

Der Einfluss der Dachdeckung auf die Kippstabilität durchlaufender Pfetten aus Baustahl

Autor(en): **Vogel, Udo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht**

Band (Jahr): **9 (1972)**

PDF erstellt am: **17.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-9572>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

IIb

Der Einfluss der Dachdeckung auf die Kippstabilität durchlaufender Pfetten aus Baustahl

The Influence of the Roof Decking on the Lateral Torsional Stability of Continuous Steel Purlins

L'influence de la couverture sur la stabilité de déversement des pannes en acier, calculées comme poutres continues

UDO VOGEL

o. Professor, Dr.-Ing.
Technische Universität Berlin, BRD

1. Einleitung

Im Einführungsbericht zum Thema II b "Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Konstruktionsgliedern" weist L. F i n z i [1] im Abschnitt 4 auf den stabilisierenden Einfluß der Dachdeckung auf Pfetten hin und teilt diesbezügliche Forschungsergebnisse der Cornell University mit.

In Deutschland wurde dieses Problem in den vergangenen Jahren ebenfalls intensiv theoretisch und experimentell untersucht. Über einige der wichtigsten Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten wird im Folgenden berichtet. Hierbei muß unterschieden werden zwischen Pfetten mit warmgewalztem doppelsymmetrischen I-Querschnitt, die im allgemeinen "plastisch bemessen" werden, und solchen mit kaltverformtem dünnwandigen Profil, die wegen der Gefahr örtlichen Beulens im Bereich möglicher Fließgelenke i. a. "elastisch bemessen" werden.

2. Durchlaufende Stahlpfetten mit doppelsymmetrischem Walzprofil

2.1. Allgemeines

Werden solche Pfetten nach dem Traglastverfahren bemessen, so muß sichergestellt sein, daß bis zur Ausbildung der für das Versagen maßgebenden Fließgelenkkette keine Instabilitäten, insbesondere kein Kippen, eintritt. Das Kippen ist stets zusammengesetzt aus einer seitlichen Verschiebung und einer Verdrehung des Querschnitts um die Balkenlängsachse ("lateral torsional buckling"). Um diese Verformungen ohne zusätzliche konstruktive Maßnahme (z. B. Verbände oder seitliche Abstützungen) auszuschließen, muß ent-

weder die Scheibenwirkung oder der quer zur Pfettenlängsrichtung vorhandene Biegegewiderstand der Dachhaut oder beides aktiviert werden. Die Scheibenwirkung stellt eine seitliche elastische Bettung, der Biegegewiderstand eine elastische Drehbettung dar. Welcher Anteil überwiegt, hängt von der Konstruktion und den Steifigkeitswerten der Dachhaut ab. Versuche von P e l i k a n [2] zeigten, daß z. B. für Wellasbestzementplatten, mit der üblichen Befestigung durch Hakenschrauben am 2. und 5. Wellenberg jeder Tafel, praktisch keine Scheibenwirkung vorhanden ist. Dagegen ergibt sich eine wirksame Kippbehinderung durch den Einfluß der elastischen Drehbettung infolge der Flächenlagerung der Dachhaut auf dem Obergurt der Pfette. Will sich nämlich die Pfette beim Kippvorgang verdrehen, so muß sich die durch die Auflast (Schnee) auf den Obergurt der Pfette aufgepreßte Dachhaut verbiegen und damit einen elastischen Verdrehwiderstand leisten.

2.2. Theoretische Untersuchungen

Die Überlegungen des Abschnittes 2.1 führen zu einer theoretischen Lösung des Kipp-Problems des durchlaufenden kontinuierlich drehelastisch gebetteten Trägers [3]. Dabei wird u. a. von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- a) Das Pfettenprofil bleibt beim Kippen – auch im plastischen Bereich formtreu.
- b) Vor Erreichen der Traglast oder Kipplast tritt kein Beulen von Flansch oder Steg auf.
- c) Ein Verdrehen des Querschnitts um die Pfettenlängsachse wird an den Auflagern (i. d. R. Binderobergurte) durch Auflagerwinkel oder andere konstruktive Maßnahmen verhindert.
- d) Es gilt das bekannte idealelastisch-idealplastische Spannungs-Dehnungs-Gesetz.
- e) Die Ausbreitung teilplastischer Zonen neben den Fließgelenken wird vernachlässigt.
- f) An den Endauflagern und bei ausgebildeten Fließgelenken an den Zwischenstützen ist Gabellagerung vorhanden.

