

Einfluß der Wölbkrafttorsion auf die Tragfähigkeit von Pfetten im Hinblick auf die Zulassungsverfahren.

T 1981

T 1981

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Institut für Baukonstruktionen und Festigkeit

o. Prof. Dr.-Ing. J. Lindner

Schl u ß b e r i c h t

zum Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik IV/1-5-506/87

***"Einfluß der Wölbkrafttorsion auf die Tragfähigkeit
von Pfetten im Hinblick auf die Zulassungsverfahren"***

Bericht Nr. 2088

15.10.1987

Dieser Bericht besteht aus 94 Seiten und 19 Seiten Anlagen

1. ALLGEMEINES

Dünnwandige kaltgeformte Bauteile werden in zunehmendem Maße im Bauwesen verwendet. Die Verwendung von Kaltprofilpfetten wird in der Bundesrepublik derzeit noch über Zulassungen geregelt, da bisher keine einfachen ingenieurmäßigen Berechnungsverfahren für diese Pfetten zur Verfügung standen und zusätzliche Informationen aus Versuchen erwünscht waren. Inzwischen liegen jedoch eine große Anzahl von Großversuchen vor, so daß über das prinzipielle Tragverhalten Klarheit herrscht [1].

Mit dem Entwurf zur DAST-Richtlinie 016 [2] wurden Nachweismöglichkeiten vorgestellt, mit denen insbesondere der Einfluß derjenigen Querschnittsteile zutreffend beurteilt werden kann, die durch örtliches Beulen ausgefallen sind. Das Modell der wirksamen Breiten berücksichtigt dies.

Pfetten werden in den meisten Fällen durch die Schubsteifigkeit der Dachhaut ausgesteift, so daß hierdurch eine gebundene Drehachse für Torsionsbelastung entsteht [3]. Für Pfetten mit schiefen Hauptachsen, die sich durch das Ausfallen beulgefährdeter Querschnittsbereiche auch bei symmetrischen Profilen ergeben, stellt sich hierdurch eine wesentliche Änderung des Tragverhaltens gegenüber einer Pfette mit freier Drehachse ein. Andererseits führen schiefe Hauptachsen dazu, daß aus der in der Regel an Pfettenoberkante angreifenden Last Torsionsmomente entstehen. Diese Torsionsmomente können überwiegend von der Dachhaut abgetragen werden, indem deren Wirkung zusätzlich als Drehfeder c_{φ} [kNm/m] rechnerisch berücksichtigt wird. Trotzdem wird jedoch auch die Pfette, wenn auch in geringem Maße, durch Torsion beansprucht, woraus bei den üblichen offenen Pfettenprofilen Wölblängsspannungen entstehen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird nun untersucht, ob die ungünstige Wirkung von Wölblängsspannungen durch die aussteifende Wirkung der Dachhaut soweit kom-

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 2 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

pensiert wird, daß Nachweise nach vereinfachten Verfahren ohne zusätzliche Stützung durch Versuche außerhalb von Zulassungen ausreichen.

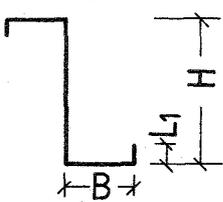
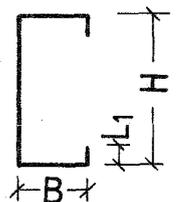
Die Untersuchungen werden so durchgeführt, daß jeweils das Ergebnis einer Rechnung nach Spannungstheorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der haltenden Wirkung der Dacheindeckung (gebundene Drehachse und Drehbettung) einer vereinfachten Rechnung mit Biegung um die zur Dachebene parallele Achse ohne Torsion gegenübergestellt wird. Zusätzlich wird bei dieser vereinfachten Rechnung das Biegedrillknicken, falls erforderlich, berücksichtigt.

2. GEGENSTAND DER VERGLEICHSRECHNUNGEN

2.1 PFETTENQUERSCHNITTE

Aufgrund der vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten der Kaltprofilpfetten, die sich in den Zulassungen widerspiegeln, mußte für die Vergleichsrechnung eine Auswahl möglicher Profile getroffen werden. Die umfangreichen Vergleichsrechnungen wurden an C- und Z-Profilen durchgeführt. Die Festlegung der Querschnitte erfolgte nach Durchsicht der entsprechenden Querschnittsgeometrien in den Zulassungen, um das derzeit verwendete Spektrum möglichst gut abzudecken. Eine Zusammenstellung der Pfettenquerschnitte gibt Tabelle 1. Dabei wurden jeweils 3 unterschiedliche Blechdicken mit $t = 1,5 \text{ mm}$, 2 mm und 3 mm gewählt.

Tabelle 1 Untersuchte Querschnitte

		H [mm]	B [mm]	L_1 [mm]
1	2	3	4	5
	Z 120	120	60	20
	Z 180	180	70	20
	Z 240	240	70	20
	C 120	120	60	15
	C 180	180	70	20
	C 240	240	80	25
$t = 1,5 \text{ mm} \quad ; \quad 2 \text{ mm} \quad ; \quad 3 \text{ mm}$				

Sicken im Gurt und/oder Steg wurden hier nicht untersucht, da durch die Sicken die Querschnittsbereiche, die ausbeulen, kleiner werden. Der wirksame Querschnitt wird also größer. Dies ergibt sich aber auch, wenn man die Blechdicke erhöht. Diese wurde in der Vergleichsrechnung variiert, so daß die

Untersuchungen auch auf Querschnitte mit Sicken anwendbar sind.

Um die Gültigkeit der Ergebnisse auch im Hinblick auf andere mögliche verwendete Pfettenquerschnitte wie z.B. Sigma-Pfetten [3], [4] zu beurteilen, wurden hierzu einige zusätzliche Rechnungen mit diesen Querschnitten durchgeführt. Im Abschnitt 7. wird hierauf noch näher eingegangen.

Nicht untersucht wurden hier Pfetten, bei denen Gurte ohne Randverstärkungen (also ohne Lippen) vorliegen, wie z.B. U-Profile. Aus diesem Grunde sind die Ergebnisse des Abschnittes 8. generell nicht auf solche Querschnitte anwendbar.

2.2 STRECKGRENZE

Als Streckgrenze wurde $\beta_s = 320 \text{ N/mm}^2$ gewählt. Da die genauere Rechnung und die Näherungsrechnung mit dieser Streckgrenze durchgeführt wurde, würde die Wahl eines anderen Wertes für die Streckgrenze die Ergebnisse praktisch nicht beeinflussen.

2.3 STATISCHES SYSTEM

Es wurden im wesentlichen Einfeldträger und Zweifeldträger untersucht, einige Vergleiche wurden auch an Drei- und Vierfeldträgern angestellt. Als Stützweite wurden jeweils 3 verschiedene Längen untersucht.

Der Querschnitt wurde bei den Mehrfeldträgern konstant angenommen, Verstärkungen im Auflagerbereich (z.B. durch Überlappung) wurden nicht betrachtet. Als Belastung wurde sowohl Auflast als auch Sogbelastung betrachtet. Die Längen wurden dabei so bestimmt, daß sich in etwa eine γ -fache Belastung der Pfetten von 2 kN/m, 4 kN/m bzw. 7 kN/m ergibt.

* ** ***

* bei großer Spannweite
** bei mittlerer Spannweite
*** bei kurzer Spannweite

2.4 DREHBETTUNG

Durch die Verbindung der Pfetten mit der Dacheindeckung entsteht neben der gebundenen Drehachse durch die Schubsteifigkeit auch eine haltende Wirkung durch die Biegesteifigkeit der Dachhaut, die man als Drehbettung bezeichnet. Als Dachhaut werden hier Trapezbleche betrachtet, da diese die größte Bedeutung haben. Auf andere Dachdeckungen sind die Ergebnisse dann übertragbar, wenn wenigstens gleich große Steifigkeiten vorliegen. Wie in [3] erläutert, setzt sich diese Drehbettung aus 3 Verformungsanteilen zusammen:

- die Verformung der Trapezbleche über deren Spannweite bei Annahme einer starren Verbindung: c_{DM}
- die Verformung im Anschlußbereich: c_{DA}
- die Verformung der Pfette selber (das Aufweiten der Pfette): c_{DP} .

$$\frac{1}{c_D} = \frac{1}{c_{DM}} + \frac{1}{c_{DA}} + \frac{1}{c_{DP}} \quad (1)$$

Der erste Anteil c_{DM} wird hier vernachlässigt, da er im Vergleich zu den anderen gering ist, [3]. Der Anteil aus der Verformung der Pfette c_{DP} wird wie in [3] beschrieben, ermittelt. Die verwendeten Beziehungen sind im Bild 1 dargestellt, wobei der Einfluß der Querkontraktionen vernachlässigt wurde.

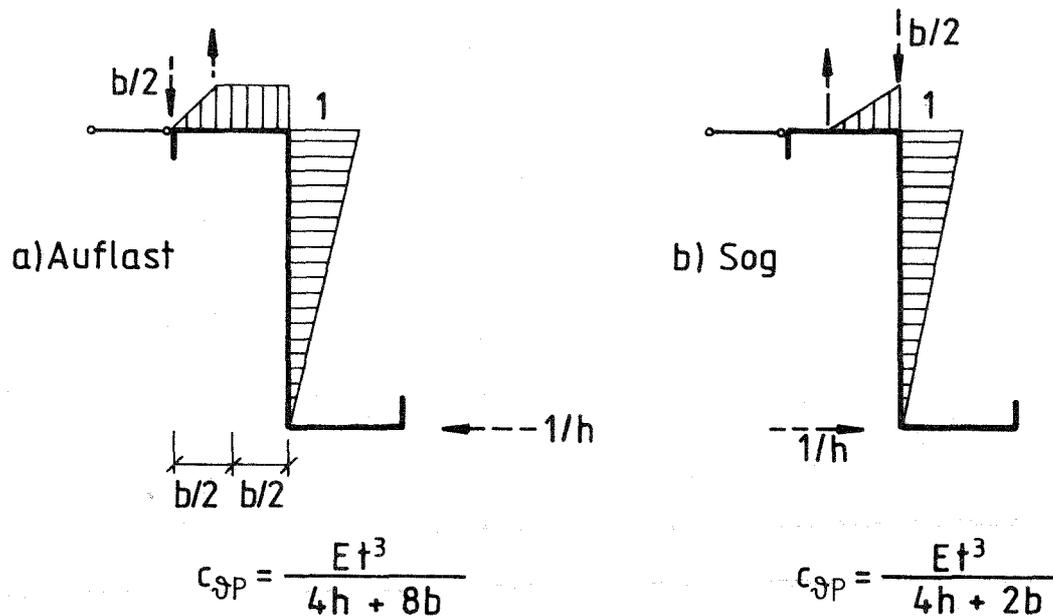


Bild 1 Hilfszustände zur Ermittlung der Querschnitts-Verformung der Pfette

Die Zahlenwerte, die sich für die untersuchten Pfetten ergeben, sind in Tabelle 3 eingetragen. Dabei ist c_1 der resultierende Drehbettungswert bei Befestigung in jedem 2. Untergurt ($e=2b_r$), c_2 der entsprechende Wert bei Befestigung in jedem Untergurt ($e=b_r$). Daraus ist ersichtlich, daß dieser Einfluß insbesondere bei der kleinsten Blechdicke $t=1,5$ mm von erheblichem Einfluß ist.

Der Anteil der Anschlußsteifigkeit $c_{\vartheta A}$ wird für den Lastfall Auflast [3] entnommen und für den Lastfall Sog den Versuchen zur Arbeit [6]. Die Berechnungen für die Drehbettung erfolgten sowohl für Befestigung in jedem Untergurt ($e=b_r$), als auch bei Befestigung in jedem 2. Untergurt ($e=2b_r$). Für das Trapezblech wurde die Positivlage angenommen. Die der Rechnung zugrunde gelegten Werte für $c_{\vartheta A}$ sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Auswertungen sind also für alle Dacheindeckungen anwendbar, die durch ihre Schubsteifigkeit eine gebundene Drehachse erzeugen und deren Anschlußsteifigkeit mindestens die Werte der Tabelle 2 erreicht. Das Vorgehen zur Ermittlung von c_{ϑ} wird an einem Beispiel gezeigt.

Pfette: Z 180/2,0 ; Auflast ; $c_{\vartheta A}$ nach [3], Tab. 2, Zeile 2

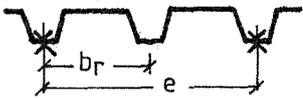
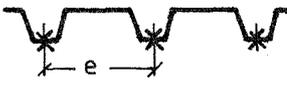
$$c_{\vartheta A} = 3,1 \cdot (70/100)^2 = 1,52 \text{ kNm/m}$$

$$c_{\text{SP}} = \frac{21000 \cdot 2^3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 180 + 8 \cdot 70} = 1,31 \text{ kNm/m}$$

$$\frac{1}{c_{\text{S}}} = \frac{1}{1,52} + \frac{1}{1,31}$$

$$c_{\text{S}} = 0,70 \text{ kNm/m}$$

Tabelle 2 Anschlußsteifigkeiten c_{SA} [kNm/m]

		c_{SA} für	
		$e = 2b_r$	$e = b_r$
			
	1	2	3
1	Auflast	3,1	5,2
2	Sog	1,7	2,6

Die Tabelle 3 enthält die Zusammenstellung der verwendeten Drehbettungswerte, die sich entsprechend Gl. (1) aus den Anteilen c_{SA} und c_{SP} ergeben.

Tabelle 3 Drehbettungswerte $c_{\vartheta P}$, $c_{\vartheta 1}$, $c_{\vartheta 2}$ [kNm/m]

	Pfette	Auflast			Sog		
		$c_{\vartheta P}$	$c_1 \equiv c_{\vartheta 1}$ ($e=2b_r$)	$c_2 \equiv c_{\vartheta 2}$ ($e=b_r$)	$c_{\vartheta P}$	$c_1 \equiv c_{\vartheta 1}$ ($e=2b_r$)	$c_2 \equiv c_{\vartheta 2}$ ($e=b_r$)
	1	2	3	4	5	6	7
1	Z 120/1,5	0,74	0,44	0,53	1,18	0,40	0,52
2	Z 120/2,0	1,75	0,68	0,90	2,80	0,50	0,70
3	Z 120/3,0	5,91	0,94	1,42	9,45	0,57	0,85
4	Z 180/1,5	0,55	0,41	0,45	0,82	0,41	0,50
5	Z 180/2,0	1,31	0,70	0,87	1,95	0,58	0,77
6	Z 180/3,0	4,43	1,13	1,82	6,59	0,74	1,07
7	Z 240/1,5	0,47	0,36	0,39	0,64	0,36	0,43
8	Z 240/2,0	1,11	0,64	0,77	1,53	0,54	0,69
9	Z 240/3,0	3,73	1,08	1,51	5,15	0,72	1,02
10	C 120/1,5	1,18	0,57	0,72	0,74	0,33	0,41
11	C 120/2,0	2,80	0,80	1,12	1,75	0,45	0,61
12	C 120/3,0	9,45	1,00	1,56	5,91	0,55	0,81
13	C 180/1,5	0,82	0,53	0,62	0,55	0,33	0,39
14	C 180/2,0	1,95	0,85	1,11	1,31	0,51	0,65
15	C 180/3,0	6,59	1,23	1,84	4,43	0,70	0,99
16	C 240/1,5	0,63	0,48	0,53	0,44	0,31	0,35
17	C 240/2,0	1,50	0,85	1,03	1,05	0,53	0,64
18	C 240/3,0	5,06	1,43	2,01	3,54	0,83	1,13

Zur Vereinfachung der Schreibweise werden in den folgenden Tabellen jeweils die Bezeichnungen c_1 , c_2 verwendet.

2.5 BELASTUNG

Als Belastung der Pfetten wurde eine konstante Gleichlast q_z (senkrecht zur Dacheindeckung wirkend) angenommen. Es wird also angenommen, daß die bei schrägen Dächern vorhandene Lastkomponente q_y in Dachebene auch in der Dachebene abgetragen wird. Für den Lastfall Auflast wird der Kraftangriffspunkt an der Kante zwischen Obergurt und Stög angenommen. Für den Lastfall Sog wird die Last in der Mitte des Obergurtes angesetzt, da bei Sog die Last durch die an dieser Stelle vorhandenen Verbindungselemente übertragen werden muß.

Der Einfluß einer Normalkraft wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht, so daß die Ergebnisse und Schlußfolgerungen nicht ohne zusätzliche Untersuchungen auf Pfetten mit Normalkraft übertragbar sind.

3. ERMITTLUNG DER WIRKSAMEN QUERSCHNITTE

In [2] wird zur Berechnung dünnwandiger Bauteile, bei denen einzelne Querschnittsteile durch Ausbeulen versagen, das Modell der wirksamen Breiten nach G. Winter verwendet. Dieses Modell findet in ausländischen Vorschriften seit längerer Zeit Verwendung, [13], [14]. Beim Ausbeulen einzelner Querschnittsteile lagert sich danach die Spannung vom ausgebeulten Plattenbereich auf die durch angrenzende Querschnittsteile ausgesteiften Plattenrändern um. Diese nichtlineare Spannungsverteilung wird durch konstante, flächengleiche Spannungsblöcke im Bereich der steifen Plattenränder (Kanten) ersetzt. Für die Berechnung der Querschnittswerte und für die Bemessung werden nur die Querschnittsbereiche berücksichtigt, die sich hiernach an der Spannungsaufnahme beteiligen.

Für die Vergleichsrechnungen werden hier ebenfalls die wirksamen Querschnitte nach [2] verwendet. Bei der Bestimmung der wirksamen Breiten wird von der im Bild 2 angegebenen Spannungsverteilung ausgegangen.

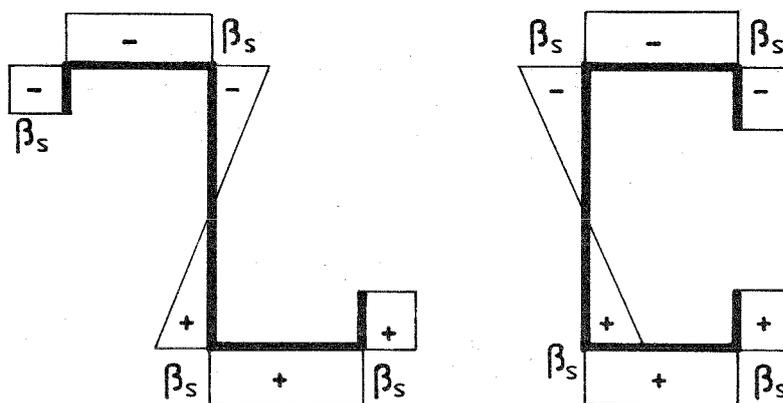
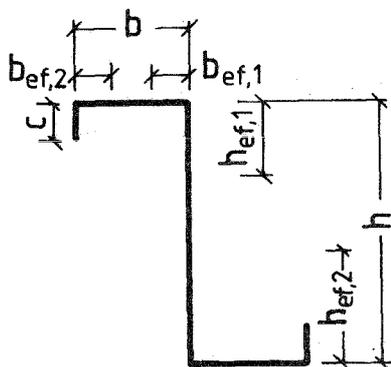


Bild 2 Angenommene Spannungsverteilung für die Berechnung der wirksamen Querschnitte

Diese Spannungsverteilung wird sich nicht bei allen Lastfällen genau so einstellen. Die wirksamen Querschnitte werden aber sowohl bei der angenommenen Spannungsverteilung nach Bild 2 als auch bei der sich endgültig ergebenden Spannungsverteilung in etwa die gleiche Verteilung haben, d.h. an den gleichen Stellen fällt der Querschnitt aus (Lippe, Obergurt und Steg). Weiterhin werden sowohl die genaue Rechnung nach der Spannungstheorie II. Ordnung als auch die Vergleichsrechnung mit dem gleichen Querschnitt durchgeführt, so daß die Berücksichtigung der "genauen" Spannungsverteilung das Ergebnis nur geringfügig beeinflussen würde.

Für den durch die Lippe ausgesteiften Obergurt wird die in [2] Abschnitt 3.10.2 vorgeschlagene Ermittlung der Tragspannung des Lippenbereiches mit der Knickspannungslinie c nicht angewendet. Zwischenzeitlich angestellte weitergehende Untersuchungen haben ergeben, daß die Knickspannungslinie c zu konservative (z.T. gar nicht mögliche) Ergebnisse liefert. Dagegen liefert die Anwendung der Biegedrillknickkurve zufriedenstellende Werte der mitwirkenden Breiten des Lippenbereiches. Das hier angewendete etwas modifizierte Berechnungsverfahren wird auch in eine überarbeitete Fassung von [2] übernommen werden. Im folgenden wird für den Pfettenquerschnitt Z 180/1,5 die Ermittlung des wirksamen Querschnitts gezeigt.

Querschnitt:



$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$c = 20 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

Bild 3 Bezeichnungen zur Ermittlung der wirksamen Breiten

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 12 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

a) Bestimmung der wirksamen Stegfläche

Spannungsverhältnis im Steg:

$$\psi = -1,0$$

$$k_{\sigma} = 23,9$$

$$h/t = 180/1,5 = 120$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{1,052}{\sqrt{23,9}} \cdot 120 \sqrt{320/210000} = 1,008$$

$$\rho = \left[(0,97 + 0,03\psi) - (0,16 + 0,06\psi)/\bar{\lambda}_p \right] / \bar{\lambda}_p$$

$$\rho = (0,94 - 0,1/1,008)/1,008 = 0,834$$

$$k_1 = -0,04\psi^2 + 0,12\psi + 0,42 = 0,26$$

$$k_2 = +0,04\psi^2 - 0,12\psi + 0,58 = 0,74$$

$$h_{ef,1} = 180 \cdot 0,834 \cdot 0,26 = 39,0 \text{ mm}$$

$$h_{ef,2} = 180 \cdot 0,834 \cdot 0,74 = 111,1 \text{ mm}$$

b) Wirksame Gurtfläche

$$\psi = 1$$

$$k_{\sigma} = 4$$

$$b/t = 70/1,5 = 46,667$$

$$\bar{\lambda}_p = 0,958 \quad \rho = 0,804$$

$$b_{ef,1} = 28,1 \text{ mm}$$

c) Bestimmung des wirksamen Querschnitts der Randaussteifung $A_{ef,2}$

- wirksame Gurtlänge $b_{ef,2}$

$$b_{ef,2} = b_{ef,1} = 28,1 \text{ mm}$$

- wirksame Lippenfläche c_{ef}

$$\frac{c}{b_p} = \frac{20}{70} = 0,29 < 0,35 \rightarrow k_\sigma = 0,5$$

$$\bar{\lambda}_p = 0,774 \rightarrow \rho = 0,925$$

$$c_{ef} = 18,5 \text{ mm}$$

- Querschnittswerte $A_{g,2}$, A_2 , I_2

$$A_{g,2} = (35 + 20) \cdot 1,5 = 82,5 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = (28,1 + 18,5) / 1,5 = 69,9 \text{ mm}^2$$

$$Z_s = 3,67 \text{ mm} \quad I_z = 2223,2 \text{ mm}^4$$

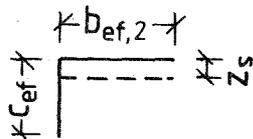


Bild 4 Randaussteifung

- Abminderungsfaktor κ_M

Elastische Bettung der Lippe

$$c_2 = \frac{210000 \cdot 1,5^3}{4 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot (70 + 180) \cdot 70^2} = 0,159 \text{ N/mm}^2$$

kritische Knickspannung des elastisch gebetteten Randes

$$\sigma_{Ki,2} = \frac{2 \sqrt{0,159 \cdot 210000 \cdot 2223,2}}{69,9} = 246,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{320}{246,5}} = 1,30 \quad \kappa_M = 0,539$$

Da $\kappa_M < 1$ und $A_2 < A_{g,2}$ sind, kann durch Iteration, bei der β_S durch $\kappa_M \cdot \beta_S$ ersetzt wird, ein genauerer Wert für A_2 berechnet werden.

Annahme: $\kappa_M = 0,77$

$$\sigma_d = 0,77 \cdot 320 = 246,4 \text{ N/mm}^2$$

Gurt:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{1,052}{\sqrt{4}} \cdot 46,7 \sqrt{\frac{246,4}{210000}} = 0,841$$

$$\rho = 0,878 \quad b_{ef,2} = 20,7 \text{ mm}$$

Lippe:

$$\bar{\lambda}_p = 0,680 \quad \rho = 0,995$$

$$c_{ef} = 19,9 \text{ mm}$$

Querschnittswerte:

$$A_2 = 75,9 \text{ mm}^2$$

$$Z_S = 3,91 \text{ mm}$$

$$I_2 = 2778 \text{ mm}^4$$

Abminderungsfaktor κ_M

$$\sigma_{ki,2} = 253,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{246,4/253,8} = 0,985 \rightarrow \kappa_M = 0,769 \sim 0,77$$

- reduzierte Fläche

$$b'_{ef,2} = 0,769 \cdot 30,7 = 23,7 \text{ mm}$$

$$c'_{ef} = 0,769 \cdot 19,9 = 15,3 \text{ mm}$$

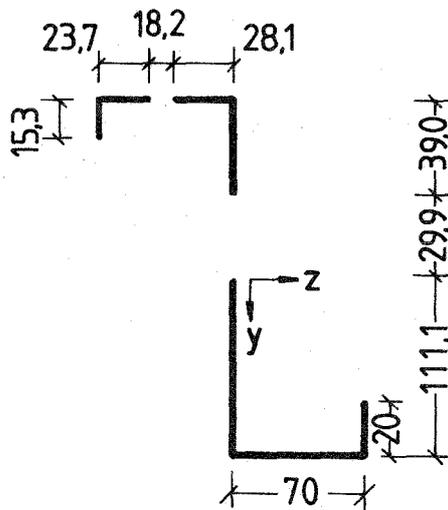


Bild 5 Wirksamer Querschnitt für das Beispiel Z 180/1,5

In der Tabelle 4 sind alle für die Rechnungen verwendeten wirksamen Breiten noch einmal zusammengestellt. Dabei werden die im Bild 6 dargestellten Bezeichnungen verwendet.

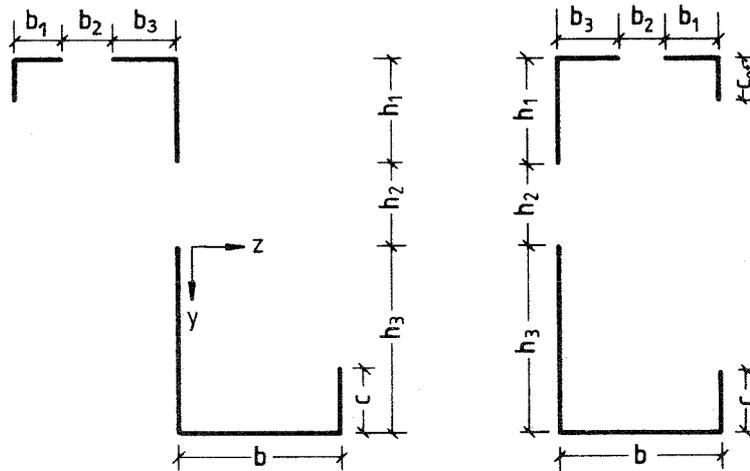


Bild 6 Bezeichnungen zu den Angaben in Tabelle 4

Tabelle 4 Zusammenstellung der wirksamen Breiten in [mm]

Pfette	c_{ef} [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	b_3 [mm]	h_1 [mm]	h_2 [mm]	h_3 [mm]	b [mm]	c [mm]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Z 120/1,5	16,4	23,8	9,6	26,7	60,0	0	60,0	60,0	20,0
Z 120/2,0	18,1	27,1	2,9	30,0	60,0	0	60,0	60,0	20,0
Z 120/3,0	19,1	28,7	1,3	30,0	60,0	0	60,0	60,0	20,0
Z 180/1,5	15,3	23,7	18,2	28,1	39,0	29,9	111,1	70,0	20,0
Z 180/2,0	16,5	28,9	7,3	33,8	90,0	0	90,0	70,0	20,0
Z 180/3,0	18,1	31,7	3,3	35,0	90,0	0	90,0	70,0	20,0
Z 240/1,5	14,8	23,1	18,8	28,1	40,2	85,4	114,4	70,0	20,0
Z 240/2,0	16,0	27,9	8,3	33,8	52,0	39,8	148,2	70,0	20,0
Z 240/3,0	17,7	31,0	4,0	35,0	120,0	0	120,0	70,0	20,0
C 120/1,5	11,8	22,6	10,7	26,7	60,0	0	60,0	60,0	15,0
C 120/2,0	12,7	25,4	4,6	30,0	60,0	0	60,0	60,0	15,0
C 120/3,0	13,8	27,6	2,4	30,0	60,0	0	60,0	60,0	15,0
C 180/1,5	15,3	23,7	18,2	28,1	39,0	29,9	111,1	70,0	20,0
C 180/2,0	16,5	28,9	7,3	33,8	90,0	0	90,0	70,0	20,0
C 180/3,0	18,1	31,7	3,3	35,0	90,0	0	90,0	70,0	20,0
C 240/1,5	16,1	23,7	27,1	29,2	40,2	85,4	114,4	80,0	25,0
C 240/2,0	20,2	30,7	13,6	35,7	52,0	39,8	148,2	80,0	25,0
C 240/3,0	22,2	35,5	4,5	40,0	120,0	0	120,0	80,0	25,0

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 17 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

Mit den Angaben der Tabelle 4 werden nun alle benötigten Querschnittswerte mit dem Querschnittswerte-Programm FEQ berechnet.

