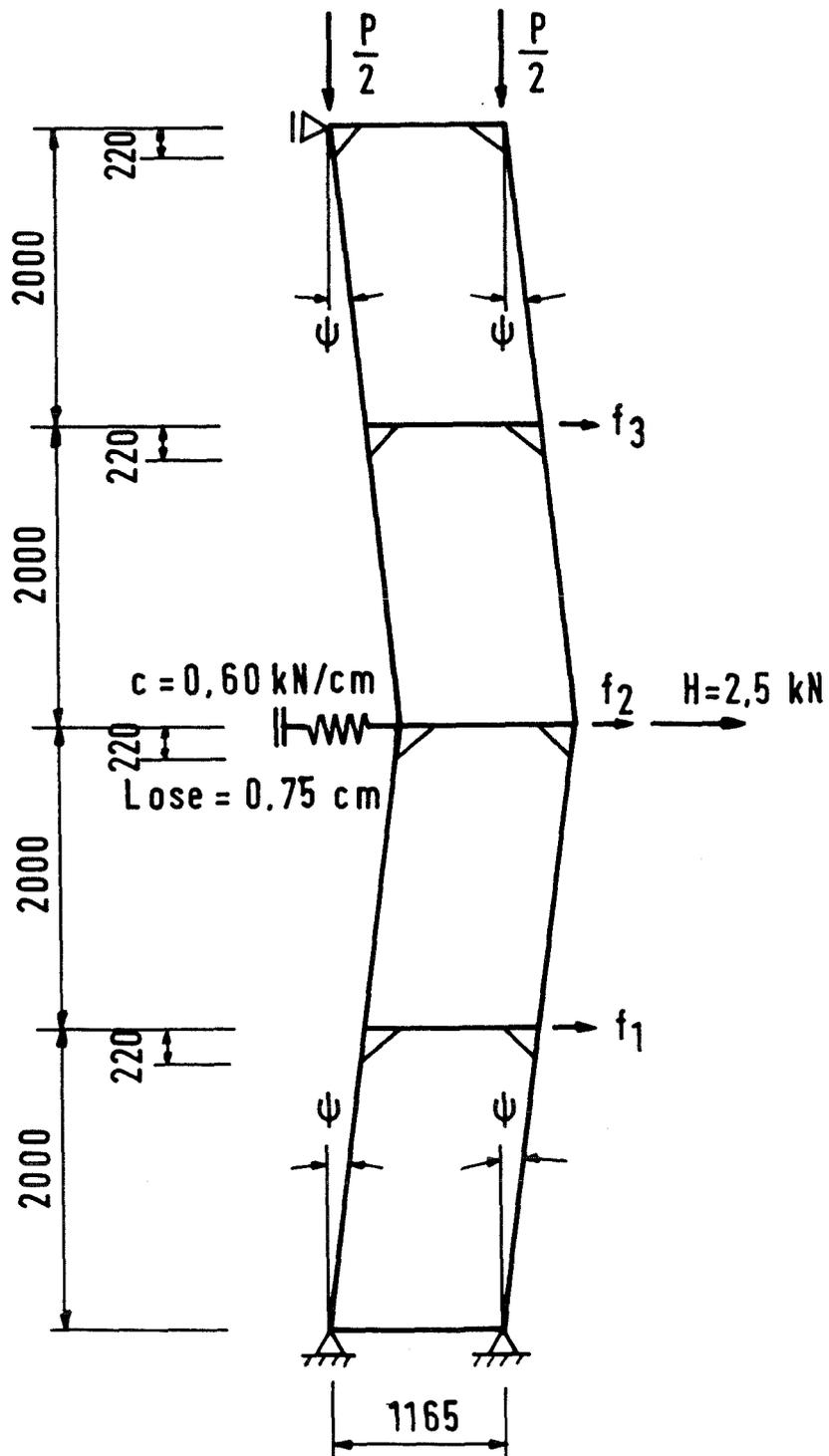


Bild 28 FIX - Rahmengerüst II

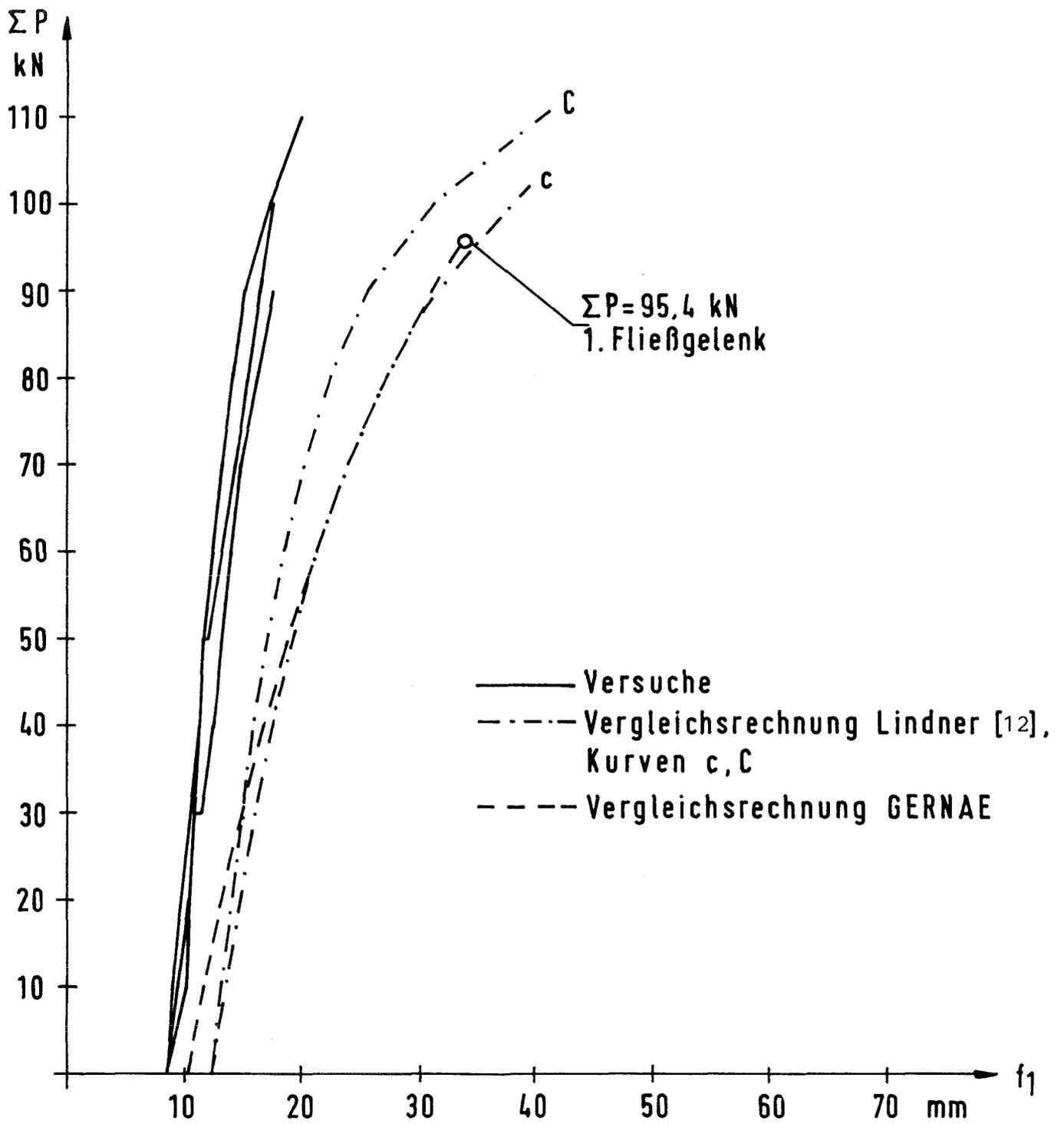


Bild 29 Last-Verschiebungskurven für das FIX-Rahmengerüst II
 Vergleichsrechnung zu Bericht Nr. 2028 [12]

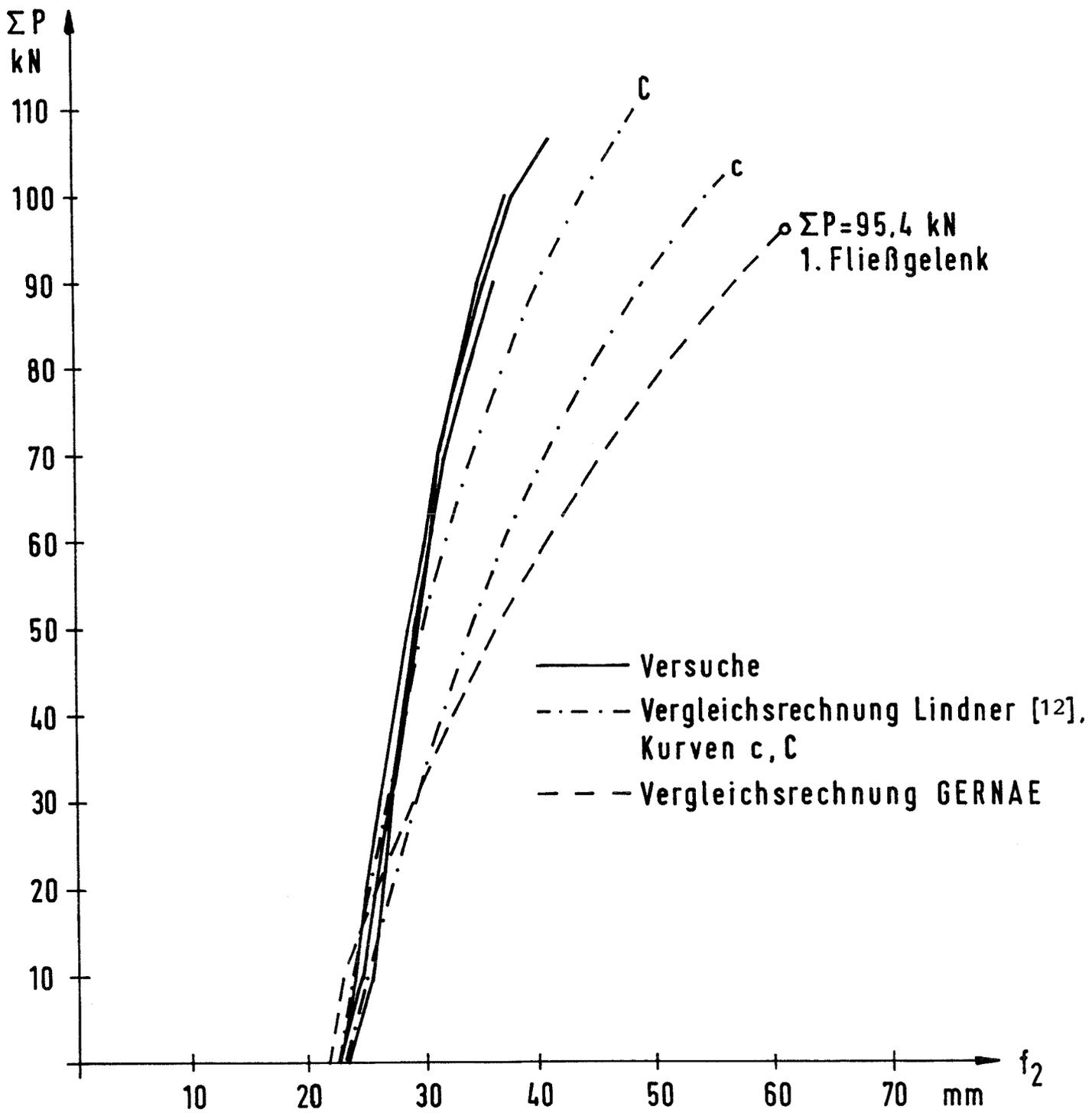


Bild 30 Last-Verschiebungskurven für das FIX-Rahmengerüst II

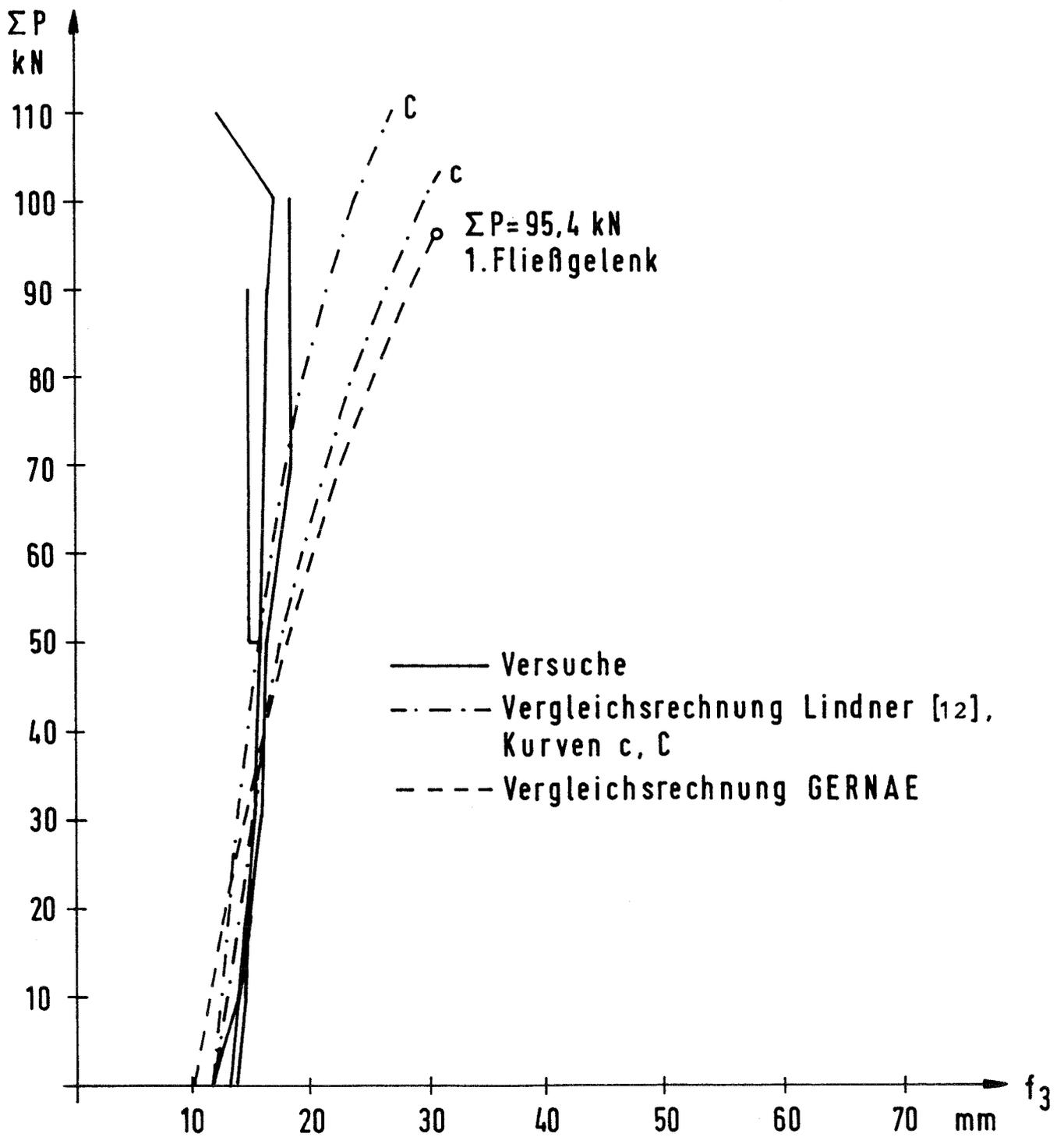


Bild 31 Last-Verschiebungskurven für das FIX-Rahmengerüst II

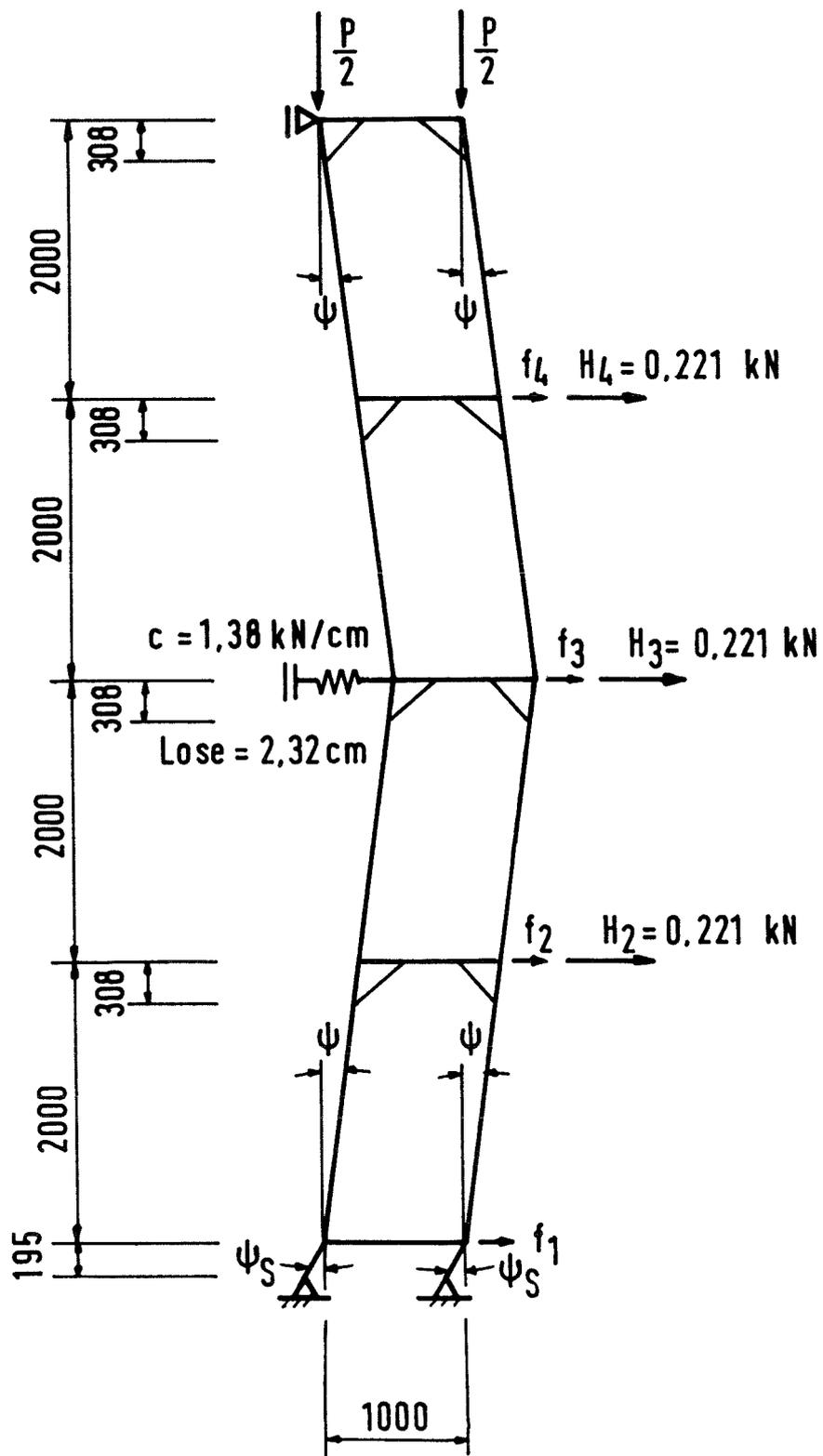


Bild 32 BERA-Europagerüst mit Spindel

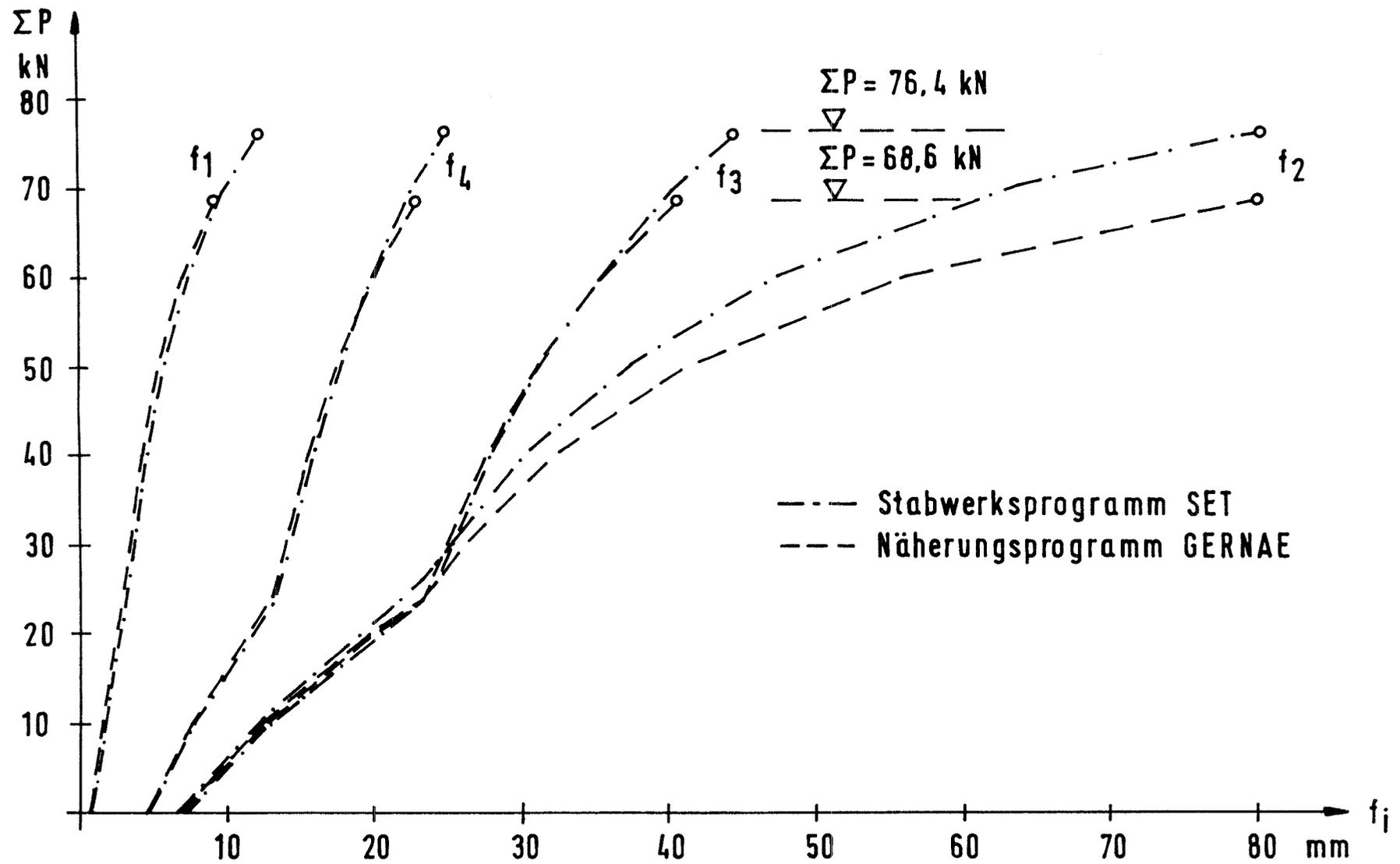


Bild 33 BERA-Europagerüst: Vergleich Stabwerksprogramm SET - Näherungsprogramm GERNAE