Die letzte Voraussetzung trifft näherungsweise zu, da bei Vollplastizierung eine Verdrehung der Endquerschnitte um die Querschnittshauptachsen möglich, in der Querschnittsebene wegen Voraussetzung c) jedoch unmöglich ist. Außerdem können sich die Endquerschnitte wegen der gegenläufigen Kippverformung zweier Nachbarfelder praktisch frei verwölben.

Die Näherungslösung wird mit Hilfe des energetischen Indifferenz-Kriteriums [4]

$$\delta \left\{ \frac{1}{2} \int_0^l [E G_M (\vartheta'')^2 + G I_D (\vartheta')^2 - \frac{M_{X(z)}^2}{E I_Y} \vartheta^2 - (q \cdot v - \varepsilon) \vartheta^2] dz \right\} = \delta \{ J \} = 0 \quad (2.1)$$

und den Ritz-Ansätzen:

$$v_{(z)} = c_1 \cdot \sin \frac{\pi z}{\ell} + c_3 \cdot \sin \frac{3\pi z}{\ell} \quad (2.2)$$

für ein Innenfeld, bzw.

$$v_{(z)} = c_1 \cdot \sin \frac{\pi z}{\ell} + c_2 \cdot \sin \frac{2\pi z}{\ell} \quad (2.3)$$

für ein Endfeld und dem Übergang zum gewöhnlichen Minimalproblem

$$\frac{\partial f}{\partial c_i} = 0 \quad \begin{array}{l} (i = 1, 3) \\ \text{bzw. } 1, 2) \end{array} \quad (2.4)$$

gelöst. Man erhält durch Nullsetzen der Nennerdeterminanten des jeweiligen Gleichungssystems (2.4) die Kippbedingungen (2.5) für ein Innenfeld und (2.6) für ein Endfeld.

$ \begin{aligned} & -(q_{Ki} \cdot v - \epsilon) + 3.044 \cdot \frac{32 EC_M}{l^4} \\ & + 1.2337 \cdot \frac{8 GI_d}{l^2} - \frac{M_S^2}{EI_\eta} \\ & - 0.8693 \cdot \frac{q_{Ki} l^2 M_S}{4 EI_\eta} - 0.3899 \cdot \frac{q_{Ki}^2 l^4}{32 EI_\eta} \end{aligned} $	$ \begin{aligned} & + 0.1520 \cdot \frac{q_{Ki} l^2 M_S}{4 EI_\eta} \\ & + 0.1155 \cdot \frac{q_{Ki}^2 l^4}{32 EI_\eta} \end{aligned} $	$= 0$ (2.5)
SYMMETRISCH	$ \begin{aligned} & -(q_{Ki} \cdot v - \epsilon) + 246.57 \cdot \frac{32 EC_M}{l^4} \\ & + 11.103 \cdot \frac{8 GI_d}{l^2} - \frac{M_S^2}{EI_\eta} \\ & - 0.6892 \cdot \frac{q_{Ki} l^2 M_S}{4 EI_\eta} - 0.2682 \cdot \frac{q_{Ki}^2 l^4}{32 EI_\eta} \end{aligned} $	

$-(q_{Ki} \cdot v - \epsilon) + \pi^4 \cdot \frac{EC_M}{l^4} + \pi^2 \cdot \frac{GI_d}{l^2}$ $-0.2826 \cdot \frac{\left(\frac{q_{Ki} \cdot l^2}{2} - M_S\right)^2}{EI_\eta}$ $+0.1740 \cdot q_{Ki} \cdot l^2 \cdot \frac{\left(\frac{q_{Ki} \cdot l^2}{2} - M_S\right)}{EI_\eta}$ $-0.02852 \cdot \frac{q_{Ki}^2 \cdot l^4}{EI_\eta}$	=	$+0.180 \cdot \frac{\left(\frac{q_{Ki} \cdot l^2}{2} - M_S\right)^2}{EI_\eta}$ $-0.1486 \cdot q_{Ki} \cdot l^2 \cdot \frac{\left(\frac{q_{Ki} \cdot l^2}{2} - M_S\right)}{EI_\eta}$ $0.02925 \cdot \frac{q_{Ki}^2 \cdot l^4}{EI_\eta}$
$-(q_{Ki} \cdot v - \epsilon) + 16 \pi^4 \cdot \frac{EC_M}{l^4} + 4 \pi^2 \cdot \frac{GI_d}{l^2}$ $-0.3206 \cdot \frac{\left(\frac{q_{Ki} \cdot l^2}{2} - M_S\right)^2}{EI_\eta}$ $+0.2310 \cdot q_{Ki} \cdot l^2 \cdot \frac{\left(\frac{q_{Ki} \cdot l^2}{2} - M_S\right)}{EI_\eta}$ $-0.04391 \cdot \frac{q_{Ki}^2 \cdot l^4}{EI_\eta}$		
$= 0$		
(2.6)		