Die Bezeichnungsweise entspricht dabei der Bornscheuer-Systematik, vgl. z.B. [7], und folgt bei den gemischten Querschnittswerten der DIN 1080.

Der Programm-Ausdruck für den hier als Beispiel untersuchten Querschnitt Z 180/1,5 ist in der Anlage 1 angegeben. Eine Liste aller für die weitere Rechnung benötigten Querschnittswerte für alle untersuchten Querschnitte ist in Anlage 2 angegeben.

4. ERLÄUTERUNGEN ZU DEN RECHNERISCHEN UNTERSUCHUNGEN

4.1 SPANNUNGSTHEORIE II. ORDNUNG DES RÄUMLICH BELASTETEN STABES

4.1.1 Allgemeines

Eine Berechnung nach der Spannungstheorie II.Ordnung ist im Prinzip immer dann erforderlich, wenn Biegung um 2 Achsen und Torsion auftreten. Dieser Fall liegt im Prinzip bei den Kaltprofilen dann vor, wenn infolge des rechner. Ausfalls einzelner Querschnittsteile sich Verschiebungen der Lage des Schwerpunktes und der Hauptachsen gegenüber der Lage im vollen Querschnitt ergeben.

Unter der Annahme der Gültigkeit der Elastizitätstheorie werden hier Näherungslösungen durch Lösung des Variationsproblems nach dem Ritz'schen Verfahren ermittelt. Das elastische Potential und die Grundlagen des Ritz'schen Verfahrens sind z.B. in [7] zusammengefaßt und werden daher hier nicht noch einmal wiederholt. Die Berechnungen erfolgten mit einer etwas modifizierten Fassung des Programms [8], das auf der Anwendung der Energiemethode beruht. Als Ansatzfunktionen werden sogen. Hermite-Polynome verwendet, die sich für die Lösung allgemeiner Randbedingungen und Belastung als besonders vielseitig anwendbar erweisen. Die Grundlagen des Vorgehens entsprechen der Beschreibung in [7]. Als Besonderheiten können sowohl diskrete Federn als auch kontinuierliche Weg- und Drehfedern berücksichtigt werden. Die gebundene Drehachse wird hier durch eine sehr steife Feder am Obergurt erzeugt, während die Drehbettung direkt als Drehfeder c_{ϑ} eingegeben wurde.

Die nach Abschnitt 3. ermittelten Querschnittswerte gelten eigentlich nur für die am ungünstigsten beanspruchte Stelle in Trägerlängsrichtung. Obwohl mit dem Programm [8] in Längsrichtung veränderliche Querschnittswerte berücksichtigt werden können, wird hier aus Gründen des Aufwandes darauf verzichtet. Da damit die Steifigkeiten des Trägers insgesamt unterschätzt werden, liegen somit die Ergebnisse der Berechnung nach Spannungstheorie II. Ordnung geringfügig auf der sicheren Seite.

Das Programm [8] setzt einen Querschnitt voraus, der sich innerhalb seiner Ebene nicht verformt, die sog. Querschnittstreue. Da bei den geringen Blechdicken, die bei den Kaltprofilen vorliegen, dies nicht immer erfüllt ist, erfolgt die Berücksichtigung der Profilverformung näherungsweise dadurch, daß die vorhandenen Drehbettingen um den Profilverformungseinfluß entsprechend Gl. (1) reduziert werden.

Die Anwendung wird an einem Beispiel gezeigt.

4.1.2 Tragfähigkeitskriterium

Als Tragfähigkeitskriterium wird hier nicht das rechnerische Erreichen der Streckgrenze in der ungünstigst beanspruchten Faser angesehen. Nach [2] dürfen Plastizierungen im Zugbereich zugelassen werden. Dies wird hier dadurch berücksichtigt, daß der Zuggurt des untersuchten Profils mit der Breite b im Extremfall durchplastizieren kann. Das von Unger in [9] angegebene Kriterium läßt sich mit den Bezeichnungen vom Bild 7 wie in Gl. (2) angegeben schreiben.

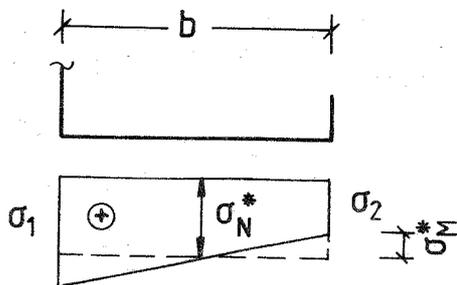


Bild 7 Bezeichnungen zum Kriterium Unger [9]

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 20 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

$$\sigma_N^{*2} + \frac{2}{3} \sigma_M^* \cdot \beta_s \leq \beta_s^2 \quad (2)$$

mit

$$\sigma_N^* = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \quad (3a)$$

$$\sigma_M^* = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (3b)$$

In den Spannungen σ_1, σ_2 sind die Anteile aus Biegung um die y-Achse, Biegung um die z-Achse und Wölbkrafttorsion enthalten.

Am Druckgurt treten neben den Druckspannungen aus Biegung noch Wölbnormalspannungen auf. Da die Wölbspannungen über den ganzen Querschnitt gesehen einen Eigenspannungszustand darstellen, werden sie bei Überschreiten von β_s herausplastizieren. Andererseits sollten die Druck-Wölbspannungen wegen ihres örtlichen Auftretens und ihrer zusätzlichen Wirkung auf einzelne Querschnittsteile nicht unbeschränkt rechnerisch zugelassen werden. Diesen Überlegungen wird hier insgesamt dadurch Rechnung getragen, daß für die Druckspannungen einschließlich derjenigen aus Wölbkrafttorsion ein Wert von $1,05 \cdot \beta_s$ als Grenzspannung angesetzt wird. Diese rechnerische Erhöhung trägt zusätzlich auch dem Umstand Rechnung, daß hier eine Grenze für die Anwendung einer baupraktischen Näherung gefunden werden soll, bei der eine kleine Spannungsüberschreitung durchaus vertretbar erscheint.

4.1.3 Erläuterungsbeispiel

Für die Pfette Z 180/2,0 mit der Länge 5,20 m als Einfeldträger unter Auflast und der Drehbettung c_1 nach Tabelle 3 ist der EDV-Ausdruck der Berechnung als Anlage 3 beigefügt.

Die Querschnittswerte, Verformungen und Schnittlasten im Ausdruck sind entsprechend den Voraussetzungen bei der Herleitung der theoretischen Grundlagen des Programms auf den Schubmittelpunkt bezogen. Zur Vereinfachung der Eingabe wurde für das Bezugssystem eine vertikale z-Achse gewählt, so daß auch die gemischten Querschnittswerte wie z.B. A_{yz} vorhanden sind.

Im Bild 8 ist der Pfettenquerschnitt mit der Belastung und den Bezeichnungen der Punkte dargestellt.

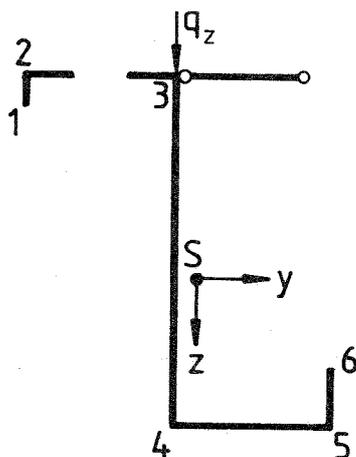


Bild 8 Pfette Z 180/2,0 unter Auflast

Die Berechnung erfolgt unter einer vorgegebenen Last. Wenn die beiden im Abschnitt 4.1.2 erläuterten Tragfähigkeitskriterien unter- bzw. überschritten sind, erfolgt iterativ eine Anpassung der Last so, daß eines der Kriterien gerade erfüllt ist. Maßgebend ist dann letztlich der zum Schluß angegebene Laststeigerungsfaktor, mit dem die in Anlage 3/1 angegebene Last zu multiplizieren ist. Hier ergibt sich als Traglastfaktor 0,9788.

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 22 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

Unter der Last $q_{z,w} = 0,9788 \cdot 4,0 = 3,92$ kN/m können aus Anlage 3, Seiten 9 und 10 folgende Krümmungen der Pfette in Feldmitte entnommen werden:

$$\vartheta'' = -1,27789 \cdot 10^{-2} \quad 1/m^2$$

$$\eta'' = 1,21785 \cdot 10^{-3} \quad 1/m$$

$$\zeta'' = -1,75682 \cdot 10^{-2} \quad 1/m$$

Aus den Krümmungen ergibt sich die Spannung an einem beliebigen Punkt zu

$$\sigma = E(-\vartheta'' \cdot w - \eta'' \cdot y - \zeta'' \cdot z), \quad (4)$$

wobei y , z und w die Koordinaten bzw. die Wölbordinate des betreffenden Punktes sind. Für die Punkte 2, 3, 4 und 5 sind die Koordinaten, bezogen auf den Schwerpunkt, in Tabelle 5 noch einmal zusammengestellt.

Tabelle 5 Koordinaten und Wölbordinaten

Punkt	y [m]	z [m]	w [m ²]
2	- 0,07148	- 0,0926	- 0,00471
3	- 0,00148	- 0,0926	0,00196
4	- 0,00148	0,0874	0,00187
5	0,06852	0,0874	- 0,00406

Damit ergeben sich folgende Spannungen an den Punkten 2 bis 5:

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= 21000 \left[1,278 \cdot 10^{-2} \cdot (-0,00471) - 1,218 \cdot 10^{-3} (-0,07148) + 1,757 \cdot 10^{-2} (-0,0926) \right] \\ &= - 33,60 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_3 = - 33,60 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_4 = 32,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_5 = 29,40 \text{ kN/cm}^2$$

Die Einzelspannungen und die Gesamtspannungen sind aus dem Programm-Ausdruck der Anlagen 3/10 bzw. 3/11 zu ersehen.

Maßgebend ist also die Spannung des Querschnittspunktes 2 mit

$$\sigma_2 = - 33,6 \text{ kN/cm}^2 = - 1,05 \cdot \beta_S.$$

Das Traglastkriterium für den Zuggurt nach den Gl. (2), (3a), (3b) für die Punkte 3 und 4:

$$\sigma_N = 0,5 \cdot (32,78 + 29,40) = 31,09 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_M = 0,5 \cdot (32,78 - 29,40) = 1,69 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_N^2 + \frac{2}{3} \cdot \sigma_M \cdot \beta_S = 967 + 36,1 = 1003 < 1024 = \beta_S^2$$

Die rechnerische Tragfähigkeit wird in diesem Beispiel also durch die Druckspannung $1,05 \cdot \beta_S$ im Druckgurt erreicht.

4.2 NÄHERUNGSLÖSUNG BEI REINER BIEGUNG UM DIE Z-ACHSE

Bei der Näherungslösung werden nur die Spannungen aus der Biegung um die zur Dachebene parallele z-Achse betrachtet und die Spannungen aus Torsion und Querbiegung nicht berücksichtigt. Die Spannungen ergeben sich nach

$$\sigma = \frac{M_y \cdot z}{I_y} = \frac{M_y}{W_{ef}}$$

Hieraus ergibt sich die zulässige Auflast in dem Beispiel nach Gl. (5)

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 24 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

$$q_{Z,N} = \alpha \cdot \frac{\beta_s \cdot W_{ef}}{L^2} \quad (5)$$

mit α = Momentenfaktor, $\alpha=8$ beim Einfeldträger.

Im vorliegenden Beispiel ergibt das:

$$I_y = 0,03596 \text{ cm}^2\text{m}^2$$

$$Z(2) = -0,0926 \text{ m}$$

$$\sigma = \beta_s = 32 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_y = q_Z \cdot \frac{L^2}{8} = q_Z \cdot \frac{5,20^2}{8}$$

$$q_{Z,N} = \frac{32 \cdot 0,03596 \cdot 8}{0,0926 \cdot 5,2^2} = 3,677 \text{ kN/m}$$

Die zulässige Auflast aus der Näherungslösung $q_{Z,N}$ wird durch die zulässige Auflast nach der Spannungstheorie II. Ordnung $q_{Z,W}$ dividiert, so daß sich ein dimensionsloser Faktor ergibt:

$$F = \frac{q_{Z,N}}{q_{Z,W}} \quad (6)$$

Dies bedeutet, daß bei Werten $F \leq 1$ die Berechnung mit reiner Biegung um die z-Achse bei Berücksichtigung der hier angesetzten Kriterien eine auf der sicheren Seite liegende Näherungslösung darstellt.

Im vorliegenden Fall beträgt der Wert F

$$F = \frac{3,677}{3,915} = 0,939$$

Dieser Faktor ist aus dem Programm-Ausdruck der Anlage 3 am Schluß ebenfalls zu ersehen.

4.3 BIEGEDRILLKNICKEN

Wenn eine Näherungsberechnung nach Abschnitt 4.2 durchgeführt wird, ist zusätzlich zu prüfen, ob eine Tragfähigkeitsbegrenzung durch Instabilität gegeben ist.

Im vorliegenden Fall ist es möglich, daß sich der Träger unter kritischen Lasten verdreht und sich seitlich verschiebt - also Biegedrillknicken (früher "Kippen" genannt) auftritt. Da die Pfetten am Obergurt durch die aus der Schubsteifigkeit der Dachhaut resultierende seitliche Stützung gehalten sind und gleichzeitig noch eine Drehfeder c_{ϕ} wirkt, ist hier die Gefahr des Biegedrillknickens stark eingeschränkt. In Bezug auf die untersuchten Systeme ist das wie folgt zu beurteilen:

- a) Einfeldträger unter Auflast: Kein Biegedrillknicken möglich, da der gesamte Druckbereich des Trägers seitlich gehalten ist.
- b) Einfeldträger unter Sogbelastung: Biegedrillknicken prinzipiell möglich, da der Untergurt Druckspannung aufweist und nur der Zuggurt seitlich gehalten ist.
- c) Zweifeldträger unter Auflast: Biegedrillknicken prinzipiell möglich, da im Stützenbereich der nicht-gestützte Untergurt Druckspannungen aufweist.
- d) Zweifeldträger unter Sogbelastung: Biegedrillknicken prinzipiell möglich, da im Feldbereich der nicht-gestützte Untergurt Druckspannungen aufweist.

Die Biegedrillknickuntersuchung wird nach der DAST-Richtlinie 016 [2] durchgeführt, wobei die dortige Regelung eine auf der sicheren Seite liegende Näherung gegenüber dem Vorschlag im Entwurf zu DIN 18800 Teil 2 [10] darstellt. Diese Näherung resultiert daraus, daß nicht die Tragfähigkeit nach der Originalkurve bei M_{p1} abgeschnitten wird, sondern die gesamte Traglastkurve mit dem Pa-

parameter M_{e1} statt M_{p1} affin verschoben wird.

$$M_{u,B} = k_M \cdot M_{e1} \quad (7)$$

mit

$$k_M = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_M^5} \right)^{0,4} \quad (8)$$

$$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{e1}}{M_{Ki}}} \quad (9)$$

M_{Ki} ideales Biegedrillknickmoment nach der
Elastizitätstheorie

Der Wert M_{Ki} wird hier mit dem EDV-Programm KIBL2K [11] ermittelt, dessen Aufbau und Grundlagen in [7] beschrieben sind. Abweichend von [2] wird der Einfluß des örtlichen Beulens auf das ideale Biegedrillknickmoment nicht mit der in [2] angegebenen Gl. (428) ermittelt, sondern es werden hier die Querschnittswerte des nach Abschnitt 2 reduzierten Querschnitts eingesetzt. Da im vorliegenden Fall die Wirkung der Querschnittsreduktion im wesentlichen in einer Reduktion des Druckgurtes besteht (die teilweise vorhandene Reduktion des Steges tritt demgegenüber hier zurück), ist diese Vorgehensweise hier ausreichend genau.

Eine vereinfachte Berechnung von Hand analog zu den Angaben in [3] ist nach Gl. (10) ebenfalls möglich.

$$M_{Ki} = \frac{k}{L} \sqrt{GI_1^* \cdot EI_2} \quad (10)$$

Bei der Ermittlung von M_{Ki} sind die Querschnittswerte in Bezug auf die Hauptachsen einzusetzen. Insbesondere das Trägheitsmoment I_2 kann hierbei wegen der

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 27 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

schiefen Lage der Hauptachsen merklich kleiner sein als bei Bezug auf die Schwerachse.

Weiterhin werden bei der Berechnung von M_{ki} die seitliche Stützung durch die Dachhaut und die Drehbettung c_{ϑ} berücksichtigt. Bei der Berechnung mit dem Programm [11] wird die seitliche Stützung durch eine große Schubsteifigkeit S_{id} realisiert, während die Drehbettung c_{ϑ} mit ihrem vorliegenden Wert entsprechend Tabelle 3 eingeht.

Bei Anwendung von Gl. (10) ist die seitliche Stützung im Beiwert k nach Bild 25 berücksichtigt, während die Drehbettung über ein ideales Torsionsträgheitsmoment I_T^* nach Gl. (11) berücksichtigt werden kann.

$$I_T^* = I_T + c_{\vartheta} \cdot \frac{L^2}{\pi^2 \cdot G} \quad (11)$$

Als Beispiel ist in der Anlage 4 der Programm-Ausdruck für die Pfette Z 180/2,0, Einfeldträger unter Sogbelastung, angegeben. Daraus ergibt sich für diesen Fall ein Abminderungsfaktor von

$$k_M = 0,904 .$$

5. ZUSAMMENSTELLUNG DER ERGEBNISSE

5.1 ALLGEMEINES

Nach den in den Abschnitten 4.1 und 4.2 erläuterten Verfahren wurden ca. 500 Berechnungen nach der Spannungstheorie II. Ordnung für die im Abschnitt 2 erläuterten Parameter durchgeführt. Weiterhin wurden ca. 700 Biegedrillknickuntersuchungen entsprechend den Angaben im Abschnitt 4.3 durchgeführt. Die Programm-Ausdrucke werden hier aus Gründen des Umfanges nicht beigelegt. Da als wesentlicher Beurteilungsmaßstab der Faktor F nach Gl. (6) bzw. Abminderungsfaktor κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken anzusehen sind, werden hier nur diese angegeben. Weiterhin wird durch graphische Darstellung der Ergebnisse versucht, Abgrenzungen für die Gültigkeit der Näherungen zu gewinnen.

Bei diesen graphischen Darstellungen werden auf der Ordinate der dimensionslose Faktor $F = q_{Z,N} / q_{Z,W}$ nach Gl. (6) aufgetragen und auf der Abzisse der Quotient L/H . Diese Darstellungen beschränkten sich auch auf die Ergebnisse mit der Drehbettung c_1 nach Tabelle 3, also Befestigung in jeder 2. Sicke. Die Ergebnisse für c_2 (Befestigung in jeder Sicke) sind günstiger, unterscheiden sich jedoch in der Regel nicht sehr stark.

5.2 Z-PFETTE ALS EINFELDTRAGER

5.2.1 Auflast

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 6 zusammengestellt, eine graphische Darstellung erfolgt im Bild 9.

Es ist ersichtlich, daß der reine Biegenachweis als Näherung im gesamten Untersuchungsbereich ausreichend ist. Einzige Ausnahme bildet die sehr niedrige Pfette / 120/3,0 bei großer Länge. Eine Überprüfung ergab, daß hier die Trag-

fähigkeitsbegrenzung des Zuggurtes entsprechend Gl. (2) maßgebend wurde. Diese ca. 2%-tige Überschreitung erscheint aus baupraktischer Sicht unbedenklich. Es wird allerdings empfohlen, die Näherungsberechnung auf den Bereich $L/H \leq 50$ zu begrenzen.

Tabelle 6 Faktoren F nach Gl. (6) für Z-Pfette als Einfeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂
120/1,5	4,50	0,939	0,940	180/1,5	5,50	0,939	0,939	240/1,5	6,50	0,943	0,943
120/1,5	3,35	0,932	0,933	180/1,5	4,25	0,946	0,946	240/1,5	5,00	0,950	0,950
120/1,5	2,20	0,984	0,980	180/1,5	3,00	0,980	0,980	240/1,5	3,50	0,975	0,975
120/2,0	5,50	0,990	0,988	180/2,0	7,00	0,946	0,947	240/2,0	8,00	0,945	0,946
120/2,0	4,15	0,955	0,957	180/2,0	5,20	0,939	0,940	240/2,0	6,25	0,944	0,945
120/2,0	2,80	0,982	0,979	180/2,0	3,80	0,954	0,953	240/2,0	4,50	0,958	0,958
120/3,0	6,50	1,023	1,016	180/3,0	9,00	0,994	0,991	240/3,0	9,50	0,977	0,978
120/3,0	5,00	0,994	0,995	180/3,0	6,90	0,974	0,977	240/3,0	7,50	0,963	0,965
120/3,0	3,50	0,973	0,974	180/3,0	4,80	0,959	0,960	240/3,0	5,50	0,957	0,959

Z-PFETTE AUFLAST EINFELDTRAEGER

—————	T = 1.5 MM	H = 120 MM
- - - - -	T = 2.0 MM	□ H = 180 MM
.....	T = 3.0 MM	+ H = 240 MM

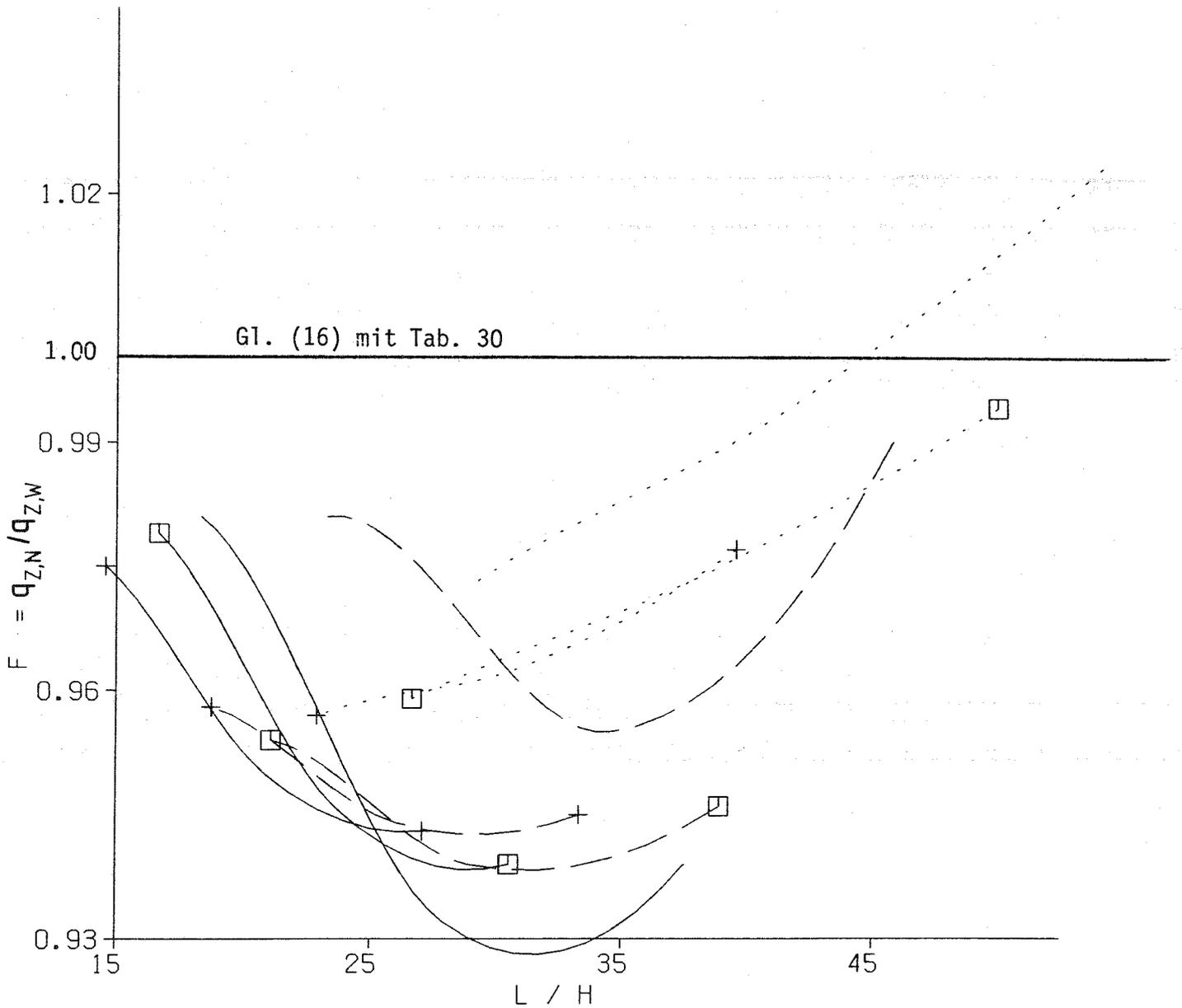


Bild 9 Z-Pfette als Einfeldträger unter Auflast

5.2.2 Sogbelastung

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 7 zusammengestellt, die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken in Tabelle 8. Dort wird zusätzlich noch danach unterschieden, ob die Querschnittswerte in Bezug auf die Hauptachsen oder in Bezug auf die Schwerachsen eingesetzt werden. Dabei erfolgen die Angaben für die Schwerachsenberechnung hier nur zum Vergleich.

Bei der Berechnung nach der Spannungstheorie II. Ordnung wurde die Last von der Stegebene in die Gurtmitte verlegt, da die Lasteinleitung bei Sog durch die Verbindungsmittel erfolgen muß.