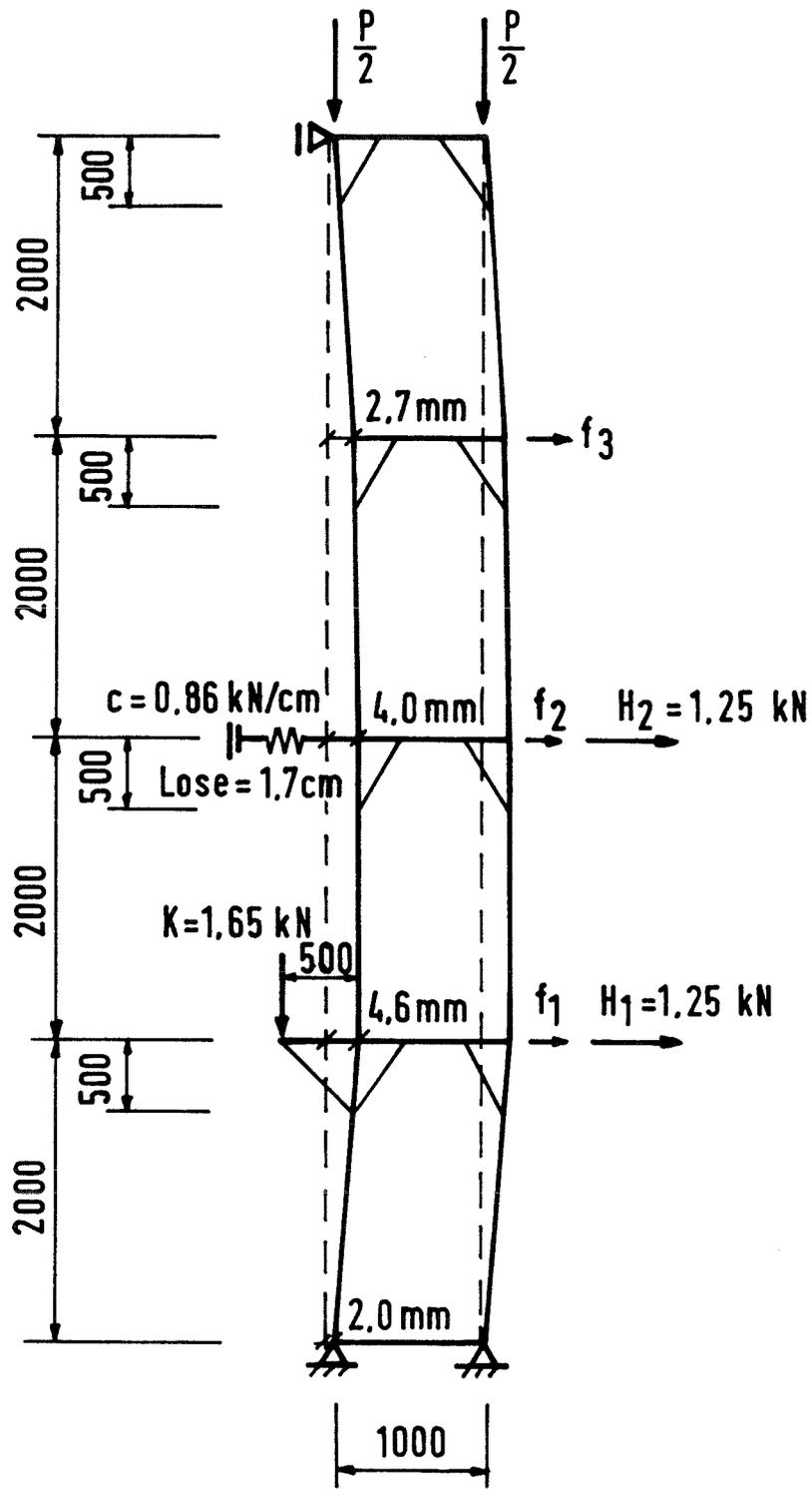


Bild 34 Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100

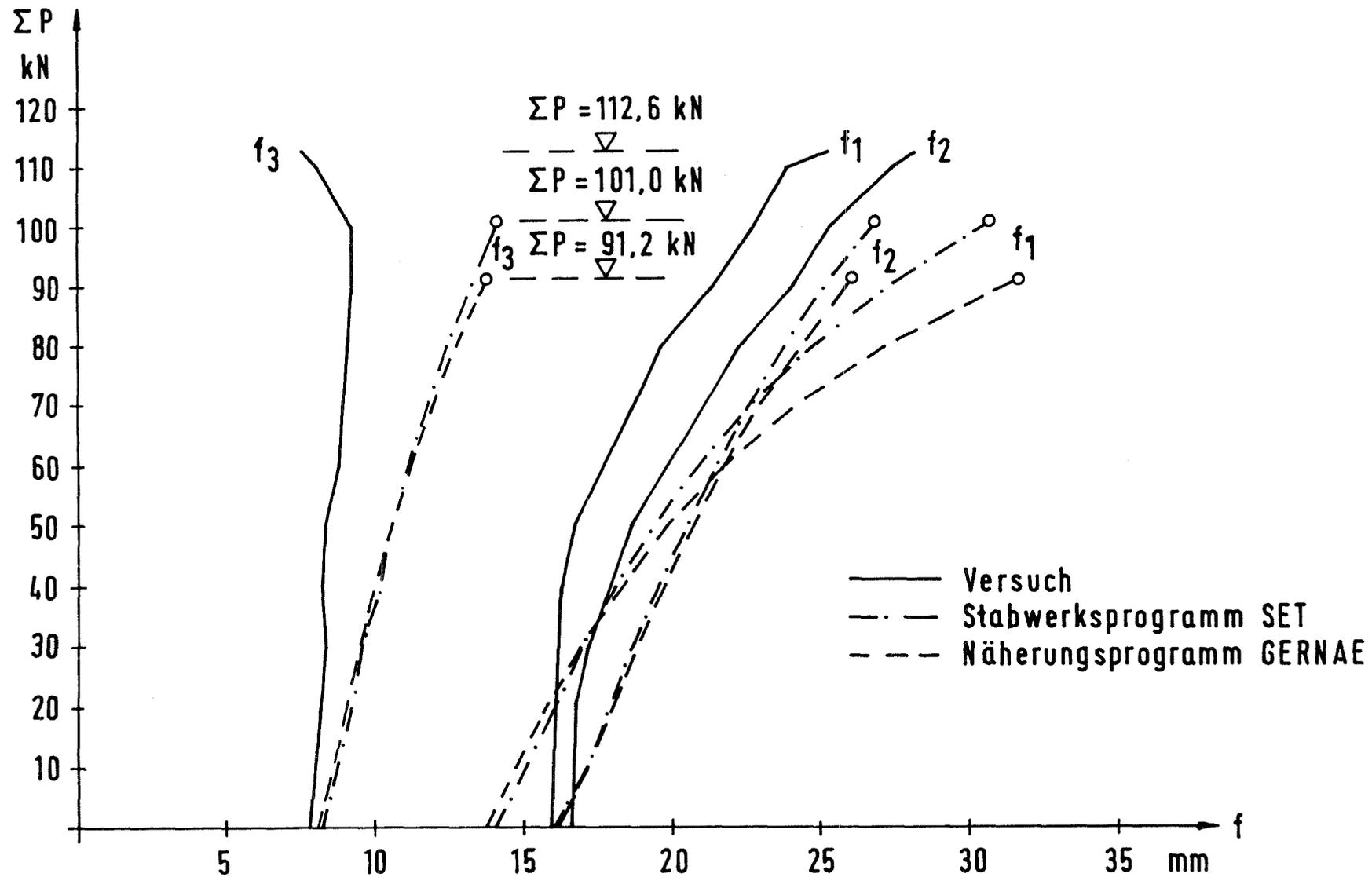


Bild 35 Hünnebeck Schnellbaugerüst BOSTA 100: Nachrechnung eines Großversuchs
 (TU-München: Untersuchungsbericht Nr. 1125 [18])

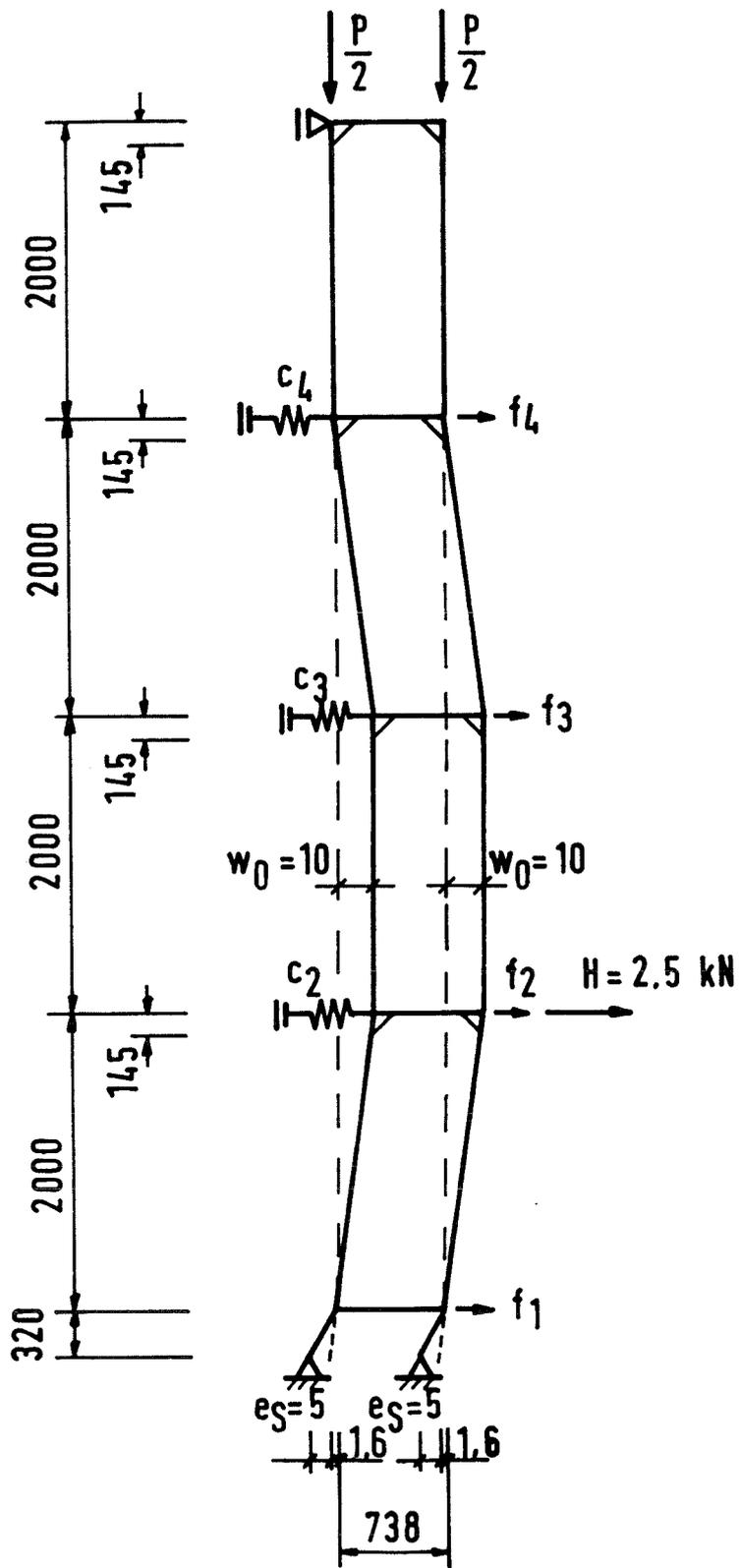


Bild 36 FIX - Rahmengerüst IV

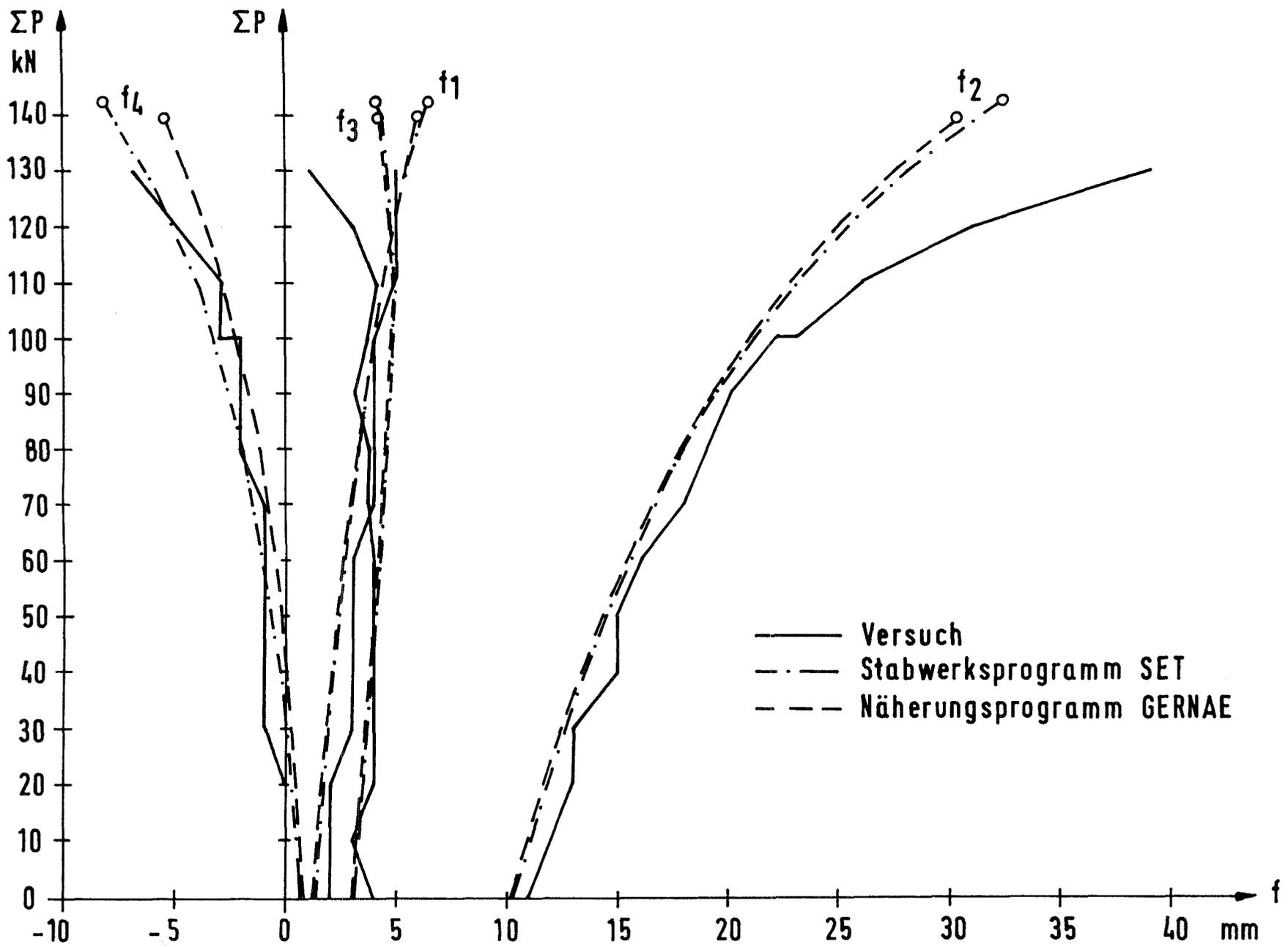


Bild 37 FIX-Rahmengerüst IV: Nachrechnung eines Großversuchs (TU-Hannover: Prüfzeugnis Nr. 534/79 [20])

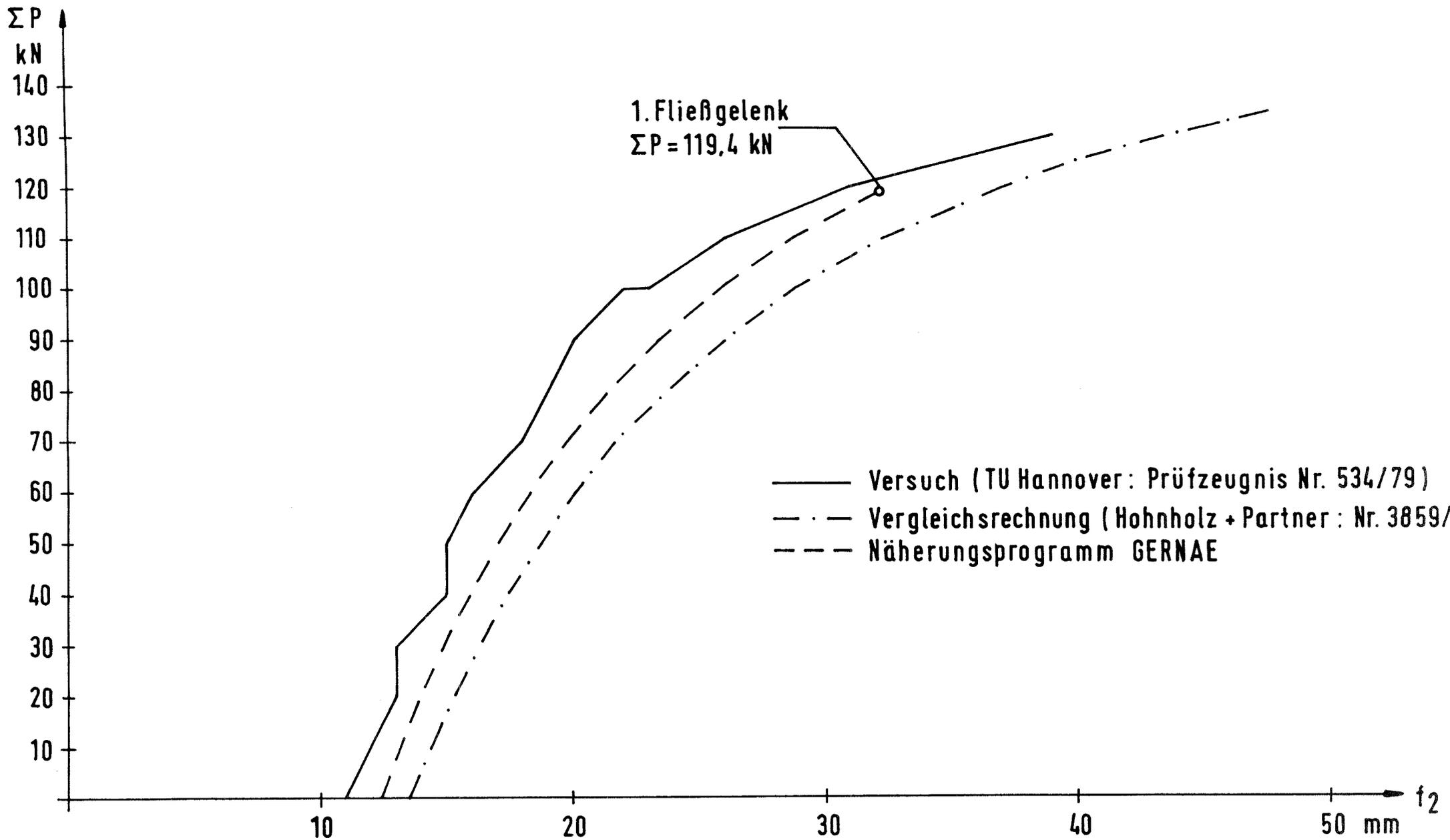


Bild 38 FIX-Rahmengerüst IV: Vergleichsrechnung zu Stabwerksberechnung Hohnholz + Partner (Nr. 3859/3) [21]

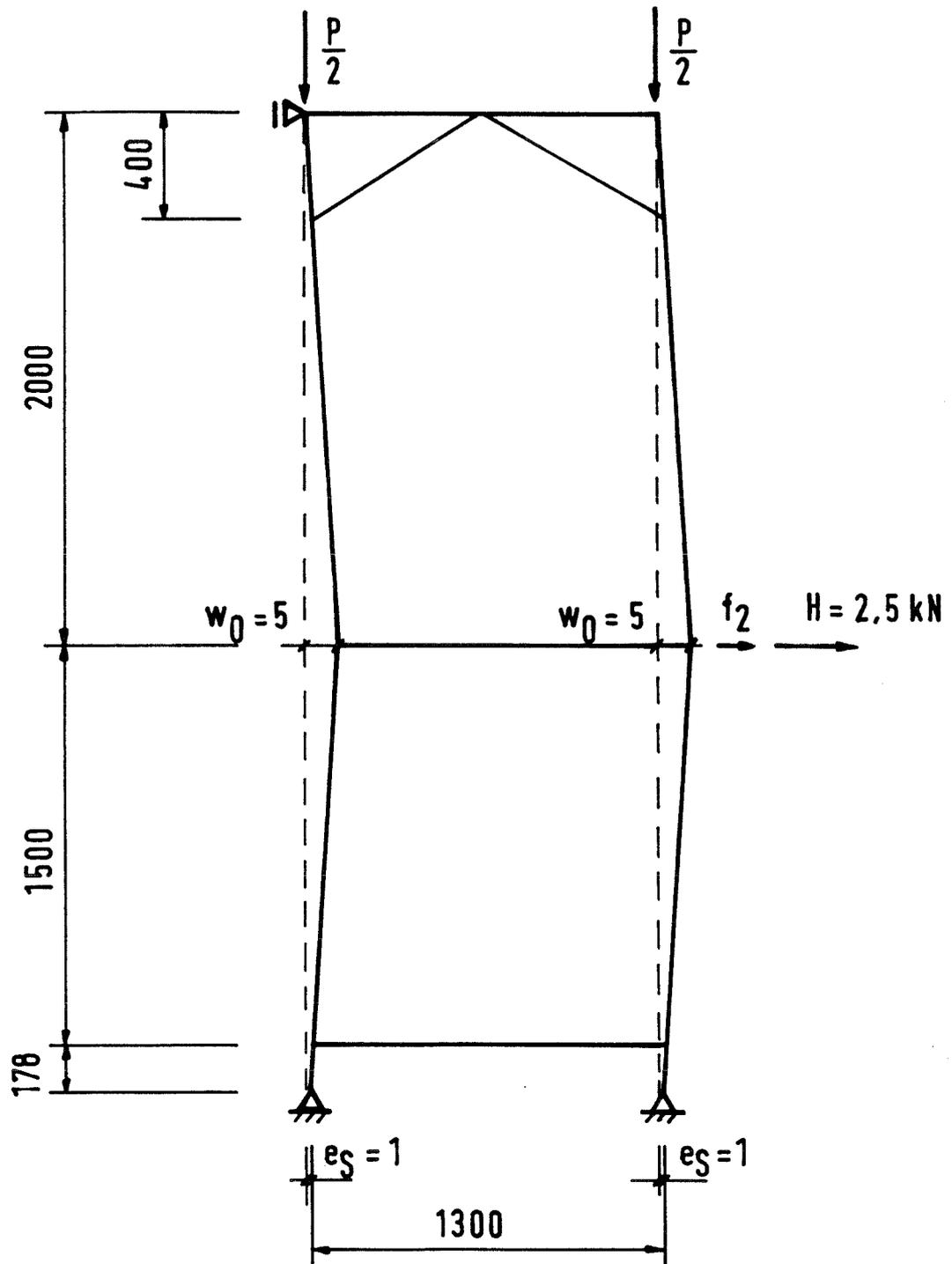


Bild 39 ETUBE - Stahlrohrgerüst II

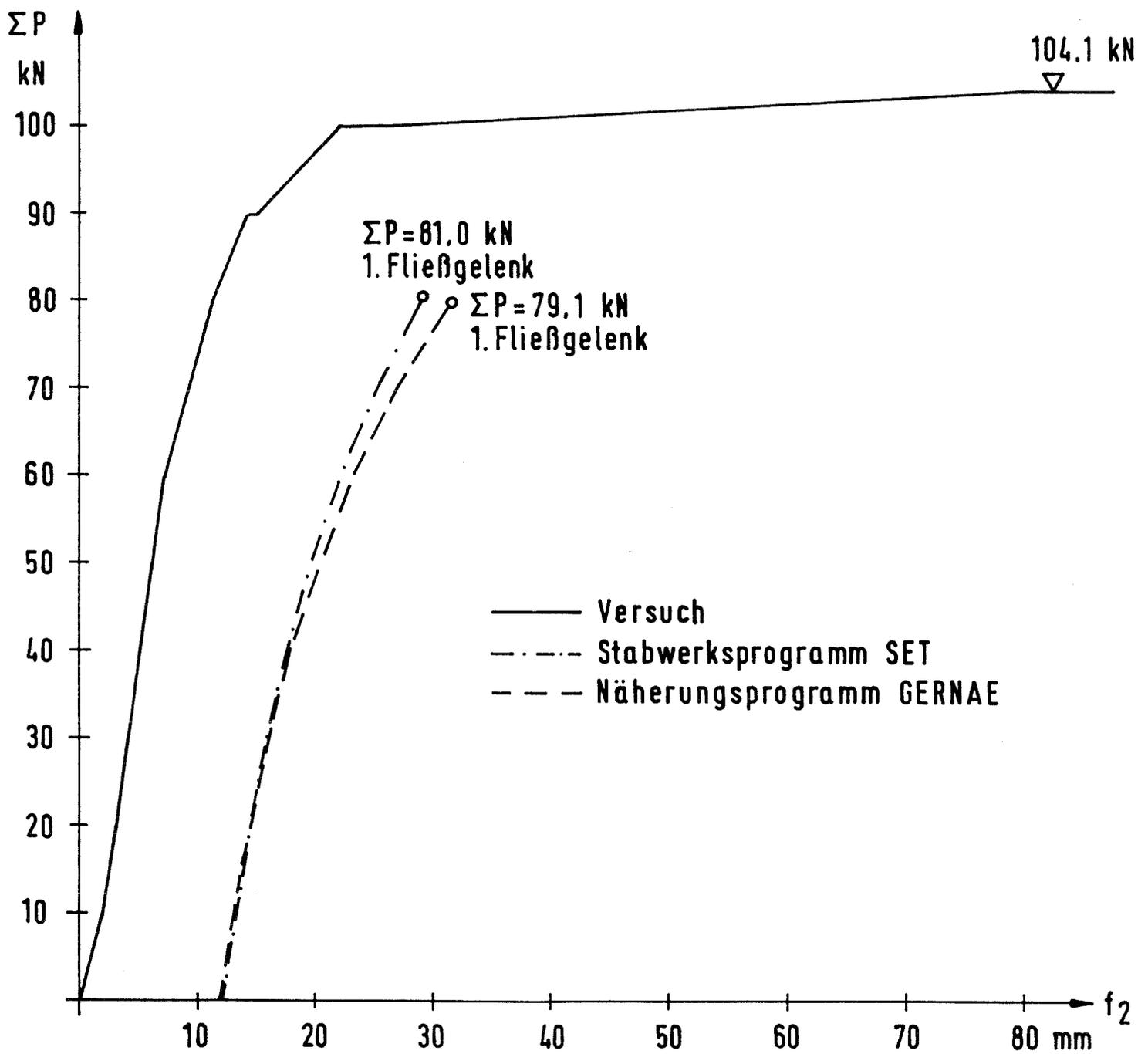


Bild 40 Last-Verschiebungskurven für das ETUBE-Stahlrohrgerüst II
 Vergleichsrechnung zu Großversuch 2 aus Prüfzeugnis Nr. 406/81
 [22]

ANLAGEN

Anlage 1

Listing des Programms GERNAE

Hauptprogramm:

```

10 REM *****
20 REM **                GERNAE-VERSION VOM 12.12.88                **
30 REM *****
40 REM
50 PRINT " "
60 PRINT " "
70 PRINT "*****"
80 PRINT "**          NAEHERUNGSVERFAHREN ZUR BERECHNUNG VON RAHMENGERUESTEN          **"
90 PRINT "**                                     MIT AUSGESTEIFTEN ECKEN                                     **"
100 PRINT "**                                     VERSION VOM 12.12.88                                     **"
110 PRINT "*****"
120 PRINT " "
130 REM I-----I
140 REM I Eingabe der Daten I
150 REM I-----I
160 INPUT "WOLLEN SIE EINEN VORHER ANGELEGTE DATENSATZ BEARBEITEN (J/N) ";D$
170 DIM A(22)
180 DIM K(10,1),C(9,1),G(9,0),H(9,1)
190 DIM W(10,3),F(9,2),X(9,10),Q(8,2)
200 DIM Y(9),KZ(9),FG(9,2),ST(9)
210 IF D$="N" THEN GOSUB 8000 : GOTO 550
220 IF D$<>"J" GOTO 160
230 PRINT " "
240 INPUT "WELCHEN DATEINAMEN HAT DER DATENSATZ ";DN$
250 CHAIN MERGE DN$,260,ALL