SYMMETRISCH

Diese Beziehungen könnten direkt zum Kippsicherheitsnachweis verwendet werden. Da man jedoch die Pfetten stets bis zur plastischen Grenzlast (Traglast) ausnutzen will, ist es für die Entwurfspraxis sinnvoller und einfacher, sich den erforderlichen Drehbettungskoeffizienten $\text{erf. } \epsilon$ zu errechnen, der notwendig ist, damit die Kipplast q_{Ki} gleich der Traglast q_T wird. Dieser Wert ist dem vorhandenen Drehbettungskoeffizienten $\text{vorh. } \epsilon$ gegenüberzustellen. Dazu nimmt man in den Kippbedingungen die folgenden Substitutionen vor:

$$M_S = - M_{pl}$$

für das Stützmoment,

$$q_{Ki} = q_T = \frac{16 M_{pl}}{l^2}$$

für die Kipplast des Innenfeldes in (2.5),

$$q_{Ki} = q_T = \frac{11 M_{pl}}{l^2}$$

für die Kipplast des Endfeldes in (2.6).

Die sich durch Auflösung der Determinanten ergebenden quadratischen Gleichungen für erf. ϵ besitzen immer noch relativ komplizierte Lösungen [3], die jedoch mit dem auf der sicheren Seite liegenden Grenzübergang $l \rightarrow \infty$ schließlich zu folgenden einfachen Werten führen:

$$\text{erf. } \epsilon = 0,855 \frac{M^2}{EI_y} \frac{pl}{y}$$

für ein Innenfeld (2.7.a)

$$\text{erf. } \epsilon = 0,769 \frac{M^2}{EI_y} \frac{pl}{y}$$

für ein Endfeld (2.7.b)

Weitere Lösungen für Pfetten, die seitlich durch Zugstangen gehalten sind, findet man in [5] und [6].

Die numerische Auswertung von (2.7.b) für Pfetten mit I- und IPE-Profil zeigt das Bild 1:

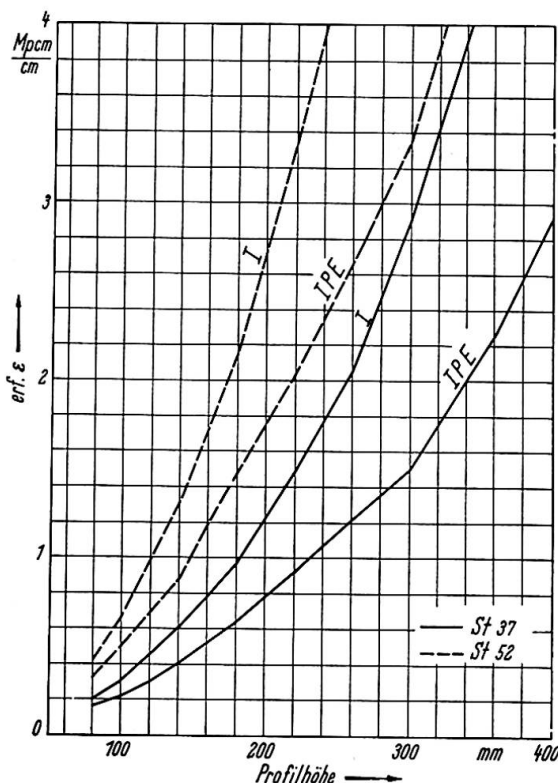
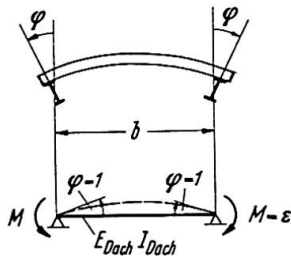