Im Bild 10 erfolgt eine graphische Darstellung. Dabei wurden dort Faktoren F' aufgetragen, die sich nach Gl. (12) ergeben

$$F' = F \cdot \kappa_M \quad (12)$$

Diese Faktoren sind in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 7 Faktoren nach Gl. (8) für Z-Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂
120/1,5	4,50	1,172	1,126	180/1,5	5,50	1,104	1,076	240/1,5	6,50	1,106	1,074
120/1,5	3,35	1,166	1,130	180/1,5	4,25	1,068	1,050	240/1,5	5,00	1,030	1,012
120/1,5	2,20	1,059	1,051	180/1,5	3,00	0,966	0,963	240/1,5	3,50	1,175	1,152
120/2,0	5,50	1,213	1,145	180/2,0	7,00	1,134	1,090	240/2,0	8,00	1,142	1,096
120/2,0	4,15	1,230	1,162	180/2,0	5,20	1,118	1,078	240/2,0	6,25	1,101	1,060
120/2,0	2,80	1,189	1,152	180/2,0	3,80	1,039	1,023	240/2,0	4,50	1,054	0,991
120/3,0	6,50	1,273	1,178	180/3,0	9,00	1,201	1,126	240/3,0	9,50	1,263	1,143
120/3,0	5,00	1,284	1,190	180/3,0	6,90	1,182	1,114	240/3,0	7,50	1,159	1,089
120/3,0	3,50	1,271	1,203	180/3,0	4,80	1,158	1,102	240/3,0	5,50	1,063	1,019

Tabelle 8 Abminderungsfaktoren κ_M für Z-Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
Querschnittswerte bezogen auf die Hauptachse											
120/1,5	4,50	0,938	0,946	180/1,5	5,50	0,905	0,912	240/1,5	6,50	0,803	0,815
120/1,5	3,35	0,952	0,965	180/1,5	4,25	0,909	0,927	240/1,5	5,00	0,811	0,840
120/1,5	2,20	0,970	0,974	180/1,5	3,00	0,937	0,943	240/1,5	3,50	0,864	0,876
120/2,0	5,50	0,904	0,926	180/2,0	7,00	0,838	0,866	240/2,0	8,00	0,723	0,755
120/2,0	4,15	0,946	0,953	180/2,0	5,20	0,904	0,921	240/2,0	6,25	0,816	0,829
120/2,0	2,80	0,948	0,961	180/2,0	3,80	0,901	0,923	240/2,0	4,50	0,809	0,842
120/3,0	6,50	0,881	0,914	180/3,0	9,00	0,798	0,849	240/3,0	9,50	0,676	0,733
120/3,0	5,00	0,916	0,931	180/3,0	6,90	0,836	0,866	240/3,0	7,50	0,744	0,775
120/3,0	3,50	0,934	0,956	180/3,0	4,80	0,884	0,921	240/3,0	5,50	0,784	0,840
Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachse											
120/1,5	4,50	0,975	0,978	180/1,5	5,50	0,947	0,956	240/1,5	6,50	0,872	0,887
120/1,5	3,35	0,975	0,981	180/1,5	4,25	0,943	0,954	240/1,5	5,00	0,864	0,884
120/1,5	2,20	0,988	0,990	180/1,5	3,00	0,969	0,971	240/1,5	3,50	0,920	0,926
120/2,0	5,50	0,958	0,967	180/2,0	7,00	0,912	0,926	240/2,0	8,00	0,814	0,836
120/2,0	4,15	0,973	0,982	180/2,0	5,20	0,940	0,957	240/2,0	6,25	0,867	0,898
120/2,0	2,80	0,978	0,983	180/2,0	3,80	0,946	0,957	240/2,0	4,50	0,873	0,894
120/3,0	6,50	0,943	0,958	180/3,0	9,00	0,876	0,909	240/3,0	9,50	0,769	0,812
120/3,0	5,00	0,967	0,972	180/3,0	6,90	0,915	0,930	240/3,0	7,50	0,842	0,861
120/3,0	3,50	0,968	0,978	180/3,0	4,80	0,930	0,953	240/3,0	5,50	0,847	0,888

Z-PFETTE SÖG

EINFELDTRAEGER

_____ T = 1.5 MM
 - - - - - T = 2.0 MM
 T = 3.0 MM

H = 120 MM
 □ H = 180 MM
 + H = 240 MM

Gl. (16) mit Tab. 30

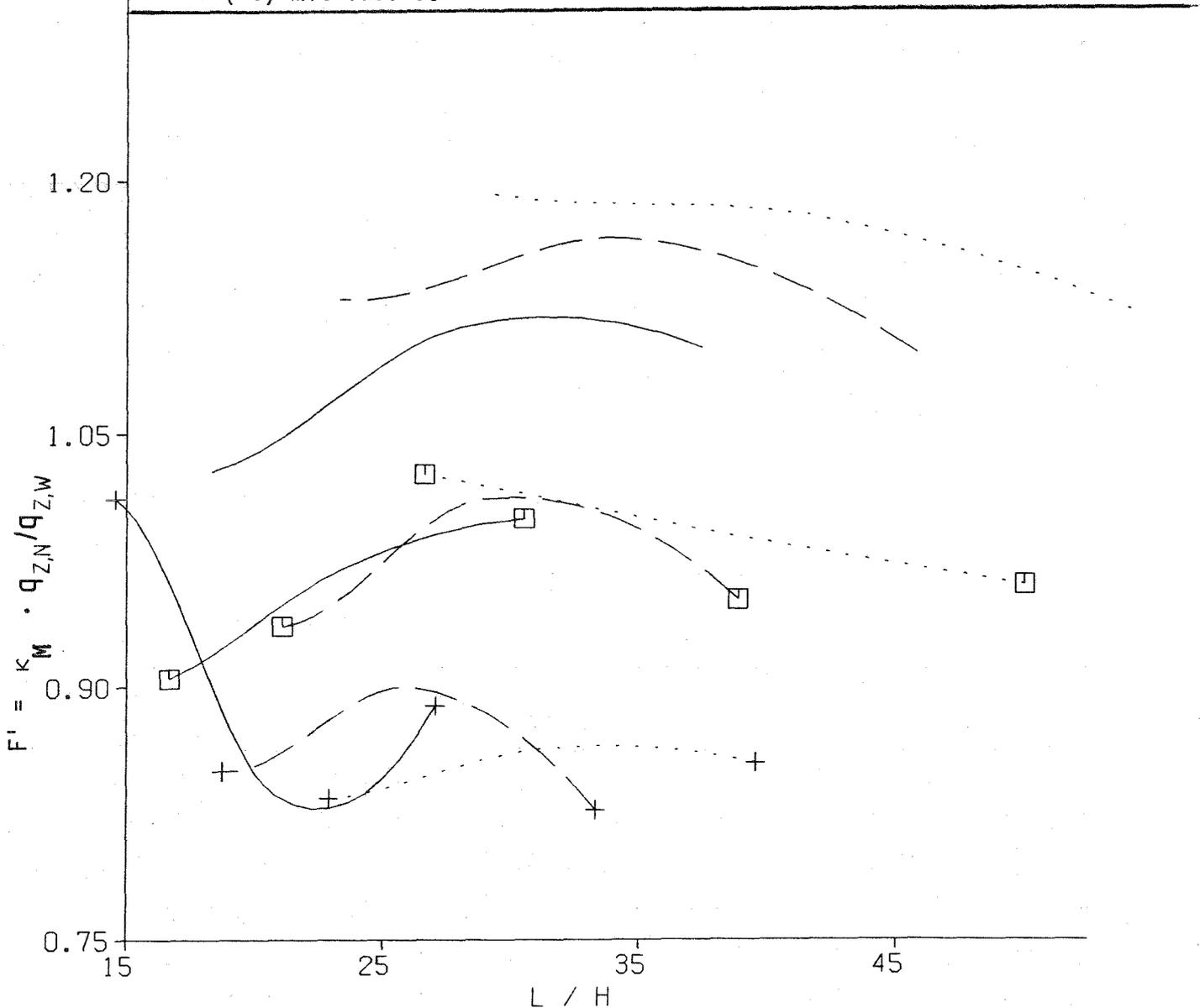


Bild 10 Z-Pfette als Einfeldträger unter Sogbelastung

Tabelle 9 Faktoren F' nach Gl. (12) für Z-Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
120/1,5	4,50	1,099	1,065	180/1,5	5,50	0,999	0,981	240/1,5	6,50	0,888	0,875
120/1,5	3,35	1,110	1,090	180/1,5	4,25	0,971	0,973	240/1,5	5,00	0,835	0,850
120/1,5	2,20	1,027	1,024	180/1,5	3,00	0,905	0,908	240/1,5	3,50	1,015	1,009
120/2,0	5,50	1,097	1,060	180/2,0	7,00	0,950	0,944	240/2,0	8,00	0,826	0,827
120/2,0	4,15	1,164	1,107	180/2,0	5,20	1,011	0,993	240/2,0	6,25	0,898	0,879
120/2,0	2,80	1,127	1,107	180/2,0	3,80	0,936	0,944	240/2,0	4,50	0,853	0,834
120/3,0	6,50	1,122	1,077	180/3,0	9,00	0,958	0,956	240/3,0	9,50	0,854	0,838
120/3,0	5,00	1,176	1,108	180/3,0	6,90	0,988	0,965	240/3,0	7,50	0,862	0,844
120/3,0	3,50	1,187	1,150	180/3,0	4,80	1,024	1,015	240/3,0	5,50	0,833	0,856

Aus Bild 10 erkennt man, daß insbesondere bei den niedrigen Pfetten die Näherungslösung bis zu 20% auf der unsicheren Seite liegt. Will man dennoch auf die Berechnung der Wölbspannungen verzichten, so müßte man einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 1,20 berücksichtigen.

5.3 Z-PFETTE ALS ZWEIFELDTRÄGER

5.3.1 Auflast

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 10 angegeben. Dabei wird dort zusätzlich nach

- symmetrischem Ausweichen

und

- antimetrischem Ausweichen

entsprechend Bild 11 unterschieden.

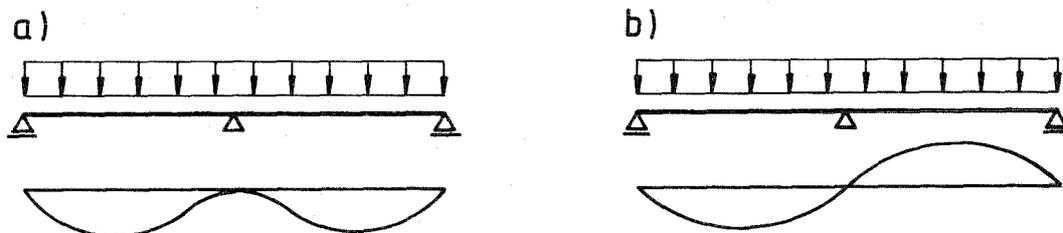


Bild 11 Ausweichformen für die Verdrehung
a) symmetrisch, b) antimetrisch

Eine angenommene Ausweichform nach Bild 11a) führt über der Mittelstütze praktisch zu einer Wölbeinspannung, woraus rechnerisch sehr hohe Wölbnormalspannungen resultieren. Diese Zwängungsspannungen werden jedoch im Laufe der Belastung durch örtliches Plastizieren abgebaut, so daß sich beim Erreichen der Tragfähigkeitsgrenze eine Ausweichform nach Bild 11b) einstellen wird. Bei der Näherungslösung nach Abschnitt 4.2 gehen Effekte nach Bild 11a) so ein, daß daraus sehr große Faktoren F in Tabelle 10 resultieren. Im Sinne einer baupraktischen Berechnung maßgebend können jedoch die Faktoren für die antimetrische Ausweichform, die auch durch entsprechende große Verformungen erzwungen sein kann, angesehen werden.

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 36 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

Die Berechnungen wurden für die antimetrische Ausweichform am Ersatzsystem des Einfeldträgers mit angreifendem Stützmoment $M_y = -\frac{q \cdot L^2}{8}$ durchgeführt.

Tabelle 10 Faktoren F nach Gl. (6) für Z-Pfette als Zweifeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₁
symmetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	1,211	1,188	180/1,5	5,50	1,268	1,255	240/1,5	6,50	1,304	1,292
120/1,5	3,35	1,399	1,371	180/1,5	4,25	1,421	1,409	240/1,5	5,00	1,458	1,447
120/1,5	2,20	1,614	1,601	180/1,5	3,00	1,575	1,569	240/1,5	3,50	1,611	1,605
120/2,0	5,50	1,122	1,097	180/2,0	7,00	1,127	1,106	240/2,0	8,00	1,161	1,140
120/2,0	4,15	1,276	1,235	180/2,0	5,20	1,272	1,243	240/2,0	6,25	1,281	1,255
120/2,0	2,80	1,550	1,509	180/2,0	3,80	1,449	1,423	240/2,0	4,50	1,460	1,437
120/3,0	6,50	1,068	1,043	180/3,0	9,00	1,050	1,024	240/3,0	9,50	1,078	1,055
120/3,0	5,00	1,182	1,137	180/3,0	6,90	1,141	1,097	240/3,0	7,50	1,159	1,125
120/3,0	3,50	1,414	1,348	180/3,0	4,80	1,334	1,266	240/3,0	5,50	1,301	1,259
antimetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	0,957	0,957	180/1,5	5,50	0,955	0,955	240/1,5	6,50	0,954	0,954
120/1,5	3,35	0,954	0,954	180/1,5	4,25	0,953	0,953	240/1,5	5,00	0,953	0,953
120/1,5	2,20	0,952	0,952	180/1,5	3,00	0,952	0,952	240/1,5	3,50	0,952	0,952
120/2,0	5,50	0,978	0,977	180/2,0	7,00	0,958	0,958	240/2,0	8,00	0,958	0,957
120/2,0	4,15	0,974	0,974	180/2,0	5,20	0,955	0,955	240/2,0	6,25	0,955	0,955
120/2,0	2,80	0,971	0,971	180/2,0	3,80	0,953	0,953	240/2,0	4,50	0,953	0,953
120/3,0	6,50	0,996	0,994	180/3,0	9,00	0,982	0,980	240/3,0	9,50	0,980	0,978
120/3,0	5,00	0,993	0,992	180/3,0	6,90	0,979	0,978	240/3,0	7,50	0,976	0,976
120/3,0	3,50	0,989	0,989	180/3,0	4,80	0,975	0,975	240/3,0	5,50	0,973	0,973

Eine graphische Darstellung der Faktoren für antimetrische Ausweichform zeigt das Bild 12.

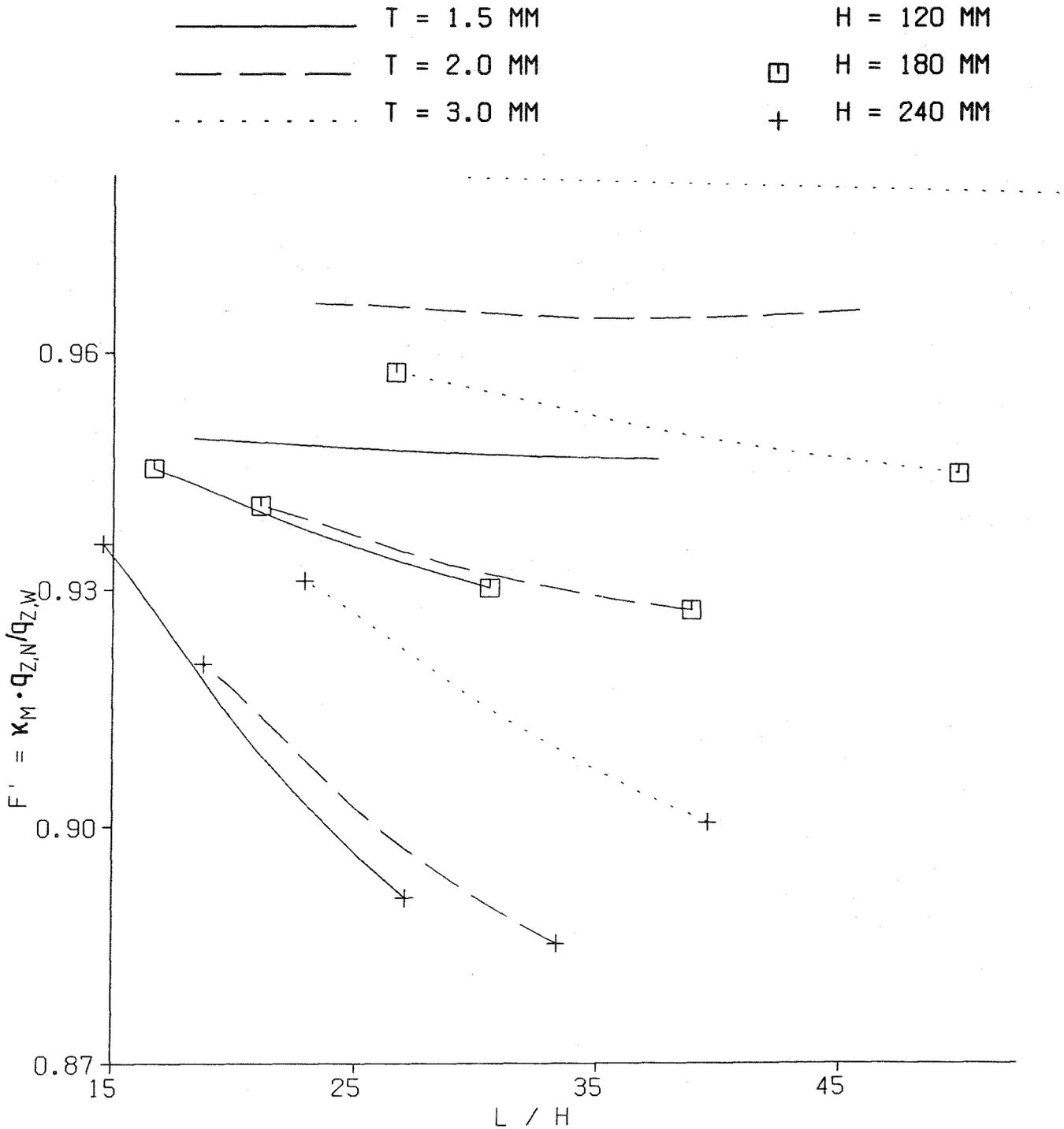


Bild 12 Z-Pfette als Zweifeldträger unter Auflast mit antimetrischer Verformungsfigur

Die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) sind in Tabelle 11 angegeben. Wie in 5.2.2 ausgeführt, erfolgen die Angaben zum Vergleich auch für die Schwerachsen als Bezugsachsen.

Tabelle 11 Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken für Z-Pfetten als Zweifeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
Querschnittswerte bezogen auf die Hauptachsen											
120/1,5	4,50	0,989	0,991	180/1,5	5,50	0,974	0,976	240/1,5	6,50	0,933	0,937
120/1,5	3,35	0,993	0,994	180/1,5	4,25	0,983	0,984	240/1,5	5,00	0,955	0,957
120/1,5	2,20	0,997	0,998	180/1,5	3,00	0,993	0,993	240/1,5	3,50	0,983	0,983
120/2,0	5,50	0,987	0,990	180/2,0	7,00	0,967	0,973	240/2,0	8,00	0,924	0,934
120/2,0	4,15	0,990	0,993	180/2,0	5,20	0,977	0,981	240/2,0	6,25	0,942	0,950
120/2,0	2,80	0,995	0,996	180/2,0	3,80	0,987	0,988	240/2,0	4,50	0,966	0,970
120/3,0	6,50	0,984	0,989	180/3,0	9,00	0,961	0,974	240/3,0	9,50	0,917	0,937
120/3,0	5,00	0,988	0,992	180/3,0	6,90	0,970	0,980	240/3,0	7,50	0,935	0,951
120/3,0	3,50	0,993	0,995	180/3,0	4,80	0,981	0,987	240/3,0	5,50	0,956	0,966
Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachsen											
120/1,5	4,50	0,993	0,994	180/1,5	5,50	0,984	0,985	240/1,5	6,50	0,955	0,958
120/1,5	3,35	0,996	0,996	180/1,5	4,25	0,990	0,991	240/1,5	5,00	0,972	0,974
120/1,5	2,20	0,999	0,999	180/1,5	3,00	0,997	0,997	240/1,5	3,50	0,991	0,991
120/2,0	5,50	0,992	0,994	180/2,0	7,00	0,980	0,983	240/2,0	8,00	0,950	0,957
120/2,0	4,15	0,994	0,996	180/2,0	5,20	0,986	0,989	240/2,0	6,25	0,963	0,968
120/2,0	2,80	0,998	0,998	180/2,0	3,80	0,993	0,994	240/2,0	4,50	0,981	0,983
120/3,0	6,50	0,991	0,993	180/3,0	9,00	0,976	0,984	240/3,0	9,50	0,947	0,960
120/3,0	5,00	0,993	0,995	180/3,0	6,90	0,982	0,988	240/3,0	7,50	0,959	0,969
120/3,0	3,50	0,996	0,997	180/3,0	4,80	0,989	0,993	240/3,0	5,50	0,974	0,979

Generell ist zu ersehen, daß die Abminderungsfaktoren für das Biegedrillknicken relativ dicht bei 1,0 liegen. Eine Abschätzung (die hier nicht vorgenommen wurde), ob die Drebetung $c_{\mathcal{D}}$ allein zur Stabilisierung gegenüber Biegedrillknicken ausreicht, könnte analog zu [3] vorgenommen werden:

$$\text{erf } c_{\mathcal{D}} = k_{\mathcal{D}} \cdot \frac{M^2 p l}{EI_Z} \quad (13)$$

mit

$$k_{\mathcal{D}} = \frac{18,3}{k^2} \quad (14)$$

k Beiwert für das Biegedrillknicken,
auch für Gl. (10) zu verwenden.

Für den hier vorliegenden Zweifeldträger ergibt sich k in Abhängigkeit von $\chi = EI_{\omega} / GI_T L^2$ nach Bild 4 in [3]. Vereinfachend kann auch der kleinste Wert $k_{\mathcal{D}} = 17,7$ in Gl. (14) eingesetzt werden.

Die sich aus Gl. (13) ergebenden Werte für erf $c_{\mathcal{D}}$ sind dann mit den vorhandenen Werten c_1, c_2 nach Tabelle 3 zu vergleichen.

5.3.2 Sogbelastung

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 12 angegeben. Wie nach Abschnitt 5.2.2 wird auch hier nach 2 Ausweichformen für die Verdrehung unterschieden.

Fast im gesamten Bereich ergeben sich Werte unter 1, so daß die Näherung zu auf der sicheren Seite liegenden Ergebnissen führt. Eine graphische Darstellung für das antimetrische Ausweichen von \mathcal{D} zeigt das Bild 13. Der Abminderungsfaktor κ_M nach Gl. (8) sind aus Tabelle 13 zu ersehen. Auch hier sind wieder zum Vergleich die Werte für die Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachse mit aufgeführt.

Tabelle 12 Faktoren F nach Gl. (6) für Z-Pfette als Zweifeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂
symmetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	0,964	0,962	180/1,5	5,50	0,955	0,954	240/1,5	6,50	0,948	0,948
120/1,5	3,35	0,964	0,962	180/1,5	4,25	0,952	0,952	240/1,5	5,00	0,943	0,943
120/1,5	2,20	0,960	0,960	180/1,5	3,00	0,948	0,948	240/1,5	3,50	0,938	0,939
120/2,0	5,50	0,987	0,983	180/2,0	7,00	0,957	0,956	240/2,0	8,00	0,950	0,951
120/2,0	4,15	0,988	0,985	180/2,0	5,20	0,955	0,954	240/2,0	6,25	0,946	0,947
120/2,0	2,80	0,984	0,983	180/2,0	3,80	0,953	0,952	240/2,0	4,50	0,938	0,939
120/3,0	6,50	1,005	1,001	180/3,0	9,00	0,979	0,978	240/3,0	9,50	0,976	0,975
120/3,0	5,00	1,007	1,002	180/3,0	6,90	0,977	0,976	240/3,0	7,50	0,984	0,983
120/3,0	3,50	1,005	1,002	180/3,0	4,80	0,974	0,974	240/3,0	5,50	1,015	1,009
antimetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	0,948	0,948	180/1,5	5,50	0,949	0,949	240/1,5	6,50	0,950	0,950
120/1,5	3,35	0,948	0,948	180/1,5	4,25	0,949	0,949	240/1,5	5,00	0,950	0,950
120/1,5	2,20	1,155	1,107	180/1,5	3,00	1,057	1,021	240/1,5	3,50	1,020	0,999
120/2,0	5,50	0,965	0,965	180/2,0	7,00	0,949	0,949	240/2,0	8,00	0,950	0,950
120/2,0	4,15	0,965	0,966	180/2,0	5,20	0,949	0,949	240/2,0	6,25	0,950	0,950
120/2,0	2,80	0,966	0,966	180/2,0	3,80	0,949	0,950	240/2,0	4,50	0,950	0,950
120/3,0	6,50	0,981	0,982	180/3,0	9,00	0,970	0,970	240/3,0	9,50	0,970	0,970
120/3,0	5,00	0,982	0,982	180/3,0	6,90	0,970	0,970	240/3,0	7,50	0,970	0,970
120/3,0	3,50	0,982	0,982	180/3,0	4,80	0,970	0,971	240/3,0	5,50	0,970	0,970

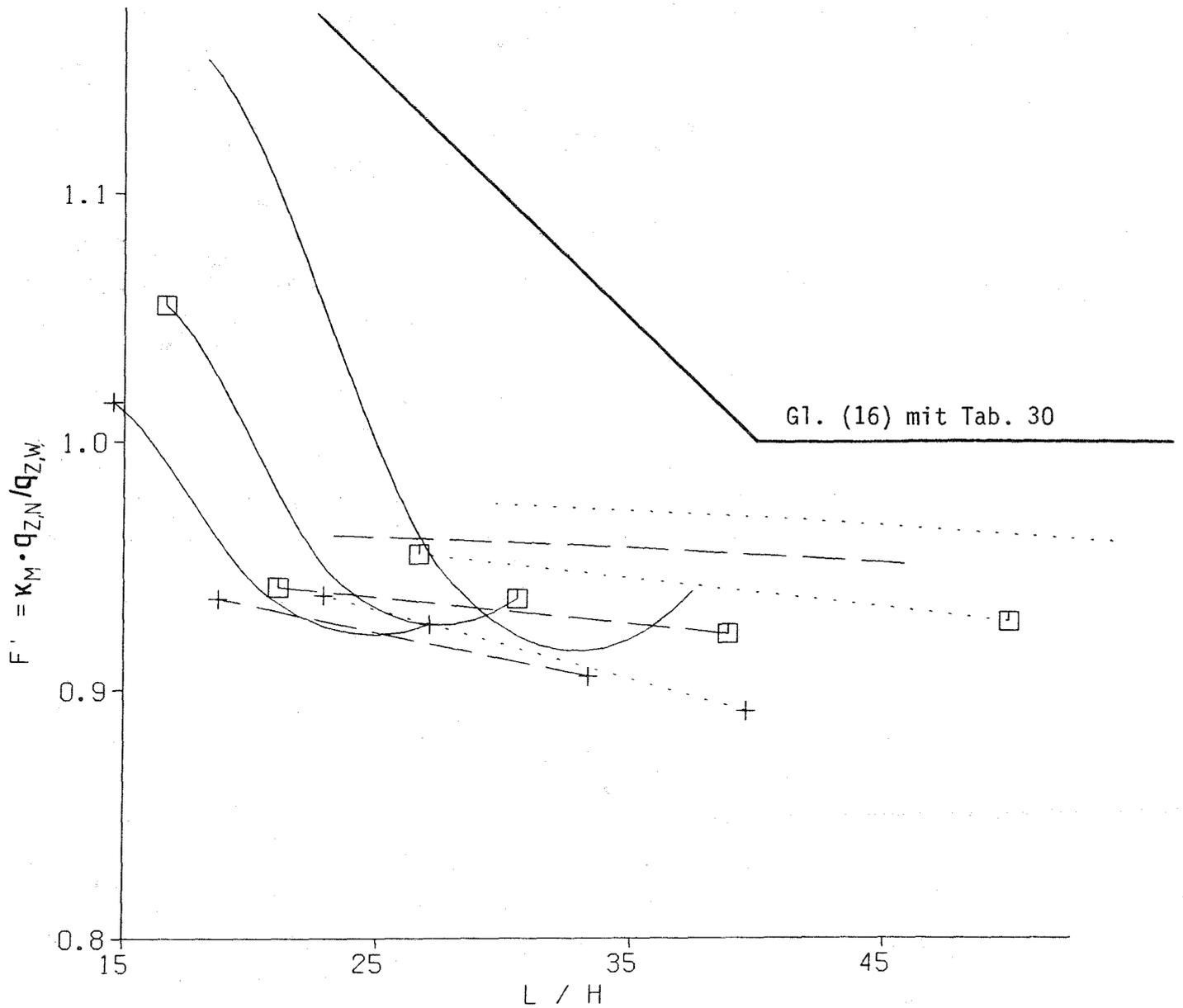
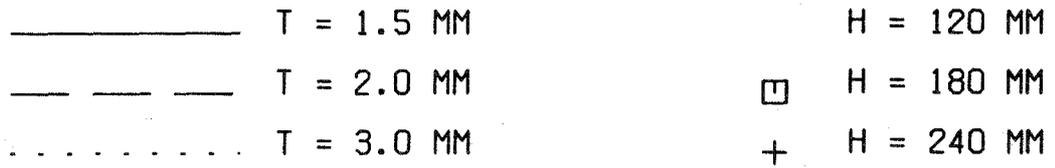


Bild 13 Z-Pfette als Zweifeldträger unter Sogbelastung mit asymmetrischer Verformungsfigur

Tabelle 13 Abminderungsfaktoren κ_M für die Z-Pfetten als Zweifeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
Querschnittswerte bezogen auf die Hauptachsen											
120/1,5	4,50	0,991	0,992	180/1,5	5,50	0,987	0,989	240/1,5	6,50	0,975	0,978
120/1,5	3,35	0,995	0,996	180/1,5	4,25	0,993	0,993	240/1,5	5,00	0,986	0,987
120/1,5	2,20	0,999	0,999	180/1,5	3,00	0,998	0,998	240/1,5	3,50	0,996	0,996
120/2,0	5,50	0,985	0,988	180/2,0	7,00	0,972	0,978	240/2,0	8,00	0,953	0,961
120/2,0	4,15	0,991	0,993	180/2,0	5,20	0,983	0,986	240/2,0	6,25	0,969	0,974
120/2,0	2,80	0,996	0,997	180/2,0	3,80	0,992	0,993	240/2,0	4,50	0,986	0,987
120/3,0	6,50	0,978	0,984	180/3,0	9,00	0,956	0,967	240/3,0	9,50	0,919	0,937
120/3,0	5,00	0,986	0,989	180/3,0	6,90	0,970	0,977	240/3,0	7,50	0,943	0,955
120/3,0	3,50	0,993	0,994	180/3,0	4,80	0,984	0,987	240/3,0	5,50	0,967	0,973
Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachsen											
120/1,5	4,50	0,997	0,997	180/1,5	5,50	0,995	0,996	240/1,5	6,50	0,989	0,990
120/1,5	3,35	0,998	0,999	180/1,5	4,25	0,997	0,998	240/1,5	5,00	0,995	0,995
120/1,5	2,20	1,000	1,000	180/1,5	3,00	0,999	0,999	240/1,5	3,50	0,999	0,999
120/2,0	5,50	0,994	0,996	180/2,0	7,00	0,988	0,990	240/2,0	8,00	0,977	0,981
120/2,0	4,15	0,997	0,997	180/2,0	5,20	0,993	0,994	240/2,0	6,25	0,986	0,988
120/2,0	2,80	0,999	0,999	180/2,0	3,80	0,997	0,997	240/2,0	4,50	0,994	0,995
120/3,0	6,50	0,991	0,994	180/3,0	9,00	0,979	0,984	240/3,0	9,50	0,956	0,966
120/3,0	5,00	0,994	0,996	180/3,0	6,90	0,986	0,990	240/3,0	7,50	0,970	0,976
120/3,0	3,50	0,997	0,998	180/3,0	4,80	0,993	0,995	240/3,0	5,50	0,984	0,987

5.4 C-PFETTEN ALS EINFELDTRÄGER

5.4.1 Allgemeines

Bei den C-Pfetten ist das Tragverhalten allgemein schlechter als bei den Z-Pfetten, da der Zwangsdrillpunkt durch die Fesselebene bei den C-Pfetten etwa über dem Schubmittelpunkt liegt, während er bei den Z-Pfetten etwa in der Mitte des Gurtes liegt. Hierdurch erhalten die C-Pfetten ein größeres Torsionsmoment und damit größere Wölbspannungen.