```

(29 freie Zeilennummern fuer einen evtl. vorher angelegten Datensatz)

```

550 PRINT " "
560 INPUT "AUSSTEIFUNGSFAKTOR EINGEBEN: ";DL
570 PRINT " " : PRINT "EINGABE BEENDET" : PRINT " "
580 REM I-----I
590 REM I Berechnung der Vorwerte I
600 REM I-----I
610 H0=A(3)
620 H1=A(3)-A(4)*DL
630 H2=A(3)-A(4)*.5
640 H3=A(3)-A(4)
650 IF A(5)>0 GOTO 730
660 NU=0 : MO=H1 : MS=HE : MR=0 : MG=HE
670 OA=-((MO*H1*(2*H1+3*HE))/(6*A(2)*A(1))) : OB=OA*1.25
680 OC=-((H2*3/(12*A(2)*A(1))) : OD=-((5*H2*3)/(48*A(2)*A(1)))
690 OE=-((MO*H1*HE)/(2*A(2)*A(1))) : OF=OE*1.25
700 OG=-((MS*(H1+2*HE)*H1/(2*A(2)*A(1))+MG*HE*2/(3*A(11)*A(10))) : OH=OG*1.25
710 OI=-((MS*H1*HE/(A(2)*A(1))+MG*HE*2/(3*A(11)*A(10))) : OJ=OI*1.25
720 GOTO 890
730 NU=-((H1*2/(2*H1+((A(8)*A(2)*A(1))/(3*A(7)*A(6))))))
740 MO=NU+H1
750 MS=(HE*A(8))/((6*H1*A(7)*A(6))/(A(2)*A(1))+A(8))
760 MR=MS-HE
770 MG=HE
780 OA=((2*NU+MO)*H1*2)/(6*A(2)*A(1))+((NU*(H1+HE)*A(8))/(6*A(7)*A(6))) : GOTO 790
790 OB=OA*1.25
800 OC=-((H2*3/(12*A(2)*A(1)))
810 OD=-((5*H2*3)/(48*A(2)*A(1)))
820 OE=(NU*HE*A(8))/(6*A(7)*A(6))
830 OF=OE
840 IF HE=0 GOTO 890
850 OG=(MS*H1*2)/(2*A(2)*A(1))+((MR*(H1+HE)*A(8))/(6*A(7)*A(6))+
(-MG*HE*2)/(3*A(11)*A(10))

```

```

860 OH=OG*1.25
870 OI=(NR*HE*A(8))/(6*A(7)*A(6))+(-MG*HE*2)/(3*A(11)*A(10))
880 OJ=OI*1.25
890 IF HE=0 THEN MS=0 : MR=0 : MG=0 : DE=0 : DF=0 : OG=0 : OH=0 : OI=0 : OJ=0
900 TH=1 : H=H0 : S=1 : FS=0
910 O0=OG : O1=OA : O2=OC : O3=OI : O4=OE
920 GOSUB 3000
930 FOR R=2 TO N+1
940 IF K(R,0)=1 THEN C(R,0)=50000
950 IF B(R,0)=0 THEN C(R,1)=C(R,0)
960 W(R,0)=K(R,1)/10
970 NEXT R
980 W(1,0)=K(1,1)/10
990 IF HE=0 GOTO 1120
1000 R=SGN(K(1,1)-K(2,1))
1010 IF R=0 THEN R=1
1020 EZ=R*((A(12)-A(13))/(10*A(14)))*HE+1)
1030 PRINT "DIE ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL WIRD NACH MERKHEFT STATIK BERECHNET!"
      : PRINT " "
1040 INPUT "WOLLEN SIE EINE EIGENE ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL EINGEBEN (J/N)";F$
1050 IF F$="N" GOTO 1080
1060 IF F$<>"J" GOTO 1040
1070 INPUT "ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL [cm] = ";EZ
1080 PRINT " "
1090 PRINT USING "ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL [CM] = ##.###";EZ
1100 EX=EZ+HE*(W(1,0)-W(2,0))/A(3)
1110 PRINT USING "GESAMTAUSMITTE DER SPINDEL [CM] = ##.###";EX
1120 REM I-----I
1130 REM I Berechnung der Abtriebskraefte I
1140 REM I-----I
1150 IF TH=2 GOTO 1190
1160 IF HE=0 THEN H(1,0)=0 : GOTO 1210
1170 H(1,0)=- (EZ*F/HE)
1180 GOTO 1210
1190 IF HE=0 GOTO 1210
1200 H(1,0)=- ((W(2,0)-W(1,0))/H-W(1,0)/HE)*F
1210 FOR R=2 TO N+1
1220 IF R=N+1 THEN H(R,0)=P*(W(R,0)-W(R-1,0))/H : GOTO 1240
1230 H(R,0)=- ((W(R+1,0)-2*W(R,0)+W(R-1,0))/H)*P
1240 NEXT R
1250 IF TH=2 GOTO 1290
1260 FOR R=1 TO N+1
1270 H(R,0)=H(R,0)+H(R,1)
1280 NEXT R
1290 GOSUB 3250
1300 REM I-----I
1310 REM I Berechnung der Querkraefte I
1320 REM I-----I
1330 GOSUB 3500
1340 GOSUB 4000
1350 PRINT "SCHRITT";S
1360 PRINT " "
1370 IF ZW$="N" GOTO 1400
1380 STOP
1390 GOSUB 4500
1400 REM I-----I
1410 REM I Berechnung der Verschiebungen I
1420 REM I-----I
1430 W(1,3)=O3*Q(0,2)+O4*Q(1,2)
1440 W(2,3)=O0*Q(0,2)+O1*Q(1,2)
1450 WS=W(2,3)
1460 FOR R=3 TO N+1
1470 W(R,3)=WS+O2*Q(R-1,2)
1480 WS=W(R,3)
1490 NEXT R
1500 REM
1510 REM ----- Beginn der Federiteration -----

```

```

1520 REM
1530 IF TH=2 GOTO 1750
1540 FOR R=1 TO N+1
1550 IF (K(R,0)=1) OR (G(R,0)=0) GOTO 1660
1560 WN=G(R,0)+ABS(W(R,3))*C(R,1)/C(R,0)
1570 IF ABS(ABS(W(R,3))-WN)<.01 GOTO 1640
1580 F(R,2)=C(R,0)*(ABS(W(R,3))-G(R,0))
1590 IF Y(R)=1 GOTO 1620
1600 IF G(R,0)>ABS(W(R,3)) THEN C(R,1)=0 : KZ(R)=0 : GOTO 1660
1610 Y(R)=1
1620 IF WN>ABS(W(R,3)) THEN C(R,1)=ABS((W(R,3)/WN)^2*C(R,1)) : KZ(R)=1 :
GOTO 1660
1630 C(R,1)=ABS(F(R,2)/W(R,3)) : KZ(R)=1 : GOTO 1660
1640 SK=0 : KZ(R)=0 : FOR RR=1 TO N+1 : SK=SK+KZ(RR) : NEXT RR
1650 IF SK=0 THEN C(R,1)=C(R,0)
1660 NEXT R
1670 FS$="ANGESPRUNGEN UND RICHTIGE FEDERKONSTANTE NOCH NICHT GEFUNDEN" :
FT$="MUSS NEU BERECHNET WERDEN /"
1680 FOR R=1 TO N+1
1690 IF KZ(R)=1 THEN PRINT " " : PRINT "FEDER Nr. ";R;FS$ :
PRINT "====> SCHRITT";S;FT$;FS+1;" . FEDERITERA
TION : "
1700 NEXT R
1710 FOR R=1 TO N+1
1720 IF KZ(R)=1 THEN FS=FS+1 : GOTO 1300
1730 NEXT R
1740 GOTO 1970
1750 FOR R=1 TO N+1
1760 IF (K(R,0)=1) OR (G(R,0)=0) GOTO 1880
1770 WN=G(R,0)+ABS(W(R,3))*C(R,1)/C(R,0)
1780 IF ABS(ABS(W(R,1)+W(R,3))-WN)<.01 GOTO 1860
1790 IF C(R,1)=C(R,0) THEN KZ(R)=0 : GOTO 1880
1800 F(R,2)=C(R,0)*(ABS(W(R,3)+W(R,1))-G(R,0))
1810 IF Y(R)=1 GOTO 1840
1820 IF G(R,0)>ABS(W(R,1)+W(R,3)) THEN C(R,1)=0 : KZ(R)=0 : GOTO 1880
1830 Y(R)=1
1840 IF WN>ABS(W(R,1)+W(R,3)) THEN C(R,1)=ABS(((W(R,1)+W(R,3))/WN)^2*C(R,1)) :
KZ(R)=1 : GOTO 1880
1850 C(R,1)=ABS(F(R,2)/W(R,3)) : KZ(R)=1 : GOTO 1880
1860 SK=0 : KZ(R)=0 : FOR RR=1 TO N+1 : SK=SK+KZ(RR) : NEXT RR
1870 IF SK=0 THEN C(R,1)=C(R,0)
1880 NEXT R
1890 FOR R=1 TO N+1
1900 IF KZ(R)=1 THEN PRINT " " : PRINT "FEDER Nr. ";R;FS$ :
PRINT "====> SCHRITT";S;FT$;FS+1;" . FEDERITERA
TION : "
1910 NEXT R
1920 FOR R=1 TO N+1
1930 IF KZ(R)=1 THEN FS=FS+1 : GOTO 1120
1940 NEXT R
1950 REM
1960 REM ----- Ende der Federiteration -----
1970 REM
1980 REM I-----I
1990 REM I Querkraft- und Verschiebungssumme I
2000 REM I-----I
2010 FOR R=0 TO N : Q(R,0)=Q(R,2) : NEXT R
2020 FOR R=0 TO N : Q(R,1)=Q(R,1)+Q(R,0) : NEXT R
2030 FOR R=1 TO N+1 : W(R,0)=W(R,3) : NEXT R
2040 FOR R=1 TO N+1 : W(R,1)=W(R,1)+W(R,0) : NEXT R
2050 GOSUB 5000
2060 S=S+1
2070 IF TH=2 GOTO 2100
2080 TH=2 : H=H3
2090 O0=OH : O1=OB : O2=OD : O3=OJ : O4=OF
2100 R1=0
2110 FOR R=1 TO N+1

```

```

2120 IF ABS(W(R,0))<.001 THEN R1=R1+1
2130 NEXT R
2140 IF R1=N+1 THEN PRINT "ENDE DER BERECHNUNG" : PRINT " " : STOP : PRINT " " :
      GOTO 2160
2150 GOTO 1120
2160 REM I-----I
2170 REM I Ausgabe der Ergebnisse I
2180 REM I-----I
2190 INPUT "HAT DER VERTIKALRAHMENSTIEL ROHRQUERSCHNITT (J/N)";RQ$: PRINT " "
2200 IF RQ$="N" THEN FF$="N" : GOTO 2300
2210 TM$="WOLLEN SIE DAS ERREICHEN DER TRAGFAEHIGKEIT DER STIELE KONTROLLIEREN"
2220 PRINT TM$:
2230 INPUT " (J/N) ";FF$
2240 IF FF$="N" GOTO 2300
2250 IF FF$<>"J" GOTO 2210
2260 PRINT " " : INPUT "AUSSENDURCHMESSER DES STIELROHRES [mm] = ";D
2270 PRINT " " : INPUT "WANDDICKE [mm] = ";T
2280 PRINT " " : INPUT "GRENZSPANNUNG [KN/cm^2] = ";BS
2290 VW=(D-T)*T*BS*(100*P/(2*(D-T)*T*BS))/1000 : PRINT " "
2300 PRINT " " : PRINT "SCHNITTGROESSEN UND VERFORMUNGEN:" : PRINT " "
2310 IF N=1 GOTO 2430
2320 N1=N+1
2330 IF N>4 THEN N1=5 : ST=1
2340 FOR R1=0 TO N1-3
2350 R=N1-R1
2360 M1=H3/2*Q(R-1,1)
2370 M2=-M1
2380 IF FF$="N" GOTO 2410
2390 IF ABS(M1)>=VW THEN FG(R,1)=1 : ST(R)=R
2400 IF ABS(M2)>=VW THEN FG(R,2)=1 : ST(R)=R
2410 GOSUB 5500
2420 NEXT R1
2430 R=2
2440 M1=MO*Q(1,1)+MS*Q(0,1)
2450 M2=MU*Q(1,1)+MS*Q(0,1)
2460 IF FF$="N" GOTO 2490
2470 IF ABS(M1)>=VW THEN FG(R,1)=1 : ST(R)=R
2480 IF ABS(M2)>=VW THEN FG(R,2)=1 : ST(R)=R
2490 GOSUB 5500
2500 R=1
2510 IF HE=0 THEN PRINT R; TAB(4) "_i W= 0.000E+00 [cm]"; : GOTO 2530
2520 M1=Q(0,1)*HE
2530 GOSUB 5500
2540 IF ST<>1 THEN : PRINT " " : STOP : PRINT " " : GOTO 2670
2550 PRINT " " : PRINT "OBERE STOCKWERKE MIT CONT-TASTE" : STOP : PRINT " "
2560 ST=2
2570 FOR R1=0 TO N-5
2580 R=N+1-R1
2590 M1=H3/2*Q(R-1,1)
2600 M2=-M1
2610 IF F$="N" GOTO 2640
2620 IF ABS(M1)>=VW THEN FG(R,1)=1 : ST(R)=R
2630 IF ABS(M2)>=VW THEN FG(R,1)=1 : ST(R)=R
2640 GOSUB 5500
2650 NEXT R1
2660 PRINT " " : STOP
2670 IF FF$="N" GOTO 2810
2680 FG$="FLIESSGELENK IM RAHMENSTIEL DES"
2690 FOR R=2 TO N+1
2700 IF (FG(R,1)=1) AND (ST(R)=R) THEN PRINT FG$;R-1;". STOCKWERKS (OBEN)"
2710 IF (FG(R,2)=1) AND (ST(R)=R) THEN PRINT FG$;R-1;". STOCKWERKS (UNTEN)"
2720 NEXT R
2730 FG=0
2740 FOR R=2 TO N+1
2750 IF ST(R)=R THEN FG=1
2760 NEXT R
2770 FH$="IN DEN RAHMENSTIELEN NOCH KEIN FLIESSGELENK ERREICHT !"

```

```

2780 IF (FG<>1) THEN PRINT FH#
2790 PRINT " " : PRINT USING "PLASTISCHES GRENZMOMENT Mp1,N [KNcm] =#####.##";VW
2800 PRINT "(fuer Rohrquerschnitt";D;"*";T;"und Streckgrenze =";BS;"[KN/cm^2])"
2810 PRINT " "
2820 INPUT "WOLLEN SIE DIE ERGEBNISSE AUSDRUCKEN (J/N) ";F#
2830 IF F#="J" THEN GOSUB 6000
2840 IF (F#<>"J") AND (F#<>"N") GOTO 2820
2850 PRINT " "
2860 INPUT "WOLLEN SIE DIE OMEGAWERTE AUSDRUCKEN LASSEN (J/N) ";F#
2870 IF F#="J" THEN GOSUB 7500
2880 IF (F#<>"J") AND (F#<>"N") GOTO 2860
2890 END

```

Unterprogramme:

```

3000 REM
3010 REM *****
3020 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken der Vorwerte auf dem Bildschirm **
3030 REM *****
3040 REM
3050 PRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE I.O. = ###.###";OG
3060 PRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE II.O. = ###.###";OH
3070 PRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE I.O. = ###.###";OA
3080 PRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE II.O. = ###.###";OB
3090 PRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE I.O. = ###.###";OC
3100 PRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE II.O. = ###.###";OD
3110 PRINT USING "OMEGA 00,THEORIE I.O. = ###.###";OI
3120 PRINT USING "OMEGA 00,THEORIE II.O. = ###.###";OJ
3130 PRINT USING "OMEGA 10,THEORIE I.O. = ###.###";OE
3140 PRINT USING "OMEGA 10,THEORIE II.O. = ###.###";OF
3150 PRINT USING "NO ,THEORIE I.O. = #####.### ";MO
3160 PRINT USING "MU ,THEORIE I.O. = #####.### ";MU
3170 PRINT USING "MS ,THEORIE I.O. = #####.### ";MS
3180 PRINT USING "MR ,THEORIE I.O. = #####.### ";MR
3190 PRINT USING "MSP ,THEORIE I.O. = #####.### ";MG
3200 PRINT " "
3210 RETURN

3250 REM
3260 REM *****
3270 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken der Abtriebskraefte fuer jeden **
3280 REM ** Iterationsschritt auf dem Bildschirm **
3290 REM *****
3300 REM
3310 IF ZW#="N" GOTO 3380
3320 PRINT " "
3330 PRINT "AUSGABE ABTRIEBSKRAEFTE FUER SCHRITT";S;":"
3340 PRINT " "
3350 FOR R=1 TO N+1
3360 PRINT " H";R; USING "=##.###&&&";H(R,0)
3370 NEXT R
3380 RETURN

```

```

3500 REM
3510 REM *****
3520 REM ** UNTERPROGRAMM:  Aufstellen der Koeffizientenmatrix  **
3530 REM *****
3540 REM
3550 FOR R1=1 TO N+1
3560 X(R1,N+2)=H(R1,0)
3570 NEXT R1
3580 FOR R1=1 TO N-1
3590 FOR R2=R1+2 TO N+1
3600 X(R1,R2)=0
3610 NEXT R2
3620 NEXT R1
3630 FOR R1=1 TO N
3640 X(R1,R1+1)=1
3650 NEXT R1
3660 X(1,1)=-1
3670 IF HE=0 THEN X(1,2)=0 : X(1,N+2)=0
3680 FOR R1=2 TO N+1
3690 X(R1,1)=00*C(R1,1)
3700 NEXT R1
3710 X(2,2)=-1+01*C(2,1)
3720 FOR R1=3 TO N+1
3730 X(R1,2)=01*C(R1,1)
3740 NEXT R1
3750 FOR R=3 TO N+1
3760 X(R,R)=-1+02*C(R,1)
3770 NEXT R
3780 IF N=2 GOTO 3840
3790 FOR R1=4 TO N+1
3800 FOR R2=3 TO R1-1
3810 X(R1,R2)=02*C(R1,1)
3820 NEXT R2
3830 NEXT R1
3840 RETURN

```

```

4000 REM
4010 REM *****
4020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen der Koeffizientenmatrix auf Bildschirm **
4030 REM **                               Test auf numerische Schwierigkeiten           **
4040 REM **                               Loesen der Matrix (Gauss)                       **
4050 REM **                               Printen des Loesungsvektors auf Bildschirm       **
4060 REM *****
4070 REM
4080 PRINT " "
4090 PRINT "KOEFFIZIENTENMATRIX:"
4100 PRINT " "
4110 FOR R1=1 TO N+1
4120 FOR R2=1 TO N+2
4130 IF R2=N+2 THEN PRINT TAB(12*R2-5) USING "##.###5555";X(R1,R2) : GOTO 4160
4140 PRINT TAB(12*R2-7) USING "##.###5555";X(R1,R2);
4150 NEXT R2
4160 NEXT R1
4170 FOR R=1 TO N+1
4180 IF R=N+1 GOTO 4270
4190 G=ABS(X(R,R)) : M=R
4200 FOR R1=R+1 TO N+1
4210 IF ABS (X(R1,R))>G THEN G=ABS(X(R1,R)) : M=R1
4220 NEXT R1
4230 IF M=R GOTO 4270
4240 FOR R2=R TO N+2
4250 Z1=X(R,R2) : X(R,R2)=X(M,R2) : X(M,R2)=Z1
4260 NEXT R2
4270 IF ABS (X(R,R))<.0001 THEN PRINT "FUER R =";R;" IST X(R,R) ZU KLEIN!" : END
4280 FOR R1=1 TO N+1
4290 IF R1=R GOTO 4340
4300 F=X(R1,R)/(X(R,R))
4310 FOR R2=R+1 TO N+2
4320 X(R1,R2)=X(R1,R2)-X(R,R2)*F
4330 NEXT R2
4340 NEXT R1
4350 NEXT R
4360 PRINT " "
4370 PRINT "LOESUNGSVEKTOR:"
4380 PRINT " "
4390 FOR R=1 TO N+1 : Q(R-1,2)=X(R,N+2)/X(R,R) : NEXT R
4400 FOR R=1 TO N+1 : PRINT TAB(12*R-7) USING "##.###5555";Q(R-1,2); : NEXT R
4410 PRINT " ";
4420 RETURN

4500 REM
4510 REM *****
4520 REM ** UNTERPROGRAMM:   Festlegen, ob bei jedem Iterationsschritt Zwi- **
4530 REM **                               schenenergebnisse auf dem Bildschirm ausgedruckt **
4540 REM **                               werden sollen                                     **
4550 REM *****
4560 REM
4570 PRINT " "
4580 INPUT "WOLLEN SIE ZWISCHENERGEBNISSE SEHEN (J/N) ";ZW#
4590 IF (ZW#<>"J") AND (ZW#<>"N") GOTO 4580
4600 RETURN

```

```
5000 REM
5010 REM *****
5020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Ausdrucken der letzten Aenderung und der Summe **
5030 REM **
5040 REM **               der Querkraefte und Verschiebungen auf Bild- **
5050 REM **               schirm                                     **
5060 REM *****
5070 IF ZW#="N" GOTO 5250
5080 PRINT " "
5090 PRINT "QUERKRAEFTE UND VERSCHIEBUNGEN:"
5100 PRINT " "
5110 PRINT TAB(5) "LETZTE AENDERUNG      SUMME"
5120 FOR R1=0 TO N
5130 R=N+1-R1
5140 PRINT R; TAB(6) USING "DW=##.###\#####";W(R,0);
5150 PRINT TAB(23) USING "W=##.###\#####";W(R,1);
5160 PRINT " [cm] "
5170 PRINT TAB(6) USING "DQ=##.###\#####";Q(R-1,0);
5180 PRINT TAB(23) USING "Q=##.###\#####";Q(R-1,1);
5190 PRINT " [KN] "
5200 NEXT R1
5210 PRINT " "
5220 PRINT "SCHLEIFE";S;"MAL DURCHLAUFEN"
5230 PRINT " "
5240 STOP
5250 RETURN
```

```
5500 REM
5510 REM *****
5520 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen der Verschiebung, der Momente und der **
5530 REM **               Querkraft (falls vorhanden auch der Auflager- **
5540 REM **               bzw. Federkraft) fuer einen Geruestrahmen auf **
5550 REM **               dem Bildschirm                                     **
5560 REM *****
5570 REM
5580 IF (HE=0) AND (R=1) GOTO 5780
5590 W(R,2)=W(R,1)
5600 IF K(R,0)=1 THEN W(R,2)=0
5610 PRINT R; TAB(4) USING "___i W=##.###\#####";W(R,2);
5620 PRINT " [cm] ";
5630 IF C(R,0)=0 THEN F(R,1)=0 : PRINT " " : GOTO 5730
5640 IF ABS(W(R,1))<G(R,0) THEN F(R,1)=0 : GOTO 5680
5650 F(R,1)=(-1)*(ABS(W(R,1))-G(R,0))*C(R,0)
5660 IF W(R,1)<0 THEN F(R,1)=ABS(F(R,1))
5670 IF K(R,0)=1 GOTO 5710
5680 PRINT TAB(30) USING "F=##.###\#####";F(R,1);
5690 PRINT TAB(44) "[KN]"
5700 GOTO 5730
5710 PRINT TAB(30) USING "A=##.###\#####";F(R,1);
5720 PRINT TAB(44) "[KN]"
5730 PRINT TAB(5) USING "i M=##.###\#####";M1;
5740 PRINT TAB(20) "[KNcm]"
5750 PRINT TAB(5) USING "i Q=##.###\#####";Q(R-1,1);
5760 PRINT TAB(20) "[KN]";
5770 IF R<>1 GOTO 5850
5780 SH=0
5790 FOR R=1 TO N+1
5800 SH=SH-H(R,1)-F(R,1)
5810 NEXT R
5820 PRINT TAB(30) USING "A=##.###\#####";SH;
5830 PRINT TAB(44) "[KN]"
5840 GOTO 5880
5850 PRINT " "
5860 PRINT TAB(5) USING "i M=##.###\#####";M2;
5870 PRINT TAB(20) "[KNcm]"
5880 RETURN
```

```

6000 REM
6010 REM *****
6020 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken des Tabellenkopfes der Ergebnisaus- **
6030 REM ** gabe, Berechnung der Momente, Ausdrucken von **
6040 REM ** Angaben zu der Zahl der Iterationsschritte, zu **
6050 REM ** Spindel- und Federwerten auf dem Drucker **
6060 REM *****
6070 REM
6080 PRINT " "
6090 PRINT "STELLEN SIE BITTE DEN DRUCKER EIN!"
6100 PRINT " "
6110 PRINT "GEBEN SIE BITTE DEN GEWUNSCHTEN TABELLENKOPF EIN ";
6120 INPUT "(maximal V = 60 Zeichen) : ";F1$
6130 LPRINT "*****"
6140 LPRINT "***** ENDERGEBNISSE *****"
6150 LPRINT "*****"
6160 IF D$="N" GOTO 6180
6170 LPRINT "** VERWENDETER EINGABEDATENSATZ VON DATEI ";DN$; TAB(65) "**"
6180 LPRINT "** ";F1$; TAB(65) "**"
6190 LPRINT "** AUSSTEIFUNGSFAKTOR ="; USING "##.##";DL;
6200 LPRINT TAB(65) "**"
6210 LPRINT "*****"
6220 LPRINT " "
6230 LPRINT USING " P =###.##";P;
6240 LPRINT " [KN] "
6250 LPRINT " "
6260 IF N=1 GOTO 6330
6270 FOR R1=0 TO N-2
6280 R=N+1-R1
6290 M1=H3/2*Q(R-1,1)
6300 M2=-M1
6310 GOSUB 7000
6320 NEXT R1
6330 R=2
6340 M1=M0*Q(1,1)+M5*Q(0,1)
6350 M2=MU*Q(1,1)+M5*Q(0,1)
6360 GOSUB 7000
6370 R=1
6380 IF HE=0 THEN LPRINT R; TAB(4) "_I W= 0.000E+0 [cm]"; : GOTO 6400
6390 M1=Q(0,1)*HE
6400 GOSUB 7000
6410 LPRINT " "
6420 LPRINT S-1;" ITERATIONSSCHRITTE UND ";FS;" FEDERITERATIONSSCHRITTE"
6430 IF HE=0 GOTO 6490
6440 LPRINT " "
6450 LPRINT USING "SPINDELAUSMITTE = ##.###";EX;
6460 LPRINT TAB(26) "[cm]"
6470 LPRINT "SPINDELHOEHE =";HE;
6480 LPRINT TAB(26) "[cm]"
6490 FOR R=2 TO N+1
6500 IF (C(R,0)=0) OR (K(R,0)=1) GOTO 6570
6510 LPRINT " "
6520 LPRINT "FEDER AN KNOTEN NR.";R;" : "
6530 LPRINT "FEDERSTEIFIGKEIT =";C(R,0);
6540 LPRINT TAB(26) "[KN/cm]"
6550 LPRINT "FEDERLOSE =";G(R,0);
6560 LPRINT TAB(26) "[cm]"
6570 NEXT R : LPRINT " "
6580 IF FF$="N" GOTO 6710
6590 FOR R=2 TO N+1
6600 IF (FG(R,1)=1) AND (ST(R)=R) THEN LPRINT FG$;R-1;" . STOCKWERKS (OBEN)"
6610 IF (FG(R,2)=1) AND (ST(R)=R) THEN LPRINT FG$;R-1;" . STOCKWERKS (UNTEN)"
6620 NEXT R : LPRINT " "
6630 FG=0
6640 FOR R=2 TO N+1
6650 IF ST(R)=R THEN FG=1
6660 NEXT R