Bild 1:

erf. ϵ für das Endfeld einer durchlaufenden Stahlpfette

Der vorhandene Drehbettungskoeffizient ist aus der jeweiligen Biegesteifigkeit der Dachhaut zu ermitteln. Für den ungünstigsten Fall, daß nur zwei benachbarte Pfetten vorhanden sind, ergibt sich z. B. aus Bild 2:



$$\varphi = \frac{1}{2} \frac{M b}{E_{Dach} I_{Dach}}$$

$$\text{vorh. } \varepsilon = M_{(\varphi=1)} = \frac{2 E_{Dach} I_{Dach}}{b}$$

Bild 2: Ermittlung von vorh. ε

Der zu führende Kippsicherheitsnachweis lautet somit einfach:

$$\text{vorh. } \varepsilon \geq \text{erf. } \varepsilon \quad (2.8)$$

Für übliche Pfettenspannweiten und Dacheindeckungen ist er in der Regel erfüllt.

2.3 Einige experimentelle Ergebnisse

In den vergangenen 8 Jahren wurden in Deutschland eine Reihe von Traglastversuchen über die kippbehindernde Wirkung der Dacheindeckung durchgeführt. Dabei wurden Einfeldträger und Durchlaufende Träger in horizontalen und geneigten Dächern mit Eindeckungen aus Wellasbestzementplatten [2], [7], Trapezblechen aus Stahl [8] und Aluminium [9], Spanplatten [10] und Betonplatten [11] untersucht. In allen Fällen wurde die volle theoretische Traglast (plastische Grenzlast [12]), ohne vorzeitiges Kippen erreicht.

Die folgenden Bilder zeigen Fotos einige dieser Versuche:

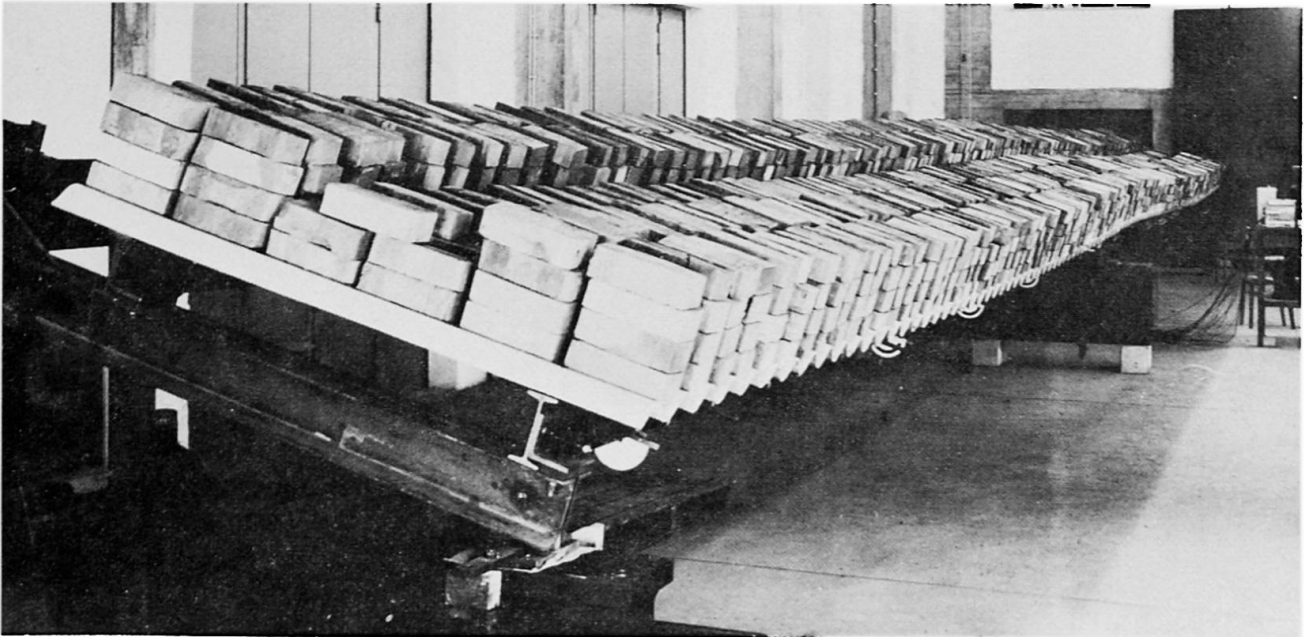


Bild 3: Versuch mit Wellasbestzementplatten; Pfetten I 160 über 2 x 10 m gestützt; Zugstangen in den Drittelpunkten; Dachneigung 30 % (16,7 °)