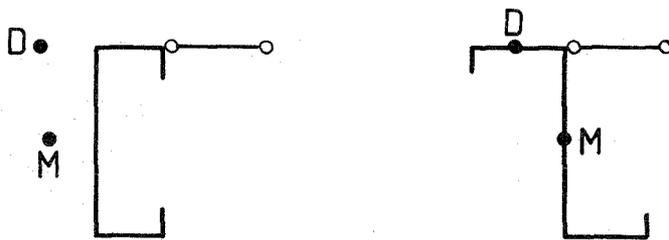


Bild 14 Lage des Drillruhepunktes

5.4.2 Auflast

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 14 angegeben, eine graphische Darstellung erfolgt im Bild 15.

Für den Lastfall Auflast liegt die Näherungslösung für $L/H > 40$ auf der sicheren Seite, während sie für kleinere Werte L/H eine bis zu 6% -ige Überschreitung der zulässigen Auflasten liefert. In diesem Bereich müsste eine Abminderung der aufnehmbaren Last erfolgen, oder die Spannungen aus der Wölbkrafttorsion berücksichtigt werden.

Tabelle 14 Faktoren F nach Gl. (6) für C-Pfette als Einfeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂
120/1,5	4,50	0,961	0,959	180/1,5	5,50	0,968	0,966	240/1,5	6,50	0,970	0,969
120/1,5	3,35	0,987	0,981	180/1,5	4,25	0,992	0,989	240/1,5	5,00	0,990	0,989
120/1,5	2,20	1,054	1,046	180/1,5	3,00	1,037	1,034	240/1,5	3,50	1,022	1,021
120/2,0	5,50	0,955	0,954	180/2,0	7,00	0,956	0,955	240/2,0	8,00	0,960	0,959
120/2,0	4,15	0,967	0,963	180/2,0	5,20	0,971	0,967	240/2,0	6,25	0,973	0,971
120/2,0	2,80	1,020	1,007	180/2,0	3,80	1,006	0,999	240/2,0	4,50	1,006	1,002
120/3,0	6,50	0,977	0,976	180/3,0	9,00	0,974	0,973	240/3,0	9,50	0,971	0,971
120/3,0	5,00	0,983	0,979	180/3,0	6,90	0,977	0,975	240/3,0	7,50	0,975	0,974
120/3,0	3,50	1,011	1,000	180/3,0	4,80	0,994	0,988	240/3,0	5,50	0,989	0,985

C-PFETTE AUFLAST

EINFELDTRAEGER

_____ T = 1.5 MM
 - - - - - T = 2.0 MM
 T = 3.0 MM

H = 120 MM
 □ H = 180 MM
 + H = 240 MM

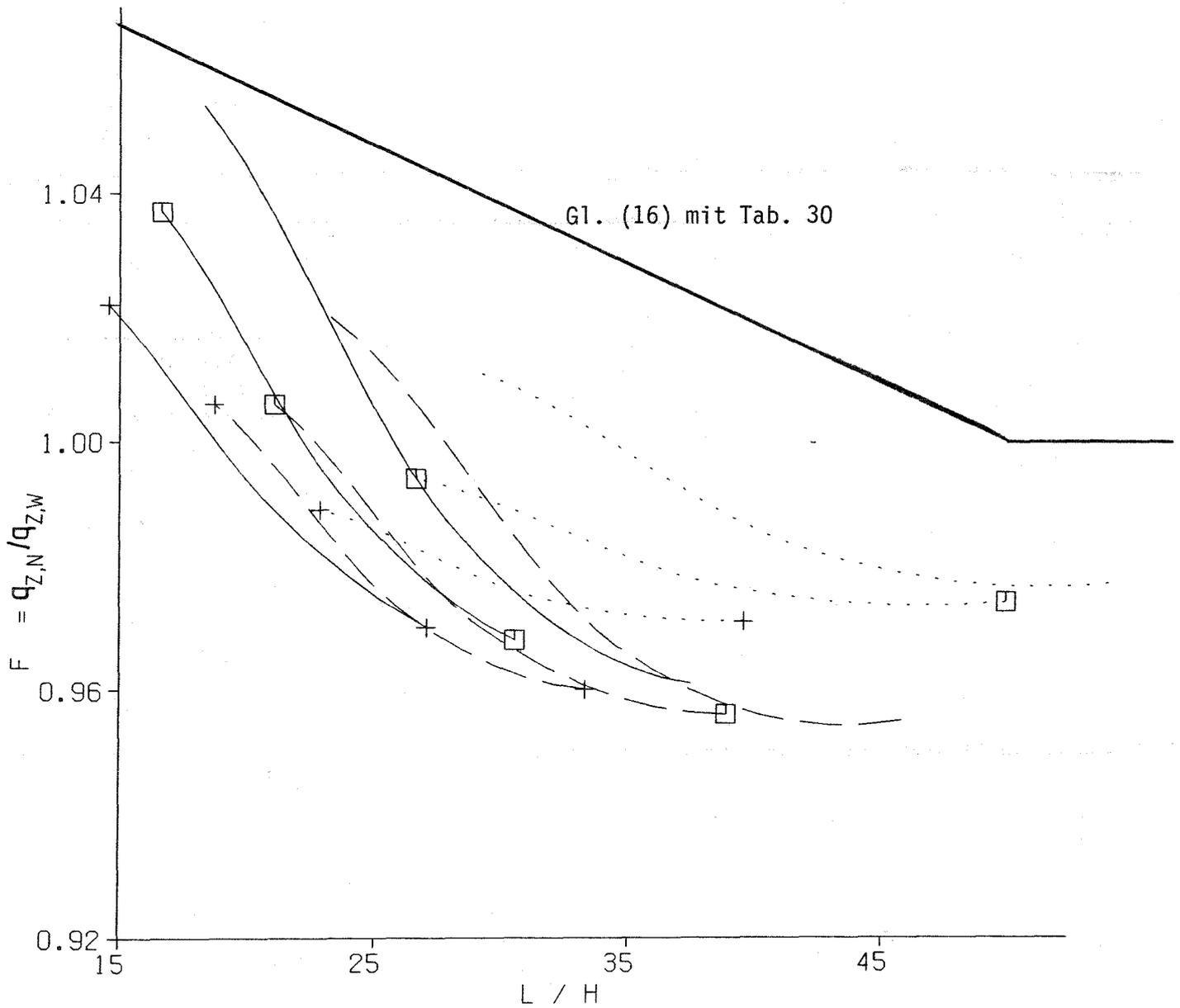


Bild 15 C-Pfette als Einfeldträger unter Auflast

5.4.3 Sogbelastung

Die Faktoren F nach Gl.(6) sind in Tabelle 15 angegeben.

Für den Lastfall Sog erhöht sich das äußere Torsionsmoment, so daß die Näherungslösung bei kurzen Spannweiten weit auf der unsicheren Seite liegt. Die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) sind in Tabelle 16 angegeben. Wenn auch hier wieder diese Faktoren nach Gl. (12) berücksichtigt werden, ergeben sich die Ergebnisse von Tabelle 17 und die graphische Darstellung vom Bild 16.

Tabelle 15 Faktoren nach Gl. (6) für C-Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
120/1,5	4,50	1,254	1,197	180/1,5	5,50	1,471	1,405	240/1,5	6,50	1,683	1,620
120/1,5	3,35	1,628	1,543	180/1,5	4,25	1,857	1,780	240/1,5	5,00	2,120	2,056
120/1,5	2,20	2,366	2,216	180/1,5	3,00	2,370	2,281	240/1,5	3,50	2,622	2,554
120/2,0	5,50	1,118	1,062	180/2,0	7,00	1,200	1,139	240/2,0	8,00	1,366	1,296
120/2,0	4,15	1,376	1,280	180/2,0	5,20	1,513	1,420	240/2,0	6,25	1,689	1,598
120/2,0	2,80	1,979	1,852	180/2,0	3,80	1,988	1,888	240/2,0	4,50	2,204	2,119
120/3,0	6,50	1,064	1,011	180/3,0	9,00	1,081	1,018	240/3,0	9,50	1,213	1,131
120/3,0	5,00	1,241	1,150	180/3,0	6,90	1,252	1,160	240/3,0	7,50	1,420	1,310
120/3,0	3,50	1,675	1,535	180/3,0	4,80	1,680	1,541	240/3,0	5,50	1,832	1,699

Tabelle 16 Abminderungsfaktoren κ_M für C-Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
Querschnittswerte bezogen auf die Hauptachsen											
120/1,5	4,50	0,939	0,949	180/1,5	5,50	0,908	0,915	240/1,5	6,50	0,848	0,867
120/1,5	3,35	0,950	0,962	180/1,5	4,25	0,900	0,916	240/1,5	5,00	0,845	0,860
120/1,5	2,20	0,970	0,973	180/1,5	3,00	0,939	0,943	240/1,5	3,50	0,917	0,920
120/2,0	5,50	0,908	0,928	180/2,0	7,00	0,845	0,867	240/2,0	8,00	0,811	0,827
120/2,0	4,15	0,948	0,954	180/2,0	5,20	0,903	0,927	240/2,0	6,25	0,855	0,882
120/2,0	2,80	0,951	0,963	180/2,0	3,80	0,904	0,922	240/2,0	4,50	0,868	0,884
120/3,0	6,50	0,893	0,923	180/3,0	9,00	0,812	0,858	240/3,0	9,50	0,768	0,807
120/3,0	5,00	0,922	0,937	180/3,0	6,90	0,850	0,876	240/3,0	7,50	0,838	0,856
120/3,0	3,50	0,942	0,961	180/3,0	4,80	0,893	0,926	240/3,0	5,50	0,848	0,885
Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachsen											
120/1,5	4,50	0,936	0,943	180/1,5	5,50	0,907	0,913	240/1,5	6,50	0,848	0,866
120/1,5	3,35	0,949	0,961	180/1,5	4,25	0,899	0,915	240/1,5	5,00	0,845	0,859
120/1,5	2,20	0,969	0,972	180/1,5	3,00	0,938	0,942	240/1,5	3,50	0,916	0,920
120/2,0	5,50	0,907	0,927	180/2,0	7,00	0,843	0,865	240/2,0	8,00	0,811	0,826
120/2,0	4,15	0,946	0,953	180/2,0	5,20	0,902	0,925	240/2,0	6,25	0,855	0,882
120/2,0	2,80	0,950	0,962	180/2,0	3,80	0,903	0,921	240/2,0	4,50	0,868	0,884
120/3,0	6,50	0,892	0,922	180/3,0	9,00	0,811	0,857	240/3,0	9,50	0,767	0,806
120/3,0	5,00	0,921	0,936	180/3,0	6,90	0,849	0,876	240/3,0	7,50	0,837	0,855
120/3,0	3,50	0,942	0,961	180/3,0	4,80	0,893	0,925	240/3,0	5,50	0,847	0,885

C-PFETTE SÖG

EINFELDTRAEGER

————— T = 1.5 MM
- - - - - T = 2.0 MM
..... T = 3.0 MM

H = 120 MM
□ H = 180 MM
+ H = 240 MM

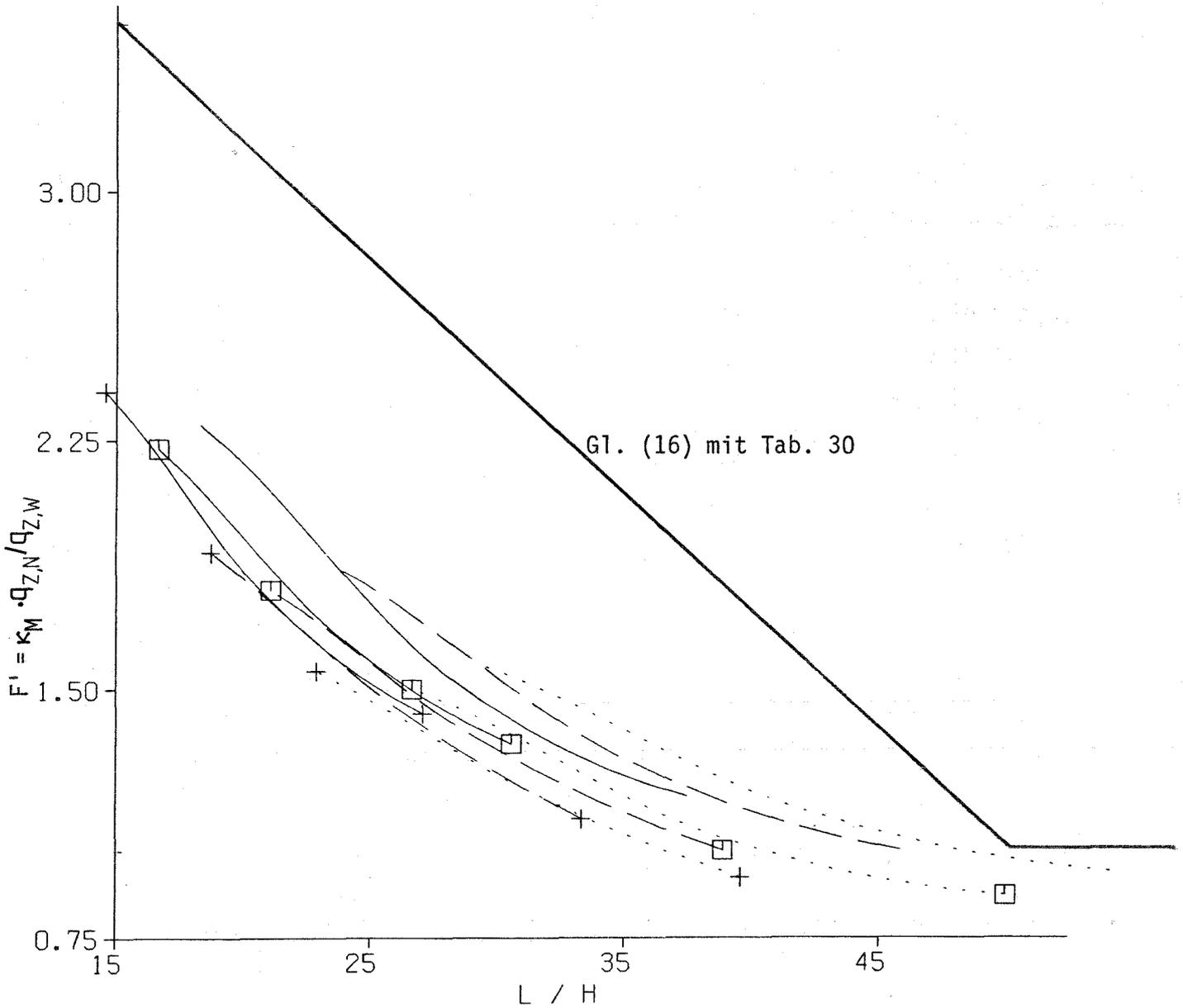


Bild 16 C-Pfette als Einfeldträger unter Sogbelastung

Tabelle 17 Faktoren F' nach Gl. (12) für C-Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
120/1,5	4,50	1,178	1,136	180/1,5	5,50	1,336	1,285	240/1,5	6,50	1,427	1,405
120/1,5	3,35	1,547	1,484	180/1,5	4,25	1,671	1,630	240/1,5	5,00	1,791	1,768
120/1,5	2,20	2,295	2,156	180/1,5	3,00	2,225	2,151	240/1,5	3,50	2,404	2,350
120/2,0	5,50	1,015	0,985	180/2,0	7,00	1,014	0,988	240/2,0	8,00	1,107	1,072
120/2,0	4,15	1,305	1,221	180/2,0	5,20	1,367	1,317	240/2,0	6,25	1,444	1,409
120/2,0	2,80	1,882	1,783	180/2,0	3,80	1,798	1,741	240/2,0	4,50	1,913	1,872
120/3,0	6,50	0,950	0,933	180/3,0	9,00	0,878	0,873	240/3,0	9,50	0,932	0,913
120/3,0	5,00	1,144	1,078	180/3,0	6,90	1,064	1,016	240/3,0	7,50	1,190	1,121
120/3,0	3,50	1,578	1,475	180/3,0	4,80	1,500	1,427	240/3,0	5,50	1,554	1,504

5.5 C-PFETTEN ALS ZWEIFELDRÄGER

5.5.1 Auflast

Die Ergebnisse der Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 18 angegeben und im Bild 17 graphisch dargestellt. Im Prinzip gelten die bei den Z-Pfetten gemachten Ausführungen.

Die Abminderungsfaktoren k_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken sind in Tabelle 19 angegeben.

Tabelle 18 Faktoren F nach Gl. (6) für C-Pfetten als Zweifeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
symmetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	1,206	1,175	180/1,5	5,50	1,282	1,257	240/1,5	6,50	1,342	1,325
120/1,5	3,35	1,385	1,344	180/1,5	4,25	1,441	1,415	240/1,5	5,00	1,503	1,488
120/1,5	2,20	1,619	1,595	180/1,5	3,00	1,611	1,597	240/1,5	3,50	1,653	1,646
120/2,0	5,50	1,138	1,105	180/2,0	7,00	1,151	1,122	240/2,0	8,00	1,213	1,187
120/2,0	4,15	1,278	1,225	180/2,0	5,20	1,298	1,256	240/2,0	6,25	1,353	1,320
120/2,0	2,80	1,552	1,493	180/2,0	3,80	1,484	1,445	240/2,0	4,50	1,548	1,522
120/3,0	6,50	1,107	1,073	180/3,0	9,00	1,086	1,058	240/3,0	9,50	1,128	1,096
120/3,0	5,00	1,214	1,157	180/3,0	6,90	1,177	1,131	240/3,0	7,50	1,227	1,181
120/3,0	3,50	1,443	1,361	180/3,0	4,80	1,378	1,311	240/3,0	5,50	1,398	1,345
antimetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	0,953	0,953	180/1,5	5,50	0,953	0,953	240/1,5	6,50	0,954	0,954
120/1,5	3,35	0,953	0,953	180/1,5	4,25	0,972	0,953	240/1,5	5,00	1,094	1,060
120/1,5	2,20	1,135	1,078	180/1,5	3,00	1,163	1,127	240/1,5	3,50	1,233	1,214
120/2,0	5,50	0,953	0,953	180/2,0	7,00	0,953	0,953	240/2,0	8,00	0,953	0,953
120/2,0	4,15	0,954	0,953	180/2,0	5,20	0,953	0,953	240/2,0	6,25	0,954	0,953
120/2,0	2,80	0,962	0,953	180/2,0	3,80	1,054	0,970	240/2,0	4,50	1,123	1,064
120/3,0	6,50	0,976	0,976	180/3,0	9,00	0,974	0,974	240/3,0	9,50	0,971	0,970
120/3,0	5,00	0,976	0,976	180/3,0	6,90	0,974	0,974	240/3,0	7,50	0,971	0,971
120/3,0	3,50	0,976	0,976	180/3,0	4,80	0,974	0,974	240/3,0	5,50	1,005	0,971

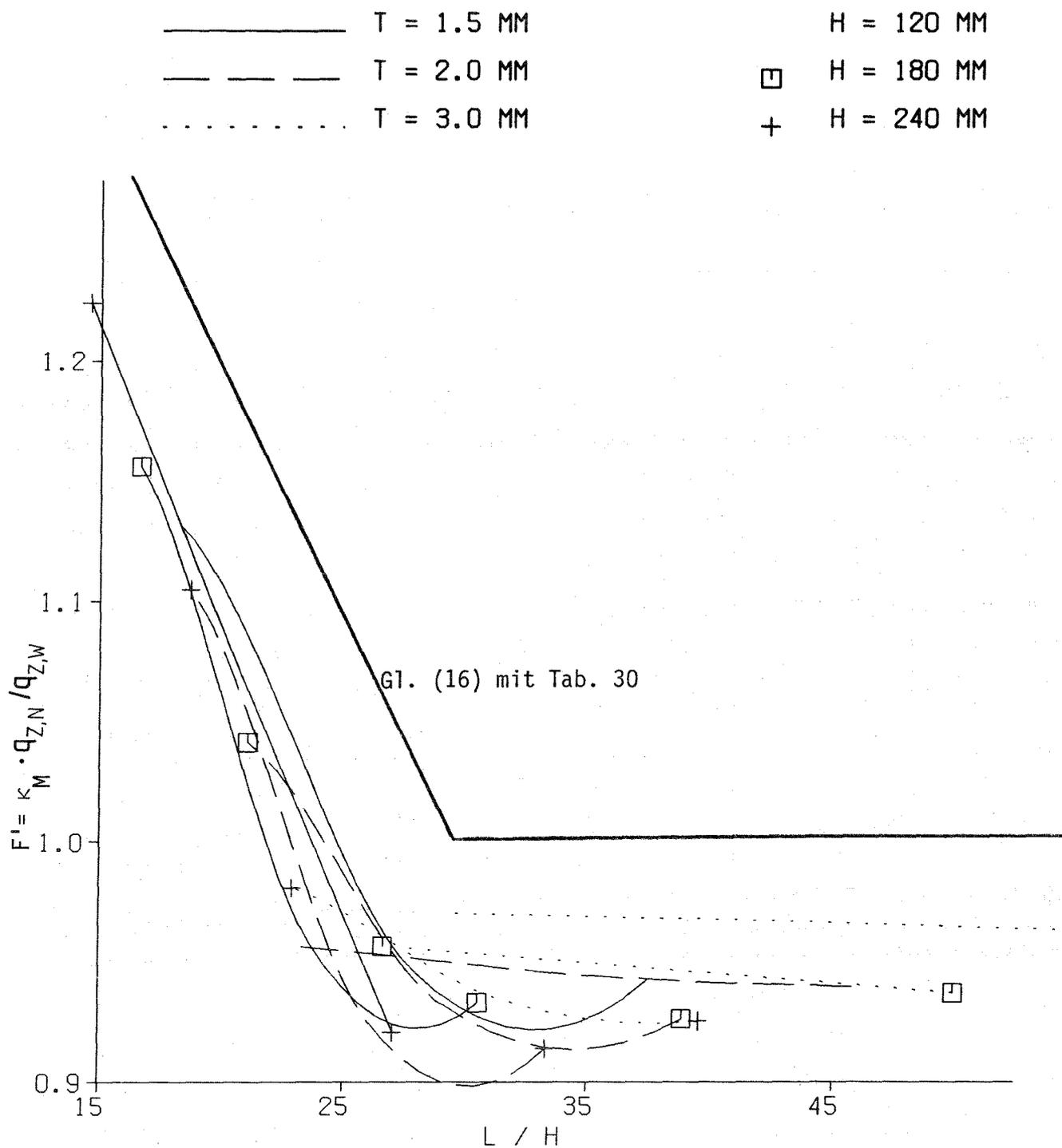


Bild 17 C-Pfette als Zweifeldträger unter Auflast mit asymmetrischer Verformungsfigur

Tabelle 19 Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken für C-Pfetten als Zweifeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
Querschnittswerte bezogen auf die Hauptachsen											
120/1,5	4,50	0,989	0,992	180/1,5	5,50	0,979	0,982	240/1,5	6,50	0,965	0,968
120/1,5	3,35	0,993	0,994	180/1,5	4,25	0,986	0,987	240/1,5	5,00	0,977	0,979
120/1,5	2,20	0,997	0,998	180/1,5	3,00	0,994	0,994	240/1,5	3,50	0,992	0,992
120/2,0	5,50	0,986	0,990	180/2,0	7,00	0,972	0,978	240/2,0	8,00	0,959	0,966
120/2,0	4,15	0,990	0,992	180/2,0	5,20	0,980	0,984	240/2,0	6,25	0,970	0,974
120/2,0	2,80	0,994	0,996	180/2,0	3,80	0,988	0,990	240/2,0	4,50	0,983	0,985
120/3,0	6,50	0,987	0,981	180/3,0	9,00	0,962	0,974	240/3,0	9,50	0,953	0,965
120/3,0	5,00	0,991	0,986	180/3,0	6,90	0,972	0,980	240/3,0	7,50	0,963	0,973
120/3,0	3,50	0,994	0,991	180/3,0	4,80	0,982	0,987	240/3,0	5,50	0,976	0,981
Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachsen											
120/1,5	4,50	0,989	0,991	180/1,5	5,50	0,978	0,981	240/1,5	6,50	0,965	0,968
120/1,5	3,35	0,992	0,994	180/1,5	4,25	0,985	0,987	240/1,5	5,00	0,977	0,979
120/1,5	2,20	0,997	0,997	180/1,5	3,00	0,994	0,994	240/1,5	3,50	0,992	0,992
120/2,0	5,50	0,985	0,989	180/2,0	7,00	0,971	0,977	240/2,0	8,00	0,959	0,965
120/2,0	4,15	0,990	0,992	180/2,0	5,20	0,980	0,984	240/2,0	6,25	0,970	0,974
120/2,0	2,80	0,994	0,995	180/2,0	3,80	0,988	0,990	240/2,0	4,50	0,983	0,985
120/3,0	6,50	0,987	0,981	180/3,0	9,00	0,962	0,973	240/3,0	9,50	0,952	0,964
120/3,0	5,00	0,990	0,986	180/3,0	6,90	0,972	0,980	240/3,0	7,50	0,963	0,972
120/3,0	3,50	0,994	0,991	180/3,0	4,80	0,982	0,987	240/3,0	5,50	0,976	0,981

5.5.2 Sogbelastung

Die Ergebnisse der Faktoren F nach Gl. (6) sind in Tabelle 20 angegeben und im Bild 18 graphisch dargestellt.