```

```

6670 FH#="IN DEN RAHMENSTIELEN NOCH KEIN FLIESSGELENK ERREICHT !"
6680 IF (FF#="J") AND (FG<>1) THEN LPRINT FH# : LPRINT " "
6690 LPRINT USING "PLASTISCHES GRENZMOMENT Mp1,N [KNcm] =#####.##";VW
6700 LPRINT "(fuer Rohrquerschnitt";D;"*";T;"und Streckgrenze =";BS;"[KN/cm^2])"
6710 RETURN

```

```

7000 REM
7010 REM *****
7020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen der Verschiebung, der Momente und der **
7030 REM **                 Querkraft (falls vorhanden auch der Auflager- **
7040 REM **                 bzw. Federkraft) fuer einen Geruestrahmen auf **
7050 REM **                 dem Drucker **
7060 REM *****
7070 REM
7080 IF (HE=0) AND (R=1) GOTO 7310
7090 W(R,2)=W(R,1)
7100 IF K(R,0)=1 THEN W(R,2)=0
7110 LPRINT R; TAB(4) USING "___I W=##.#####";W(R,2);
7120 LPRINT " [cm] ";
7130 IF C(R,0)=0 THEN F(R,1)=0 : GOTO 7230
7140 IF ABS(W(R,1))<G(R,0) THEN F1=0 : GOTO 7180
7150 F(R,1)=(-1)*(ABS(W(R,1))-G(R,0))*C(R,0)
7160 IF W(R,1)<0 THEN F(R,1)=ABS(F(R,1))
7170 IF K(R,0)=1 GOTO 7210
7180 LPRINT TAB(27) USING "F=##.#####";F(R,1);
7190 LPRINT TAB(41) "[KN]";
7200 GOTO 7230
7210 LPRINT TAB(27) USING "A=##.#####";F(R,1);
7220 LPRINT TAB(41) "[KN]";
7230 LPRINT TAB(48) USING "H=##.#####";H(R,1);
7240 LPRINT " [KN] "
7250 IF (HE=0) AND (R=1) GOTO 7420
7260 LPRINT TAB(5) USING "I M=##.#####";M1;
7270 LPRINT " [KNcm] "
7280 LPRINT TAB(5) USING "I Q=##.#####";Q(R-1,1);
7290 LPRINT TAB(20) "[KN]";
7300 IF R<>1 GOTO 7400
7310 SH=0
7320 FOR R1=1 TO N+1
7330 SH=SH-H(R1,1)-F(R1,1)
7340 NEXT R1
7350 LPRINT TAB(27) USING "A=##.#####";SH;
7360 LPRINT TAB(41) "[KN]";
7370 IF HE=0 GOTO 7230
7380 LPRINT " "
7390 GOTO 7420
7400 LPRINT TAB(5) USING "I M=##.#####";M2;
7410 LPRINT " [KNcm] "
7420 RETURN

```

```

7500 REM
7510 REM *****
7520 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken der Vorwerte auf dem Drucker **
7530 REM *****
7540 REM
7550 LPRINT " "
7560 LPRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE I.O. = ###.###";OG
7570 LPRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE II.O. = ###.###";OH
7580 LPRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE I.O. = ###.###";OA
7590 LPRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE II.O. = ###.###";OB
7600 LPRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE I.O. = ###.###";OC
7610 LPRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE II.O. = ###.###";OD
7620 LPRINT USING "OMEGA 00,THEORIE I.O. = ###.###";OI
7630 LPRINT USING "OMEGA 00,THEORIE II.O. = ###.###";OJ
7640 LPRINT USING "OMEGA 10,THEORIE I.O. = ###.###";OE
7650 LPRINT USING "OMEGA 10,THEORIE II.O. = ###.###";OF
7660 LPRINT USING "MO ,THEORIE I.O. = ###.### ";MO
7670 LPRINT USING "MU ,THEORIE I.O. = ###.### ";MU
7680 LPRINT USING "MS ,THEORIE I.O. = ###.### ";MS
7690 LPRINT USING "MR ,THEORIE I.O. = ###.### ";MR
7700 LPRINT USING "MSP ,THEORIE I.O. = ###.### ";MG
7710 RETURN

8000 REM
8010 REM *****
8020 REM ** UNTERPROGRAMM: Einlesen der Konstanten fuer den Ablauf der **
8030 REM ** Eingabe per Hand **
8040 REM *****
8050 REM
8060 DIM W$(22),E$(22),U$(15)
8070 FOR R=0 TO 22 : READ W$(R),E$(R) : NEXT R
8080 FOR R=0 TO 6 : READ U$(R) : NEXT R
8090 E1=0 : E2=8 : U1=0 : U2=2
8100 GOSUB 8500
8110 E1=9 : E2=14 : U1=0 : U2=3
8120 PRINT " "
8130 INPUT "WOLLEN SIE SPINDELWERTE EINGEBEN (J/N)";F$
8140 IF F$="N" GOTO 8180
8150 IF F$<>"J" GOTO 8130
8160 GOSUB 8500
8170 IF A(16)<>0 GOTO 8220
8180 E1=15 : E2=17 : U1=0 : U2=4
8190 GOSUB 9500
8200 GOSUB 8500
8210 IF A(15)>8 GOTO 8180
8220 T$="SIE HABEN KEINE SPINDELWERTE EINGEGEBEN !"
8230 IF (A(16)>0) AND (A(14)=0) THEN PRINT T$ : STOP : E1=9 : E2=14 : U1=0 :
U2=3 : GOTO 8160
8240 N=A(15) : HE=A(16) : P=A(17)
8250 E1=18 : E2=22 : U1=0 : U2=5
8260 FOR R1=1 TO N+1
8270 GOSUB 8500
8280 K(R1,1)=A(18) : K(R1,0)=A(19) : C(R1,0)=A(20) : G(R1,0)=A(21) :
H(R1,1)=A(22)
8290 NEXT R1
8300 PRINT " "
8310 DATA STIELFLAECHE,cm^2,STIELSTEIFIGKEIT,cm^4,E-MODUL-STIEL,KN/cm^2,
STOCKWERKSHOEHE,cm,AUSSTEIFUNGSLAENGE,cm
8320 DATA RIEGELFLAECHE,cm^2,RIEGELSTEIFIGKEIT,cm^4,E-MODUL-RIEGEL,KN/cm^2,
RAHMENBREITE,cm
8330 DATA SPINDELFLAECHE,cm^2,SPINDELSTEIFIGKEIT,cm^4,E-MODUL-SPINDEL,KN/cm^2
8340 DATA INNENDURCHMESSER STAENDER,mm,AUSSENDURCHMESSER SPINDEL,mm,
UEBERDECKUNGSLAENGE,cm
8350 DATA ANZAHL DER RAHMEN,2-8,SPINDELHOEHE,cm,VERTIKALE LAST,KN
8360 DATA AUSMITTIGKEIT,mm,FESTHALTUNG,1=JA,FEDERSTEIFIGKEIT,KN/cm,FEDERLOSE,cm,
HORIZONTALE LAST,KN
8370 DATA "EINGABE VON ",WERTEN,RAHMEN,SPINDEL,SYSTEM,KNOTEN,"AENDERUNG VON "
8380 RETURN

```

```

8500 REM
8510 REM *****
8520 REM ** UNTERPROGRAMM:   Eingabe per Hand mit Printen der bereits einge-**
8530 REM **                       gebenen Daten auf dem Bildschirm           **
8540 REM *****
8550 REM
8560 GOSUB 9000
8570 FOR R=E1 TO E2
8580 IF (U2=5) AND (R1=1) THEN R=22
8590 PRINT R; TAB(5) W$(R); TAB(31) "[";E$(R);"]"; TAB(42)
8600 INPUT A(R)
8610 NEXT R
8620 GOSUB 9000
8630 FOR R=E1 TO E2
8640 IF R1=1 THEN R=22
8650 PRINT R; TAB(5) W$(R);
8660 PRINT TAB(30) USING "###.###";A(R);
8670 PRINT TAB(41) "[";E$(R);"]" : NEXT R
8680 PRINT " "
8690 INPUT "NR. DES ZU AENDERNDEN WERTES [999=KEINE AENDERUNG] :";AE
8700 IF AE=999 GOTO 8760
8710 IF (AE<E1) OR (AE>E2) GOTO 8620
8720 U1=6 : GOSUB 9000
8730 PRINT AE; TAB(5) W$(AE); TAB(31) "[";E$(AE);"]"; TAB(42)
8740 INPUT A(AE)
8750 GOTO 8620
8760 RETURN

```

```

9000 REM
9010 REM *****
9020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen des Kopfes fuer die Eingabe per Hand **
9030 REM **                       auf dem Bildschirm           **
9040 REM *****
9050 REM
9060 PRINT " "
9070 PRINT "======"
9080 PRINT TAB(22) U$(U1);U$(U2);U$(1)
9090 IF U2=5 THEN PRINT TAB(27) "KNOTEN NR.:";R1
9100 PRINT "======"
9110 PRINT "NR"
9120 RETURN

```

```

9500 REM
9510 REM *****
9520 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken von Hinweisen zur Eingabe auf dem **
9530 REM **      Bildschirm      **
9540 REM *****
9550 REM
9560 PRINT "***** HINWEISE ZUR EINGABE: *****"
9570 PRINT "
9580 PRINT "          iP  iP
9590 PRINT "          V   V
9600 PRINT "      ii>\---\ KNOTEN 5    <--- H5 (Halbe Horizontallast !!!) "
9610 PRINT "          /   /
9620 PRINT "          /---/ KNOTEN 4    <--- H4 (Halbe Horizontallast !!!) "
9630 PRINT "          /---/
9640 PRINT "          /---/ KNOTEN 3    <--- H3 (Halbe Horizontallast !!!) "
9650 PRINT "          /---/
9660 PRINT "      ii-\/\\/\---\ KNOTEN 3    <--- H3 (Halbe Horizontallast !!!) "
9670 PRINT "          /---/
9680 PRINT "          /---/ KNOTEN 2    <--- H2 (Halbe Horizontallast !!!) "
9690 PRINT "          /---/
9700 PRINT "          /---/ KNOTEN 1    <--- H1 (Halbe Horizontallast !!!) "
9710 PRINT "          /---/
9720 PRINT "          /---/ KNOTEN 1    <--- H1 (Halbe Horizontallast !!!) "
9730 PRINT "          i   i
9740 PRINT "          /   / (Spindel)
9750 PRINT "          _i_ _i_
9760 PRINT "
9770 PRINT "      + <----i (Kraefte, Wege)
9780 STOP : RETURN

```

Anlage 2

Beispiel für einen Eingabedatensatz zum Programm GERNAE

Beispiel fuer einen vorher angelegten Eingabedatensatz:

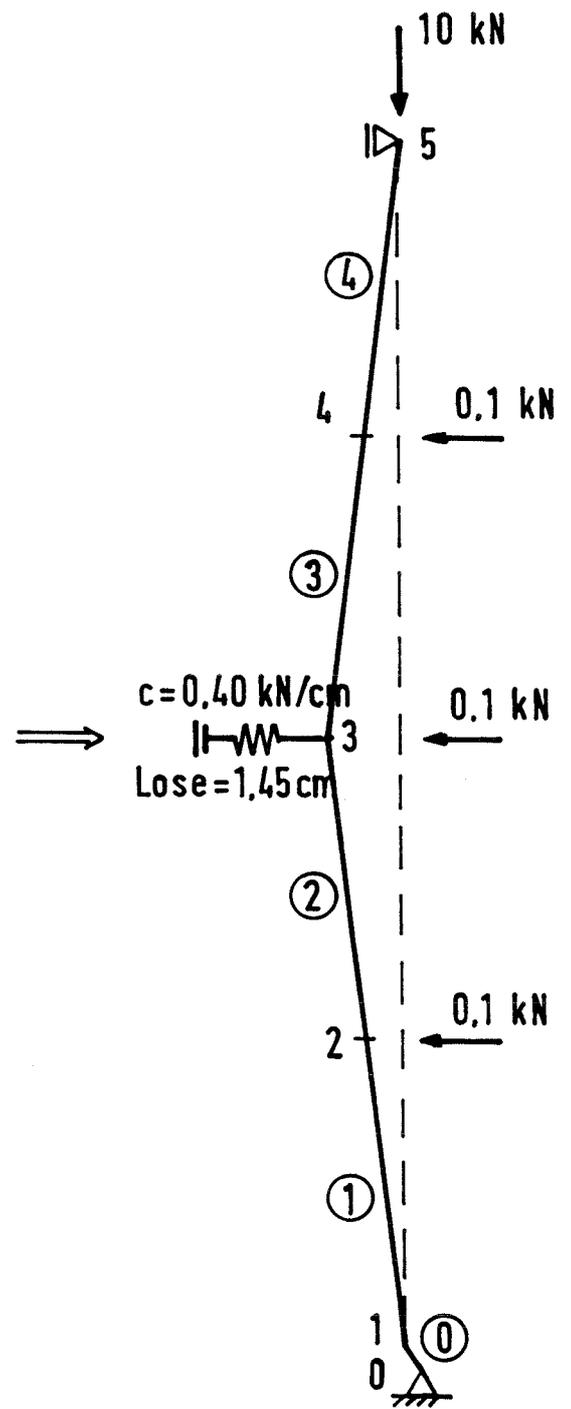
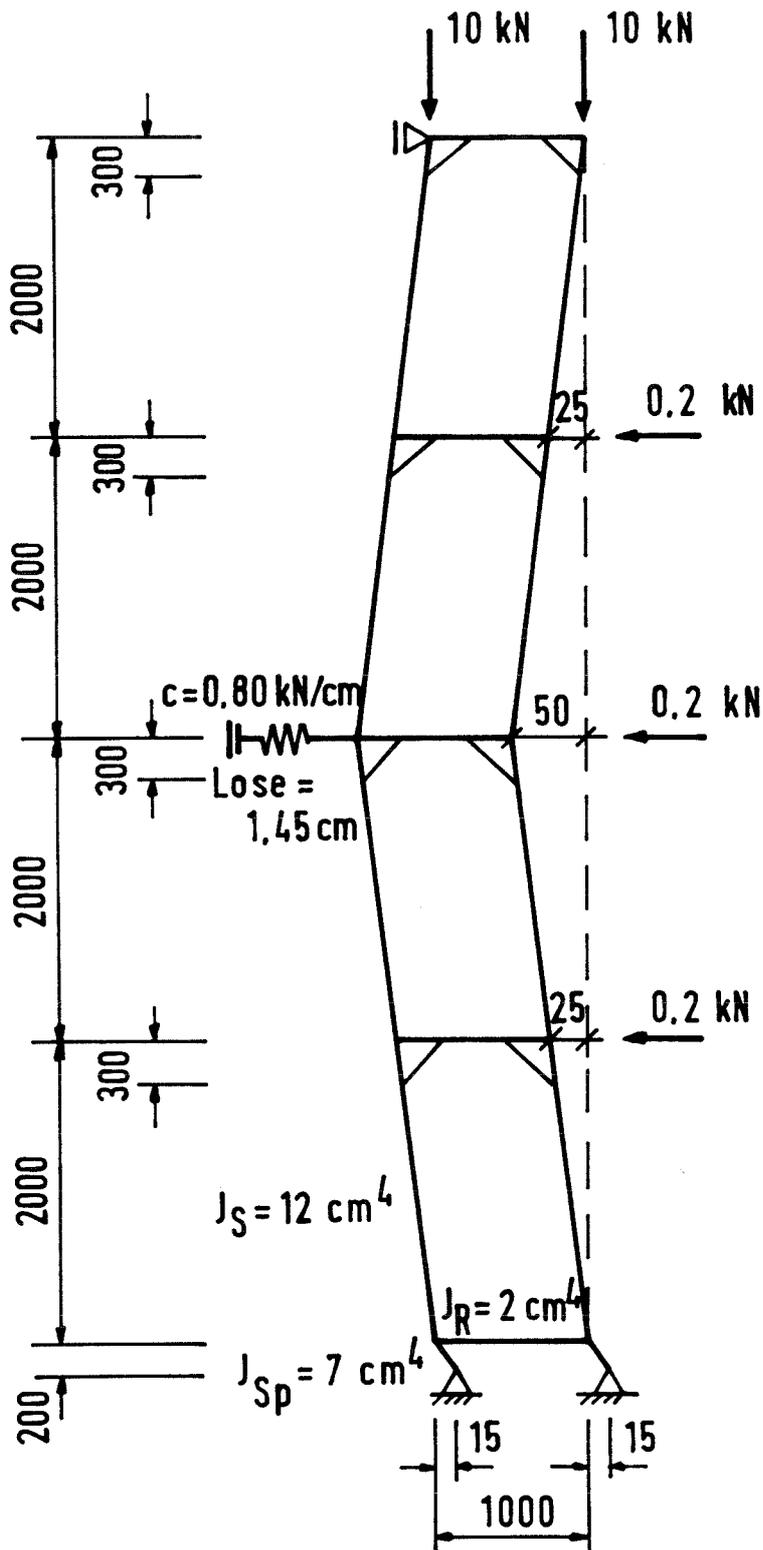
```

260 REM *****
270 REM **          EINGABEDATENSATZ fuer BERA Europageruest          **
280 REM *****
290 REM
300 A(0)=4.6           : REM ** STIELFLAECHE [cm^2]                **
310 A(1)=11.73        : REM ** STIELSTEIFIGKEIT [cm^4]                **
320 A(2)=21000        : REM ** E-MODUL-STIEL [KN/cm^2]                **
330 A(3)=200          : REM ** STOCKWERKSHOEHE [cm]                  **
340 A(4)=30.8         : REM ** AUSSTEIFUNGSHOEHE [cm]                  **
350 A(5)=2.26         : REM ** RIEGELFLAECHE [cm^2]                **
360 A(6)=1.72         : REM ** RIEGELSTEIFIGKEIT [cm^4]                **
370 A(7)=21000        : REM ** E-MODUL-RIEGEL [KN/cm^2]                **
380 A(8)=100          : REM ** RAHMENBREITE [cm]                  **
390 A(9)=5.18         : REM ** SPINDELFLAECHE [cm^2]                **
400 A(10)=7.22        : REM ** SPINDELSTEIFIGKEIT [cm^4]                **
410 A(11)=21000       : REM ** E-MODUL-SPINDEL [KN/cm^2]                **
420 A(12)=41.8        : REM ** INNENDURCHMESSER STAENDER [mm]          **
430 A(13)=38          : REM ** AUSSENDURCHMESSER SPINDEL [mm]          **
440 A(14)=21          : REM ** UEBERDECKUNGSLAENGE [cm]                **
450 N=4               : REM ** ANZAHL DER RAHMEN                      **
460 HE=19.5           : REM ** SPINDELHOEHE [cm]                  **
470 F=10              : REM ** VERTIKALLAST [KN]                    **
480 K(4,1)=25.33 : K(3,1)=50.66 : K(2,1)=25.33
490                   : REM ** VORVERFORMUNG [mm]                    **
500 K(5,0)=1          : REM ** KNOTENFESTHALTUNG [0=NEIN/1=JA]          **
510 C(3,0)=.69        : REM ** FEDERSTEIFIGKEIT [KN/cm]                **
520 G(3,0)=2.32       : REM ** FEDERLOSE [cm]                          **
530 H(5,1)=.1105 : H(4,1)=.1105 : H(3,1)=.1105 : H(2,1)=.1105
540                   : REM ** HORIZONTALLASTEN [KN]                    **

```

Anlage 3

Beispielberechnung und Erläuterungen zur Benutzung des Programms
GERNAE



i : Knotennummer
 ① : Rahmenstielnummer

Abtriebskräfte:

$$\begin{aligned}
 H_1^1 &= 0 + \left(-\frac{1,5}{20,0} - \frac{2,5}{200,0}\right) \cdot 10 = +0,625 \text{ kN} \\
 H_2^1 &= 0,1 + \left(\frac{2,5}{200,0} - \frac{2,5}{200,0}\right) \cdot 10 = +0,100 \text{ kN} \\
 H_3^1 &= 0,1 + \left(\frac{2,5}{200,0} + \frac{2,5}{200,0}\right) \cdot 10 = +0,350 \text{ kN} \\
 H_4^1 &= 0,1 + \left(-\frac{2,5}{200,0} + \frac{2,5}{200,0}\right) \cdot 10 = +0,100 \text{ kN} \\
 H_5^1 &= 0 + \left(-\frac{2,5}{200,0}\right) \cdot 10 = -0,125 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Koeffizientenmatrix:

$$\begin{bmatrix}
 -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\
 -30437 & -248659 & -104690 & -104690 & -104690 & -104691
 \end{bmatrix}$$

$\left(\begin{array}{l} \text{Feder in Knoten 3 noch nicht angesprungen} \Rightarrow c_3^1 = 0 \text{ kN/cm} \\ \text{Festhaltung in Knoten 5} \Rightarrow c_5 = 50000 \text{ kN/cm (gewählt)} \end{array} \right)$

\Rightarrow Querkräfte:

$$\begin{aligned}
 Q_0^1 &= -0,7871 \text{ kN} \\
 Q_1^1 &= -0,1621 \text{ kN} \\
 Q_2^1 &= -0,0621 \text{ kN} \\
 Q_3^1 &= +0,2879 \text{ kN} \\
 Q_4^1 &= +0,3879 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

\Rightarrow Verschiebungen:

$$\begin{aligned}
 w_1^1 &= (-0,1218) \cdot (-0,7871) + (-0,4870) \cdot (-0,1621) = 0,1748 \text{ cm} \\
 w_2^1 &= (-0,6087) \cdot (-0,7871) + (-4,9732) \cdot (-0,1621) = 1,2851 \text{ cm} \\
 w_3^1 &= 1,2851 + (-2,0938) \cdot (-0,0621) = 1,4151 \text{ cm} < \text{Lose } 1,45 \text{ cm} \\
 w_4^1 &= 1,4151 + (-2,0938) \cdot 0,2879 = 0,8123 \text{ cm} \\
 w_5^1 &= 0,8123 + (-2,0938) \cdot 0,3879 = 0,0000 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EJ_S &= 21000 \cdot 12 \text{ kNcm}^2 \\
 EJ_R &= 21000 \cdot 2 \text{ kNcm}^2 \\
 EJ_{Sp} &= 21000 \cdot 7 \text{ kNcm}^2
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 h &= 200 \text{ cm} \\
 \Delta h &= 30 \text{ cm}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta h}{h} = 0,15 \Rightarrow f_{\Delta h}^2 = 1,0$$

$$\frac{J_{R,O} + J_{R,U}}{J_S} = \frac{16+2}{12} = 1,5 \Rightarrow f_{\Delta h}^1 = 0,4 \text{ (max. Spindelhöhe)}$$

$$\Rightarrow f_{\Delta h} = 0,4$$

nach Bild 12: $h' = 200 - \frac{1}{2} \cdot 30 = 185 \text{ cm}$

$$M_{O,U} = \pm \frac{200 - 30}{2} \cdot Q = \pm 85 \cdot Q \text{ kNcm}$$

$$\Delta w_2^I = - \frac{0 \cdot 185^3}{12 \cdot 21000} = -2,0938 \cdot Q \text{ cm}$$

$$\Delta w_2^{II} = - \frac{5 \cdot 0 \cdot 185^3}{48 \cdot 21000 \cdot 12} = -2,6172 \cdot Q \text{ cm}$$

nach Bild 13: $h' = 200 - 0,4 \cdot 30 = 188 \text{ cm}$

$$M_O = \frac{3 \cdot 188^2 + 188 \cdot 100 \cdot 6}{6 \cdot 188 + 100 \cdot 6} \cdot Q_1 = 126,639 \cdot Q_1 \text{ kNcm}$$

$$M_U = (126,639 - 188) \cdot Q_1 = -61,361 \cdot Q_1 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sp} = 20 \cdot Q_O \text{ kNcm}$$

$$M_S = \frac{20 \cdot 100}{6 \cdot 188 \cdot \frac{1}{6} + 100} \cdot Q_O = 6,944 \cdot Q_O \text{ kNcm}$$

$$M_R = (6,944 - 20) \cdot Q_O = -13,056 \cdot Q_O \text{ kNcm}$$

$$\Delta w_O^I = \frac{6,944 \cdot 188^2}{2 \cdot 21000 \cdot 12} + \frac{-13,056 \cdot (188+20) \cdot 100}{6 \cdot 21000 \cdot 2} - \frac{20 \cdot 20^2}{3 \cdot 21000 \cdot 7} \cdot Q_O = -0,6087 \cdot Q_O \text{ cm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta w_O^{II} = 1,25 \cdot \Delta w_O^I = -0,7609 \cdot Q_O \text{ cm}$$

$$\Delta w_1^I = \left(\frac{12 \cdot (-61,361) + 126,639}{6 \cdot 21000 \cdot 12} \cdot 188^2 + \frac{-61,361 \cdot (188+20) \cdot 100}{6 \cdot 21000 \cdot 2} \right) \cdot Q_1 = -4,9732 \cdot Q_1 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta w_1^{II} = 1,25 \cdot \Delta w_1^I = -6,2165 \cdot Q_1 \text{ cm}$$

$$\Delta w_{OO}^I = \left(\frac{-13,056 \cdot 20 \cdot 100}{6 \cdot 21000 \cdot 2} - \frac{20 \cdot 20^2}{3 \cdot 21000 \cdot 7} \right) \cdot Q_O = -0,1218 \cdot Q_O \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \Delta w_{OO}^{II} = 1,25 \cdot \Delta w_{OO}^I = -0,1522 \cdot Q_O \text{ cm}$$

$$\Delta w_{1O}^I = \frac{-61,361 \cdot 20 \cdot 100}{6 \cdot 21000 \cdot 2} \cdot Q_1 = -0,4870 \cdot Q_1 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow w_{1O}^{II} = w_{1O}^I = -0,4870 \cdot Q_1 \text{ cm}$$

$$(\omega_i^{I,II}) = \frac{\Delta w_i^{I,II}}{Q}, \text{ vgl. Punkt 3) }$$

Abtriebskräfte:

$$H_1^2 = \left(\frac{0,1748 \cdot 0}{20,0} - \frac{1,2851 \cdot 0,1748}{170,0} \right) \cdot 10 = +0,02206 \text{ kN}$$

$$H_2^2 = \left(\frac{1,2851 \cdot 0,1748}{170,0} - \frac{1,4151 \cdot 1,2851}{170,0} \right) \cdot 10 = +0,05767 \text{ kN}$$

$$H_3^2 = \left(\frac{1,4151 \cdot 1,2851}{170,0} - \frac{0,8122 \cdot 1,4151}{170,0} \right) \cdot 10 = +0,04311 \text{ kN}$$

$$H_4^2 = \left(\frac{0,8122 \cdot 1,4151}{170,0} - \frac{0 \cdot 0,8122}{170,0} \right) \cdot 10 = +0,01232 \text{ kN}$$

$$H_5^2 = \frac{0 \cdot 0,8122}{170,0} \cdot 10 = -0,04778 \text{ kN}$$

Koeffizientenmatrix:

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -0,2511 & -2,052 & -1,864 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ -38047 & -310823 & -130862 & -130862 & -130862 & -130863 \end{bmatrix}$$

(Feder in Knoten 3 angesprungen $\Rightarrow c_3^2 = 0,33 \text{ kN/cm}$ (iterativ)
 Festhaltung in Knoten 5 $\Rightarrow c_5 = 50000 \text{ kN/cm}$ (gewählt)

⇒ Querkräfte:

$$Q_0^2 = -0,05154 \text{ kN}$$

$$Q_1^2 = -0,02948 \text{ kN}$$

$$Q_2^2 = +0,02820 \text{ kN}$$

$$Q_3^2 = +0,02224 \text{ kN}$$

$$Q_4^2 = +0,03456 \text{ kN}$$

⇒ Verschiebungen:

$$w_1^2 = (-0,1522) \cdot (-0,05154) + (-0,4870) \cdot (-0,02948) = 0,0222 \text{ cm}$$

$$w_2^2 = (-0,7609) \cdot (-0,05154) + (-6,2165) \cdot (-0,02948) = 0,2225 \text{ cm}$$

$$w_3^2 = 0,2225 + (-2,6172) \cdot 0,02820 = 0,1487 \text{ cm}$$

$$w_4^2 = 0,1487 + (-2,6172) \cdot 0,02224 = 0,0905 \text{ cm}$$

$$w_5^2 = 0,0905 + (-2,6172) \cdot 0,03456 = 0,0000 \text{ cm}$$

Abtriebskräfte:

$$H_1^3 = \left(\frac{0,0222 \cdot 0}{20,0} - \frac{0,2225 \cdot 0,0222}{170,0} \right) \cdot 10 = -6,804 \cdot 10^{-4} \text{ kN}$$

$$H_2^3 = \left(\frac{0,2225 \cdot 0,0222}{170,0} - \frac{0,1487 \cdot 0,2225}{170,0} \right) \cdot 10 = +1,612 \cdot 10^{-2} \text{ kN}$$

$$H_3^3 = \left(\frac{0,1487 \cdot 0,2225}{170,0} - \frac{0,0905 \cdot 0,1487}{170,0} \right) \cdot 10 = -9,168 \cdot 10^{-4} \text{ kN}$$

$$H_4^3 = \left(\frac{0,0905 \cdot 0,1487}{170,0} - \frac{0 \cdot 0,0905}{170,0} \right) \cdot 10 = +1,896 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

$$H_5^3 = \frac{0 - 0,0905}{170,0} \cdot 10 = -5,320 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

Koeffizienten:

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ -0,3044 & -2,487 & -2,047 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ -38047 & -310823 & -130862 & -130862 & -130863 \end{bmatrix}$$

Feder in Knoten 3 in Schritt 2 angesprungen $\Rightarrow c_3 = 0,4 \text{ kN/cm}$
 Festhaltung in Knoten 5 $\Rightarrow c_5 = 50000 \text{ kN/cm}$ (gewählt)

⇒ Querkräfte:

$$Q_0^3 = -5,525 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

$$Q_1^3 = -6,205 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

$$Q_2^3 = +9,915 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

$$Q_3^3 = +2,267 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

$$Q_4^3 = +4,163 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

⇒ Verschiebungen:

$$w_1^3 = (-0,1522) \cdot (-5,525 \cdot 10^{-3}) + (-0,4870) \cdot (-6,205 \cdot 10^{-3}) = 0,0039 \text{ cm}$$

$$w_2^3 = (-0,7609) \cdot (-5,525 \cdot 10^{-3}) + (-6,2165) \cdot (-6,205 \cdot 10^{-3}) = 0,0428 \text{ cm}$$

$$w_3^3 = 0,0428 + (-2,6172) \cdot 9,915 \cdot 10^{-3} = 0,0168 \text{ cm}$$

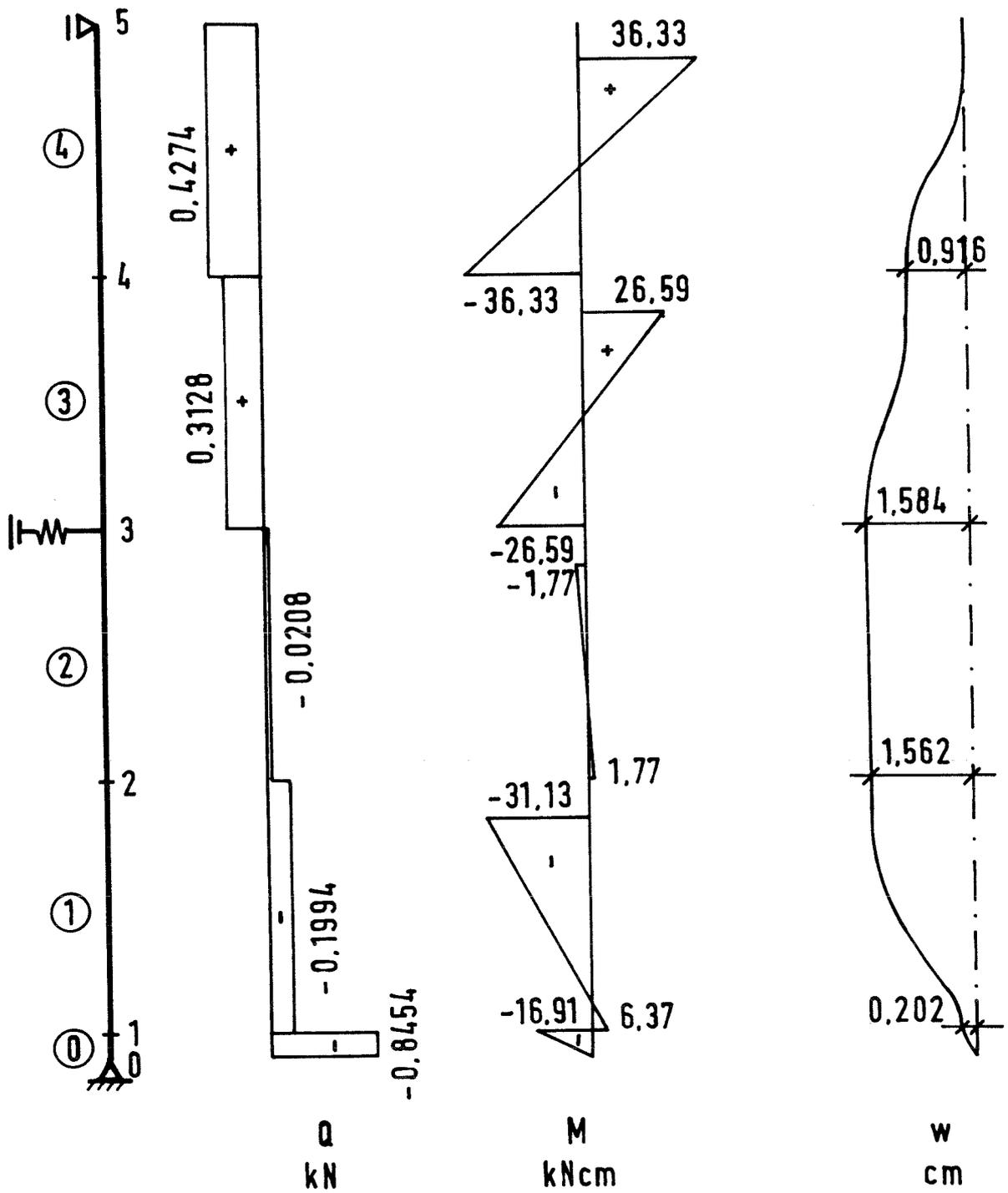
$$w_4^3 = 0,0168 + (-2,6172) \cdot 2,267 \cdot 10^{-3} = 0,0109 \text{ cm}$$

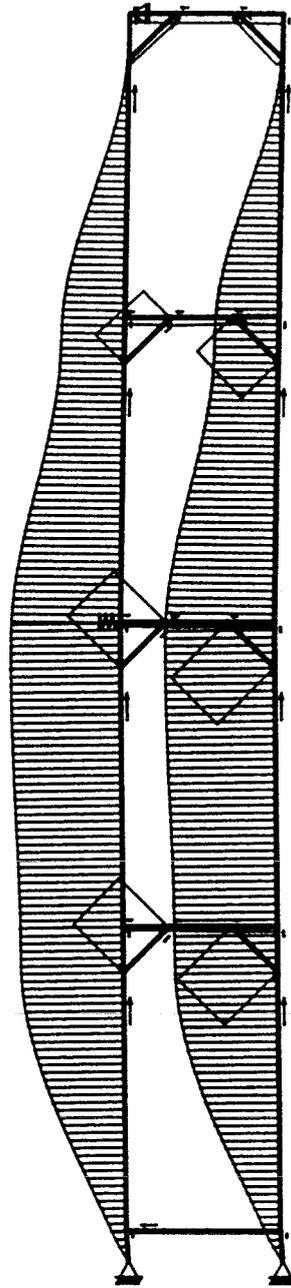
$$w_5^3 = 0,0109 + (-2,6172) \cdot 4,163 \cdot 10^{-3} = 0,0000 \text{ cm}$$

(Ab Schritt 4 verlaufen alle Iterationsschritte analog Schritt 3 mit identischer Koeffizientenmatrix !)

Zusammenstellung:

Schritt n	1	2	3	4	5	6	Σ
H_1^n	+0,625	+2,206 · 10 ⁻²	-0,068 · 10 ⁻²	-0,358 · 10 ⁻³	-0,850 · 10 ⁻⁴	-0,188 · 10 ⁻⁴	-
H_2^n	+0,100	+5,767 · 10 ⁻²	+1,612 · 10 ⁻²	+3,816 · 10 ⁻³	+8,649 · 10 ⁻⁴	+1,935 · 10 ⁻⁴	-
H_3^n [kN]	+0,350	+4,311 · 10 ⁻²	-0,092 · 10 ⁻²	-1,177 · 10 ⁻³	-3,332 · 10 ⁻⁴	-0,789 · 10 ⁻⁴	-
H_4^n	+0,100	+1,232 · 10 ⁻²	+0,190 · 10 ⁻²	+0,292 · 10 ⁻³	+0,449 · 10 ⁻⁴	+0,069 · 10 ⁻⁴	-
H_5^n	-0,125	-4,778 · 10 ⁻²	-0,532 · 10 ⁻²	-0,641 · 10 ⁻³	-0,950 · 10 ⁻⁴	-0,166 · 10 ⁻⁴	-
Q_0^n	-0,7871	-5,154 · 10 ⁻²	-5,525 · 10 ⁻³	-0,969 · 10 ⁻³	-2,044 · 10 ⁻⁴	-0,450 · 10 ⁻⁴	-0,8454
Q_1^n	-0,1621	-2,948 · 10 ⁻²	-6,205 · 10 ⁻³	-1,326 · 10 ⁻³	-2,894 · 10 ⁻⁴	-0,638 · 10 ⁻⁴	-0,1994
Q_2^n [kN]	-0,0621	+2,820 · 10 ⁻²	+9,915 · 10 ⁻³	+2,489 · 10 ⁻³	+5,756 · 10 ⁻⁴	+1,296 · 10 ⁻⁴	-0,0208
Q_3^n	+0,2879	+2,224 · 10 ⁻²	+2,267 · 10 ⁻³	+0,325 · 10 ⁻³	+0,631 · 10 ⁻⁴	+0,141 · 10 ⁻⁴	+0,3128
Q_4^n	+0,3879	+3,456 · 10 ⁻²	+4,163 · 10 ⁻³	+0,617 · 10 ⁻³	+1,081 · 10 ⁻⁴	+0,210 · 10 ⁻⁴	+0,4274
w_1^n	0,1748	0,0222	0,0039	0,0008	0,0002	0,0000	0,202
w_2^n	1,2851	0,2225	0,0428	0,0090	0,0020	0,0004	1,562
w_3^n [cm]	1,4151	0,1487	0,0168	0,0025	0,0004	0,0001	1,584
w_4^n	0,8123	0,0905	0,0109	0,0016	0,0003	0,0001	0,916
w_5^n	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000





SET-VERGLEICHSBERECHNUNG ZU ANLAGE 3

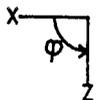
$P_1=P_2=10 \text{ (KN)}$ / $H_2=H_3=H_4=0.2 \text{ (KN)}$

MASSTAB 1 : 45

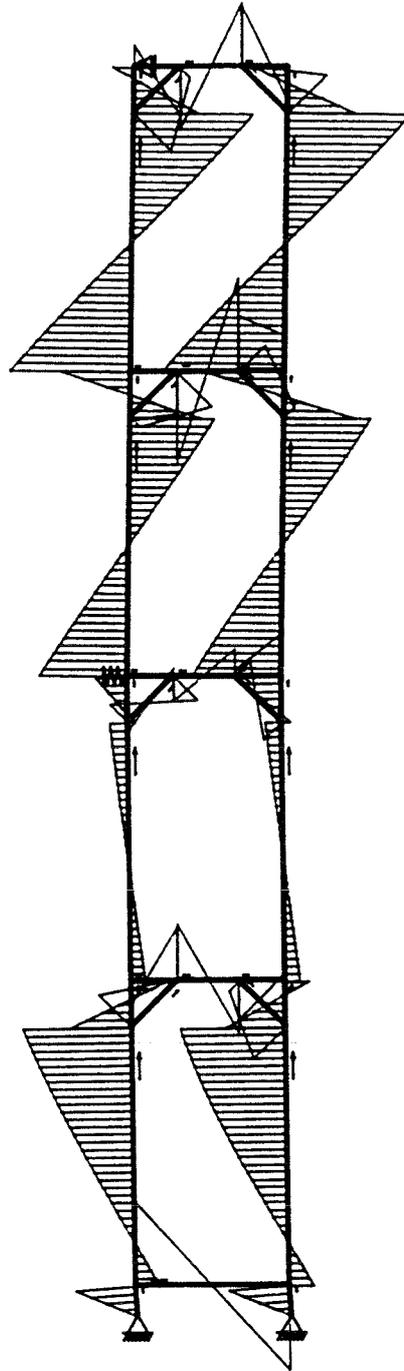
LASTFALL 1

W-VERSCHIEBUNG 1 CM:10 MM

MAXIMALWERT : 0.01571 M



TUM ARBEITSGRUPPE PROF.DR.-ING. H. WERNER



SET-VERGLEICHSBERECHNUNG ZU ANLAGE 3

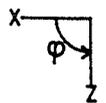
$P_1=P_2=10(\text{KN})$ / $H_2=H_3=H_4=0.2(\text{KN})$

MASSTAB 1 : 45

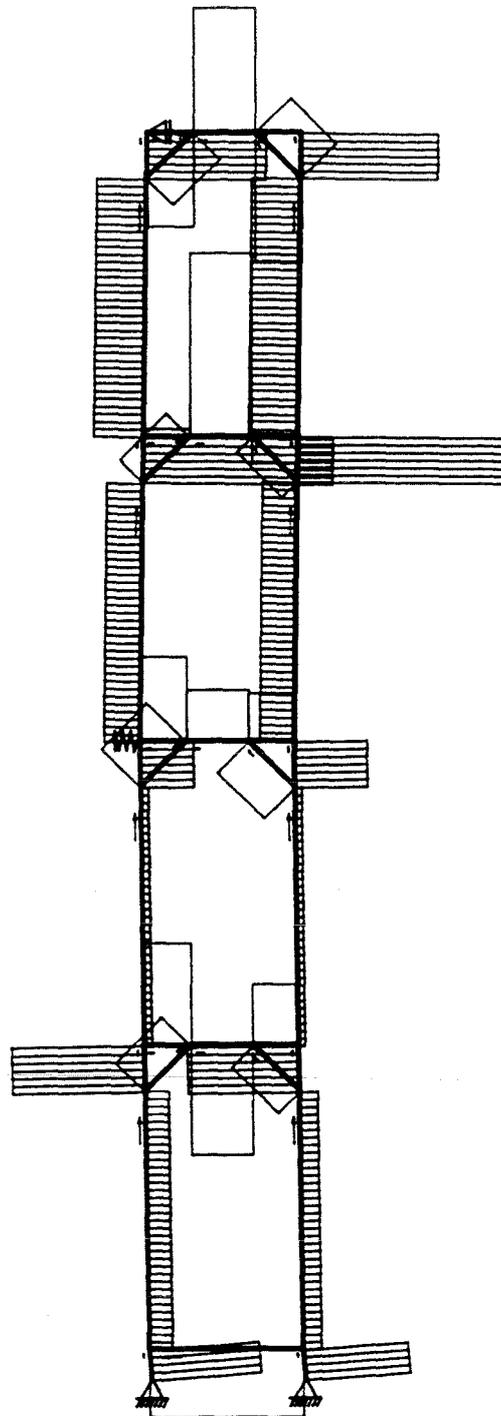
LASTFALL 1

MOMENT UM Y-ACHSE 1 CM:0.2 KNM

MAXIMALWERT : 0.3511 KNM



TUM ARBEITSGRUPPE PROF.DR.-ING. H. WERNER



SET-VERGLEICHBERECHNUNG ZU ANLAGE 3

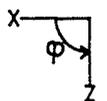
$P_1 = P_2 = 10 \text{ (KN)}$ / $H_2 = H_3 = H_4 = 0.2 \text{ (KN)}$

MASSTAB 1 : 45

LASTFALL 1

QUERKRAFT Z-RICHTUNG 1 CM:0.5 KN

MAXIMALWERT : 1.509 KN



TUM ARBEITSGRUPPE PROF.DR.-ING. H. WERNER

**Vergleichende rechnerische Untersuchungen zum
Stand sicherheitsnachweis und zu Großversuchen im
Rahmen der Anträge zur allgemeinen bauaufsichtlichen
Zulassung von Gerüsten besonderer Bauart**

S c h l u ß b e r i c h t

Anlage 4 Benutzerhandbuch zum Programm GERNAE

zum Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik Berlin IV 1-5-375/83

Bericht-Nr.: 147

München, den 27/11/89

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. F. Nather

Dipl.-Ing. Martina Stephan

Dipl.-Ing. Robert Hertle

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Allgemeines	1
2. Eingabebeschreibung	4
3. Ausgabe	11
Anhang	

1. Allgemeines

Das Näherungsverfahren wurde am Lehrstuhl für Stahlbau der Technischen Universität München in BASIC programmiert und auf einem Sharp-Kleinrechner installiert. Das Programm GERNAE umfaßt (mit Kommentarzeilen) circa 700 Programmzeilen. Sein Ablauf ist in einem Flußdiagramm (Bild 1) dargestellt. Ein Ausdruck des Programms ist im Anhang zu finden.

Die Eingabe kann über einen vorher angelegten Datensatz oder aber interaktiv erfolgen.

Für das zu berechnende Rahmengerüst (Bild 2) ist einzugeben:

- Anzahl N der Rahmen übereinander (es können bis zu achtgeschossige Gerüste untersucht werden)
- Abmessungen der Rahmen: Höhe, Aussteifungshöhe $h - \Delta h$, Breite b
- Steifigkeiten: Ständer, Fußriegel
- Spindelgeometrie und -steifigkeit (Eingabewerte = 0 für Systeme ohne Spindel)
- Vorverformungen
- Lagerung: Festhaltungen, Federn mit Federkennlinie
- Belastung: Vertikallast P , Horizontallasten H_i .

Dabei ist, da es sich um eine Berechnung am halben System handelt, zu beachten, daß als Vertikallast P die halbe Rahmenauf- last, d.h. $(P_1 + P_2)/2$, als Horizontallasten die halben äußeren Lasten H_i und als Federsteifigkeiten die halben Werte ein- gegeben werden müssen.

Nach Beendigung der Berechnung wird auf Wunsch für den Rahmen- stiel mit Rohrquerschnitt die Bemessung nach dem Verfahren elastisch-plastisch unter Berücksichtigung der Momenten-Nor- malkraftinteraktion durchgeführt.

Die Ausgabe beinhaltet die Gesamtverschiebungen der einzelnen Knoten, die Gesamtquerkraft der Rahmen und der Spindel, die Stielmomente unter der Aussteifung und über dem unteren Rie- gel, das Spindelmoment, die Feder- und Auflagerkräfte und, falls eine elastisch-plastische Bemessung durchgeführt wurde, ob und falls ja, wo die Grenzbedingungen $M/M_{pl,Nd} \leq 1$ überschritten wurde.

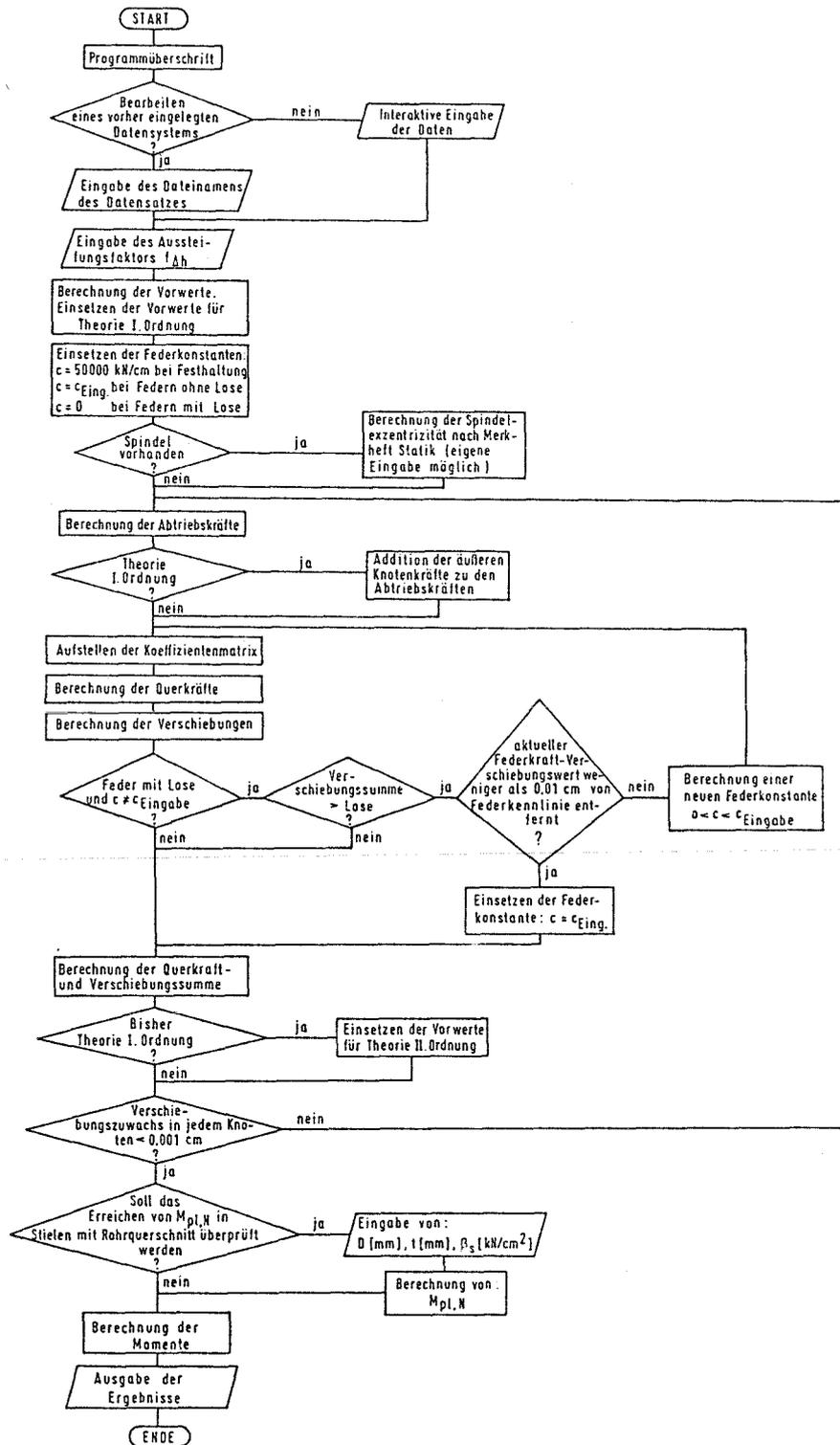


Bild 1: Flußdiagramm zum Programm GERNAE

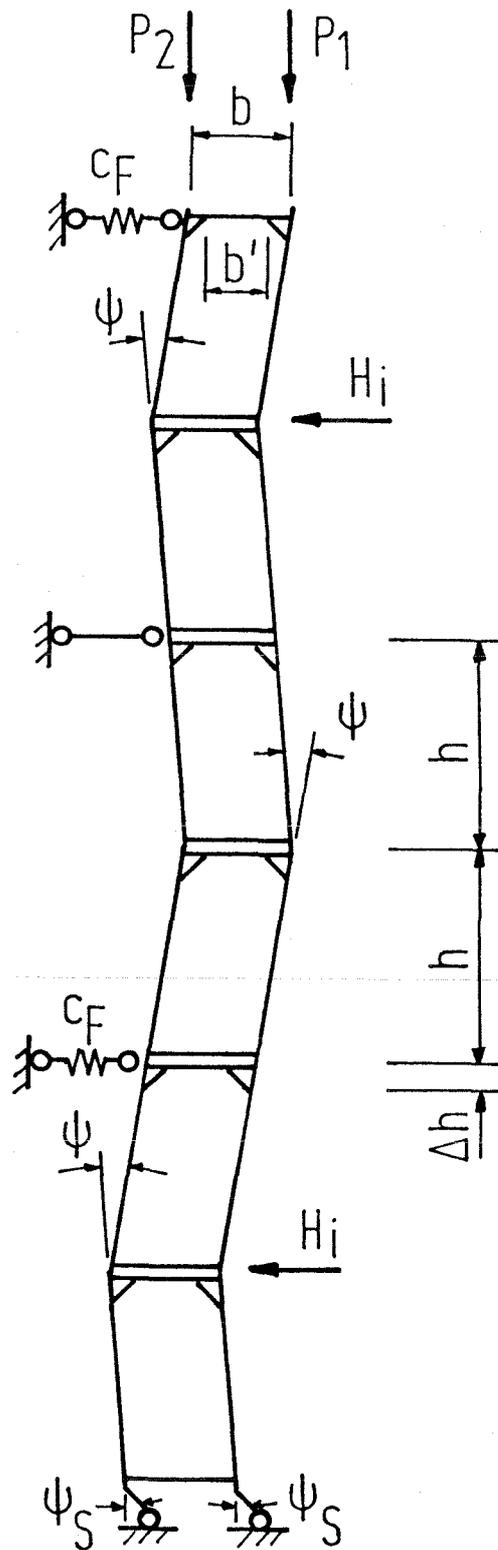


Bild 2: Beispiel eines zu berechnenden Rahmengerüsts

2. Eingabebeschreibung

Zu Beginn des Programmlaufs wird am Bildschirm abgefragt, ob ein vorher angelegter Datensatz bearbeitet werden soll. Wird die Frage mit J für "ja" beantwortet, so wird der Dateiname des Datensatzes abgefragt. Dieser wird ins Programm geladen. Wird die Frage mit N für "nein" beantwortet, so werden alle Eingabedaten interaktiv abgefragt.