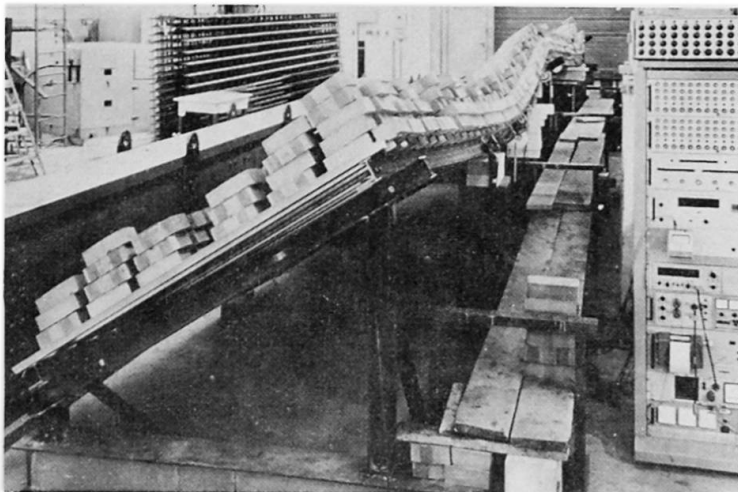


Bild 4: Versuch mit Trapezblechen aus Stahl; Pfetten IPE 100 über 2 x 8,25 m gestützt; Druckstreben in den Drittelpunkten; Dachneigung 62,5 % (32 °)



Bild 5: Versuch mit Flachsspanplatten; Pfetten IPE 100 über 2 x 5,50 m gestützt; horizontales Dach ohne Zugstangen

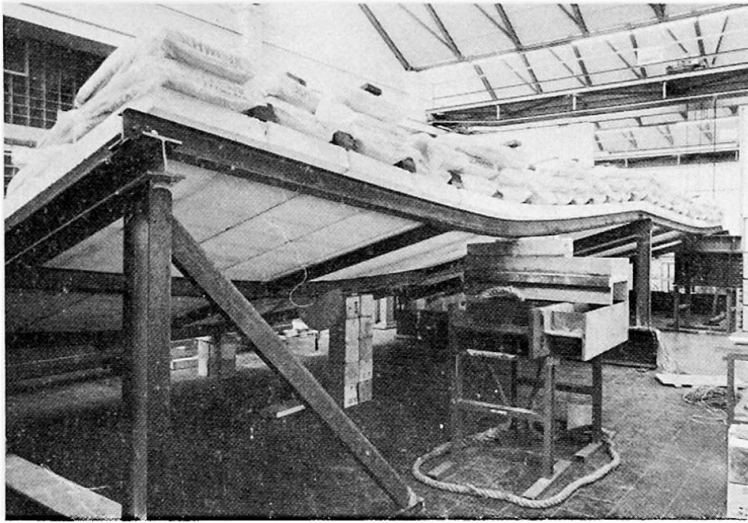


Bild 6: Versuch mit Gasbetonplatten; Pfette IPE 120 über 2 x 6,50 m gestützt; Druckstreben in den Drittelpunkten; Dachneigung 30 % (16,7 °)

3. Durchlaufende Stahlpfetten mit dünnwandigem Z-Profil

3.1. Allgemeines

Wegen der Dünnwandigkeit und der fehlenden Doppelsymmetrie des Querschnitts können i. a. für diese Pfetten das Traglastverfahren und damit die Ergebnisse des Abschnittes 2 nicht angewendet werden. Sehr häufig werden jedoch im Industriebau die Z-Profile so geformt, daß eine ihrer Querschnittshauptachsen bei geneigten Dächern vertikal verläuft (Bild 7).