Für den Lastfall Sog überwiegt wieder die Torsion, so daß die Ergebnisse denen des Einfeldträgers gleichen.

Tabelle 20 Faktor F nach Gl.(6) für C-Pfetten als Zweifeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂	Pfette	Länge L [m]	c ₁	c ₂
symmetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	1,067	1,057	180/1,5	5,50	1,084	1,076	240/1,5	6,50	1,068	1,064
120/1,5	3,35	1,404	1,254	180/1,5	4,25	1,391	1,306	240/1,5	5,00	1,337	1,295
120/1,5	2,20	2,237	2,178	180/1,5	3,00	1,891	1,857	240/1,5	3,50	1,651	1,637
120/2,0	5,50	1,044	1,030	180/2,0	7,00	1,036	1,027	240/2,0	8,00	1,044	1,037
120/2,0	4,15	1,160	1,125	180/2,0	5,20	1,142	1,113	240/2,0	6,25	1,109	1,099
120/2,0	2,80	1,931	1,763	180/2,0	3,80	1,793	1,667	240/2,0	4,50	1,693	1,623
120/3,0	6,50	1,043	1,031	180/3,0	9,00	1,013	1,007	240/3,0	9,50	1,020	1,012
120/3,0	5,00	1,113	1,086	180/3,0	6,90	1,058	1,042	240/3,0	7,50	1,076	1,060
120/3,0	3,50	1,416	1,266	180/3,0	4,80	1,234	1,189	240/3,0	5,50	1,297	1,203
antimetrisches Ausweichen											
120/1,5	4,50	0,953	0,953	180/1,5	5,50	0,953	0,953	240/1,5	6,50	0,953	0,953
120/1,5	3,35	1,063	1,009	180/1,5	4,25	1,188	1,144	240/1,5	5,00	1,039	0,988
120/1,5	2,20	1,895	1,792	180/1,5	3,00	1,682	1,621	240/1,5	3,50	1,572	1,545
120/2,0	5,50	0,953	0,953	180/2,0	7,00	0,953	0,953	240/2,0	8,00	0,952	0,952
120/2,0	4,15	0,953	0,953	180/2,0	5,20	0,968	0,953	240/2,0	6,25	0,953	0,953
120/2,0	2,80	1,336	1,243	180/2,0	3,80	1,601	1,420	240/2,0	4,50	1,364	1,270
120/3,0	6,50	0,975	0,975	180/3,0	9,00	0,973	0,973	240/3,0	9,50	0,970	0,970
120/3,0	5,00	0,975	0,975	180/3,0	6,90	0,973	0,973	240/3,0	7,50	0,970	0,970
120/3,0	3,50	1,092	1,004	180/3,0	4,80	1,072	0,992	240/3,0	5,50	1,153	1,082

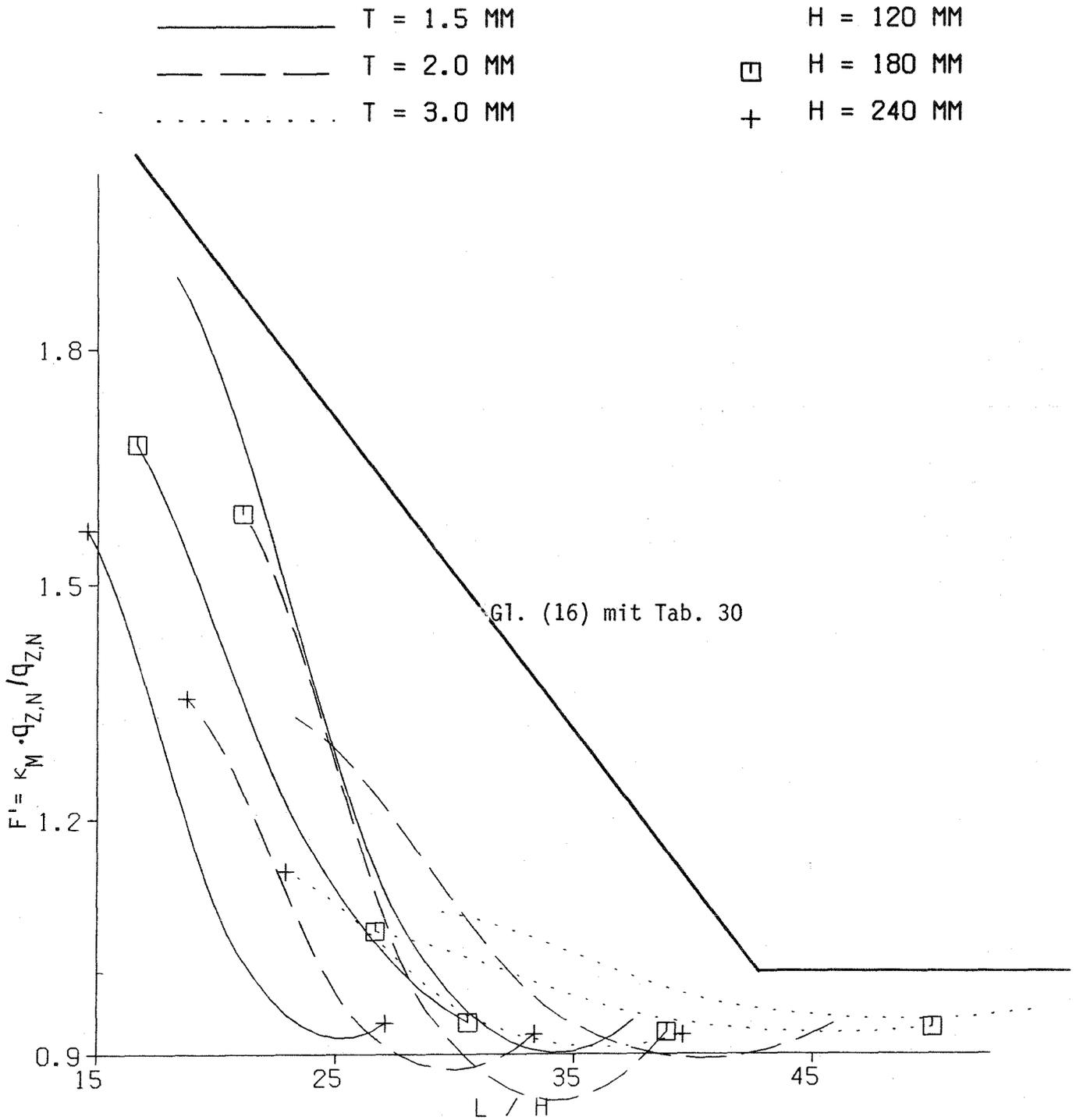


Bild 18 C-Pfette als Zweifeldträger unter Sogbelastung mit asymmetrischer Verformungsfigur

Die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken sind in Tabelle 21 angegeben. Ähnlich wie bei den Z-Pfetten ist auch hier die Reduktion relativ gering.

Tabelle 21 Abminderungsfaktor κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken für C-Pfetten als Zweifeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2	Pfette	Länge L [m]	c_1	c_2
Querschnittswerte bezogen auf die Hauptachsen											
120/1,5	4,50	0,990	0,992	180/1,5	5,50	0,987	0,988	240/1,5	6,50	0,986	0,987
120/1,5	3,35	0,995	0,995	180/1,5	4,25	0,993	0,993	240/1,5	5,00	0,993	0,994
120/1,5	2,20	0,999	0,999	180/1,5	3,00	0,998	0,998	240/1,5	3,50	0,998	0,998
120/2,0	5,50	0,985	0,988	180/2,0	7,00	0,974	0,978	240/2,0	8,00	0,972	0,976
120/2,0	4,15	0,991	0,993	180/2,0	5,20	0,984	0,987	240/2,0	6,25	0,983	0,985
120/2,0	2,80	0,996	0,997	180/2,0	3,80	0,993	0,994	240/2,0	4,50	0,993	0,993
120/3,0	6,50	0,980	0,985	180/3,0	9,00	0,960	0,970	240/3,0	9,50	0,953	0,962
120/3,0	5,00	0,987	0,990	180/3,0	6,90	0,973	0,979	240/3,0	7,50	0,968	0,974
120/3,0	3,50	0,993	0,995	180/3,0	4,80	0,986	0,989	240/3,0	5,50	0,983	0,985
Querschnittswerte bezogen auf die Schwerachsen											
120/1,5	4,50	0,991	0,992	180/1,5	5,50	0,987	0,989	240/1,5	6,50	0,986	0,987
120/1,5	3,35	0,995	0,995	180/1,5	4,25	0,993	0,994	240/1,5	5,00	0,993	0,994
120/1,5	2,20	0,999	0,999	180/1,5	3,00	0,998	0,998	240/1,5	3,50	0,998	0,998
120/2,0	5,50	0,986	0,989	180/2,0	7,00	0,974	0,979	240/2,0	8,00	0,972	0,976
120/2,0	4,15	0,991	0,993	180/2,0	5,20	0,985	0,987	240/2,0	6,25	0,983	0,985
120/2,0	2,80	0,996	0,997	180/2,0	3,80	0,993	0,994	240/2,0	4,50	0,993	0,993
120/3,0	6,50	0,981	0,986	180/3,0	9,00	0,961	0,970	240/3,0	9,50	0,953	0,963
120/3,0	5,00	0,987	0,990	180/3,0	6,90	0,973	0,979	240/3,0	7,50	0,968	0,974
120/3,0	3,50	0,993	0,995	180/3,0	4,80	0,986	0,989	240/3,0	5,50	0,983	0,986

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 56 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

5.6 MEHRFELDTRÄGER

Rechnungen für ausgewählte Fälle haben gezeigt, daß sich prinzipiell keine neuen Erkenntnisse gegenüber denjenigen ergeben, die für Zweifeldträger gewonnen wurden. Auf eine detaillierte Darstellung wird daher verzichtet.

6. AUSWIRKUNGEN VON IMPERFEKTIONEN

Die maximal zu tragende Last (Traglast) von Stäben ist neben dem statischen System und der Art der Belastung auch von den Imperfektionen des Stabes abhängig. Es wird dabei zwischen geometrischen Imperfektionen (Vorverformungen des Stabes, Außermittigkeit der Last) und den strukturellen Imperfektionen (Eigenspannungen, Werkstoffinhomogenitäten) unterschieden.

In [2] und [10] wird zur Vereinfachung der Rechnung eine geometrische Ersatzimperfektion in Form einer seitlichen Vorkrümmung angegeben, die sowohl die geometrischen als auch die strukturellen Imperfektionen abdeckt. Diese Ersatzimperfektionen wurden an Stäben ohne seitliche Stützung hergeleitet. Erwartungsgemäß lieferten daher einige Vergleichsrechnungen mit diesen Vorkrümmungen unbefriedigende Ergebnisse. Durch die hier vorliegende gebundene Drehachse ergeben sich aus den seitlichen Vorverformungen gleichzeitig große Verdrehungen ϑ des Stabes, die jedoch tatsächlich gar nicht auftreten können.

In [12] wurde der Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit von Kaltprofilen untersucht. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß der Einfluß der Eigenspannungen vernachlässigbar gering ist. Gleichzeitig wurden in [12] umfangreiche Messungen der Vorverformungen von C-Kaltprofilen durchgeführt, wobei sich aus einer statistischen Auswertung (Mittelwert plus zweifacher Standardabweichung) für die Vorverdrehung der Wert $\vartheta_0 = 0,005$ [rad] ergab.

Daher wurden hier einige Vergleichsrechnungen für Ein- und Zweifeldträger unter Auflast und Sog nach der Spannungstheorie II. Ordnung mit der Vorverdrehung $\vartheta_0 = 0,005$ [rad] durchgeführt. Diese ergaben gegenüber dem Träger ohne Vorverformung eine Traglastminderung von ca. 1%, so daß für die rechnerischen Untersuchungen der Abschnitt 4 und 5 keine Imperfektionen berücksichtigt wurden.

7. ERWEITERUNG AUF ANDERE PROFILFORMEN

7.1 QUERSCHNITTE

Neben den bisher untersuchten Z- und C-Profilen werden auch in zunehmendem Maße Pfetten als sogenannte Sigma-Profile [3], [4] ausgeführt. Der Vorteil dieser Profile besteht darin, daß sie eine horizontale Hauptachse aufweisen und der Schubmittelpunkt in der Nähe des Schwerpunktes liegt. Um den Einfluß der Wölbspannungen auch bei dieser Profilform abschätzen zu können, wurden ergänzend für 4 Querschnitte (2 Höhen mit $t = 1,5$ mm und $t = 3$ mm) Vergleichsrechnungen durchgeführt. Die Abmessungen (Höhe, Breite, Lippe) wurde entsprechend den ausgewerteten Z-Pfetten gewählt. Für die Drehbettung wurde nur die Befestigung in jeder 2. Sicke ($e = 2b_r$) berücksichtigt, also die Werte c_1 entsprechend den Darstellungen in den anderen Tabellen. Es wurden die Anschlußsteifigkeiten c_{SA} der Z-Pfetten übernommen. Die Stege wurden aufgrund der 2 Abkantungen als voll wirksam angesetzt. Im Bild 19 sind die Profile mit ihren effektiven Querschnitten dargestellt.

Die Ergebnisse der Vergleichsrechnungen wurden entsprechend dem Vorgehen im Abschnitt 5 aufbereitet.

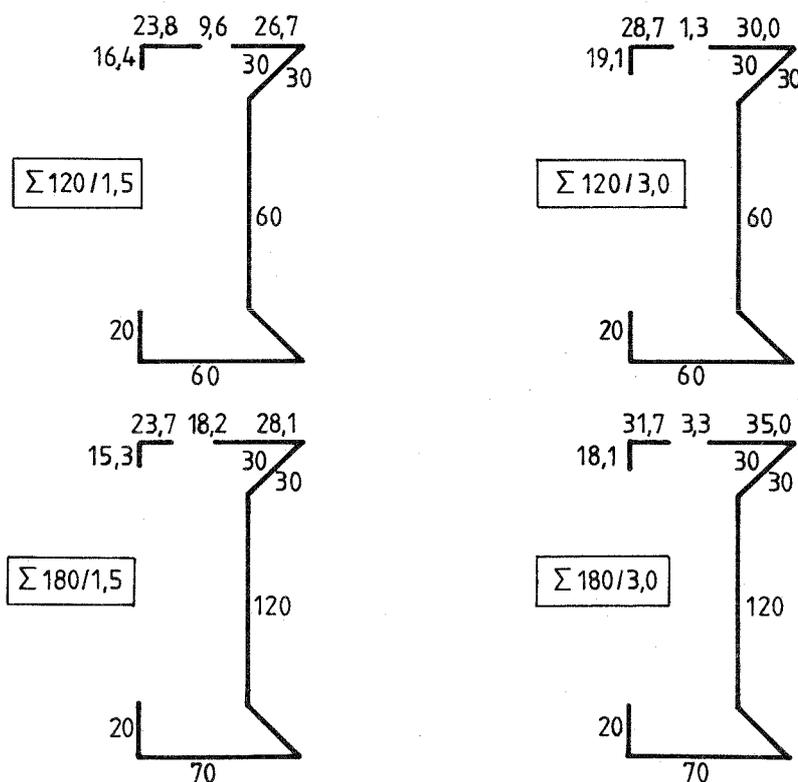


Bild 19 Wirksamer Querschnitt der Sigma-Pfetten

7.2 Σ -PFETTEN ALS EINFELDTRÄGER

7.2.1 Auflast

Es wurde bei den folgenden Untersuchungen vorausgesetzt, daß die Last jeweils an der Kante zwischen Obergurt und schrägem Stegbeginn wirkt.

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in der Tabelle 22 angegeben. Die graphische Darstellung erfolgt im Bild 20.

Ein Vergleich des Bildes 20 mit dem Bild 15 läßt erkennen, daß der Einfluß der Wölbkrafttorsion bei den Σ -Pfetten dem der C-Profile entspricht, im Bereich kleiner Wert L/H eine größere Abminderung erforderlich ist.

Tabelle 22 Faktor F nach Gl. (6) für Σ -Pfetten als Einfeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	F [%]
Σ 120/1,5	4,5	0,954
	3,35	0,970
	2,20	1,059
Σ 120/3,0	6,5	0,990
	5,0	0,997
	3,5	1,027
Σ 180/1,5	5,5	0,954
	4,25	0,954
	3,0	1,060
Σ 180/3,0	9,0	0,976
	6,9	0,982
	4,8	1,007

7.2.2 Sogbelastung

Es wurde angenommen, daß die Belastung wie bei den Z-Profilen in der Mitte des Gurtes durch die Verbindungsmittel übertragen wird.

Die Faktoren F nach Gl. (6) sind in der Tabelle 23 angegeben. Die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) sind in der Tabelle 24 zusammengestellt. Unter Berücksichtigung der Faktoren κ_M nach Gl. (12) ergeben sich die Faktoren F' in Tabelle 25 und die graphische Darstellung vom Bild 20.

Die prinzipielle Form der Kurven entspricht denen der C-Profile, wobei jedoch die extrem großen Werte der C-Profile bei kurzen Spannweiten nicht ganz erreicht werden. Dies ist verständlich, da das äußere Torsionsmoment bei den Σ -Pfetten nicht so groß ist wie bei den C-Profilen.

Tabelle 23 Faktoren nach Gl. (6) für Σ -Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	F [%]
Σ 120/1,5	4,5	1,075
	3,35	1,256
	2,20	1,545
Σ 120/3,0	6,5	1,007
	5,0	1,096
	3,5	1,317
Σ 180/1,5	5,5	1,213
	4,25	1,434
	3,0	1,705
Σ 180/3,0	9,0	1,097
	6,9	1,162
	4,8	1,427

Tabelle 24 Abminderungsfaktoren κ_M für Σ -Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	κ_M
Σ 120/1,5	4,5	0,904
	3,35	0,937
	2,20	0,951
Σ 120/3,0	6,5	0,851
	5,0	0,881
	3,5	0,918
Σ 180/1,5	5,5	0,829
	4,25	0,863
	3,0	0,885
Σ 180/3,0	9,0	0,727
	6,9	0,750
	4,8	0,840

Tabelle 25 Faktoren F' nach Gl. (12) für Σ -Pfetten als Einfeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	F'
Σ 120/1,5	4,5	0,972
	3,35	1,177
	2,20	1,469
Σ 120/3,0	6,5	0,857
	5,0	0,966
	3,5	1,209
Σ 180/1,5	5,5	1,005
	4,25	1,238
	3,0	1,509
Σ 180/3,0	9,0	0,798
	6,9	0,872
	4,8	1,199

SIGMA-PFETTE SÖG EINFELDTRÄGER

————— T = 1.5 MM

H = 120 MM

..... T = 3.0 MM

□ H = 180 MM

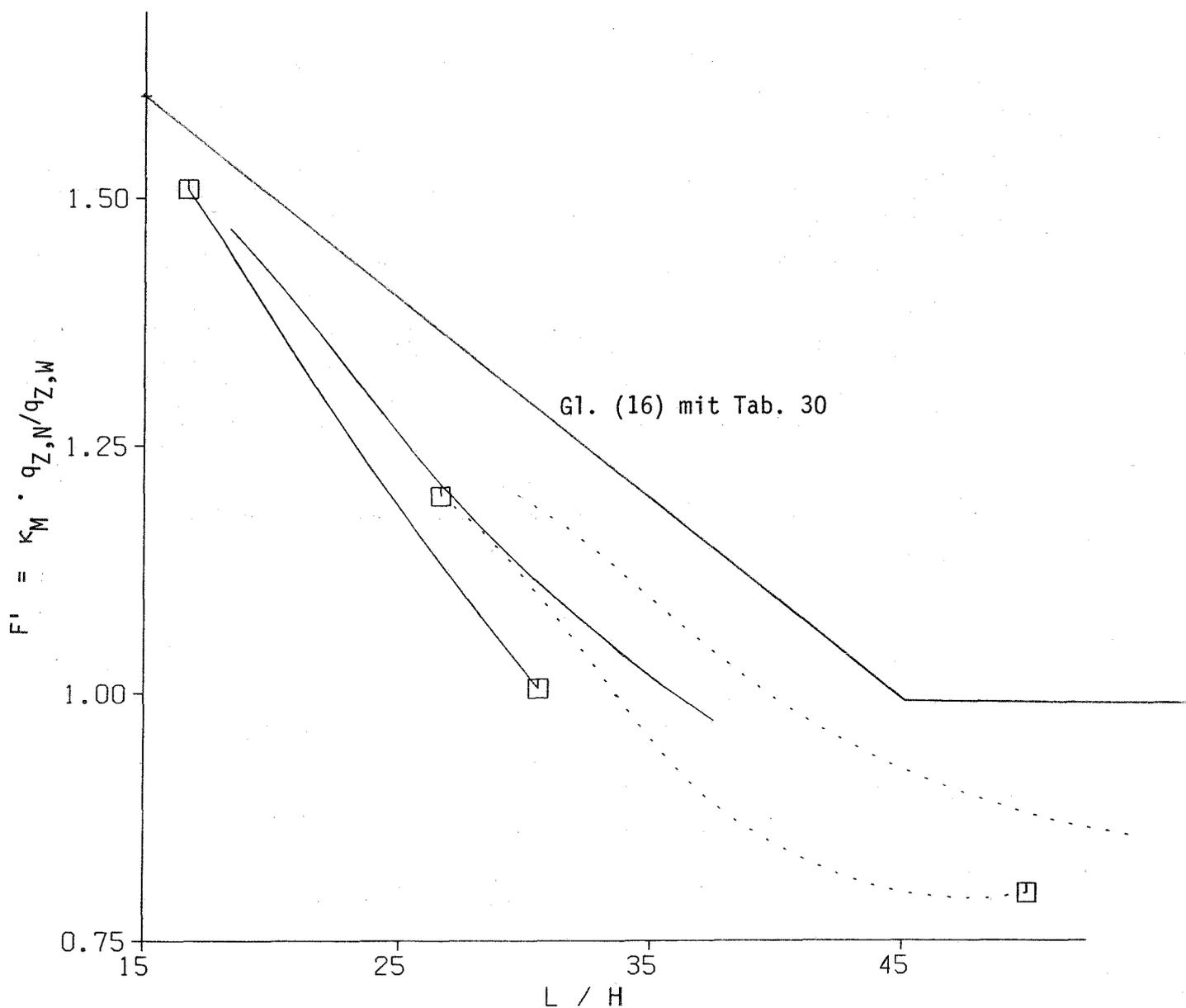


Bild 21 Σ -Pfette als Einfeldträger unter Sogbelastung

7.3 Σ -PFETTEN ALS ZWEIFELDTRÄGER

7.3.1 Auflast

Die Ergebnisse der Faktoren F nach Gl. (6) sind in der Tabelle 26 angegeben und im Bild 22 graphisch dargestellt.

Im Prinzip gelten die bei den C-Pfetten gemachten Ausführungen. Das Tragverhalten entspricht in etwa dem der C-Pfetten.

Tabelle 26 Faktoren F nach Gl. (6) für Σ -Pfetten als Zweifeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	Faktor F für symmetrisches Ausweichen	Faktor F für antimetrisches Ausweichen
Σ 120/1,5	4,5	1,282	0,953
	3,35	1,489	0,953
	2,20	1,734	1,119
Σ 120/3,0	6,5	1,141	0,988
	5,0	1,257	0,988
	2,5	1,467	0,988
Σ 180/1,5	5,5	1,418	0,953
	4,25	1,632	0,953
	3,0	1,866	1,186
Σ 180/3,0	9,0	1,150	0,975
	6,9	1,270	0,976
	4,8	1,509	0,976

Die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken sind in der Tabelle 27 angegeben. Man sieht, daß in den meisten Fällen nur eine geringe Reduktion erforderlich ist.

Tabelle 27 Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken für Σ -Pfetten als Zweifeldträger unter Auflast

Pfette	Länge L [m]	κ_M
Σ 120/1,5	4,5	0,974
	3,35	0,983
	2,20	0,994
Σ 120/3,0	6,5	0,953
	5,0	0,964
	3,5	0,978
Σ 180/1,5	5,5	0,945
	4,25	0,961
	3,0	0,983
Σ 180/3,0	9,0	0,891
	6,9	0,915
	4,8	0,945

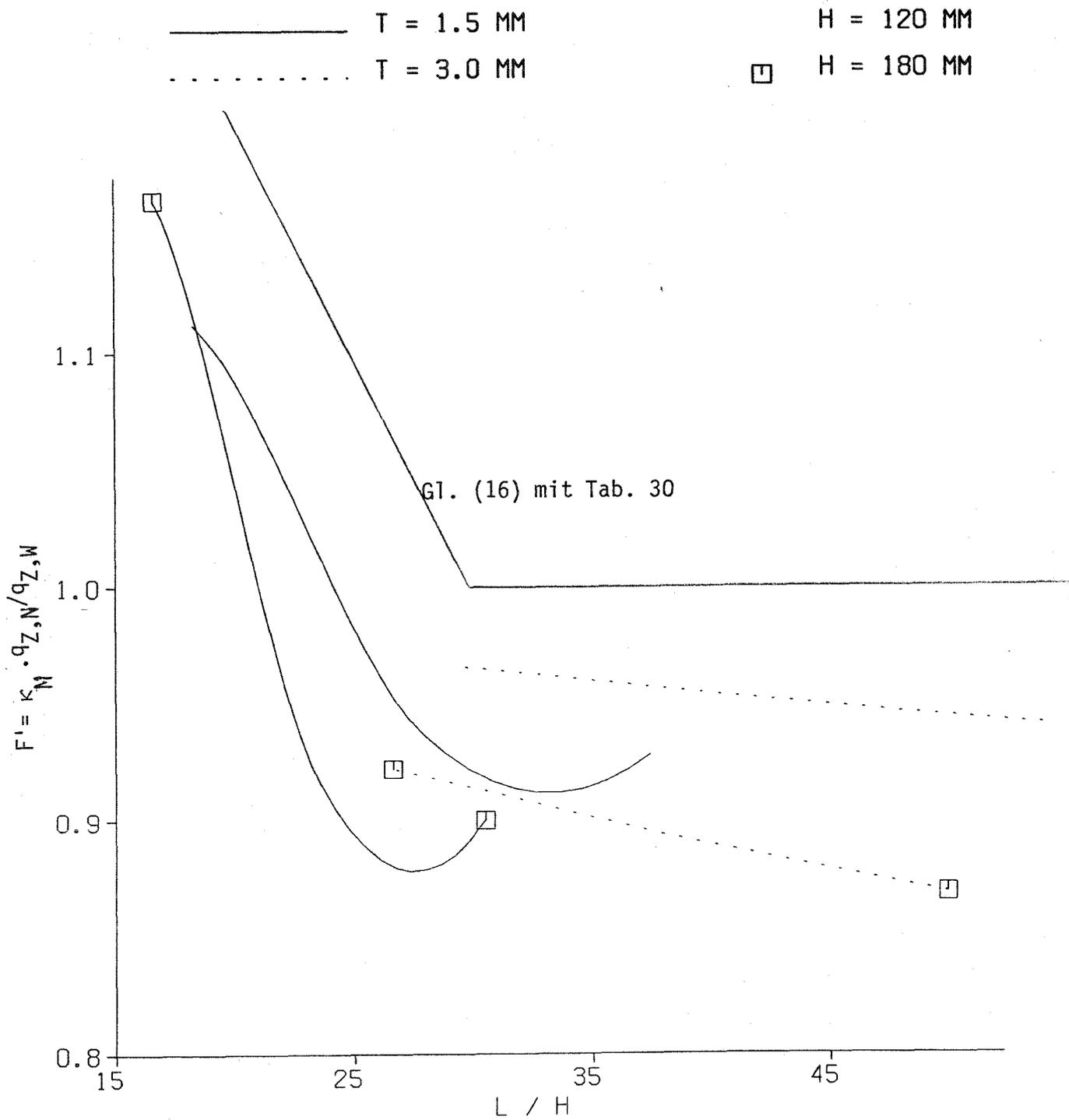


Bild 22 · Σ - Pfette als Zweifeldträger unter Auflast mit asymmetrischer Verformungsfigur

7.3.2 Sogbelastung

Die Ergebnisse der Faktoren F nach Gl. (6) sind in der Tabelle 28 angegeben und im Bild 23 graphisch dargestellt.