2.1 Eingabe über einen Datensatz:

Die Eingabe über einen vorher angelegten Datensatz ist zu empfehlen, wenn mehrere Rechenläufe mit nahezu gleichen Eingabedaten gestartet werden sollen. Dies ist zum Beispiel bei Ermittlung von Lastverformungskurven, für die nur die Vertikallast verändert werden muß, oder bei Parameterstudien der Fall. Im Eingabedatensatz müssen die Werte A(0) bis A(14), N, HE, P, K(1,1) bis K(N+1,1), K(1,0) bis K(N+1,0), C(1,0) bis C(N+1,0), G(1,0) bis G(N+1,0) und H(1,1) bis H(N+1,1) belegt werden. Wird einer der Werte nicht belegt, so ist dies identisch mit einer Nullsetzung.

Es bedeuten:

- A (0) = Stielfläche A_S [cm²]
- A (1) = Stielsteifigkeit J_S [cm⁴]
- A (2) = E-Modul Stiel E_S [kN/cm²]
- A (3) = Stockwerkshöhe h [cm]
- A (4) = Aussteifungshöhe Δh [cm]
- A (5) = Fußriegel Fläche A_R [cm²]
- A (6) = Fußriegel Steifigkeit J_R [cm⁴]
- A (7) = E-Modul Fußriegel E_R [kN/cm²]
- A (8) = Rahmenbreite b [cm]
- A (9) = Spindelfläche A_{Sp} [cm²]
- A(10) = Spindelsteifigkeit J_{Sp} [cm⁴]
- A(11) = E-Modul Spindel E_{Sp} [kN/cm²]
- A(12) = Innendurchmesser Ständer d_S [mm]
- A(13) = Außendurchmesser Spindel D_{Sp} [mm]
- A(14) = Überdeckungslänge $l_{\ddot{u}}$ [cm]

Aus A(12) bis A(14) wird die Zusatzausmitte e_z (Bild 3) der Spindel (Bild 3) nach Merkheft Statik des Instituts für Bau-technik, Berlin zu

$$e_z = \frac{d_s \cdot D_{Sp}}{10 \cdot l_{\ddot{u}}} h_{Sp} + 10 \text{ [mm]}$$

berechnet.

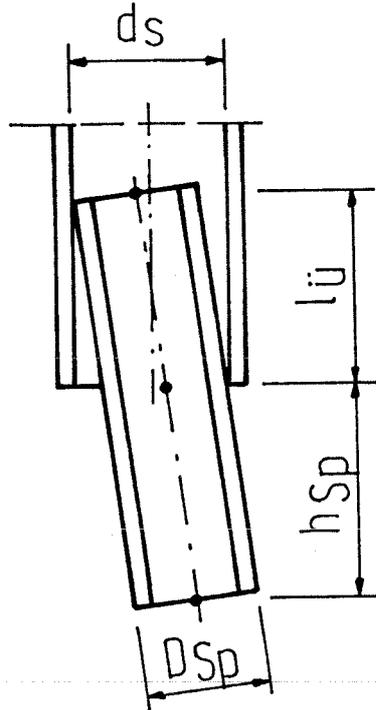


Bild 3: Imperfektionsannahme - Spindel

- N = Anzahl der Rahmen übereinander
- HE = Spindelhöhe h_{Sp} [cm]
- P = Vertikallast eines Stiels [kN]
- K(1,1) bis K(N+1,1) = Vorverformungen K_1 bis K_{N+1} [mm]
- K(1,0) bis K(N+1,0) = Festhaltungen [0=nein, 1=ja]
- C(1,0) bis C(N+1,0) = Federsteifigkeiten c_1 bis c_{N+1} [kN/cm]
- G(1,0) bis G(N+1,0) = Federlosen 1 bis N+1 [cm]
- H(1,1) bis H(N+1,1) = Horizontallasten H_1 bis H_{N+1} [kN]

Ist z.B. in der Ebene i keine Feder, sondern eine Festhaltung vorhanden, so ist $K(i,0) = 1$ zu setzen. Gleichzeitig ist entweder $C(i,0) = 0$ und $G(i,0) = 0$ einzugeben oder keine Angabe zu $C(i,0)$ und $G(i,0)$ im Datensatz zu machen. Ist keine Spindel

vorhanden, so ist entweder A(9) bis A(14) und HE = 0 einzugeben oder keine Angabe zu A(9) bis A(14) und HE im Datensatz zu machen.

In Bild 4 sind anhand eines viergeschossigen Rahmengerüsts nochmals die wesentlichen Last- und Geometrieparameter dargestellt.

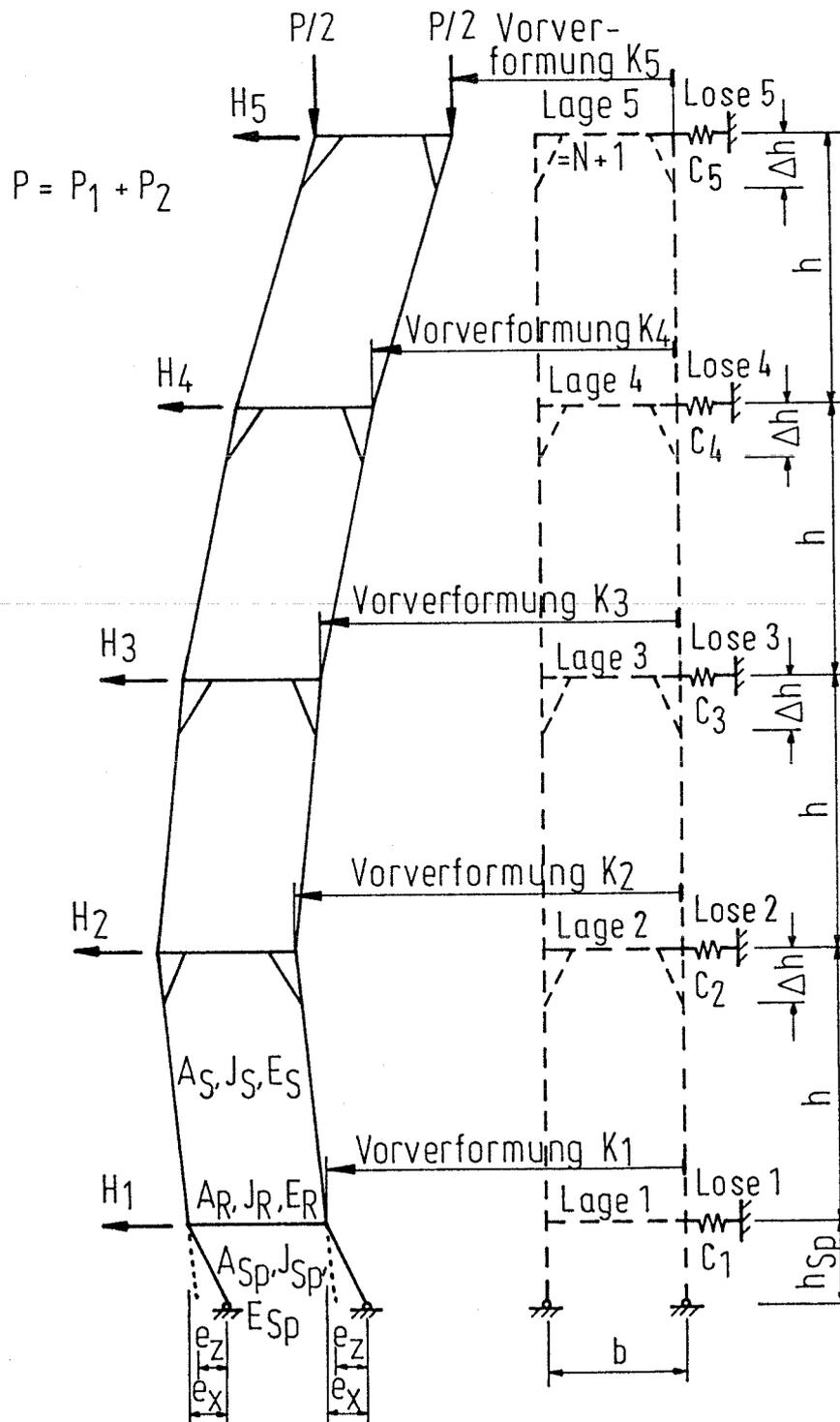


Bild 4: Viergeschossiges Rahmengerüst - Beispiel zum Eingabedatensatz

Der nachfolgend abgedruckte Eingabedatensatz bezieht sich auf das Berechnungsbeispiel des Bildes 8.

```

260 REM *****
270 REM **          BEISPIEL fuer einen EINGABEDATENSATZ          **
280 REM *****
290 REM
300 A(0)=5           : REM ** STIELFLAECHE [cm^2]                **
310 A(1)=12          : REM ** STIELSTEIFIGKEIT [cm^4]          **
320 A(2)=21000       : REM ** E-MODUL-STIEL [KN/cm^2]           **
330 A(3)=200         : REM ** STOCKWERKSHOEHE [cm]              **
340 A(4)=30          : REM ** AUSSTEIFUNGSHOEHE [cm]           **
350 A(5)=2           : REM ** RIEGELFLAECHE [cm^2]             **
360 A(6)=2           : REM ** RIEGELSTEIFIGKEIT [cm^4]         **
370 A(7)=21000       : REM ** E-MODUL-RIEGEL [KN/cm^2]         **
380 A(8)=100         : REM ** RAHMENBREITE [cm]                 **
390 A(9)=5           : REM ** SPINDELFLAECHE [cm^2]            **
400 A(10)=7          : REM ** SPINDELSTEIFIGKEIT [cm^4]         **
410 A(11)=21000      : REM ** E-MODUL-SPINDEL [KN/cm^2]         **
420 A(12)=0          : REM ** INNENDURCHMESSER STAENDER [mm]    **
430 A(13)=0          : REM ** AUSSENDURCHMESSER SPINDEL [mm]    **
440 A(14)=0          : REM ** UEBERDECKUNGSLAENGE [cm]          **
450 N=4              : REM ** ANZAHL DER RAHMEN                 **
460 HE=20            : REM ** SPINDELHOEHE [cm]                 **
470 P=10             : REM ** VERTIKALLAST                       **
480 K(4,1)=25 : K(3,1)=50 : K(2,1)=25
490                  REM ** VORVERFORMUNG [mm]                  **
500 K(5,0)=1         : REM ** KNOTENFESTHALTUNG [0=NEIN/1=JA]   **
510 C(3,0)=-.4       : REM ** FEDERSTEIFIGKEIT [KN/cm]           **
520 G(3,0)=1.45      : REM ** FEDERLOSE [cm]                     **
530 H(4,1)=.1 : H(3,1)=.1 : H(2,1)=.1
540                  REM ** HORIZONTALLASTEN [KN]               **

```

Viergeschossiges Rahmengerüst - Beispiel zum Eingabedatensatz

2.2 Interaktive Eingabe:

Die interaktive Eingabe der Daten ist zu empfehlen, wenn ein einmaliger Rechenlauf durchgeführt werden soll. Hier werden alle unter Punkt 2. beschriebenen Werte am Bildschirm abgefragt. Nach kleineren Eingabeblocks wird nach der Richtigkeit der Eingaben gefragt, die nochmals am Bildschirm erscheinen. Um Eingabefehler zu vermeiden, ist somit eine Kontrolle mit Korrekturmöglichkeit gegeben.

2.3 Eingabe des Aussteifungsfaktors und Starten der Berechnung:

Sind alle Systemwerte eingelesen, wird am Bildschirm nach dem Aussteifungsfaktor gefragt, mit dessen Hilfe die wirksame Länge h' des Stiels für den Fußrahmen (Bild 5) bestimmt wird. Er ist nach Bild 6a und 6b mit $f_{\Delta h} = f_{\Delta h}^1 \cdot f_{\Delta h}^2$ zu berechnen.

Rahmenriegels $EI_{R,oben}$, des unteren Rahmenriegels $EI_{R,unten}$ und des Stiels EI_S zwei Kurven angegeben: Zum einen für Systeme ohne, zum anderen für Systeme mit maximal ausgezogener Spindel. Für eine kleinere als die maximale Spindelhöhe darf zwischen den beiden Kurven linear interpoliert werden. $f_{\Delta h}^1$ wird aus der bilinearen Kurve in Bild 6b in Abhängigkeit von der Aussteifungshöhe Δh und der Gesamthöhe h des Fußrahmens abgelesen.

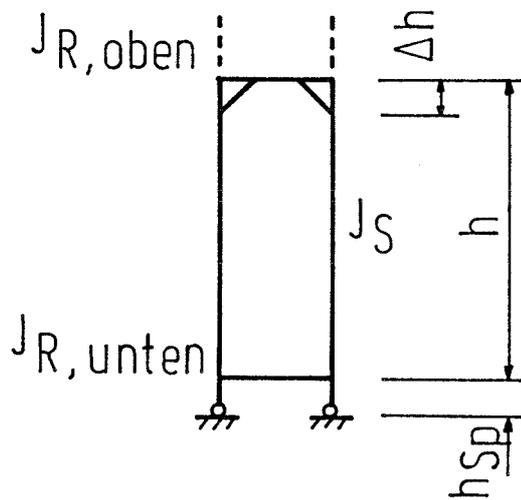
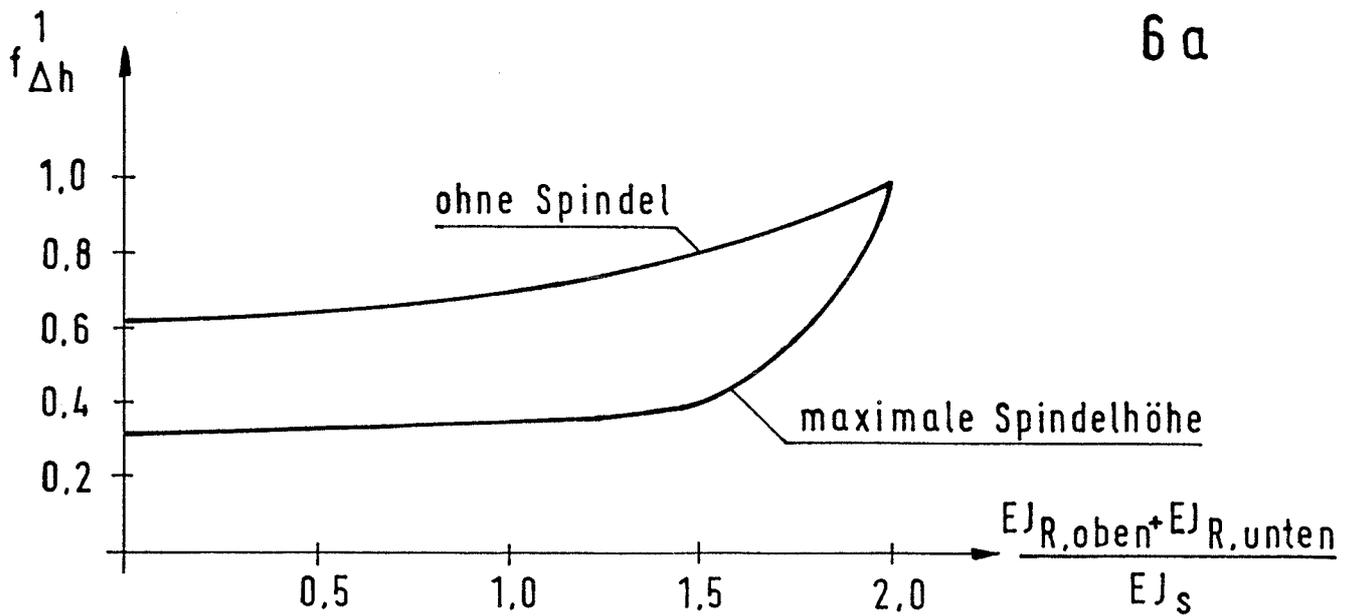


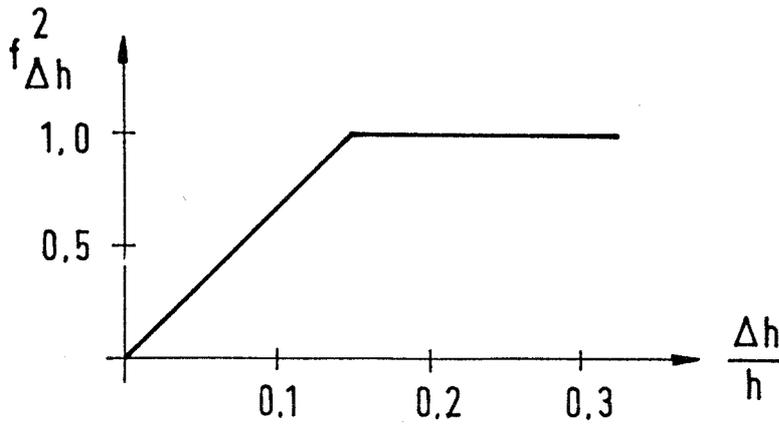
Bild 5: Fußrahmen - Abmessungen und Steifigkeiten



6 a

Bild 6: Aussteifungsfaktoren zur Berechnung der wirksamen Höhe des Fußrahmens

a) Faktor $f_{\Delta h}^1$



6b

$$f_{\Delta h} = f_{\Delta h}^1 \cdot f_{\Delta h}^2$$

$$h' = h - f_{\Delta h} \cdot \Delta h$$

Bild 6: Aussteifungsfaktoren zur Berechnung der wirksamen Höhe des Fußrahmens

b) Faktor $f_{\Delta h}^2$

Die Zusatzausmitte der Spindel (Bild 7) wird nach Merkheft Statik des Instituts für Bautechnik, Berlin berechnet, wenn die Frage "Wollen Sie eine eigene Zusatzausmitte der Spindel eingeben?" mit N für "nein" beantwortet wird. Gibt man dagegen J für "ja" ein, so wird die Zusatzausmitte e_z der Spindel in [cm] abgefragt. Durch den Ausdruck von Zusatzausmitte e_z und Gesamtausmitte e_x am Bildschirm kann die Richtigkeit der Eingabe interaktiv in Größe und Vorzeichen kontrolliert werden.

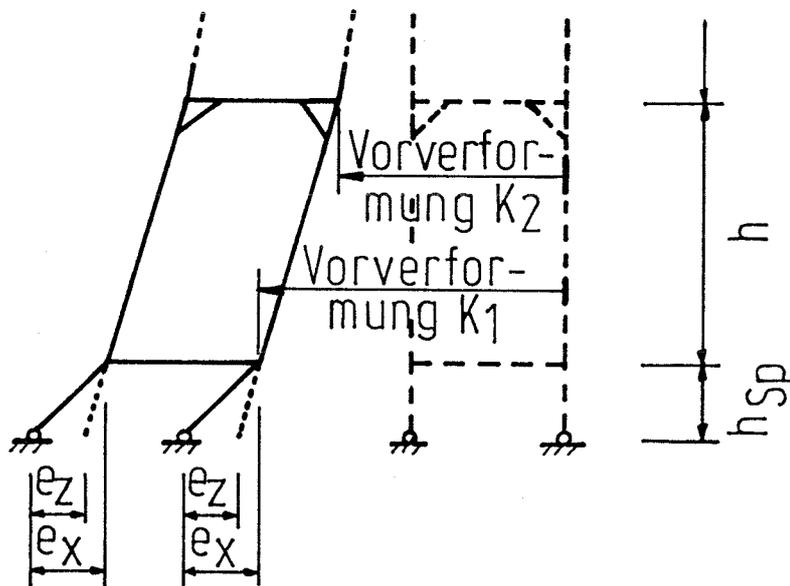


Bild 7: Geometrie und Imperfektionen des Flußrahmens

Beispiele: - Keine Zusatzausmitte der Spindel, d.h. Spindelschrägstellung ist gleich Schrägstellung des Fußrahmens:

Eingabe: Zusatzausmitte $e_z = 0$

Kontrollausgabe: Zusatzausmitte $e_z = 0$

$$\text{Gesamtausmitte } e_x = (k_1 - k_2) \cdot \frac{h_{Sp}}{h}$$

- Keine Spindelschrägstellung, d.h. Spindel vertikal:

Eingabe: Zusatzausmitte $e_z = -(k_1 - k_2) \cdot \frac{h_{Sp}}{h}$

Kontrollausgabe: Zusatzausmitte $e_z = -(k_1 - k_2) \cdot \frac{h_{Sp}}{h}$

$$\text{Gesamtausmitte } e_x = 0$$

Damit ist die Eingabe beendet und die Berechnung läuft mit Zwischeninformationen über den Berechnungsverlauf am Bildschirm.

Nach Beendigung der statischen Berechnung wird auf Wunsch für den Rahmenstiel mit Rohrquerschnitt eine Bemessung nach dem Verfahren elastisch-plastisch durchgeführt. Dazu werden Außendurchmesser des Stielrohres D , Wanddicke t und der Bemessungswert der Normalspannung $\sigma_{R,d}$ abgefragt.

3. Ausgabe:

Die Ausgabe der Ergebnisse erscheint auf dem Bildschirm und kann auf Wunsch auf dem Drucker ausgegeben werden. Nachfolgend ist der Ergebnisausdruck der Berechnung des in Bild 4 dargestellten Gerüsts wiedergegeben:

```
*****
***** ENDERGEBNISSE *****
*****
** VERWENDETER EINGABEDATENSATZ VON DATEI EINGABEBEISPIEL **
** BEISPIEL fuer eine ERGEBNISAUSGABE **
** AUSSTEIFUNGSFAKTOR = 0.40 **
*****
```

P = 10.00 [KN]

```
5 _I W= 0.000E+00 [cm]   A=-2.555E-01 [KN]   H= 0.000E+00 [KN]
   I M= 3.633E+01 [KNcm]
   I Q= 4.274E-01 [KN]
   I M=-3.633E+01 [KNcm]
4 _I W= 9.155E-01 [cm]           H= 1.000E-01 [KN]
   I M= 2.659E+01 [KNcm]
   I Q= 3.128E-01 [KN]
   I M=-2.659E+01 [KNcm]
3 _I W= 1.584E+00 [cm]   F=-5.344E-02 [KN]   H= 1.000E-01 [KN]
   I M=-1.765E+00 [KNcm]
   I Q=-2.077E-02 [KN]
   I M= 1.765E+00 [KNcm]
2 _I W= 1.562E+00 [cm]           H= 1.000E-01 [KN]
   I M=-3.113E+01 [KNcm]
   I Q=-1.994E-01 [KN]
   I M= 6.367E+00 [KNcm]
1 _I W= 2.018E-01 [cm]           H= 0.000E+00 [KN]
   I M=-1.691E+01 [KNcm]
   I Q=-8.454E-01 [KN]   A= 8.930E-03 [KN]
```

6 ITERATIONSSCHRITTE UND 5 FEDERITERATIONSSCHRITTE

SPINDELAUSMITTE = -1.500 [cm]
SPINDELHOEHE = 20 [cm]

FEDER AN KNOTEN NR. 3 :
FEDERSTEIFIGKEIT = .4 [KN/cm]
FEDERLOSE = 1.45 [cm]

IN DEN RAHMENSTIELEN NOCH KEIN FLIESSGELENK ERREICHT !

PLASTISCHES GRENZMOMENT $M_{p1,N}$ [KNcm] = 160.23
(fuer Rohrquerschnitt 48.5 * 3.3 und Streckgrenze = 24 [KN/cm²])

Das System und die Ergebnisse sind nochmals in Bild 8 und 9 zeichnerisch dargestellt. Die Ergebnisse einer Vergleichsberechnung mit dem Stabwerksprogramm TOPSET sind als Verschiebungs-, Momenten- und Querkraftverläufe in den Bildern 10, 11, 12 zu sehen.