Für den Lastfall Sog ist die Beanspruchung aus Torsion nicht so ausgeprägt wie bei den C-Profilen, so daß bei den Σ -Pfetten mit antimetrischer Versagensform der Nachweis im Stützenbereich maßgebend wird, während bei den C-Profilen mit kurzen Stützweiten der Feldbereich infolge Wölbnormalspannungen früher versagt.

Tabelle 28 Faktor F nach Gl. (6) für Σ -Pfetten als Zweifeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	Faktor F für symmetrisches Ausweichen	Faktor F für antimetrisches Ausweichen
Σ 120/1,5	4,5	0,983	0,952
	3,35	1,045	0,952
	2,20	1,130	0,953
Σ 120/3,0	6,5	1,016	0,987
	5,0	1,039	0,987
	3,5	1,104	0,987
Σ 180/1,5	5,5	0,965	0,952
	4,25	1,034	0,952
	3,0	1,113	0,992
Σ 180/3,0	9,0	0,998	0,975
	6,9	1,016	0,975
	4,8	1,082	0,975

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 68 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

Die Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken sind in der Tabelle 29 angegeben. Ähnlich wie bei den Z- und C-Pfetten ist auch hier die Reduktion relativ gering.

Tabelle 29 Abminderungsfaktoren κ_M nach Gl. (8) für das Biegedrillknicken für Σ -Pfetten als Zweifeldträger unter Sogbelastung

Pfette	Länge L [m]	κ_M
Σ 120/1,5	4,5	0,985
	3,35	0,992
	2,20	0,997
Σ 120/3,0	6,5	0,970
	5,0	0,979
	3,5	0,989
Σ 180/1,5	5,5	0,970
	4,25	0,981
	3,0	0,993
Σ 180/3,0	9,0	0,926
	6,9	0,946
	4,8	0,970

————— T = 1.5 MM

H = 120 MM

..... T = 3.0 MM

□ H = 180 MM

Gl. (16) mit Tab. 30

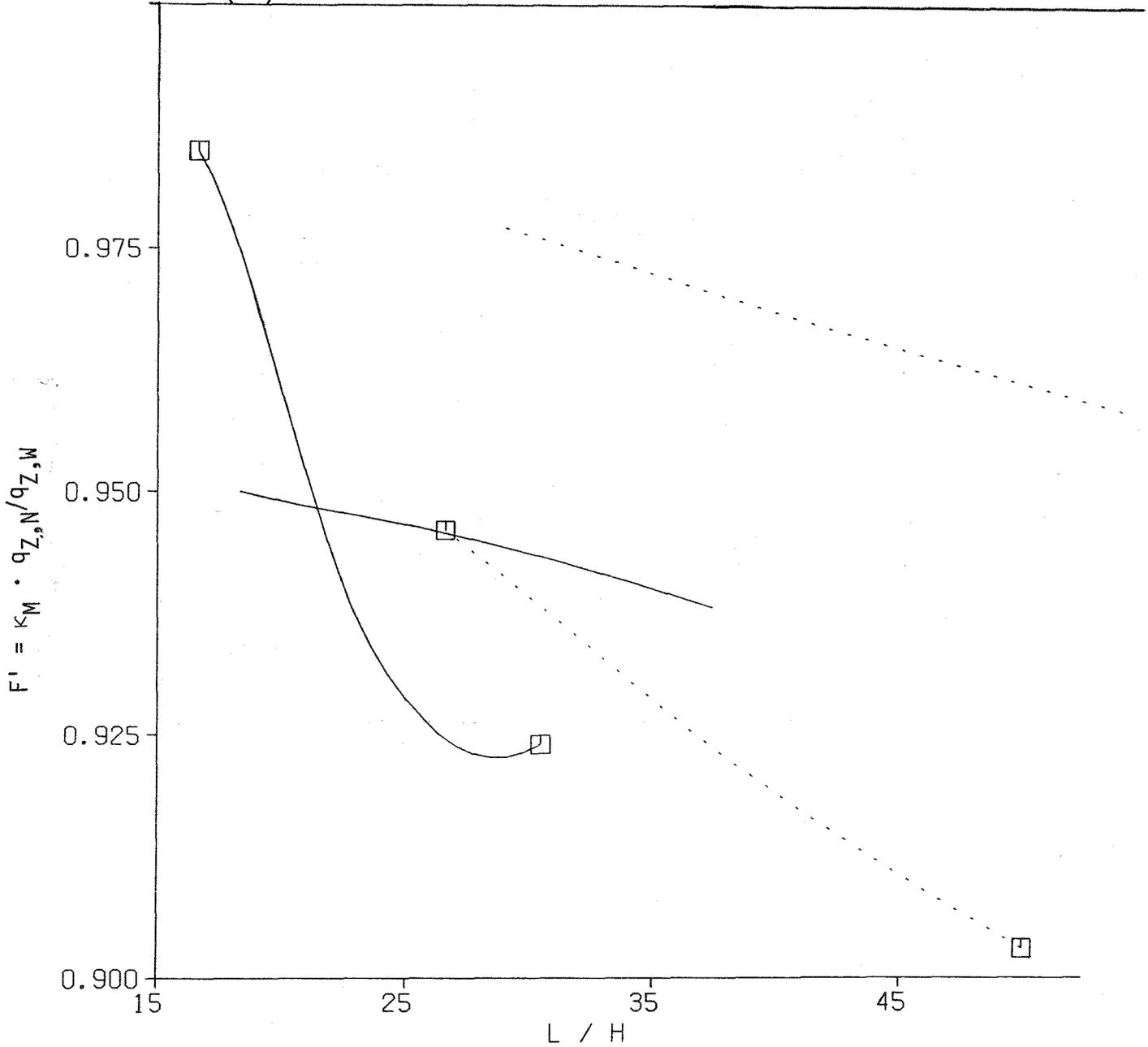


Bild 23 Σ - Pfette als Zweifeldträger unter Sogbelastung mit asymmetrischer Verformungsfigur

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 70 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

7.4 ZUSAMMENFASSUNG DER UNTERSUCHUNGEN AN Σ -PFETTEN

Aus den hier durchgeführten zusätzlichen Untersuchungen ergibt sich, daß sich Sigma-Profile ähnlich wie C- und Z-Profile verhalten. Aufgrund der anderen Lage des Schubmittelpunktes und des Drillruhepunktes sind die Faktoren F betragsmäßig zwar verschieden von denen der anderen Profile, tendenziell bestehen jedoch kaum Unterschiede.

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 71 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

7.5 PROFILE MIT SCHMALEN GURTEN ODER LIPPEN

Um die Gültigkeit der Ergebnisse des Abschnitts 5 auch bei Z- und C-Profilen mit besonders schmalen Gurten bzw. kurzen Lippen zu überprüfen, wurden hierzu einige zusätzliche Rechnungen durchgeführt.

Bei den Profilen mit schmalen Gurten zeigte sich kein Unterschied im Tragverhalten gegenüber entsprechenden Profilen mit breitem Gurt.

Dagegen ergab sich bei den Profilen mit kurzen Lippen, insbesondere bei Sogbelastung, ein ungünstigeres Tragverhalten. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die kurzen Lippen zu weich sind, um den Druckgurt genügend auszusteifen, so daß bei der Ermittlung des wirksamen Querschnitts große Teile des Druckgurtes und der Lippe wegfallen. Hierdurch ergibt sich für den Druckgurt eine geringe seitliche Steifigkeit, vergleichbar mit Profilen ohne Lippen.

Bei den Vorschlägen, die als Ergebnis aller hier durchgeführten Berechnungen gemacht werden, sind Abgrenzungen für die Lippenabmessungen angegeben, die die oben gemachten Einschränkungen berücksichtigen.

8. SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE PRAKTISCHE ANWENDUNG

8.1 ALLGEMEINES

Aus den umfangreichen Ergebnissen, die im Abschnitt 5 dargestellt wurden, lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- a) Für hier untersuchte Pfetten läßt sich die Grenzlast q_{Gr} unter γ -fachen Lasten nach Gl. (15) bestimmen, wenn die Last $q_{Z,N}$ nach Gl. (5) mit einem Reduktionsfaktor nach Gl. (15) multipliziert wird

$$q_{Gr} = q_{Z,N} \cdot k_M / k_d \quad (15)$$

mit

$q_{Z,N}$ nach Gl. (5), Gleichlast rechtwinklig zur Dachebene, s. Bild 24

k_M Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken

k_d Beiwert zur Berücksichtigung der Wirkung des nicht direkt gestützten Druckbereiches

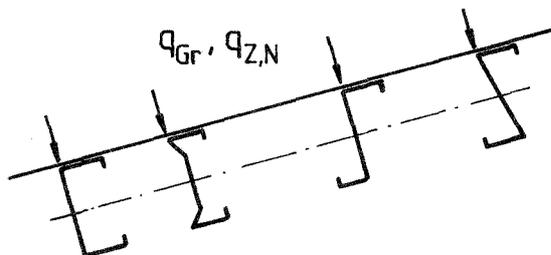


Bild 24 Wirkungsrichtung der Belastung nach Gl. (15)

- b) Der Beiwert k_d ergibt sich nach Gl. (16) zu

$$k_d = a_1 - a_2 \cdot \frac{L}{h} \quad (16)$$

jedoch $k_d \geq 1,0$,

mit

L Stützweite in [m]

h Pfettenhöhe in [m].

Die Beiwerte a_1 und a_2 sind der Tabelle 30 zu entnehmen.

Tabelle 30 Beiwerte a_1 und a_2 für Gl. (16)

System	Z-Pfetten		C-Pfetten		Σ -Pfetten	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
Einfeldtr. Auflast	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
Einfeldtr. Sogbel.	1,3	0	3,5	0,05	1,9	0,02
Mehrfeldtr. Auflast	1,0	0	1,6	0,02	1,6	0,02
Mehrfeldtr. Sogbel.	1,4	0,01	2,7	0,04	1,0	0

c) Der Abminderungsfaktor κ_M für das Biegedrillknicken ist entsprechend Abschnitt 4.3 zu bestimmen. Dabei sind die Querschnittswerte bezogen auf die Hauptträgheitsachsen einzusetzen.

Es braucht in folgenden Fällen kein Nachweis geführt zu werden, d.h. κ_M in Gl. (15) ist zu 1,0 zu setzen:

- bei Einfeldträgern unter Auflast
- wenn Gl. (17a) bzw. (17b) erfüllt sind.

Bei Befestigung der Trapezbleche in jeder 2. Sicke:

$$\text{erf } c_3 \leq c_1, \quad (17a)$$

bei Befestigung der Trapezbleche in jeder Sicke

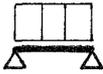
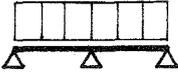
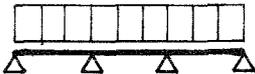
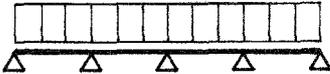
$$\text{erf } c_3 \leq c_2 \quad (17b)$$

Die Drehbettungsbeiwerte c_1 bzw. c_2 können dabei für die hier untersuchten Pfetten der Tabelle 2 entommen werden, in anderen Fällen sind sie nach Gl. (1) zu berechnen.

Die erforderlichen Drehbettungsbeiwerte ergeben sich in Abhängigkeit von System und Lastart aus Gl. (18), wobei die Beiwerte k_g der Tabelle 31 zu entnehmen sind.

$$\text{erf } c_g = k_g \cdot \frac{M_{el}^2}{EI_z} \quad (18)$$

Tabelle 31 Drehbettungsbeiwerte k_g

System	Belastung als	
	Auflast	Sog
	-	0,21
	0,07	0,029
	0,15	0,066
 4 und mehr Felder	0,10	0,053

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 75 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

Die Darstellung der Gl. (18) folgt prinzipiell dem Vorschlag in [3], wobei dort als Bezugswert M_{p1} verwendet wird. Hier wird als Bezug M_{e1} verwendet und dies entsprechend in den Beiwerten k_g berücksichtigt.

Wenn ein Biegedrillknicknachweis zu führen ist, so kann das ideale Biegedrillknickmoment nach Gl. (19) berechnet werden

$$M_{Ki} = \frac{k}{L} \sqrt{GI_T^* \cdot EI_Z} \quad (19)$$

mit

$$I_T^* \quad \text{nach Gl. (11)}$$

Der Beiwert k kann dem Bild 25 entnommen werden.

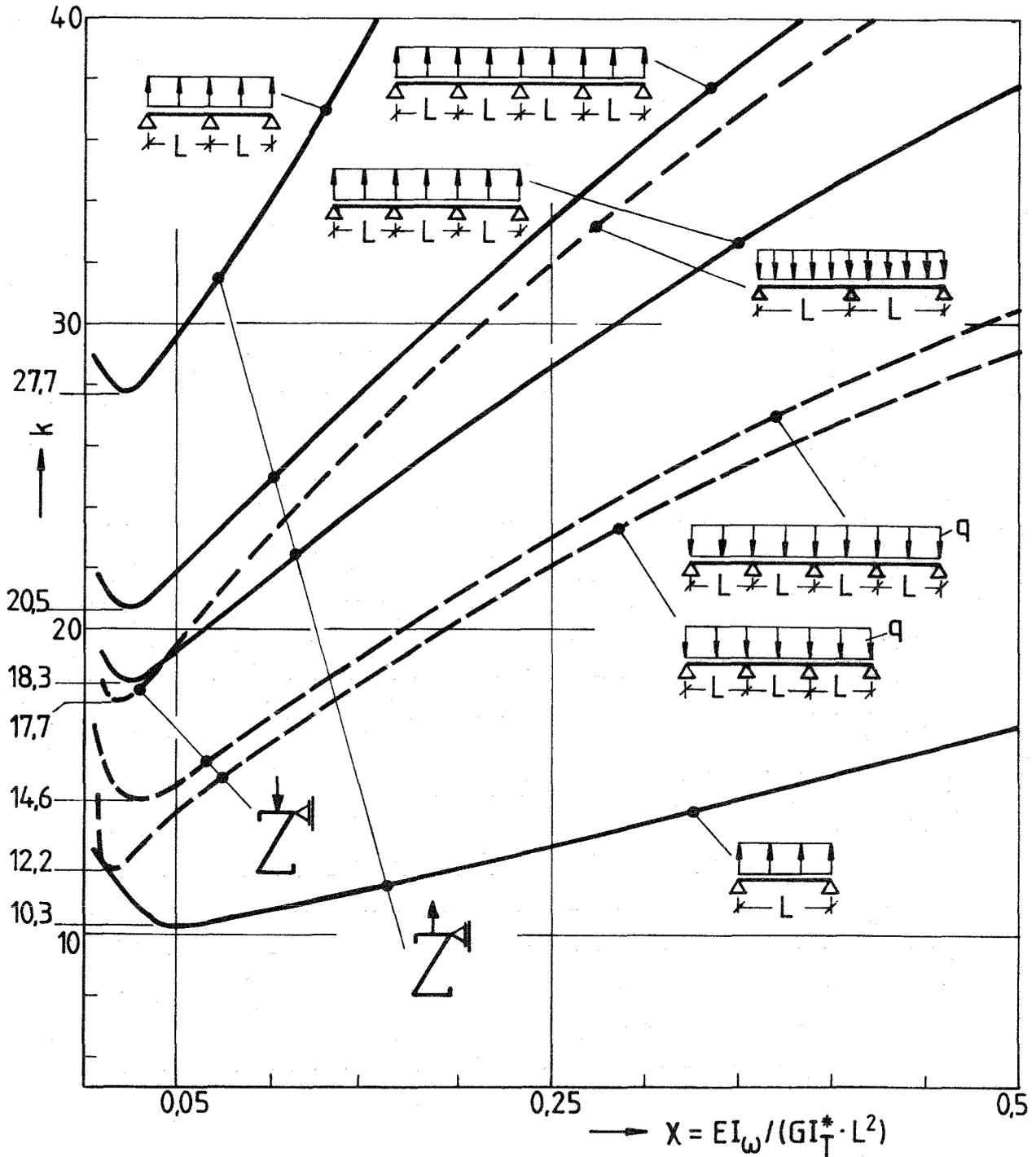


Bild 25 Beiwert k für gebundene Drehachse

8.2 VERGLEICH DER VEREINFACHTEN BEMESSUNG NACH ABSCHNITT 8.1 MIT DEN BEMESSUNGSREGELN DER ZULASSUNGEN

In den Zulassungen der Kaltprofilpfetten werden für Z- und C-Profile zulässige Schnittgrößen für Auflast und Sog angegeben. Für einige Pfetten wurde zum Vergleich das zulässige Moment für Ein- und Zweifeldträger unter Auflast bzw. Sog nach den vereinfachten Bemessungsvorschlägen des Abschnittes 8.1 ermittelt. Zum Vergleich wird hier das Butler-Dachsystem [15] herangezogen, da es sich hierbei um eine neuere Zulassung handelt.

Für die Ermittlung des wirksamen Querschnitts der hier untersuchten Pfetten (siehe Bild 26) wurde für den Vergleich ebenfalls die Spannungsverteilung entsprechend Bild 2 angenommen. Bei den unsymmetrischen Z-Profilen wurde für den gedrückten Gurt der breitere Gurt angesetzt, da sich daraus eine größere Reduzierung des Gurtes ergibt. Zur Vereinfachung der Berechnung wurde zwischen Gurt und Lippe ein rechter Winkel angenommen. Diese Vereinfachung liegt auf der sicheren Seite, da sich hierdurch kleinere Haupt-Trägheitsmomente I_y und I_z ergeben. Die wirksamen Widerstandsmomente, die sich unter diesen Voraussetzungen bei der Berechnung nach Abschnitt 3 ergeben, sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Tabelle 32 Querschnittswerte für den wirksamen Querschnitt

Pfette	β_s [N/mm ²]	W_{ef} [cm ² m]	M_{ef} [kNm]
Z 200/15	280	0,267	7,48
Z 240/30	280	0,889	24,9
C 200/20	280	0,460	12,9
C 240/30	280	1,04	29,2

Für den Lastfall Einfeldträger unter Auflast können die zulässigen Schnittgrößen direkt verglichen werden, da nach Abschnitt 8.1 in Gl. (15) der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken $\kappa_M = 1,0$ ist. Bei den C-Profilen wird angenommen, daß der Quotient $L/H \geq 50$ ist, so daß der Beiwert zur Berücksichtigung der Wirkung des nicht direkt gestützten Gurtes $K_d = 1,0$ ist. In Tabelle 33 sind die aufnehmbaren Schnittgrößen der Zulassung [15] denen der Ergebnisse aus Gl. (15) gegenübergestellt.

Die zulässigen Werte des Butler-Dachsystems [15] wurden mit $\gamma = 1,71$ multipliziert, da in der Zulassung die Schnittgrößen auf dem Niveau zulässiger Werte angegeben sind.

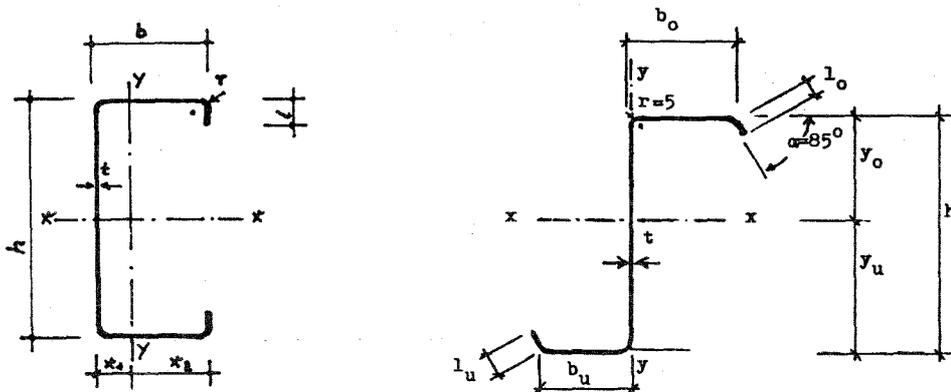


Bild 26 Pfetten des Butler-Dachsystems [15]

Tabelle 33 Aufnehmbare Schnittgrößen für Einfeldträger unter Auflast

Pfette	M_f nach [15], [16] [kNm]	M_f nach Gl(15) [kNm]
Z 200/15	8,74	7,48
Z 240/30	26,6	24,9
C 200/20	15,4	12,9
C 240/30	31,8	29,2

Für den Lastfall Sog und für Mehrfeldträger ist in Gl. (15) zusätzlich der Abminderungsfaktor κ_M für das Biegedrillknicken zu berücksichtigen.

Das wirksame Biegedrillknickmoment M_{Ki}^1 wird aus der in [2] angegebenen Gleichung (428) ermittelt.

$$M_{Ki}^1 = M_{Ki,y} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{M_{Ki,y}}{M_{Ki,B}}\right)^2}} \quad (20)$$

mit

$$M_{Ki,B} = \sigma_{Ki,B} \cdot W_g \quad \text{ideales Biegemoment nach der Elastizitätstheorie für das Beulen des Querschnitts oder ungünstigstes Querschnittsteils}$$

Die ideale Beulspannung $\sigma_{Ki,B}$ wird nach [1] ermittelt. Das Biegedrillknickmoment M_{Ki} des vollen Querschnitts ergibt sich aus Gl. (19).

Für die Drehbettung wurden die in Tabelle 2 angegebenen Anschlußsteifigkeiten $c_{\vartheta A}$ bei Befestigung in jeder 2. Sicke berücksichtigt.

Die Auswertung erfolgte für Spannweiten von 4 m und 8 m. In Tabelle 34 sind die idealen Biegedrillknickmomente M_{Ki} , die ideale Beulspannung $\sigma_{Ki,B}$ nach [1], das wirksame Biegedrillknickmoment M_{Ki} und die sich hieraus ergebenden Abminderungsfaktoren κ_M für die unterschiedlichen Belastungsfälle zusammengestellt.

Tabelle 34 Ideales Biegedrillknickmoment M_{Ki} und Abminderungsfaktor κ_M

Pfette	$\sigma_{Ki,B}$ [kN/cm ²]	L = 4 m			L = 8 m		
		M_{Ki} [kNm]	M'_{Ki} [kNm]	κ_M [-]	M_{Ki} [kNm]	M'_{Ki} [kNm]	κ_M [-]
Zweifeldträger Auflast							
Z 200/15	23,7	26,4	9,35	0,834	25,9	9,32	0,833
Z 240/30	65,0	68,8	44,0	0,917	64,5	42,8	0,912
C 200/20	40,7	87,9	22,7	0,917	86,1	22,7	0,917
C 240/30	69,3	146,5	67,4	0,934	140,1	66,8	0,953
Einfeldträger Sog							
Z 200/15	23,7	15,4	8,38	0,799	15,1	8,33	0,797
Z 240/30	65,0	33,6	29,0	0,812	30,6	27,0	0,788
C 200/20	40,7	40,3	20,3	0,895	38,9	20,7	0,893
C 240/30	69,3	67,9	50,6	0,914	63,1	48,6	0,906
Zweifeldträger Sog							
Z 200/15	23,7	41,3	9,71	0,766	40,5	9,70	0,763
Z 240/30	65,0	90,5	48,4	0,755	82,4	47,0	0,748
C 200/20	40,7	108,3	23,0	0,845	104,7	23,0	0,843
C 240/30	69,3	182,5	70,1	0,803	169,8	69,3	0,797

Tabelle 35 Zulässige Momente M_U [kNm]

Pfette	L = 4 m		L = 8 m	
	M_U [15] [kNm]	M_U G1(15) [kNm]	M_U [15] [kNm]	M_U G1(15) [kNm]
Zweifeldträger Auflast				
Z 200/15	8,74	6,24	8,74	6,23
Z 240/30	26,6	22,8	26,6	22,7
C 200/20	15,4	9,86	15,4	11,8
C 240/30	31,8	21,4	31,8	27,8
Einfeldträger Sog				
Z 200/15	4,45	4,60	4,45	4,58
Z 240/30	13,3	15,5	13,3	15,1
C 200/20	7,70	4,62	7,70	7,68
C 240/30	15,9	9,88	15,9	14,7
Zweifeldträger Sog				
Z 200/15	4,45	5,27	4,45	6,32
Z 240/30	13,3	18,9	13,3	21,6
C 200/20	7,70	6,24	7,70	10,8
C 240/30	15,9	13,8	15,9	20,4

In Tabelle 35 sind die zulässigen Momente, die sich bei einer Auswertung von G1. (15) ergeben, den Momenten der Zulassung gegenübergestellt. Die Werte der Zulassung des Butler-Dachsystems [15] wurden wieder mit dem Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1,71$ multipliziert, um rechnerische Versagenslasten zu erhalten. Bei den Stützmomenten wurde generell bei beiden Berechnungsmethoden keine Abminderung durch die Querkraft berücksichtigt.

$$\frac{1}{c_{\mathcal{D}}} = \frac{1}{c_{\mathcal{D}M}} + \frac{1}{c_{\mathcal{D}A}} + \frac{1}{c_{\mathcal{D}P}} \quad (344b)$$

mit

$c_{\mathcal{D}}$ wirksame Drehbettung

$c_{\mathcal{D}M}$ theoretische Drehbettung aus den Trapezblechen oder anderen angeschlossenen Bauteilen bei Annahme einer starren Verbindung

$$= k \cdot \frac{EI_{\text{eff}}}{a}$$

$k = 2$ Einzelfeld

$k = 4$ Durchlaufträger über mehr als drei Felder

a Stützweite der Trapezbleche

$c_{\mathcal{D}A}$ Anschlußsteifigkeit, nach Gl. (344c) mit den Werten nach Tabelle 304a

$c_{\mathcal{D}P}$ Querschnittsverformung des untersuchten Profils

$$c_{\mathcal{D}A} = \bar{c}_{\mathcal{D}A} \cdot \left(\frac{\text{vor } b}{100} \right)^2 \quad (344c)$$

mit

vorh b vorhandene Gurtbreite in [mm]

Tab. 304a: Anschlußsteifigkeiten $\bar{c}_{\partial A}$ von Trapezblechen aus Stahl, bezogen auf eine Gurtbreite $b = 100$ mm

Zeile	Trapezblechlage		Schrauben im		Schrauben- abstand		Scheiben ϕ [mm] \geq	$\bar{c}_{\partial A}$ [kNm/m]
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	$e = b_r$	$e = 2b_r$		
Auflast								
1	X		X		X		22	5,2
2	X		X			X	22	3,1
3		X		X	X		Ka	10,0
4		X		X		X	Ka	5,2
5		X	X		X		22	3,1
6		X	X			X	22	2,0
Sog								
7	X		X		X		16	2,6
8	X		X			X	16	1,7

Ka = Abdeckkappen

Gewindefurchende Schrauben ϕ 6,3 mm

Dichtscheiben aus Stahl $t \geq 1$ mm

Zeilen 1 - 4, 7, 8: Gurt ≤ 40 mm

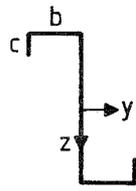
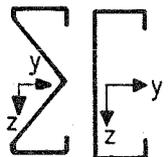
Zeile 5, 6 Gurt ≤ 120 mm

- Nach Abschnitt 4.5: -

4.5a Vereinfachte Nachweise für Pfetten

421a - Pfetten mit C, Z und Σ -Profil dürfen vereinfacht nachgewiesen werden, wenn die Bedingungen von Tab. 401a eingehalten sind.

Tab. 401a: Grenzbedingungen für Pfettennachweise

Pfetten Typ	t [mm]	b/t	h/t	h/b	c/t	b/c	L/H
	$\geq 1,5$	$\leq 46,7$	≤ 160	$\leq 3,43$	$\leq 13,3$	$\leq 4,0$	≥ 15
	$\geq 1,5$	$\leq 53,3$	≤ 160	$\leq 3,0$	$\leq 16,7$	$\leq 4,0$	≥ 15

421b - Der vereinfachte Nachweis von Pfetten, die die Voraussetzungen von Tab. 401a erfüllen und die durch am Obergurt angeschlossene Trapezbleche ausgesteift sind, so daß die Anschlußsteifigkeiten von Tab. 304a erfüllt sind, dürfen nach Gl. (430a) nachgewiesen werden

$$\text{vorh } M_y \leq \text{grenz } M_y \quad (430a)$$

mit

$$\text{grenz } M_y = \frac{\beta_s \cdot I_{y,ef}}{Z} \cdot \frac{k_M}{k_d} \quad (430b)$$

κ_M Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken, nach Element 421c bzw. 421d

k_d Beiwert zur Berücksichtigung der Wirkung des nicht gestützten Druckbereiches nach Gl. (430c) und Tab. 401b

$$k_d = \left(a_1 - a_2 \frac{L}{h} \right) \quad (430c)$$

jedoch $k_d \geq 1,0$

mit a_1, a_2 nach Tab. 401b

und L Stützweite in [m]

H Pfettenhöhe in [cm]

Tab. 401b: Faktoren a_1, a_2 für Gl. (430c)

System	Z-Pfetten		C-Pfetten		Σ -Pfetten	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
Einfeldtr. Auflast	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
Einfeldtr. Sogbel.	1,3	0	3,5	0,05	1,9	0,02
Mehrfeldtr. Auflast	1,0	0	1,6	0,02	1,6	0,02
Mehrfeldtr. Sogbel.	1,4	0,01	2,7	0,04	1,0	0

421c - Der Abminderungsfaktor κ_M darf vereinfacht nach Gl. (430d) bestimmt werden, wenn ein Einfeldträger unter Auflast vorliegt oder Gl. (430e) erfüllt ist.

$$\kappa_M = 1,0 \quad (430d)$$

$$c_g \geq \text{erf } c_g \quad (430e)$$

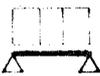
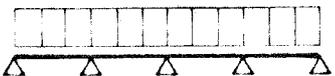
mit c_g nach Gl. (344b)

Die erforderlichen Drehbettungsbeiwerte erf c_g ergaben sich in Abhängigkeit vom System und Lastart aus Gl. (430f), wobei die Beiwerte k_g Tab. 401c zu entnehmen sind

$$\text{erf } c_g = k_g \cdot \frac{M_e^2}{EI_z} \quad (430f)$$

I_z Flächenmoment 2. Grades, um die Hauptträgheitsachse z

Tabelle 401c Drehbettungsbeiwerte k_g

System	Belastung als	
	Auflast	Sog
	-	0,21
	0,07	0,029
	0,15	0,066
 4 und mehr Felder	0,10	0,053

421d - Der Abminderungsfaktor κ_M ist für das Biegedrillknicken mit gebundener Drehachse in den Fällen, die nicht durch Element 421c abgedeckt sind, nach Element 420 bzw. 421 zu ermitteln. Das ideale Biegedrillknickmoment $M_{Ki,y}$ ist dabei nach Gl. (430g) zu ermitteln.

$$M_{Ki,y} = \frac{k}{L} \sqrt{GI_T^* \cdot EI_z'} \quad (430g)$$

mit

k Beiwert für das Biegedrillknicken, z.B. nach Tab. 401d

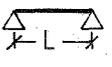
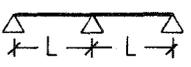
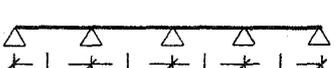
I_z' Flächenmoment 2. Grades, um die Hauptträgheitsachse z'

$$I_T^* = I_T + c_{\mathcal{D}} \frac{L^2}{\pi^2 \cdot G} \quad (430h)$$

mit

$c_{\mathcal{D}}$ aus Gl. (344b)

Tab. 401d: Beiwert k für das Biegedrillknicken von Trägern mit gebundener Drehachse am Obergurt, Belastung Gleichstreckenlast, $L = \text{const}$

System	Belastung als	
	Auflast	Sog
	∞	10,3
	17,7	27,7
	12,2	18,3
	14,6	20,5

* Die hier angegebenen Vorschläge für eine Ergänzung der DAST-Ri 016 sind in der neuen Fassung (10.87) dieser Richtlinie in den Elementen 354, 358 und 424 - 427 übernommen worden.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Entwurf zur DAST-Richtlinie 016 [2] wurden Nachweismöglichkeiten vorgestellt, mit denen das Tragverhalten von Bauteilen, die dünnwandige Querschnittsteile aufweisen, zutreffend beurteilt werden können. Diese können auch für die Bemessung von Kaltprofilpfetten angewendet werden, die bisher über Zulassungen geregelt sind. Bei Pfetten mit C-, Z- und Σ -Querschnitt besteht die Besonderheit, daß der Schubmittelpunkt außerhalb des Querschnittes liegt (C-Profile, z.T. Σ -Profile) oder schiefe Hauptträgheitsachsen vorhanden sind. Damit werden die Pfetten bei Belastung durch Querlasten, die in der Regel am Obergurt angreifen, zusätzlich auf Torsion beansprucht. Daraus entstehen bei den üblichen offenen Pfettenprofilen Wölblängsspannungen. Andererseits sind, insbesondere bei Pfetten, angrenzende Bauteile vorhanden, die sich stabilisierend auswirken und die Torsionsmomente der Pfetten weitgehend abtragen können. Hier wurde untersucht, ob die ungünstige Wirkung von Wölbspannungen durch die aussteifende Wirkung der Dachhaut soweit kompensiert wird, daß Nachweise nach vereinfachten Verfahren eine sichere und wirtschaftliche Bemessung ermöglichen.

Ausgehend von umfangreichen Vergleichsrechnungen nach Spannungstheorie II.Ordnung, die die haltende Wirkung der Dacheindeckung (gebundene Drehachse und Drehbettung) berücksichtigen, wurde ein vereinfachter Bemessungsvorschlag entwickelt.

Aufgrund der Annahmen bei der Ableitung des Bemessungsvorschlages ergeben sich die folgenden Voraussetzungen und Abgrenzungen für die Anwendung des Vorschlages:

1. Die Schubsteifigkeit der am Obergurt angeschlossenen Dacheindeckung muß so groß sein, daß eine gebundene Drehachse vorliegt. Die dazu erforderliche Grenzs Schubsteifigkeit g_{id} ergibt sich aus Gl. (344a).

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 91 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

2. Um eine ausreichende Drehbettung zu gewährleisten, muß die Anschlußsteifigkeit $\bar{c}_{\mathcal{A}}$ der vorhandenen Dacheindeckung mindestens den Steifigkeiten der Tabelle 304a entsprechen.
3. Die Pfette wird nur durch Querlasten senkrecht zur Ebene der Dacheindeckung belastet, so daß nur Biegebeanspruchungen auftreten. Die Auswirkungen von Normalkräften wurde nicht untersucht, weshalb die Näherungslösung nicht ohne weitere Untersuchungen darauf angewendet werden darf.
4. Die Pfetten müssen die in Tabelle 401a angegebenen geometrischen Grenzbedingungen einhalten. Die Tabelle ergibt sich aus dem Parameterbereich, der durch die Vergleichsrechnungen abgedeckt ist. Zusätzlich wird empfohlen, bei Z-Pfetten als Einfeldträger unter Auflast den Anwendungsbereich auf $L/H \leq 50$ zu begrenzen.

Pfetten, die die oben genannten Bedingungen erfüllen, dürfen vereinfacht nach Abschnitt 8.1 bemessen werden. Hierbei wird die Biegetragfähigkeit $q_{Z,N}$ des wirksamen Querschnittes mit den Faktoren κ_M und k_d abgemindert. k_d ist ein Beiwert zur Berücksichtigung der Wirkung des nicht direkt gestützten Druckbereiches und der Wölbnormalspannungen. Dieser Wert k_d kann mit den in Tabelle 30 angegebenen Beiwerten a_1 und a_2 bestimmt werden. Die Beiwerte ergeben sich aus der Gegenüberstellung der Vergleichsrechnungen mit der reinen Biegetragfähigkeit.

Zur Bestimmung des Abminderungsfaktors κ_M für das Biegedrillknicken sind im Abschnitt 8.1 ebenfalls vereinfachte Formeln für das ideale Biegedrillknickmoment M_{K1} angegeben, die die elastische Stützung der Pfette durch die Dacheindeckung berücksichtigen.

Sachbearbeiter



Prof. Dr.-Ing. J. Lindner



Dipl.-Ing. T. Gregull

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 92 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

10. LITERATUR

- [1] Schardt, R.; Schrade, W.: Kaltprofilpfetten, Bericht Nr. 1, 1982, Institut für Statik, Technische Hochschule Darmstadt
- [2] DAST-Richtlinie 016 "Entwurf, Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen", Köln, 1986
- [3] Lindner, J.: Stabilisierung von Trägern durch Trapezbleche, Stahlbau 56 (1987), S. 9-15
- [4] Zulassungsbescheid des Instituts für Bautechnik für die "Hoesch Multibeam-Pfette", Berlin, 1977
- [5] Zulassungsbescheid des Instituts für Bautechnik für das "Thyssen TC-Pfetten-Dachsystem", Berlin, 1983
- [6] Lindner, J.; Kurth, W.: Drehbettungsbeiwerte bei Unterwind. Bauingenieur 55 (1980), S. 365-369
- [7] Roik, K.; Carl, J.; Lindner, J.: Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1972
- [8] Bamm, D.: BAT20N-Prgramm zur Berechnung beliebig gelagerter und belasteter gerader Stabsysteme mit offenem Querschnitt
- [9] Unger, B.: Einige Überlegungen zur Zuschärfung der Traglastberechnung von normalkraft-, biege- und torsionsbeanspruchten Trägern mit Hilfe der Spannungstheorie II. Ordnung. Stahlbau 44 (1975), S. 330-335 und 367-373

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 93 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

- [10] EDIN 18800 Teil 2 "Stahlbauten, Stabilitätsfälle - Knicken von Stäben und Stabwerken, Norm-Vorlage 5/1987

- [11] Lindner, J.: KIBAL2K - Programm zur Berechnung der Verzweigungslasten beliebig gelagerter gerader Stabsysteme, Technische Universität Berlin, 1986

- [12] Lindner, J.; Kurth, W.: Einfluß von Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit von Kaltprofilen mit offenem Querschnitt, Projekt 22 der Studiengesellschaft für Anwendungstechnik von Eisen und Stahl e.V., Düsseldorf, 1979

- [13] "Cold-Formed Steel Design Manual", American Iron and Steel Institute (AISI), Washington, 1983

- [14] Recommendations ECCS TC 7: European Recommendations For The Design of Light Gauge Steel Members.

- [15] Zulassungsbescheid des Instituts für Bautechnik für das "Butler-Dachsystem", Berlin 1985

- [16] Kanning, W.: Dachsysteme mit Kaltprofilpfetten, Stahlbau 52 (1983), S. 20-25

- [17] Schardt, R., Mark, H.-J.: Vergleichsrechnungen zum Eurocode 3. Abschlußbericht über das Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik Berlin, 1987. Institut für Statik, Technische Hochschule Darmstadt.

- [18] Schardt, R., Issmer, H., Mörschardt, S.: Gesamtstabilität dünnwandiger Stäbe. Bericht Nr. 5, 1986, Institut für Statik, Technische Hochschule Darmstadt.

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt 94 vom 15.10.1987

zum Bericht 2088

- [19] Gosowski, B., Kubica, E., Rykaluk, K.: Beanspruchung einfeldriger dünnwandiger C-Pfetten, die mit Trapezblechen zusammenwirken. Stahlbau 52(1983), S. 335-338.
- [20] Baehre, R., Wolfram, R.: Zur Schubfeldberechnung von Trapezprofilen. Stahlbau 55(1986), S. 175-179.
- [21] Peköz, T., Soroushian, D.: Behavior of C- and Z-Purlins under Wind Uplift. Proceedings of the Sixth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Nov. 16-17, 1982, University of Missouri-Rolla, Rolla, MD.

S c h l u ß b e r i c h t

zum Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik IV/1-5-506/87

"Einfluß der Wölbkrafttorsion auf die Tragfähigkeit von Pfetten im Hinblick auf das Zulassungsverfahren"

Bericht 2088

15.10.1987

Prof. Dr.-Ing. J. Lindner

Dipl.-Ing. T. Gregull

Dieser Bericht besteht aus 94 Seiten und 19 Seiten Anlagen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Allgemeines	1
2. Gegenstand der Vergleichsrechnungen	3
2.1 Pfettenquerschnitte	3
2.2 Streckgrenze	4
2.3 Statisches System	4
2.4 Drehbettung	5
2.5 Belastung	9
3. Ermittlung der wirksamen Querschnitte	10
4. Erläuterungen zu den rechnerischen Untersuchungen	18
4.1 Spannungstheorie II. Ordnung des räumlich belasteten Stabes	18
4.1.1 Allgemeines	18
4.1.2 Tragfähigkeitskriterium	19
4.1.3 Erläuterungsbeispiel	21
4.2 Näherungslösung bei reiner Biegung um die z-Achse	23
4.3 Biegedrillknicken	25
5. Zusammenstellung der Ergebnisse	28
5.1 Allgemeines	28
5.2 Z-Pfette als Einfeldträger	28
5.2.1 Auflast	28
5.2.2 Sogbelastung	31
5.3 Z-Pfette als Zweifeldträger	35
5.3.1 Auflast	35
5.3.2 Sogbelastung	39
5.4 C-Pfetten als Einfeldträger	43
5.4.1 Allgemeines	43
5.4.2 Auflast	43
5.4.3 Sogbelastung	46
5.5 C-Pfetten als Zweifeldträger	49
5.5.1 Auflast	49
5.5.2 Sogbelastung	53
5.6 Mehrfeldträger	56
6. Auswirkungen von Imperfektionen	57
7. Erweiterung auf andere Profilformen	58
7.1 Querschnitte	58
7.2 Σ -Pfetten als Einfeldträger	59
7.2.1 Auflast	59
7.2.2 Sogbelastung	61
7.3 Σ -Pfetten als Zweifeldträger	64
7.3.1 Auflast	64
7.3.2 Sogbelastung	67
7.4 Zusammenfassung der Untersuchungen an Σ -Pfetten	70
7.5 Profile mit schmalen Gurten oder Lippen	71

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Blatt II vom 15.10.1987

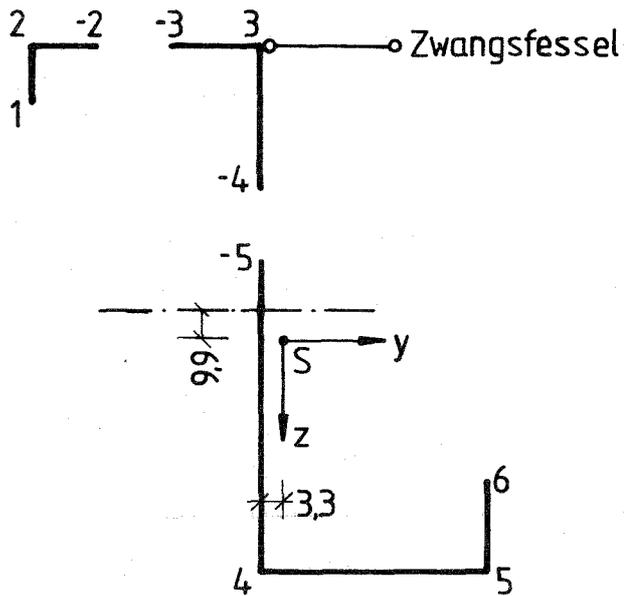
zum Bericht 2088

	Seite
8. Schlußfolgerungen für die praktische Anwendung	72
8.1 Allgemeines	72
8.2 Vergleich der vereinfachten Bemessung nach Abschnitt 8.1 mit den Bemessungsregeln der Zulassungen	77
8.3 Vorschläge zur Ergänzung der DAST-Richtlinie 016	83
9. Zusammenfassung	90
10. Literatur	92

Anlagen

19 Seiten

Querschnittswerte für das Beispiel Z 180/1,5



Maße in [mm]
 bezogen auf den
 Schwerpunkt

Echodruck der Querschnittseingabe

Nummer	Knoten i	Knoten k	Del _y	Del _z	Dicke
1	0	1	-73.275	-84.648	0.000
2	1	2	0.000	-15.300	1.500
3	2	-1	23.700	0.000	1.500
4	-1	-2	18.200	0.000	0.000
5	-2	3	28.100	0.000	1.500
6	3	-3	0.000	39.000	1.500
7	-3	-4	0.000	29.900	0.000
8	-4	4	0.000	111.100	1.500
9	4	5	70.000	0.000	1.500
10	5	6	0.000	-20.000	1.500

Nummer des eingelesenen Fesselpunktes : 3

Eingelesener Winkel der Zwangsfessel : 0.00

Querschnittswerte Grundsystem

ay, az, aw	-0.02	0.00	2667728.00
ayz, ayw, azw	855383.56	-1359024.63	-2264727.00
ayy, azz, aww	558980.94	2450726.25	18516703232.00
apy, apz, apw	-15983646.00	-53798928.00	13441980416.00

Koordinaten Grundsystem

Knotenr.	y	z	w
0	0.00	0.00	0.00
1	-73.27	-84.65	0.00
2	-73.27	-99.95	1121.11
-1	-49.57	-99.95	3489.87
-2	-31.37	-99.95	5308.92
3	-3.27	-99.95	8117.45
-3	-3.27	-60.95	7989.72
-4	-3.27	-31.05	7891.80
4	-3.27	80.05	7527.96
5	66.73	80.05	1924.30
6	66.73	60.05	589.80

Querschnittswerte Einheitssystem

ayz, ayw, azw	855383.50	-1358913.38	-2264735.25
ayy, azz, aww	558980.88	2450726.25	3072323584.00
apy, apz, apw	-15983477.00	-53798848.00	-3982231040.00

Querschnittswerte Einheitssystem

Flaeche	a =	460.80
Traegheitsmoment	ayy =	558980.88
Traegheitsmoment	azz =	2450726.25
Torsionsmoment offen	axo =	345.60
Waelbtorsionsmoment	aww =	3072323584.00

Schwerpunktsabstand	ye =	0.0000
Schwerpunktsabstand	ze =	0.0000

Koordinaten Einheitssystem

Knotenr.	y	z	w
0	0.00	0.00	-5789.34
1	-73.27	-84.65	-5789.34
2	-73.27	-99.95	-4668.23
-1	-49.57	-99.95	-2299.47
-2	-31.37	-99.95	-480.42
3	-3.27	-99.95	2328.11
-3	-3.27	-60.95	2200.39
-4	-3.27	-31.05	2102.47
4	-3.27	80.05	1738.63
5	66.73	80.05	-3865.04
6	66.73	60.05	-5199.54

Querschnittswerte Hauptsystem

Fläche	a =	460.80
Trägheitsmoment	eyy =	229566.75
Trägheitsmoment	ezz =	2780140.25
Torsionsmoment offen	axo =	345.60
Torsionsmoment geschl.	axg =	0.00
Torsionsmoment gesamt	axx =	345.60
Wölb-torsionsmoment	aww =	3068989952.00
Schwerpunktabstand	ye =	0.0000
Schwerpunktabstand	ze =	0.0000
Winkel Hauptsystem	alpha =	-21.0620
Schubmittelpunktabstand	ym =	-0.1622
Schubmittelpunktabstand	zm =	2.1828
Trägheitsradien bezogen auf Schwerpkt.	rey = rez =	19.2472 -20.1244
Trägheitsradien bezogen auf Schubmittelpunkt	rmy = rmz = rmw =	21.1188 -24.0817 -1.3118

Koordinaten Hauptsystem

Knotennr.	Y	Z	W
0	0.00	0.00	-5789.34
1	-37.96	-105.33	-5963.01
2	-32.46	-119.60	-4844.39
-1	-10.34	-111.09	-2423.90
-2	6.64	-104.55	-565.12
3	32.86	-94.45	2304.74
-3	18.85	-58.05	2183.35
-4	8.10	-30.15	2090.28
4	-31.83	73.53	1744.47
5	33.50	98.68	-3706.40
6	40.69	80.02	-5044.15

Querschnittswerte fuer System mit Zwangsfessel

Flaeche	a =	460.80
Traagheitsmoment	azz =	2450726.25
Torsionsmoment offen	axo =	345.60
Torsionsmoment geschl.	axg =	0.00
Torsionsmoment gesamt	axx =	345.60
Waelbtorsionsmoment	aww =	5785377280.00
Schwerpunktsabstand	ys =	0.0000
Schwerpunktsabstand	zs =	0.0000
← Hauptsystem - Fessel	delta =	21.0620
Koordinaten des Drillruhepunktes	yd =	-35.8091
	zd =	-99.9477
Traagheitsradien bezogen auf Schwerpkt	rsy =	-28.5940
	rsz =	-21.9522
Traagheitsradien bezogen auf Drillruhepunkt	rdy =	-33.5986
	rdz =	190.3266
	rdw =	-0.7452

Koordinaten fuer System mit Drillachse

Knotennr.	Y	Z	W
0		0.00	-5789.34
1		-84.65	-1496.84
2		-99.95	-923.62
-1		-99.95	-923.62
-2		-99.95	-923.62
3		-99.95	-923.62
-3		-60.95	345.22
-4		-31.05	1317.99
4		80.05	4932.54
5		80.05	-7667.46
6		60.05	-9718.14

Querschnittswerte der Z-Querschnitte mit den wirksamen Breiten nach Tabelle 4

Querschnittswert	Z 120/1,5	Z 120/2,0	Z 120/3,0	Z 180/1,5	Z 180/2,0	Z 180/3,0	Z 240/1,5	Z 240/2,0	Z 240/3,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A [cm ²]	4,00	5,50	8,33	4,61	6,98	10,64	4,66	7,36	12,4
A _{yy} [cm ⁴]	39,7	55,6	85,1	55,9	79,3	123,2	55,3	78,4	122,3
A _{zz} [cm ⁴]	95,2	132,7	201,3	245,1	359,6	552,2	456,6	673,0	1071,3
A _{ww} [cm ⁶]	983,0	1358	2074	3069	4483	6919	5253	7893	12899
I _T [cm ⁴]	0,030	0,073	0,250	0,035	0,093	0,319	0,035	0,098	0,372
A _{yz} [cm ⁴]	46,1	65,1	99,4	85,5	124,3	193,3	113,0	164,9	258,4
A _{yw} [cm ⁵]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A _{zw} [cm ⁵]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A _{yp} [cm ⁵]	- 28,3	- 13,9	- 9,70	- 159,8	- 52,2	- 39,1	- 401,6	- 259,7	- 53,4
A _{zp} [cm ⁵]	- 54,4	- 27,1	- 18,8	- 538,0	- 162,8	- 120,0	- 2034	- 1406	- 280,7
A _{wp} [cm ⁶]	- 1249	- 1702	- 2576	- 4026	- 6174	- 9442	- 6751	-11633	-20068

Querschnittswerte der C-Querschnitte mit den wirksamen Breiten nach Tabelle 4

Querschnittswerte	Z 120/1,5	Z 120/2,0	Z 120/3,0	Z 180/1,5	Z 180/2,0	Z 180/3,0	Z 240/1,5	Z 240/2,0	Z 240/3,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A [cm ²]	3,84	5,26	7,99	4,61	6,98	10,64	4,93	7,84	13,28
A _{yy} [cm ⁴]	20,5	27,9	42,5	34,5	49,9	76,4	49,8	75,7	123,0
A _{zz} [cm ⁴]	91,7	127,4	194,4	245,1	359,6	552,2	483,9	731,3	1183,2
A _{ww} [cm ⁶]	621,6	848,1	1305	2363	3337	5148	6172	9153	14609
I _T [cm ⁴]	0,029	0,070	0,240	0,035	0,093	0,319	0,037	0,105	0,398
A _{yz} [cm ⁴]	2,17	1,57	1,16	2,72	4,70	3,38	3,03	2,01	7,84
A _{yw} [cm ⁵]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A _{zw} [cm ⁵]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A _{yp} [cm ⁵]	103,5	139,0	208,5	381,6	455,7	689,6	504,2	941,4	1685
A _{zp} [cm ⁵]	- 46,4	- 30,8	- 24,5	- 493,8	- 145,2	- 106,5	- 2319	- 1608	- 3034
A _{wp} [cm ⁶]	16,91	16,96	13,83	- 19,18	69,00	84,43	- 424,6	- 250,8	322,9

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

ABSCHN.	L (M)	AZZ (CM2M2)	AYY (CM2M2)	AWW (CM2M4)	IT (CM2M2)	A (CM2)
1	1.733	.03596	.007930	.4483E-04	.000009	6.98
2	1.733	.03596	.007930	.4483E-04	.000009	6.98
3	1.733	.03596	.007930	.4483E-04	.000009	6.98

ABSCHN.	AYZ (CM2M2)	AYW (CM2M3)	AZW (CM2M3)	AYP (CM2M3)	AZP (CM2M3)	AWP (CM2M4)
1	.012429	.000000	.000000	-.000052	-.000163	-.000062
2	.012429	.000000	.000000	-.000052	-.000163	-.000062
3	.012429	.000000	.000000	-.000052	-.000163	-.000062

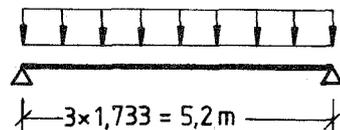
ABSCHN.	CZ (KNM2)	YCZ (M)	CY (KN/M2)	ZC (M)	CIETA (KNM/M)
1	.00	.000	10000000.00	-.095	.70
2	.00	.000	10000000.00	-.095	.70
3	.00	.000	10000000.00	-.095	.70

PUNKT	CZ (KN/M)	YCZ (M)	CY (KN/M)	ZCY (M)	CIETA (KN)	CMY (KNM)	CMZ (KNM)	CMW (KNM3)
1	.00	.000	.00	.000	.00	.00	.00	.00
2	.00	.000	.00	.000	.00	.00	.00	.00
3	.00	.000	.00	.000	.00	.00	.00	.00
4	.00	.000	.00	.000	.00	.00	.00	.00

ABSCHN.	QZ (KN/M)	ZQZ (M)	YQZ (M)	QY (KN/M)	ZQY (M)	YQY (M)	N (KN/M)
1	4.000	-.095	-.001	.000	.000	.000	.000
2	4.000	-.095	-.001	.000	.000	.000	.000
3	4.000	-.095	-.001	.000	.000	.000	.000

PUNKT	PZ (KN)	ZPZ (M)	YPZ (M)	PY (KN)	ZPY (M)	YPY (M)	MY (KNM)	MZ (KNM)	MD (KNM)
1	.00	.000	.000	.00	.000	.000	.000	.000	.000
2	.00	.000	.000	.00	.000	.000	.000	.000	.000
3	.00	.000	.000	.00	.000	.000	.000	.000	.000
4	.00	.000	.000	.00	.000	.000	.000	.000	.000

System



Unterteilung in
3 konstante
Teillängen

BAMM/SP.PROBL.2.0. - VERSION 07/01.12.86 --- 06/08/87 15.19.33 SEITE -2-

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

SPANNUNGSPUNKT 1				
ABSCHN.	W	Y	Z	WO
	(M2)	(M)	(M)	(M2)
1	-.00612	-.07148	-.07260	-.00612
2	-.00612	-.07148	-.07260	-.00612
3	-.00612	-.07148	-.07260	-.00612

SPANNUNGSPUNKT 2				
ABSCHN.	W	Y	Z	WO
	(M2)	(M)	(M)	(M2)
1	-.00471	-.07148	-.09260	-.00471
2	-.00471	-.07148	-.09260	-.00471
3	-.00471	-.07148	-.09260	-.00471

SPANNUNGSPUNKT 3				
ABSCHN.	W	Y	Z	WO
	(M2)	(M)	(M)	(M2)
1	.00196	-.00148	-.09260	.00196
2	.00196	-.00148	-.09260	.00196
3	.00196	-.00148	-.09260	.00196

SPANNUNGSPUNKT 4				
ABSCHN.	W	Y	Z	WO
	(M2)	(M)	(M)	(M2)
1	.00187	-.00148	.08740	.00187
2	.00187	-.00148	.08740	.00187
3	.00187	-.00148	.08740	.00187

SPANNUNGSPUNKT 5				
ABSCHN.	W	Y	Z	WO
	(M2)	(M)	(M)	(M2)
1	-.00406	.06852	.08740	-.00406
2	-.00406	.06852	.08740	-.00406
3	-.00406	.06852	.08740	-.00406

SPANNUNGSPUNKT 6				
ABSCHN.	W	Y	Z	WO
	(M2)	(M)	(M)	(M2)
1	-.00545	.06852	.06740	-.00545
2	-.00545	.06852	.06740	-.00545
3	-.00545	.06852	.06740	-.00545

E-MODUL, GMODUL (KN/CM2): 21000. 8100.