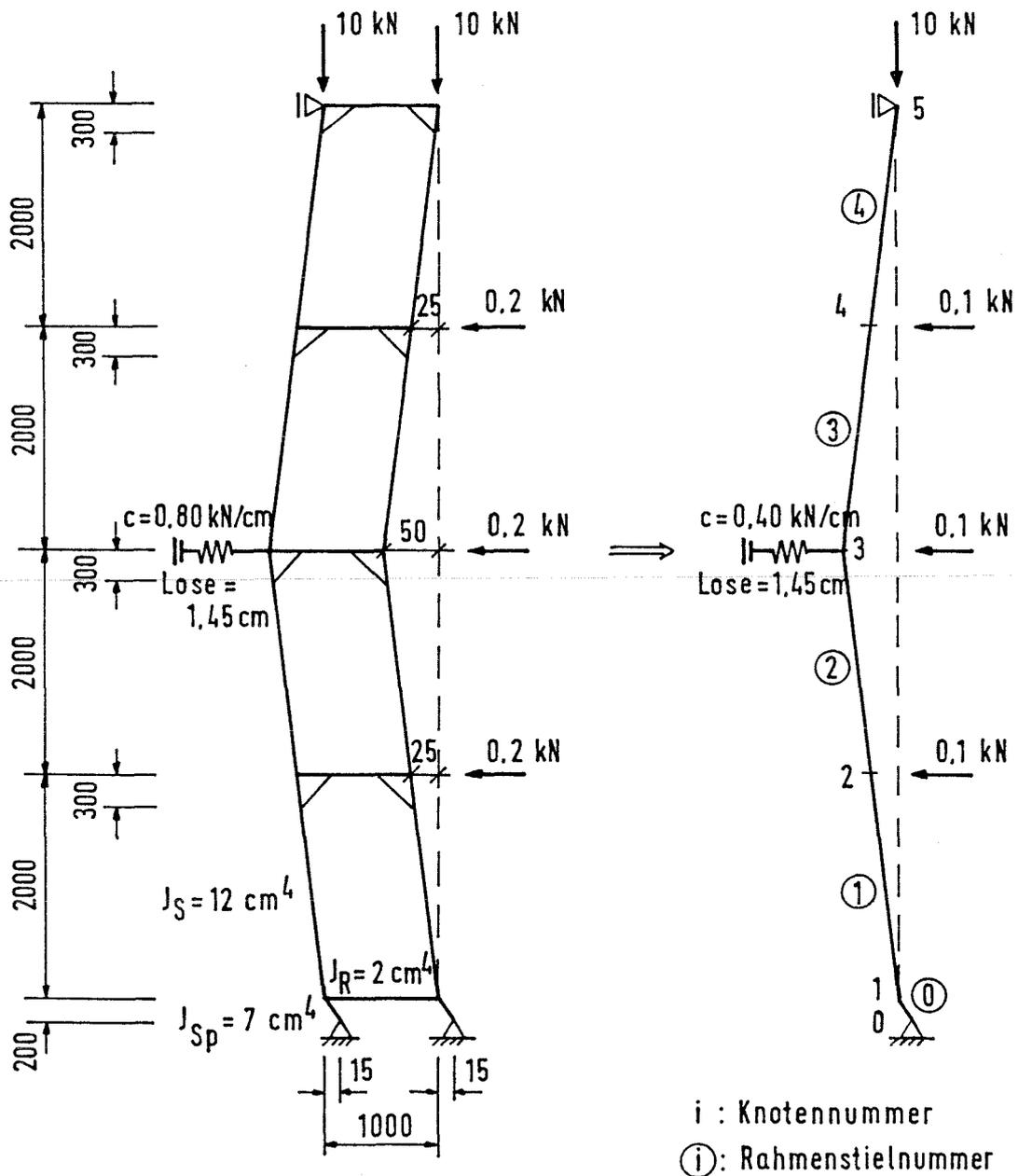


Bild 8: Beispielberechnung - System- und Lastannahmen

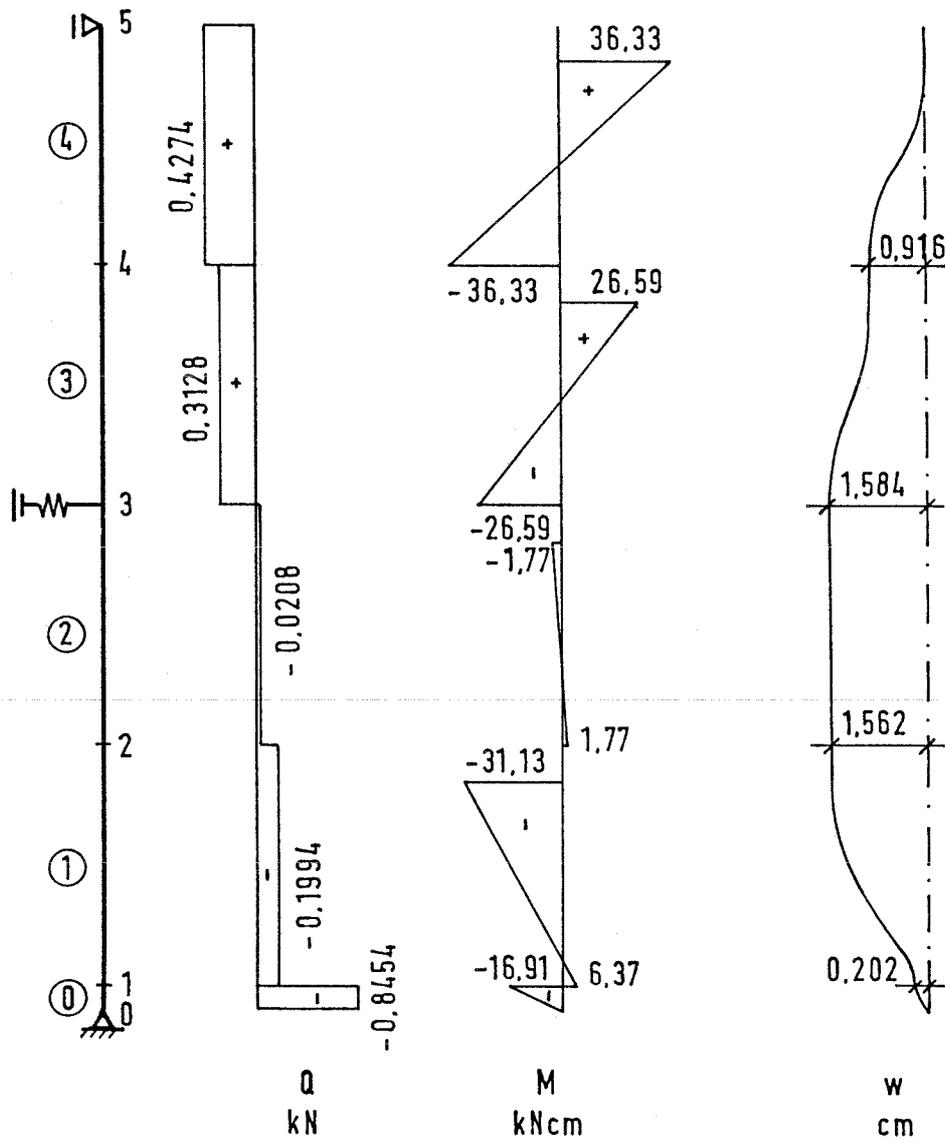


Bild 9: Beispielberechnung - Ergebnisse

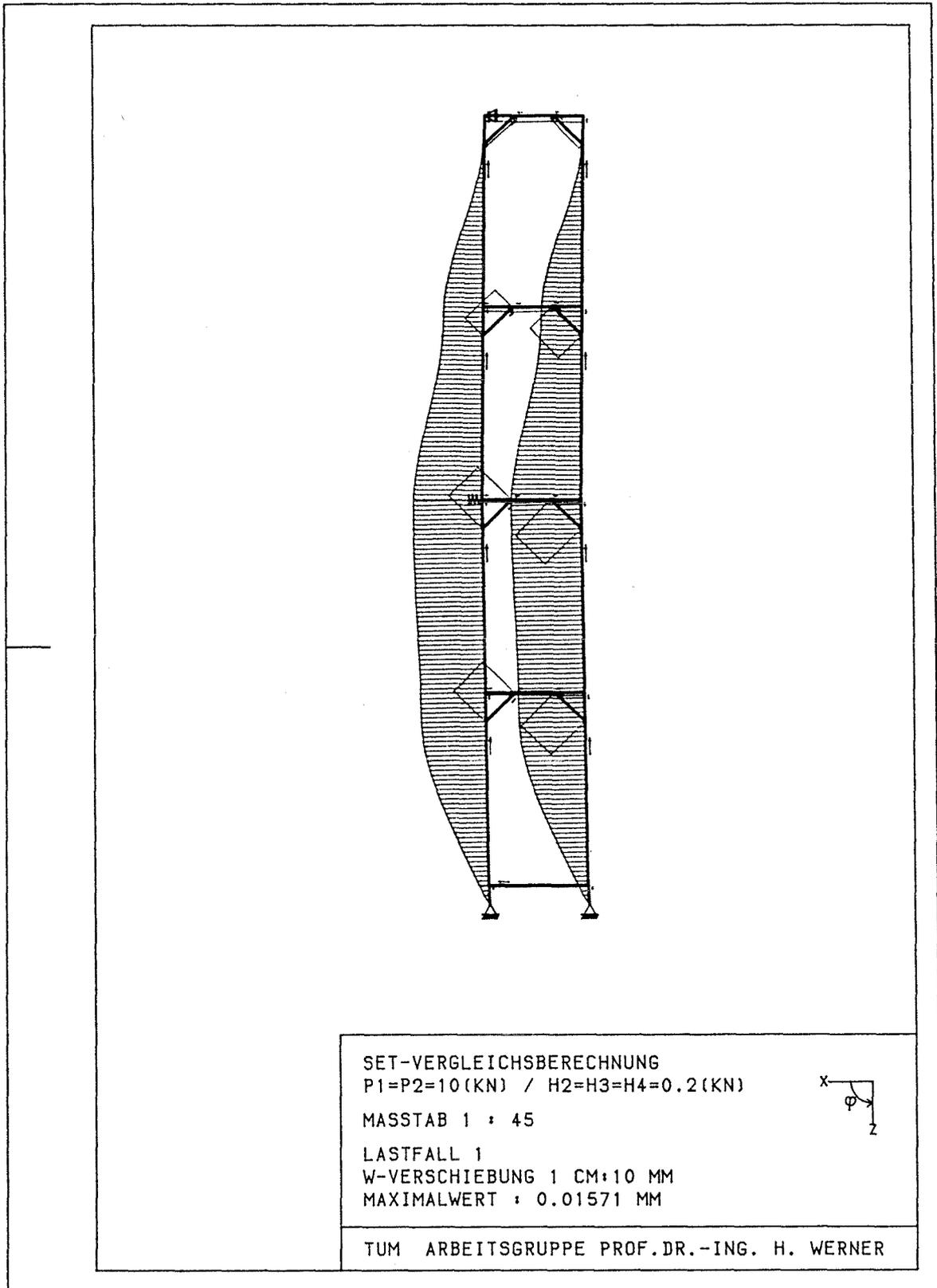


Bild 10: Vergleichsberechnung TOPSET - Biegemomentenverlauf

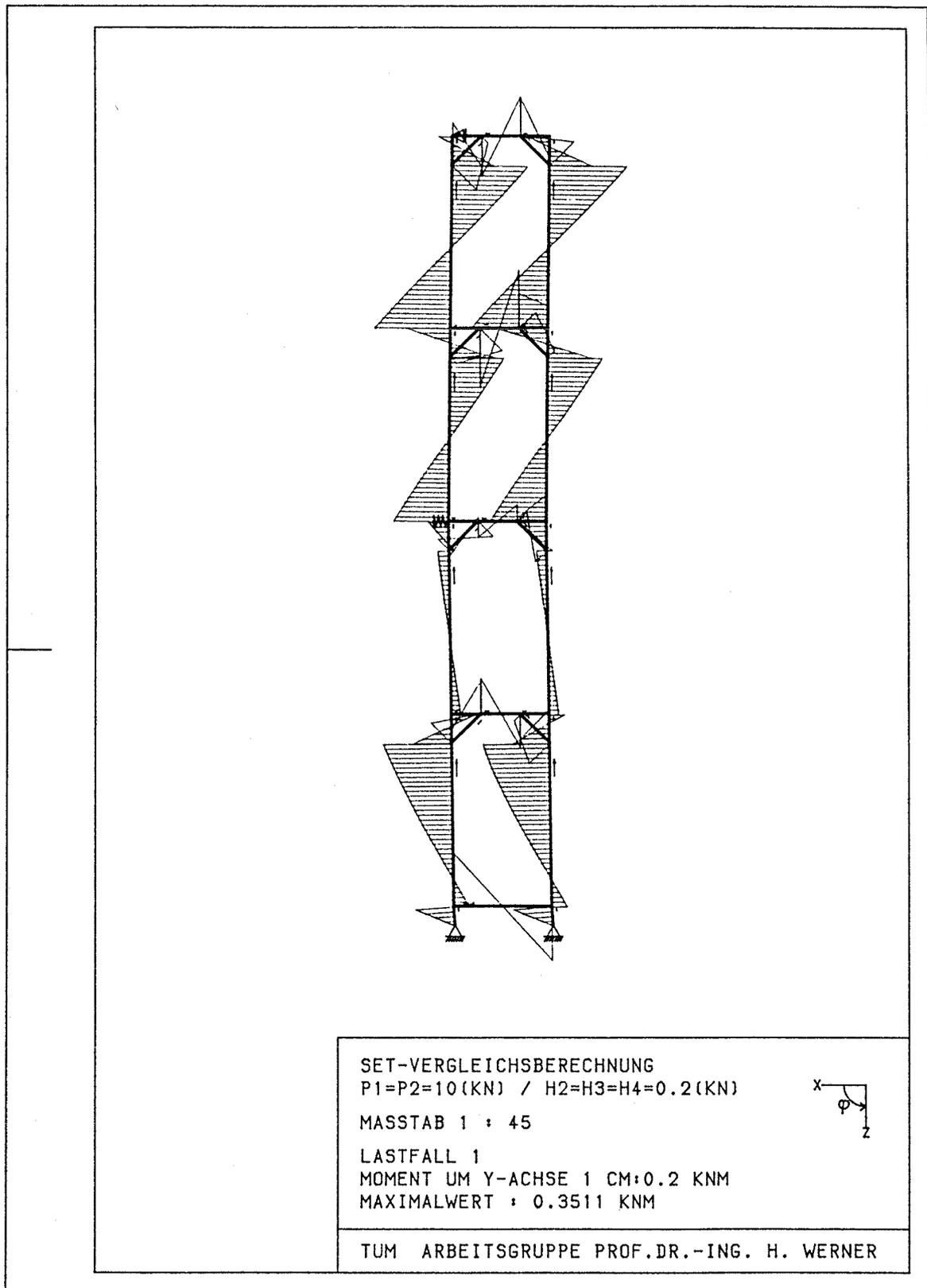


Bild 11: Vergleichsberechnung TOPSET - Querkraftverlauf

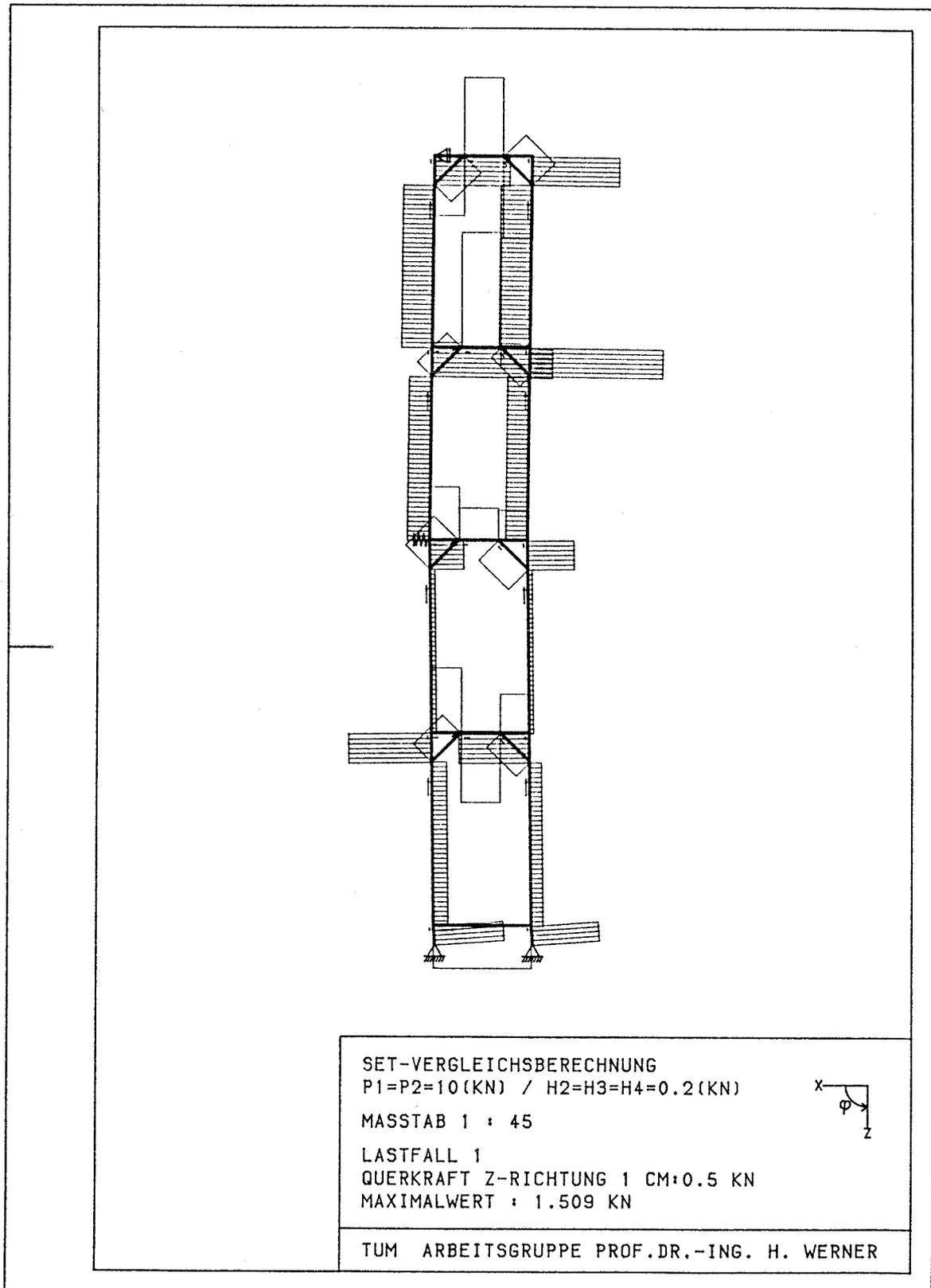


Bild 12: Vergleichsberechnung TOPSET - Verschiebungsverlauf

ANHANG

Hauptprogramm:

```

10 REM *****
20 REM **          GERNAE-VERSION VOM 12.12.88          **
30 REM *****
40 REM
50 PRINT " "
60 PRINT " "
70 PRINT "*****"
80 PRINT "**      NAEHERUNGSVERFAHREN ZUR BERECHNUNG VON RAHMENGERUESTEN      **"
90 PRINT "**                                  HIT AUSGESTEIFTEN ECKEN                                  **"
100 PRINT "**                                  VERSION VOM 12.12.88                                  **"
110 PRINT "*****"
120 PRINT " "
130 REM I-----I
140 REM I Eingabe der Daten I
150 REM I-----I
160 INPUT "WOLLEN SIE EINEN VORHER ANGELEGTE DATENSATZ BEARBEITEN (J/N) ";D$
170 DIM A(22)
180 DIM K(10,1),C(9,1),G(9,0),H(9,1)
190 DIM W(10,3),F(9,2),X(9,10),Q(8,2)
200 DIM Y(9),KZ(9),FG(9,2),ST(9)
210 IF D$="N" THEN GOSUB 8000 : GOTO 550
220 IF D$(">")"J" GOTO 160
230 PRINT " "
240 INPUT "WELCHEN DATEINAMEN HAT DER DATENSATZ ";DN$
250 CHAIN MERGE DN$,250,ALL

(29 freie Zeilennummern fuer einen evtl. vorher angelegten Datensatz)

550 PRINT " "
560 INPUT "AUSSTEIFUNGSFAKTOR EINGEBEN: ";DL
570 PRINT " " : PRINT "EINGABE BEENDET" : PRINT " "
580 REM I-----I
590 REM I Berechnung der Vorwerte I
600 REM I-----I
610 H0=A(3)
620 H1=A(3)-A(4)*DL
630 H2=A(3)-A(4)*.5
640 H3=A(3)-A(4)
650 IF A(5)>0 GOTO 730
660 MU=0 : MO=H1 : MS=HE : MR=0 : MG=HE
670 OA=- (MO*H1*(2*H1+3*HE)/(6*A(2)*A(1))) : OB=OA*1.25
680 OC=- (H2*3/(12*A(2)*A(1))) : OD=- ((5*H2*3)/(48*A(2)*A(1)))
690 OE=- (MO*H1*HE/(2*A(2)*A(1))) : OF=OE*1.25
700 OG=- (MS*(H1+2*HE)*H1/(2*A(2)*A(1))+MG*HE*2/(3*A(11)*A(10))) : OH=OG*1.25
710 OI=- (MS*H1*HE/(A(2)*A(1))+MG*HE*2/(3*A(11)*A(10))) : OJ=OI*1.25
720 GOTO 890
730 MU=- (H1*2/(2*H1+((A(8)*A(2)*A(1))/(3*A(7)*A(6))))
740 MO=MU+H1
750 MS=(HE*A(8))/((6*H1*A(7)*A(6))/(A(2)*A(1))+A(8))
760 MR=MS-HE
770 MG=HE
780 OA=((2*MU+MO)*H1*2)/(6*A(2)*A(1))+ (MU*(H1+HE)*A(8))/(6*A(7)*A(6)) : GOTO 790
790 OB=OA*1.25
800 OC=- (H2*3/(12*A(2)*A(1)))
810 OD=- ((5*H2*3)/(48*A(2)*A(1)))
820 OE=(MU*HE*A(8))/(6*A(7)*A(6))
830 OF=OE
840 IF HE=0 GOTO 890
850 OG=(MS*H1*2)/(2*A(2)*A(1))+ (MR*(H1+HE)*A(8))/(6*A(7)*A(6))+
(-MG*HE*2)/(3*A(11)*A(10))

```

```

860 DH=OG*1.25
870 DI=(NR*HE*A(8))/(6*A(7)*A(6))+(-MG*HE*2)/(3*A(11)*A(10))
880 OJ=OI*1.25
890 IF HE=0 THEN MS=0 : MR=0 : MG=0 : DE=0 : DF=0 : OG=0 : OH=0 : DI=0 : OJ=0
900 TH=1 : H=HO : S=1 : FS=0
910 DO=OG : O1=OA : O2=OC : O3=OI : O4=OE
920 GOSUB 3000
930 FOR R=2 TO N+1
940 IF K(R,0)=1 THEN C(R,0)=50000
950 IF G(R,0)=0 THEN C(R,1)=C(R,0)
960 W(R,0)=K(R,1)/10
970 NEXT R
980 W(1,0)=K(1,1)/10
990 IF HE=0 GOTO 1120
1000 R=SGN(K(1,1)-K(2,1))
1010 IF R=0 THEN R=1
1020 EZ=R*((A(12)-A(13))/(10*A(14)))*HE+1)
1030 PRINT "DIE ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL WIRD NACH MERKHEFT STATIK BERECHNET!"
      : PRINT " "
1040 INPUT "WOLLEN SIE EINE EIGENE ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL EINGEBEN (J/N)";F#
1050 IF F#="N" GOTO 1080
1060 IF F#<>"J" GOTO 1040
1070 INPUT "ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL [cm] = ";EZ
1080 PRINT " "
1090 PRINT USING "ZUSATZAUSMITTE DER SPINDEL [CM] = ##.###";EZ
1100 EX=EZ+HE*(W(1,0)-W(2,0))/A(3)
1110 PRINT USING "GESAMTAUSMITTE DER SPINDEL [CM] = ##.###";EX
1120 REM I-----I
1130 REM I Berechnung der Abtriebskraefte I
1140 REM I-----I
1150 IF TH=2 GOTO 1190
1160 IF HE=0 THEN H(1,0)=0 : GOTO 1210
1170 H(1,0)=- (EZ*P/HE)
1180 GOTO 1210
1190 IF HE=0 GOTO 1210
1200 H(1,0)=- ((W(2,0)-W(1,0))/H-W(1,0)/HE)*P
1210 FOR R=2 TO N+1
1220 IF R=N+1 THEN H(R,0)=P*(W(R,0)-W(R-1,0))/H : GOTO 1240
1230 H(R,0)=- ((W(R+1,0)-2*W(R,0)+W(R-1,0))/H)*P
1240 NEXT R
1250 IF TH=2 GOTO 1290
1260 FOR R=1 TO N+1
1270 H(R,0)=H(R,0)+H(R,1)
1280 NEXT R
1290 GOSUB 3250
1300 REM I-----I
1310 REM I Berechnung der Querkraefte I
1320 REM I-----I
1330 GOSUB 3500
1340 GOSUB 4000
1350 PRINT "SCHRITT";S
1360 PRINT " "
1370 IF ZW#="N" GOTO 1400
1380 STOP
1390 GOSUB 4500
1400 REM I-----I
1410 REM I Berechnung der Verschiebungen I
1420 REM I-----I
1430 W(1,3)=O3*Q(0,2)+O4*Q(1,2)
1440 W(2,3)=O0*Q(0,2)+O1*Q(1,2)
1450 WS=W(2,3)
1460 FOR R=3 TO N+1
1470 W(R,3)=WS+O2*Q(R-1,2)
1480 WS=W(R,3)
1490 NEXT R
1500 REM
1510 REM ----- Beginn der Federiteration -----