POLYNOME H6 ANZAHL DER ABSCHNITTE : 3

LAGERUNGSBEDINGUNGEN FUER THETA : 2 8 8 2
LAGERUNGSBEDINGUNGEN FUER ETA : 2 8 8 2
LAGERUNGSBEDINGUNGEN FUER ZETA : 2 8 8 2

Z-PFEITE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

ERGEBNISSE FUER DEN LASTFAKTOR 1.000 :

NACH DER 4. ITERATION MIT DER GENAUIGKEIT VON .24 %

MOMENTE (KNM2 BZW. KNM) JE ABSCHNITT IN XI =

		0.	0.25	0.5	0.75	1.0
MW:	1. ABSCHNITT	.00000		.02813		.01843
MW:	2. ABSCHNITT	.01843		.01181		.01843
MW:	3. ABSCHNITT	.01843		.02813		.00000
MZ:	1. ABSCHNITT	.00000	-1.24246	-2.34679	-3.26037	-3.93058
MZ:	2. ABSCHNITT	-3.93058	-4.34376	-4.48149	-4.34376	-3.93058
MZ:	3. ABSCHNITT	-3.93058	-3.26037	-2.34679	-1.24246	.00000
MY:	1. ABSCHNITT	.00000	4.10336	7.41785	9.96914	11.78287
MY:	2. ABSCHNITT	11.78287	12.86708	13.22848	12.86708	11.78287
MY:	3. ABSCHNITT	11.78287	9.96914	7.41785	4.10336	.00000

VERFORMUNGEN THETA (), ETA (M), ZETA (M) :

	THETA	THETA'	THETA''	THETA'''
1 L	.000000E+00	5.309113E-02	.000000E+00	-8.362260E-02
M	2.206950E-02	4.703176E-02	-2.418293E-02	-3.123555E-02
R	3.988721E-02	3.480237E-02	-2.988281E-02	1.683789E-03
	5.225082E-02	2.258456E-02	-2.553565E-02	1.513542E-02
	5.984461E-02	1.290419E-02	-1.957745E-02	9.119338E-03
2 L	5.984461E-02	1.290419E-02	-1.957745E-02	1.622737E-02
M	6.379088E-02	5.690272E-03	-1.430352E-02	8.113819E-03
R	6.499625E-02	-5.048212E-08	-1.254549E-02	1.581617E-07
	6.379084E-02	-5.690345E-03	-1.430340E-02	-8.113617E-03
	5.984455E-02	-1.290420E-02	-1.957731E-02	-1.622751E-02
3 L	5.984455E-02	-1.290420E-02	-1.957731E-02	-9.119133E-03
M	5.225077E-02	-2.258451E-02	-2.553554E-02	-1.513570E-02
R	3.988719E-02	-3.480230E-02	-2.988285E-02	-1.684144E-03
	2.206950E-02	-4.703173E-02	-2.418307E-02	3.123553E-02
	.000000E+00	-5.309115E-02	.000000E+00	8.362333E-02
	ETA	ETA'	ETA''	ETA'''
1 L	.000000E+00	-5.060777E-03	.000000E+00	7.975881E-03
M	-2.103677E-03	-4.482937E-03	2.305915E-03	2.976734E-03
R	-3.801948E-03	-3.317030E-03	2.848439E-03	-1.628481E-04
	-4.980331E-03	-2.152607E-03	2.433384E-03	-1.442865E-03
	-5.704153E-03	-1.230020E-03	1.866560E-03	-8.633169E-04

Z-PFEILE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

2 L	-5.704153E-03	-1.230020E-03	1.866560E-03	-1.548337E-03
	-6.080285E-03	-5.423205E-04	1.363347E-03	-7.741818E-04
M	-6.195162E-03	4.815644E-09	1.195604E-03	-1.514837E-08
	-6.080281E-03	5.423274E-04	1.363336E-03	7.741626E-04
R	-5.704147E-03	1.230021E-03	1.866547E-03	1.548351E-03
3 L	-5.704147E-03	1.230021E-03	1.866547E-03	8.632971E-04
	-4.980326E-03	2.152602E-03	2.433373E-03	1.442892E-03
M	-3.801946E-03	3.317023E-03	2.848443E-03	1.628819E-04
	-2.103677E-03	4.482934E-03	2.305928E-03	-2.976732E-03
R	.000000E+00	5.060779E-03	.000000E+00	-7.975950E-03

	ZETA	ZETA'	ZETA''	ZETA'''
1 L	.000000E+00	3.223999E-02	.000000E+00	-1.652951E-02
	1.376139E-02	3.082448E-02	-6.231456E-03	-1.235127E-02
M	2.637854E-02	2.707835E-02	-1.080861E-02	-8.894247E-03
	3.698707E-02	2.165083E-02	-1.404398E-02	-6.158438E-03
R	4.497456E-02	1.505558E-02	-1.625009E-02	-4.143843E-03
2 L	4.497456E-02	1.505558E-02	-1.625009E-02	-3.882922E-03
	4.992687E-02	7.710070E-03	-1.751204E-02	-1.941455E-03
M	5.160396E-02	-1.361649E-09	-1.793269E-02	5.733072E-09
	4.992686E-02	-7.710072E-03	-1.751204E-02	1.941461E-03
R	4.497456E-02	-1.505558E-02	-1.625009E-02	3.882911E-03
3 L	4.497456E-02	-1.505558E-02	-1.625009E-02	4.143849E-03
	3.698707E-02	-2.165083E-02	-1.404398E-02	6.158429E-03
M	2.637854E-02	-2.707835E-02	-1.080861E-02	8.894236E-03
	1.376139E-02	-3.082448E-02	-6.231462E-03	1.235127E-02
R	.000000E+00	-3.223999E-02	.000000E+00	1.652953E-02

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER 1.000-FACHER BELASTUNG AUS ZETA''' :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-164.8	-210.2	-210.2	198.4	198.4	153.0
	-247.7	-316.0	-316.0	298.3	298.3	230.0
	-247.7	-316.0	-316.0	298.3	298.3	230.0
	-273.4	-348.7	-348.7	329.1	329.1	253.8
	-247.7	-316.0	-316.0	298.3	298.3	230.0
	-247.7	-316.0	-316.0	298.3	298.3	230.0
	-164.8	-210.2	-210.2	198.4	198.4	153.0
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER 1.000-FACHER BELASTUNG AUS ETA'' :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	42.8	42.8	.9	.9	-41.0	-41.0
	28.0	28.0	.6	.6	-26.9	-26.9
	28.0	28.0	.6	.6	-26.9	-26.9
	17.9	17.9	.4	.4	-17.2	-17.2
	28.0	28.0	.6	.6	-26.9	-26.9
	28.0	28.0	.6	.6	-26.9	-26.9
	42.8	42.8	.9	.9	-41.0	-41.0
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER 1.000-FACHER BELASTUNG AUS TETA'' :
BEZOGEN AUF SCHUBMITTELPUNKT

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-38.4	-29.6	12.3	11.7	-25.5	-34.2
	-25.2	-19.4	8.0	7.7	-16.7	-22.4
	-25.2	-19.4	8.0	7.7	-16.7	-22.4
	-16.1	-12.4	5.2	4.9	-10.7	-14.4
	-25.2	-19.4	8.0	7.7	-16.7	-22.4
	-25.2	-19.4	8.0	7.7	-16.7	-22.4
	-38.4	-29.6	12.3	11.7	-25.5	-34.2
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER 1.000-FACHER BELASTUNG :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-160.5	-197.0	-197.0	211.0	131.9	77.8
	-244.9	-307.4	-307.4	306.5	254.7	180.7
	-244.9	-307.4	-307.4	306.5	254.7	180.7
	-271.6	-343.2	-343.2	334.4	301.2	222.3
	-244.9	-307.4	-307.4	306.5	254.7	180.7
	-244.9	-307.4	-307.4	306.5	254.7	180.7
	-160.5	-197.0	-197.0	211.0	131.9	77.8
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

BAMM/SP.PROBL.2.0. - VERSION 07/01.12.86 --- 06/08/87 15.19.51 SEITE -6-

Z-PFEITE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

ERGEBNISSE FUER DEN LASTFAKTOR .978 :

NACH DER 3. ITERATION MIT DER GENAUIGKEIT VON .19 %

MOMENTE (KNM2 BZW. KNM) JE ABSCHNITT IN XI =

		0.	0.25	0.5	0.75	1.0
MW:	1. ABSCHNITT	.00000		.02782		.01849
MW:	2. ABSCHNITT	.01849		.01204		.01849
MW:	3. ABSCHNITT	.01849		.02782		.00000
MZ:	1. ABSCHNITT	.00000	-1.21401	-2.29295	-3.18557	-3.84062
MZ:	2. ABSCHNITT	-3.84062	-4.24452	-4.37916	-4.24452	-3.84062
MZ:	3. ABSCHNITT	-3.84062	-3.18558	-2.29295	-1.21401	.00000
MY:	1. ABSCHNITT	.00000	4.01329	7.25507	9.75031	11.52396
MY:	2. ABSCHNITT	11.52396	12.58411	12.93750	12.58411	11.52396
MY:	3. ABSCHNITT	11.52396	9.75031	7.25507	4.01329	.00000

VERFORMUNGEN THETA (), ETA (M), ZETA (M) :

	THETA	THETA'	THETA''	THETA'''
1 L	.000000E+00	5.288129E-02	.000000E+00	-8.213971E-02
	2.199416E-02	4.692018E-02	-2.381481E-02	-3.093498E-02
M	3.979935E-02	3.485342E-02	-2.954911E-02	1.308804E-03
	5.221024E-02	2.273576E-02	-2.541932E-02	1.459165E-02
R	5.987372E-02	1.306135E-02	-1.964182E-02	8.913552E-03
2 L	5.987372E-02	1.306135E-02	-1.964182E-02	1.582246E-02
	6.387725E-02	5.787866E-03	-1.449949E-02	7.911363E-03
M	6.510446E-02	-4.899367E-08	-1.278533E-02	1.554129E-07
	6.387721E-02	-5.787936E-03	-1.449937E-02	-7.911167E-03
R	5.987367E-02	-1.306136E-02	-1.964169E-02	-1.582260E-02
3 L	5.987367E-02	-1.306136E-02	-1.964169E-02	-8.913357E-03
	5.221019E-02	-2.273571E-02	-2.541921E-02	-1.459192E-02
M	3.979933E-02	-3.485336E-02	-2.954915E-02	-1.309147E-03
	2.199416E-02	-4.692016E-02	-2.381494E-02	3.093496E-02
R	.000000E+00	-5.288131E-02	.000000E+00	8.214041E-02
	ETA	ETA'	ETA''	ETA'''
1 L	.000000E+00	-5.040767E-03	.000000E+00	7.834412E-03
	-2.096492E-03	-4.472299E-03	2.270807E-03	2.948097E-03
M	-3.793571E-03	-3.321899E-03	2.816630E-03	-1.270507E-04
	-4.976461E-03	-2.167018E-03	2.422309E-03	-1.391032E-03
R	-5.706925E-03	-1.244998E-03	1.872682E-03	-8.438460E-04

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

2 L	-5.706925E-03	-1.244998E-03	1.872682E-03	-1.509705E-03
	-6.088515E-03	-5.516233E-04	1.382025E-03	-7.548657E-04
M	-6.205473E-03	4.673679E-09	1.218467E-03	-1.488448E-08
	-6.088512E-03	5.516300E-04	1.382014E-03	7.548470E-04
R	-5.706920E-03	1.244999E-03	1.872669E-03	1.509720E-03
3 L	-5.706920E-03	1.244999E-03	1.872669E-03	8.438272E-04
	-4.976457E-03	2.167013E-03	2.422299E-03	1.391058E-03
M	-3.793569E-03	3.321893E-03	2.816634E-03	1.270834E-04
	-2.096492E-03	4.472297E-03	2.270819E-03	-2.948096E-03
R	.000000E+00	5.040768E-03	.000000E+00	-7.834479E-03

	ZETA	ZETA'	ZETA''	ZETA'''
1 L	.000000E+00	3.156319E-02	.000000E+00	-1.617813E-02
	1.347254E-02	3.017760E-02	-6.100041E-03	-1.209298E-02
M	2.582495E-02	2.651021E-02	-1.058203E-02	-8.710204E-03
	3.621085E-02	2.119626E-02	-1.375034E-02	-6.029816E-03
R	4.403053E-02	1.473904E-02	-1.590933E-02	-4.051811E-03
2 L	4.403053E-02	1.473904E-02	-1.590933E-02	-3.798228E-03
	4.887867E-02	7.547826E-03	-1.714375E-02	-1.899109E-03
M	5.052047E-02	-1.323187E-09	-1.755522E-02	5.638242E-09
	4.887867E-02	-7.547828E-03	-1.714374E-02	1.899114E-03
R	4.403053E-02	-1.473904E-02	-1.590932E-02	3.798218E-03
3 L	4.403053E-02	-1.473904E-02	-1.590932E-02	4.051816E-03
	3.621085E-02	-2.119626E-02	-1.375034E-02	6.029807E-03
M	2.582495E-02	-2.651021E-02	-1.058203E-02	8.710193E-03
	1.347254E-02	-3.017760E-02	-6.100046E-03	1.209298E-02
R	.000000E+00	-3.156319E-02	.000000E+00	1.617815E-02

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .978-FACHER BELASTUNG AUS ZETA''' :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-161.3	-205.8	-205.8	194.2	194.2	149.8
	-242.6	-309.4	-309.4	292.0	292.0	225.2
	-242.6	-309.4	-309.4	292.0	292.0	225.2
	-267.6	-341.4	-341.4	322.2	322.2	248.5
	-242.6	-309.4	-309.4	292.0	292.0	225.2
	-242.6	-309.4	-309.4	292.0	292.0	225.2
	-161.3	-205.8	-205.8	194.2	194.2	149.8
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .978-FACHER BELASTUNG AUS ETA'' :

1	2	3	4	5	6
.0	.0	.0	.0	.0	.0
42.3	42.3	.9	.9	-40.5	-40.5
28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
18.3	18.3	.4	.4	-17.5	-17.5
28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
42.3	42.3	.9	.9	-40.5	-40.5
.0	.0	.0	.0	.0	.0

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .978-FACHER BELASTUNG AUS TETA'' :
BEZOGEN AUF SCHUBMITTELPUNKT

1	2	3	4	5	6
.0	.0	.0	.0	.0	.0
-38.0	-29.3	12.2	11.6	-25.2	-33.8
-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
-16.4	-12.7	5.3	5.0	-10.9	-14.6
-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
-38.0	-29.3	12.2	11.6	-25.2	-33.8
.0	.0	.0	.0	.0	.0

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .978-FACHER BELASTUNG :

1	2	3	4	5	6
.0	.0	.0	.0	.0	.0
-157.1	-192.8	-192.8	206.7	128.5	75.4
-239.7	-300.7	-300.7	300.3	248.3	175.7
-239.7	-300.7	-300.7	300.3	248.3	175.7
-265.8	-335.7	-335.7	327.6	293.8	216.3
-239.7	-300.7	-300.7	300.3	248.3	175.7
-239.7	-300.7	-300.7	300.3	248.3	175.7
-157.1	-192.8	-192.8	206.7	128.5	75.4
.0	.0	.0	.0	.0	.0

Z-PFEITE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEBER

ERGEBNISSE FUER DEN LASTFAKTOR .979 :

NACH DER 2. ITERATION MIT DER GENAUIGKEIT VON .16 %

MOMENTE (KNM2 BZW. KNM) JE ABSCHNITT IN XI =

		0.	0.25	0.5	0.75	1.0
MW:	1. ABSCHNITT	.00000		.02783		.01849
MW:	2. ABSCHNITT	.01849		.01203		.01849
MW:	3. ABSCHNITT	.01849		.02783		.00000
MZ:	1. ABSCHNITT	.00000	-1.21498	-2.29478	-3.18812	-3.84368
MZ:	2. ABSCHNITT	-3.84368	-4.24790	-4.38265	-4.24791	-3.84369
MZ:	3. ABSCHNITT	-3.84369	-3.18812	-2.29478	-1.21497	.00000
MY:	1. ABSCHNITT	.00000	4.01637	7.26064	9.75779	11.53282
MY:	2. ABSCHNITT	11.53282	12.59379	12.94744	12.59379	11.53282
MY:	3. ABSCHNITT	11.53282	9.75779	7.26064	4.01638	.00000

VERFORMUNGEN THETA (), ETA (M), ZETA (M) :

	THETA	THETA'	THETA''	THETA'''
1 L	.000000E+00	5.289202E-02	.000000E+00	-8.219285E-02
	2.199824E-02	4.692735E-02	-2.382825E-02	-3.094677E-02
	M 3.980523E-02	3.485455E-02	-2.956187E-02	1.320806E-03
M	5.221561E-02	2.273282E-02	-2.542489E-02	1.460987E-02
	R 5.987752E-02	1.305749E-02	-1.964132E-02	8.920435E-03
	2 L	5.987752E-02	1.305749E-02	-1.964132E-02
6.387958E-02		5.785292E-03	-1.449454E-02	7.918204E-03
M 6.510621E-02		-4.904309E-08	-1.277889E-02	1.554982E-07
M	6.387955E-02	-5.785363E-03	-1.449442E-02	-7.918007E-03
	R 5.987746E-02	-1.305750E-02	-1.964118E-02	-1.583628E-02
	3 L	5.987746E-02	-1.305750E-02	-1.964118E-02
5.221556E-02		-2.273277E-02	-2.542478E-02	-1.461015E-02
M 3.980521E-02		-3.485448E-02	-2.956191E-02	-1.321149E-03
M	2.199824E-02	-4.692733E-02	-2.382838E-02	3.094675E-02
	R .000000E+00	-5.289204E-02	.000000E+00	8.219355E-02
	ETA	ETA'	ETA''	ETA'''
1 L	.000000E+00	-5.041790E-03	.000000E+00	7.839482E-03
	-2.096882E-03	-4.472983E-03	2.272088E-03	2.949221E-03
M	-3.794131E-03	-3.322006E-03	2.817846E-03	-1.281967E-04
	-4.976973E-03	-2.166738E-03	2.422840E-03	-1.392769E-03
R	-5.707287E-03	-1.244630E-03	1.872635E-03	-8.444969E-04

BAMM/SP.PROBL.2.0. - VERSION 07/01.12.86 --- 06/08/87 15.19.59 SEITE -10-

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

2 L	-5.707287E-03	-1.244630E-03	1.872635E-03	-1.511011E-03
	-6.088737E-03	-5.513780E-04	1.381553E-03	-7.555184E-04
M	-6.205640E-03	4.678392E-09	1.217854E-03	-1.489267E-08
	-6.088734E-03	5.513847E-04	1.381542E-03	7.554997E-04
R	-5.707282E-03	1.244631E-03	1.872622E-03	1.511025E-03
3 L	-5.707282E-03	1.244631E-03	1.872622E-03	8.444781E-04
	-4.976968E-03	2.166733E-03	2.422829E-03	1.392795E-03
M	-3.794129E-03	3.322000E-03	2.817850E-03	1.282294E-04
	-2.096882E-03	4.472981E-03	2.272101E-03	-2.949219E-03
R	.000000E+00	5.041792E-03	.000000E+00	-7.839549E-03

	ZETA	ZETA'	ZETA''	ZETA'''
1 L	.000000E+00	3.158646E-02	.000000E+00	-1.619023E-02
	1.348247E-02	3.019984E-02	-6.104564E-03	-1.210186E-02
M	2.584398E-02	2.652973E-02	-1.058983E-02	-8.716527E-03
	3.623753E-02	2.121188E-02	-1.376044E-02	-6.034225E-03
R	4.406297E-02	1.474991E-02	-1.592104E-02	-4.054955E-03
2 L	4.406297E-02	1.474991E-02	-1.592104E-02	-3.801123E-03
	4.891469E-02	7.553399E-03	-1.715640E-02	-1.900556E-03
M	5.055770E-02	-1.324443E-09	-1.756819E-02	5.641276E-09
	4.891469E-02	-7.553401E-03	-1.715640E-02	1.900562E-03
R	4.406297E-02	-1.474991E-02	-1.592103E-02	3.801113E-03
3 L	4.406297E-02	-1.474991E-02	-1.592103E-02	4.054961E-03
	3.623753E-02	-2.121188E-02	-1.376043E-02	6.034216E-03
M	2.584398E-02	-2.652973E-02	-1.058983E-02	8.716516E-03
	1.348247E-02	-3.019984E-02	-6.104569E-03	1.210186E-02
R	.000000E+00	-3.158646E-02	.000000E+00	1.619025E-02

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .979-FACHER BELASTUNG AUS ZETA''' :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-161.5	-205.9	-205.9	194.4	194.4	149.9
	-242.7	-309.6	-309.6	292.2	292.2	225.3
	-242.7	-309.6	-309.6	292.2	292.2	225.3
	-267.8	-341.6	-341.6	322.4	322.4	248.7
	-242.7	-309.6	-309.6	292.2	292.2	225.3
	-242.7	-309.6	-309.6	292.2	292.2	225.3
	-161.5	-205.9	-205.9	194.4	194.4	149.9
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .979-FACHER BELASTUNG AUS ETA'' :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	42.3	42.3	.9	.9	-40.5	-40.5
	28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
	28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
	18.3	18.3	.4	.4	-17.5	-17.5
	28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
	28.1	28.1	.6	.6	-26.9	-26.9
	42.3	42.3	.9	.9	-40.5	-40.5
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .979-FACHER BELASTUNG AUS TETA'' :
 BEZOGEN AUF SCHUBMITTELPUNKT

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-38.0	-29.3	12.2	11.6	-25.2	-33.8
	-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
	-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
	-16.4	-12.7	5.3	5.0	-10.9	-14.6
	-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
	-25.3	-19.4	8.1	7.7	-16.8	-22.5
	-38.0	-29.3	12.2	11.6	-25.2	-33.8
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

SPANNUNGEN (N/MM2) UNTER .979-FACHER BELASTUNG :

	1	2	3	4	5	6
	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	-157.2	-192.9	-192.9	206.8	128.6	75.5
	-239.9	-300.9	-300.9	300.5	248.5	175.9
	-239.9	-300.9	-300.9	300.5	248.5	175.9
	-266.0	-336.0	-336.0	327.8	294.0	216.5
	-239.9	-300.9	-300.9	300.5	248.5	175.9
	-239.9	-300.9	-300.9	300.5	248.5	175.9
	-157.2	-192.9	-192.9	206.8	128.6	75.5
	.0	.0	.0	.0	.0	.0

NUE-MIN < 10000.000

o. Professor Dr.-Ing. J. Lindner

Anlage 3/12

zum Bericht 2088

vom 15.10.1987

BAMM/SP. PROBL. 2.0. - VERSION 07/01.12.86 --- 06/08/87 15.20.01 SEITE -12-

Z-PFETTE 180/2.0 5.20M C1 AUFLAST EINFELDTRAEGER

LASTSTEIGERUNGSFAKTOR TH. II. O. :
LASTSTEIGERUNGSFAKTOR NAEHERUNGSLOESUNG :
TRAGLASTFAKTOR :

.9788
.9190
.9390

Programm-Ausdruck KIBAL2K für das Beispiel Z 180/2,0

Einfeldträger Sog, Hauptachsen

BA/LI PROG. KIBAL2 - VERSION LINDNER *KIBL2K* 21.4.86 SEITE -1-
 BIEGEDRILLKNICKEN ("KIPPEN") MIT FREIER DREHACHSE - KONST. QUERSCHN.

Z - PFETTE 180/2.0 SOG L = 5.20 C1

ABSCHN.	L (M)	IY (CM2M2)	IZ (CM2M2)	IW (CM2M4)	IT (CM2M2)	A (CM2)	ZM (M)
1	1.733	.04067	.003212	.4483E-04	.000009	6.98	.002
2	1.733	.04067	.003212	.4483E-04	.000009	6.98	.002
3	1.733	.04067	.003212	.4483E-04	.000009	6.98	.002

ABSCHN.	RMZ (CM)	CZ (KN/M2)	CY (KN/M2)	ZC (M)	S-ID (KN)	CIETA (KNM/M)
1	-.009	.00	.00	.091	10000.0	.58
2	-.009	.00	.00	.091	10000.0	.58
3	-.009	.00	.00	.091	10000.0	.58

ABSCHN.	QZ (KN/M)	ZQZ (M)	N (KN)
1	4.00	.091	.00
2	4.00	.091	.00
3	4.00	.091	.00

PUNKT	CZK (KN/M)	CYK (KN/M)	CIETA (KNM)	CMY (KNM)	CMZ (KNM)	CMW (KNM2)
1	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	.000	.000	.000	.000	.000	.000
3	.000	.000	.000	.000	.000	.000
4	.000	.000	.000	.000	.000	.000

PUNKT	PZ (KN)	ZP (M)	MY (KNM)
1	.00	.000	.000
2	.00	.000	.000
3	.00	.000	.000
4	.00	.000	.000

E-MODUL, G-MODUL (KN/CM2): 21000. 8100.

LAGERUNGSBED. FÜR TETA : 2 8 8 2
 LAGERUNGSBED. FÜR V (ETA) : 2 8 8 2
 LAGERUNGSBED. FÜR W (ZETA): 2 8 8 2

MOMENTE (KNM) IN XI = 0. 0.25 0.5 0.75 1.0

1. ABSCHNITT	.000	4.131	7.511	10.140	12.017
2. ABSCHNITT	12.017	13.144	13.520	13.144	12.017
3. ABSCHNITT	12.017	10.140	7.511	4.131	.000

KLEINSTER POSITIVER EIGENWERT : .1509508E+01

NUE-KI	X (M)	MY-KI (KNM)	WY (CM2M)	SIGMA-KI (N/MM2)	ZETA	CHI	K	NUE-K/37	NUE-K/52
1.51	2.600	20.41	.439	465.	4.488	.462	47.06	.75	1.09

MÖGLICHE AUSNUTZUNG GEGENÜBER BIEGESpannungsnachweis: .967
 BEZUGSLÄNGE FÜR DIE ERMITTLUNG VON ZETA, CHI UND K : 5.200 M

AUSWERTUNG NACH EDIN 18800 T 2 (N=2.5) :

M-PL (KNM)	LAM-Q	KAPPA-M	VORH M	NUE K
12.43	.780	.904	13.520	.83