```

```

1520 REM
1530 IF TH=2 GOTO 1750
1540 FOR R=1 TO N+1
1550 IF (K(R,0)=1) OR (G(R,0)=0) GOTO 1660
1560 WN=G(R,0)+ABS(W(R,3)*C(R,1)/C(R,0))
1570 IF ABS(ABS(W(R,3))-WN)<.01 GOTO 1640
1580 F(R,2)=C(R,0)*(ABS(W(R,3))-G(R,0))
1590 IF Y(R)=1 GOTO 1620
1600 IF G(R,0)>ABS(W(R,3)) THEN C(R,1)=0 : KZ(R)=0 : GOTO 1660
1610 Y(R)=1
1620 IF WN>ABS(W(R,3)) THEN C(R,1)=ABS((W(R,3)/WN)*2*C(R,1)) : KZ(R)=1 :
GOTO 1660
1630 C(R,1)=ABS(F(R,2)/W(R,3)) : KZ(R)=1 : GOTO 1660
1640 SK=0 : KZ(R)=0 : FOR RR=1 TO N+1 : SK=SK+KZ(RR) : NEXT RR
1650 IF SK=0 THEN C(R,1)=C(R,0)
1660 NEXT R
1670 FS#="ANGESPRUNGEN UND RICHTIGE FEDERKONSTANTE NOCH NICHT GEFUNDEN" :
FT#="MUSS NEU BERECHNET WERDEN /"
1680 FOR R=1 TO N+1
1690 IF KZ(R)=1 THEN PRINT " " : PRINT "FEDER Nr.":R;FS# :
PRINT "====> SCHRITT";S;FT#;FS+1;". FEDERITERA
TION : "
1700 NEXT R
1710 FOR R=1 TO N+1
1720 IF KZ(R)=1 THEN FS=FS+1 : GOTO 1300
1730 NEXT R
1740 GOTO 1970
1750 FOR R=1 TO N+1
1760 IF (K(R,0)=1) OR (G(R,0)=0) GOTO 1880
1770 WN=G(R,0)+ABS(W(R,3)*C(R,1)/C(R,0))
1780 IF ABS(ABS(W(R,1)+W(R,3))-WN)<.01 GOTO 1860
1790 IF C(R,1)=C(R,0) THEN KZ(R)=0 : GOTO 1880
1800 F(R,2)=C(R,0)*(ABS(W(R,3)+W(R,1))-G(R,0))
1810 IF Y(R)=1 GOTO 1840
1820 IF G(R,0)>ABS(W(R,1)+W(R,3)) THEN C(R,1)=0 : KZ(R)=0 : GOTO 1880
1830 Y(R)=1
1840 IF WN>ABS(W(R,1)+W(R,3)) THEN C(R,1)=ABS(((W(R,1)+W(R,3))/WN)*2*C(R,1)) :
KZ(R)=1 : GOTO 1880
1850 C(R,1)=ABS(F(R,2)/W(R,3)) : KZ(R)=1 : GOTO 1880
1860 SK=0 : KZ(R)=0 : FOR RR=1 TO N+1 : SK=SK+KZ(RR) : NEXT RR
1870 IF SK=0 THEN C(R,1)=C(R,0)
1880 NEXT R
1890 FOR R=1 TO N+1
1900 IF KZ(R)=1 THEN PRINT " " : PRINT "FEDER Nr.":R;FS# :
PRINT "====> SCHRITT";S;FT#;FS+1;". FEDERITERA
TION : "
1910 NEXT R
1920 FOR R=1 TO N+1
1930 IF KZ(R)=1 THEN FS=FS+1 : GOTO 1120
1940 NEXT R
1950 REM
1960 REM ----- Ende der Federiteration -----
1970 REM
1980 REM I-----I
1990 REM I Querkraft- und Verschiebungssumme I
2000 REM I-----I
2010 FOR R=0 TO N : Q(R,0)=Q(R,2) : NEXT R
2020 FOR R=0 TO N : Q(R,1)=Q(R,1)+Q(R,0) : NEXT R
2030 FOR R=1 TO N+1 : W(R,0)=W(R,3) : NEXT R
2040 FOR R=1 TO N+1 : W(R,1)=W(R,1)+W(R,0) : NEXT R
2050 GOSUB 5000
2060 S=S+1
2070 IF TH=2 GOTO 2100
2080 TH=2 : H=H3
2090 O0=OH : O1=OB : O2=OD : O3=OJ : O4=OF
2100 R1=0
2110 FOR R=1 TO N+1

```



```

2780 IF (F#<>1) THEN PRINT FH#
2790 PRINT " " : PRINT USING "PLASTISCHES GRENZMOMENT Mp1,N [KNcm] =#####.##";VW
2800 PRINT "(fuer Rohrquerschnitt";D;"*";T;"und Streckgrenze =";BS;"[KN/cm^2])"
2810 PRINT " "
2820 INPUT "WOLLEN SIE DIE ERGEBNISSE AUSDRUCKEN (J/N) ";F#
2830 IF F#="J" THEN GOSUB 6000
2840 IF (F#<>"J") AND (F#<>"N") GOTO 2820
2850 PRINT " "
2860 INPUT "WOLLEN SIE DIE OMEGAWERTE AUSDRUCKEN LASSEN (J/N) ";F#
2870 IF F#="J" THEN GOSUB 7500
2880 IF (F#<>"J") AND (F#<>"N") GOTO 2860
2890 END

```

Unterprogramme:

```

3000 REM
3010 REM *****
3020 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken der Vorwerte auf dem Bildschirm **
3030 REM *****
3040 REM
3050 PRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE I.O. = ###.###";OG
3060 PRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE II.O. = ###.###";OH
3070 PRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE I.O. = ###.###";OA
3080 PRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE II.O. = ###.###";OB
3090 PRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE I.O. = ###.###";OC
3100 PRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE II.O. = ###.###";OD
3110 PRINT USING "OMEGA 00,THEORIE I.O. = ###.###";OI
3120 PRINT USING "OMEGA 00,THEORIE II.O. = ###.###";OJ
3130 PRINT USING "OMEGA 10,THEORIE I.O. = ###.###";OE
3140 PRINT USING "OMEGA 10,THEORIE II.O. = ###.###";OF
3150 PRINT USING "NO ,THEORIE I.O. = ###.### ";MO
3160 PRINT USING "MU ,THEORIE I.O. = ###.### ";MU
3170 PRINT USING "MS ,THEORIE I.O. = ###.### ";MS
3180 PRINT USING "MR ,THEORIE I.O. = ###.### ";MR
3190 PRINT USING "MSP ,THEORIE I.O. = ###.### ";MG
3200 PRINT " "
3210 RETURN

3250 REM
3260 REM *****
3270 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken der Abtriebskraefte fuer jeden **
3280 REM ** Iterationsschritt auf dem Bildschirm **
3290 REM *****
3300 REM
3310 IF ZW#="N" GOTO 3380
3320 PRINT " "
3330 PRINT "AUSGABE ABTRIEBSKRAEFTE FUER SCHRITT";S;"":
3340 PRINT " "
3350 FOR R=1 TO N+1
3360 PRINT " H";R; USING "###.###";H(R,0)
3370 NEXT R
3380 RETURN

```

```
3500 REM
3510 REM *****
3520 REM ** UNTERPROGRAMM: Aufstellen der Koeffizientenmatrix **
3530 REM *****
3540 REM
3550 FOR R1=1 TO N+1
3560 X(R1,N+2)=H(R1,0)
3570 NEXT R1
3580 FOR R1=1 TO N-1
3590 FOR R2=R1+2 TO N+1
3600 X(R1,R2)=0
3610 NEXT R2
3620 NEXT R1
3630 FOR R1=1 TO N
3640 X(R1,R1+1)=1
3650 NEXT R1
3660 X(1,1)=-1
3670 IF HE=0 THEN X(1,2)=0 : X(1,N+2)=0
3680 FOR R1=2 TO N+1
3690 X(R1,1)=00*C(R1,1)
3700 NEXT R1
3710 X(2,2)=-1+01*C(2,1)
3720 FOR R1=3 TO N+1
3730 X(R1,2)=01*C(R1,1)
3740 NEXT R1
3750 FOR R=3 TO N+1
3760 X(R,R)=-1+02*C(R,1)
3770 NEXT R
3780 IF N=2 GOTO 3840
3790 FOR R1=4 TO N+1
3800 FOR R2=3 TO R1-1
3810 X(R1,R2)=02*C(R1,1)
3820 NEXT R2
3830 NEXT R1
3840 RETURN
```

```

4000 REM
4010 REM *****
4020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen der Koeffizientenmatrix auf Bildschirm **
4030 REM **                   Test auf numerische Schwierigkeiten           **
4040 REM **                   Loesen der Matrix (Gauss)                       **
4050 REM **                   Printen des Loesungsvektors auf Bildschirm     **
4060 REM *****
4070 REM
4080 PRINT " "
4090 PRINT "KOEFFIZIENTENMATRIX:"
4100 PRINT " "
4110 FOR R1=1 TO N+1
4120 FOR R2=1 TO N+2
4130 IF R2=N+2 THEN PRINT TAB(12*R2-5) USING "##.###\###";X(R1,R2) : GOTO 4160
4140 PRINT TAB(12*R2-7) USING "##.###\###";X(R1,R2);
4150 NEXT R2
4160 NEXT R1
4170 FOR R=1 TO N+1
4180 IF R=N+1 GOTO 4270
4190 G=ABS(X(R,R)) : M=R
4200 FOR R1=R+1 TO N+1
4210 IF ABS (X(R1,R))>G THEN G=ABS(X(R1,R)) : M=R1
4220 NEXT R1
4230 IF M=R GOTO 4270
4240 FOR R2=R TO N+2
4250 Z1=X(R,R2) : X(R,R2)=X(M,R2) : X(M,R2)=Z1
4260 NEXT R2
4270 IF ABS (X(R,R))<.0001 THEN PRINT "FUER R =";R;" IST X(R,R) ZU KLEIN!" : END
4280 FOR R1=1 TO N+1
4290 IF R1=R GOTO 4340
4300 F=X(R1,R)/(X(R,R))
4310 FOR R2=R+1 TO N+2
4320 X(R1,R2)=X(R1,R2)-X(R,R2)*F
4330 NEXT R2
4340 NEXT R1
4350 NEXT R
4360 PRINT " "
4370 PRINT "LOESUNGSVEKTOR:"
4380 PRINT " "
4390 FOR R=1 TO N+1 : Q(R-1,2)=X(R,N+2)/X(R,R) : NEXT R
4400 FOR R=1 TO N+1 : PRINT TAB(12*R-7) USING "##.###\###";Q(R-1,2); : NEXT R
4410 PRINT " ";
4420 RETURN

4500 REM
4510 REM *****
4520 REM ** UNTERPROGRAMM:   Festlegen, ob bei jedem Iterationsschritt Zwi- **
4530 REM **                   schenenergebnisse auf dem Bildschirm ausgedruckt **
4540 REM **                   werden sollen                                     **
4550 REM *****
4560 REM
4570 PRINT " "
4580 INPUT "WOLLEN SIE ZWISCHENERGEBNISSE SEHEN (J/N) ";ZW#
4590 IF (ZW#<>"J") AND (ZW#<>"N") GOTO 4580
4600 RETURN

```

```

5000 REM
5010 REM *****
5020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Ausdrucken der letzten Aenderung und der Summe **
5030 REM **                   der Querkraefte und Verschiebungen auf Bild- **
5040 REM **                   schirm                                     **
5050 REM *****
5060 REM
5070 IF ZW$="N" GOTO 5250
5080 PRINT " "
5090 PRINT "QUERKRAEFTE UND VERSCHIEBUNGEN:"
5100 PRINT " "
5110 PRINT TAB(5) "LETZTE AENDERUNG      SUMME"
5120 FOR R1=0 TO N
5130 R=N+1-R1
5140 PRINT R; TAB(6) USING "DW=##.###0000";W(R,0);
5150 PRINT TAB(23) USING "W=##.###0000";W(R,1);
5160 PRINT " [cm] "
5170 PRINT TAB(6) USING "DQ=##.###0000";Q(R-1,0);
5180 PRINT TAB(23) USING "Q=##.###0000";Q(R-1,1);
5190 PRINT " [KN] "
5200 NEXT R1
5210 PRINT " "
5220 PRINT "SCHLEIFE";S;"MAL DURCHLAUFEN"
5230 PRINT " "
5240 STOP
5250 RETURN

```

```

5500 REM
5510 REM *****
5520 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen der Verschiebung, der Momente und der **
5530 REM **                   Querkraft (falls vorhanden auch der Auflager- **
5540 REM **                   bzw. Federkraft) fuer einen Gerueststrahlen auf **
5550 REM **                   dem Bildschirm                               **
5560 REM *****
5570 REM
5580 IF (HE=0) AND (R=1) GOTO 5780
5590 W(R,2)=W(R,1)
5600 IF K(R,0)=1 THEN W(R,2)=0
5610 PRINT R; TAB(4) USING "_i W=##.###0000";W(R,2);
5620 PRINT " [cm] ";
5630 IF C(R,0)=0 THEN F(R,1)=0 : PRINT " " : GOTO 5730
5640 IF ABS(W(R,1))<G(R,0) THEN F(R,1)=0 : GOTO 5680
5650 F(R,1)=(-1)*(ABS(W(R,1))-G(R,0))*C(R,0)
5660 IF W(R,1)<0 THEN F(R,1)=ABS(F(R,1))
5670 IF K(R,0)=1 GOTO 5710
5680 PRINT TAB(30) USING "F=##.###0000";F(R,1);
5690 PRINT TAB(44) "[KN]"
5700 GOTO 5730
5710 PRINT TAB(30) USING "A=##.###0000";F(R,1);
5720 PRINT TAB(44) "[KN]"
5730 PRINT TAB(5) USING "i M=##.###0000";M1;
5740 PRINT TAB(20) "[KNcm]"
5750 PRINT TAB(5) USING "i Q=##.###0000";Q(R-1,1);
5760 PRINT TAB(20) "[KN]";
5770 IF R<>1 GOTO 5850
5780 SH=0
5790 FOR R=1 TO N+1
5800 SH=SH-H(R,1)-F(R,1)
5810 NEXT R
5820 PRINT TAB(30) USING "A=##.###0000";SH;
5830 PRINT TAB(44) "[KN]"
5840 GOTO 5880
5850 PRINT " "
5860 PRINT TAB(5) USING "i M=##.###0000";M2;
5870 PRINT TAB(20) "[KNcm]"
5880 RETURN

```

```

6000 REM
6010 REM *****
6020 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken des Tabellenkopfes der Ergebnisaus- **
6030 REM ** gabe, Berechnung der Momente, Ausdrucken von **
6040 REM ** Angaben zu der Zahl der Iterationsschritte, zu **
6050 REM ** Spindel- und Federwerten auf dem Drucker **
6060 REM *****
6070 REM
6080 PRINT " "
6090 PRINT "STELLEN SIE BITTE DEN DRUCKER EIN!"
6100 PRINT " "
6110 PRINT "GEBEN SIE BITTE DEN GEWUENSCHTEN TABELLENKOPF EIN ";
6120 INPUT "(maximal V = 60 Zeichen) : ";F1$
6130 LPRINT "*****"
6140 LPRINT "***** ENDERGEBNISSE *****"
6150 LPRINT "*****"
6160 IF D$="N" GOTO 6180
6170 LPRINT "** VERWENDETER EINGABEDATENSATZ VON DATEI ";DN$; TAB(65) "**"
6180 LPRINT "** ";F1$; TAB(65) "**"
6190 LPRINT "** AUSSTEIFUNGSFAKTOR ="; USING "##.##";DL;
6200 LPRINT TAB(65) "**"
6210 LPRINT "*****"
6220 LPRINT " "
6230 LPRINT USING " P =##.##";P;
6240 LPRINT " [KN] "
6250 LPRINT " "
6260 IF N=1 GOTO 6330
6270 FOR R1=0 TO N-2
6280 R=N+1-R1
6290 M1=H3/2*Q(R-1,1)
6300 M2=-M1
6310 GOSUB 7000
6320 NEXT R1
6330 R=2
6340 M1=M0*Q(1,1)+M5*Q(0,1)
6350 M2=MU*Q(1,1)+MS*Q(0,1)
6360 GOSUB 7000
6370 R=1
6380 IF HE=0 THEN LPRINT R; TAB(4) "_I W= 0.000E+00 [cm]"; : GOTO 6400
6390 M1=Q(0,1)*HE
6400 GOSUB 7000
6410 LPRINT " "
6420 LPRINT S-1;" ITERATIONSSCHRITTE UND ";FS;" FEDERITERATIONSSCHRITTE"
6430 IF HE=0 GOTO 6490
6440 LPRINT " "
6450 LPRINT USING "SPINDELAUSMITTE = ##.##";EX;
6460 LPRINT TAB(26) "[cm]"
6470 LPRINT "SPINDELHOEHE =";HE;
6480 LPRINT TAB(26) "[cm]"
6490 FOR R=2 TO N+1
6500 IF (C(R,0)=0) OR (K(R,0)=1) GOTO 6570
6510 LPRINT " "
6520 LPRINT "FEDER AN KNOTEN NR. ";R; ":"
6530 LPRINT "FEDERSTEIFIGKEIT =";C(R,0);
6540 LPRINT TAB(26) "[KN/cm]"
6550 LPRINT "FEDERLOSE =";G(R,0);
6560 LPRINT TAB(26) "[cm]"
6570 NEXT R : LPRINT " "
6580 IF FF$="N" GOTO 6710
6590 FOR R=2 TO N+1
6600 IF (FG(R,1)=1) AND (ST(R)=R) THEN LPRINT FG$;R-1;". STOCKWERKS (OBEN)"
6610 IF (FG(R,2)=1) AND (ST(R)=R) THEN LPRINT FG$;R-1;". STOCKWERKS (UNTEN)"
6620 NEXT R : LPRINT " "
6630 FG=0
6640 FOR R=2 TO N+1
6650 IF ST(R)=R THEN FG=1
6660 NEXT R

```

```

6670 FH$="IN DEN RAHMENSTIELEN NOCH KEIN FLIESSGELENK ERREICHT !"
6680 IF (FF$="J") AND (FG<>1) THEN LPRINT FH$ : LPRINT " "
6690 LPRINT USING "PLASTISCHES GRENZMOMENT Mp1,N [KNcm] =#####.##";VW
6700 LPRINT "(fuer Rohrquerschnitt";D;"*";T;"und Streckgrenze =" ;BS;"[KN/cm^2])"
6710 RETURN

```

```

7000 REM
7010 REM *****
7020 REM ** UNTERPROGRAMM: Printen der Verschiebung, der Momente und der **
7030 REM ** Querkraft (falls vorhanden auch der Auflager- **
7040 REM ** bzw. Federkraft) fuer einen Geruestrahmen auf **
7050 REM ** dem Drucker **
7060 REM *****
7070 REM
7080 IF (HE=0) AND (R=1) GOTO 7310
7090 W(R,2)=W(R,1)
7100 IF K(R,0)=1 THEN W(R,2)=0
7110 LPRINT R; TAB(4) USING "___I W=##.#####";W(R,2);
7120 LPRINT " [cm] ";
7130 IF C(R,0)=0 THEN F(R,1)=0 : GOTO 7230
7140 IF ABS(W(R,1))<G(R,0) THEN F1=0 : GOTO 7180
7150 F(R,1)=(-1)*(ABS(W(R,1))-G(R,0))*C(R,0)
7160 IF W(R,1)<0 THEN F(R,1)=ABS(F(R,1))
7170 IF K(R,0)=1 GOTO 7210
7180 LPRINT TAB(27) USING "F=##.#####";F(R,1);
7190 LPRINT TAB(41) "[KN]";
7200 GOTO 7230
7210 LPRINT TAB(27) USING "A=##.#####";F(R,1);
7220 LPRINT TAB(41) "[KN]";
7230 LPRINT TAB(48) USING "H=##.#####";H(R,1);
7240 LPRINT " [KN] "
7250 IF (HE=0) AND (R=1) GOTO 7420
7260 LPRINT TAB(5) USING "I M=##.#####";M1;
7270 LPRINT " [KNcm] "
7280 LPRINT TAB(5) USING "I Q=##.#####";Q(R-1,1);
7290 LPRINT TAB(20) "[KN]";
7300 IF R<>1 GOTO 7400
7310 SH=0
7320 FOR R1=1 TO N+1
7330 SH=SH-H(R1,1)-F(R1,1)
7340 NEXT R1
7350 LPRINT TAB(27) USING "A=##.#####";SH;
7360 LPRINT TAB(41) "[KN]";
7370 IF HE=0 GOTO 7230
7380 LPRINT " "
7390 GOTO 7420
7400 LPRINT TAB(5) USING "I M=##.#####";M2;
7410 LPRINT " [KNcm] "
7420 RETURN

```

```

7500 REM *****
7510 REM *****
7520 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken der Vorwerte auf dem Drucker **
7530 REM *****
7540 REM
7550 LPRINT " "
7560 LPRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE I.O. = ###.###";OG
7570 LPRINT USING "OMEGA 0 ,THEORIE II.O. = ###.###";OH
7580 LPRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE I.O. = ###.###";OA
7590 LPRINT USING "OMEGA 1 ,THEORIE II.O. = ###.###";OB
7600 LPRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE I.O. = ###.###";OC
7610 LPRINT USING "OMEGA 2 ,THEORIE II.O. = ###.###";OD
7620 LPRINT USING "OMEGA 00,THEORIE I.O. = ###.###";OI
7630 LPRINT USING "OMEGA 00,THEORIE II.O. = ###.###";OJ
7640 LPRINT USING "OMEGA 10,THEORIE I.O. = ###.###";OE
7650 LPRINT USING "OMEGA 10,THEORIE II.O. = ###.###";OF
7660 LPRINT USING "NO ,THEORIE I.O. = ###.### ";NO
7670 LPRINT USING "MU ,THEORIE I.O. = ###.### ";MU
7680 LPRINT USING "MS ,THEORIE I.O. = ###.### ";MS
7690 LPRINT USING "MR ,THEORIE I.O. = ###.### ";MR
7700 LPRINT USING "MSP ,THEORIE I.O. = ###.### ";MG
7710 RETURN

```

```

8000 REM
8010 REM *****
8020 REM ** UNTERPROGRAMM: Einlesen der Konstanten fuer den Ablauf der **
8030 REM ** Eingabe per Hand **
8040 REM *****
8050 REM
8060 DIM W$(22),E$(22),U$(15)
8070 FOR R=0 TO 22 : READ W$(R),E$(R) : NEXT R
8080 FOR R=0 TO 6 : READ U$(R) : NEXT R
8090 E1=0 : E2=8 : U1=0 : U2=2
8100 GOSUB 8500
8110 E1=9 : E2=14 : U1=0 : U2=3
8120 PRINT " "
8130 INPUT "WOLLEN SIE SPINDELWERTE EINGEBEN (J/N)";F$
8140 IF F$="N" GOTO 8180
8150 IF F$<>"J" GOTO 8130
8160 GOSUB 8500
8170 IF A(16)<>0 GOTO 8220
8180 E1=15 : E2=17 : U1=0 : U2=4
8190 GOSUB 9500
8200 GOSUB 8500
8210 IF A(15)>8 GOTO 8180
8220 T$="SIE HABEN KEINE SPINDELWERTE EINGEGEBEN !"
8230 IF (A(16)>0) AND (A(14)=0) THEN PRINT T$ : STOP : E1=9 : E2=14 : U1=0 :
U2=3 : GOTO 8160
8240 N=A(15) : HE=A(16) : P=A(17)
8250 E1=18 : E2=22 : U1=0 : U2=5
8260 FOR R1=1 TO N+1
8270 GOSUB 8500
8280 K(R1,1)=A(18) : K(R1,0)=A(19) : C(R1,0)=A(20) : B(R1,0)=A(21) :
H(R1,1)=A(22)
8290 NEXT R1
8300 PRINT " "
8310 DATA STIELFLAECHE,cm^2,STIELSTEIFIGKEIT,cm^4,E-MODUL-STIEL,KN/cm^2,
STOCKWERKSHOEHE,cm,AUSSTEIFUNGSLAENGE,cm
8320 DATA RIEGELFLAECHE,cm^2,RIEGELSTEIFIGKEIT,cm^4,E-MODUL-RIEGEL,KN/cm^2,
RAHMENBREITE,cm
8330 DATA SPINDELFLAECHE,cm^2,SPINDELSTEIFIGKEIT,cm^4,E-MODUL-SPINDEL,KN/cm^2
8340 DATA INNENDURCHMESSER STAENDER,mm,AUSSENDURCHMESSER SPINDEL,mm,
UEBERDECKUNGSLAENGE,cm
8350 DATA ANZAHL DER RAHMEN,2-8,SPINDELHOEHE,cm,VERTIKALE LAST,KN
8360 DATA AUSMITTIGKEIT,mm,FESTHALTUNG,1=JA,FEDERSTEIFIGKEIT,KN/cm,FEDERLOSE,cm,
HORIZONTALE LAST,KN
8370 DATA "EINGABE VON ",WERTEN,RAHMEN,SPINDEL,SYSTEM,KNOTEN,"AENDERUNG VON "
8380 RETURN

```

```

8500 REM
8510 REM *****
8520 REM ** UNTERPROGRAMM:   Eingabe per Hand mit Printen der bereits einge- **
8530 REM **                       gebenen Daten auf dem Bildschirm           **
8540 REM *****
8550 REM
8560 GOSUB 9000
8570 FOR R=E1 TO E2
8580 IF (U2=5) AND (R1=1) THEN R=22
8590 PRINT R; TAB(5) W$(R); TAB(31) "[";E$(R);"]"; TAB(42)
8600 INPUT A(R)
8610 NEXT R
8620 GOSUB 9000
8630 FOR R=E1 TO E2
8640 IF R1=1 THEN R=22
8650 PRINT R; TAB(5) W$(R);
8660 PRINT TAB(30) USING "###.###0000";A(R);
8670 PRINT TAB(41) "[";E$(R);"]" : NEXT R
8680 PRINT " "
8690 INPUT "NR. DES ZU AENDERNDEN WERTES [999=KEINE AENDERUNG] :";AE
8700 IF AE=999 GOTO 8760
8710 IF (AE<E1) OR (AE>E2) GOTO 8620
8720 U1=5 : GOSUB 9000
8730 PRINT AE; TAB(5) W$(AE); TAB(31) "[";E$(AE);"]"; TAB(42)
8740 INPUT A(AE)
8750 GOTO 8620
8760 RETURN

9000 REM
9010 REM *****
9020 REM ** UNTERPROGRAMM:   Printen des Kopfes fuer die Eingabe per Hand **
9030 REM **                       auf dem Bildschirm           **
9040 REM *****
9050 REM
9060 PRINT " "
9070 PRINT "======"
9080 PRINT TAB(22) U$(U1);U$(U2);U$(1)
9090 IF U2=5 THEN PRINT TAB(27) "KNOTEN NR.:";R1
9100 PRINT "======"
9110 PRINT "NR"
9120 RETURN

```

```

9500 REM
9510 REM *****
9520 REM ** UNTERPROGRAMM: Ausdrucken von Hinweisen zur Eingabe auf dem **
9530 REM ** Bildschirm **
9540 REM *****
9550 REM
9560 PRINT "***** HINWEISE ZUR EINGABE: *****"
9570 PRINT " "
9580 PRINT " "
9590 PRINT "      iP  iP
          V  V
9600 PRINT "      ii>\---\ KNOTEN 5 <--- H5 (Halbe Horizontallast !!!) "
9610 PRINT "          /---/ "
9620 PRINT "          /---/ KNOTEN 4 <--- H4 (Halbe Horizontallast !!!) "
9630 PRINT "          /---/ "
9640 PRINT "          /---/ KNOTEN 3 <--- H3 (Halbe Horizontallast !!!) "
9650 PRINT "          /---/ "
9660 PRINT "      ii-/\---/ KNOTEN 3 <--- H3 (Halbe Horizontallast !!!) "
9670 PRINT "          /---/ (Halbe Federsteifigkeit !!!)"
9680 PRINT "          /---/ "
9690 PRINT "          /---/ KNOTEN 2 <--- H2 (Halbe Horizontallast !!!) "
9700 PRINT "          /---/ "
9710 PRINT "          /---/ "
9720 PRINT "          /---/ KNOTEN 1 <--- H1 (Halbe Horizontallast !!!) "
9730 PRINT "          i  i "
9740 PRINT "          /  / (Spindel) "
9750 PRINT "          _i_ _i_ "
9760 PRINT "          "
9770 PRINT "          + <---i (Kraefte, Wege) "
9780 STOP : RETURN

```