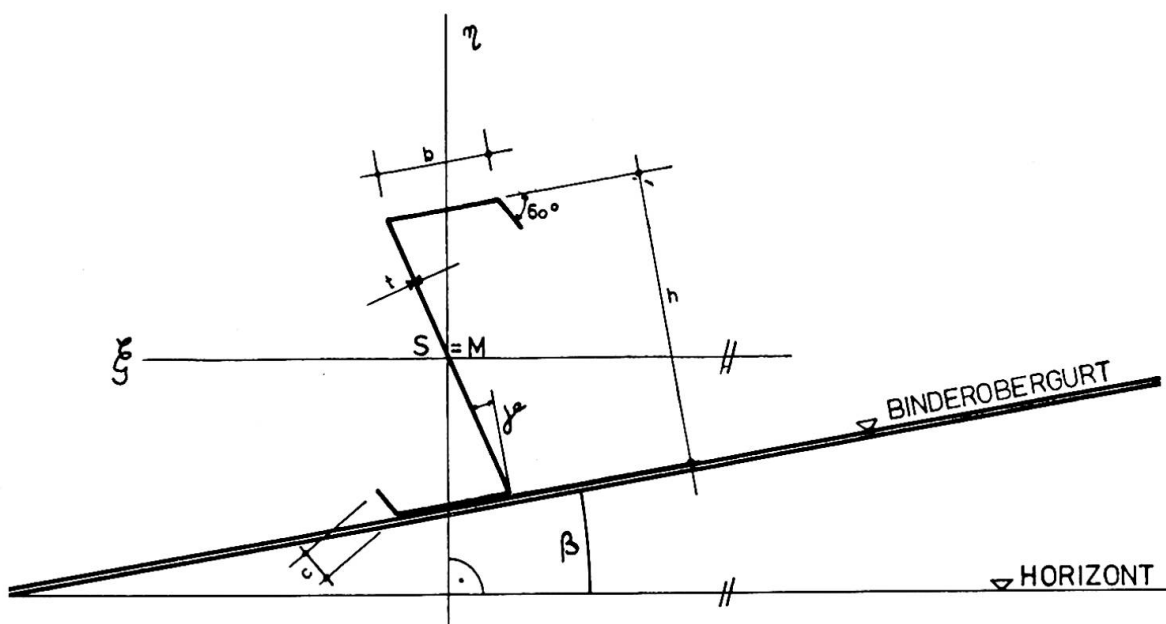


Bild 7: Z-Profil mit schrägem Steg und vertikaler Hauptachse

Dann sind bei vorhandener Punktsymmetrie und vertikalen Lasten (Eigengewicht + Schnee) die für den doppelsymmetrischen Querschnitt aufgestellten Differentialgleichungen auch hier gültig [13]. Nach DIN 4114 [14] ist für solche Pfetten eine Kippsicherheit von $\gamma_K = 1,71$ unter Berücksichtigung der abgeminderten Kippspannungen im unelastischen Bereich nachzuweisen. Wie dieser Nachweis bei vorhandener elastischer Drehbettung infolge der Dachhaut geführt werden kann, wird im Folgenden gezeigt:

3.2. Theoretische Untersuchungen

Zunächst gelten auch hier die Kippbedingungen (2.5) und (2.6). An den Stützen kann jedoch kein Fließgelenk entstehen; es sind daher z. B. für ein Innenfeld die für den elastischen Träger gültigen Biegemomente

$$M_S = -M_{Ki} = -\frac{q_{Ki} \cdot \ell^2}{12} ; \text{ bzw. } q_{Ki} = \frac{12 M_{Ki}}{\ell^2} \quad (2.9)$$

$$\text{mit } M_{Ki} = \sigma_{Ki} \cdot W_{\xi} \implies \text{erf. } \sigma_{Ki} \cdot W_{\xi} \quad (1.10)$$

einzusetzen. Dabei wird unter "erf. σ_{Ki} " diejenige ideale Kippspannung verstanden, die zu der abgeminderten Kippspannung $\sigma_K = 1,71 \cdot \max \sigma_{\text{vorh.}}$ führt.

Durch den Grenzübergang $1 \rightarrow \infty$ erhält man hier:

$\text{erf. } \varepsilon = \sigma_{,21} \frac{(\text{erf. } \sigma_{Ki} \cdot W_{\xi})^2}{E I_{\eta}}$	für ein Innenfeld (2.11 a)
$\text{erf. } \varepsilon = \sigma_{,44} \frac{(\text{erf. } \sigma_{Ki} \cdot W_{\xi})^2}{E I_{\eta}}$	für das Endfeld (eines Dreifeldträgers [13]) (2.11 b)

Die numerische Auswertung der Gleichung (2.11 b) in Übereinstimmung mit DIN 4114, Bl. 1, Tafel 7, zeigt Bild 8.

An diesem Bild kann für bestimmte industriell hergestellte Z-Profile [13] der erforderliche Drehbettungskoeffizient direkt in Abhängigkeit von der unter Gebrauchslasten vorhandenen maximalen Spannung abgelesen werden. Ebenfalls sind vorhandene ε -Werte für verschiedene Dachdeckungen angegeben.

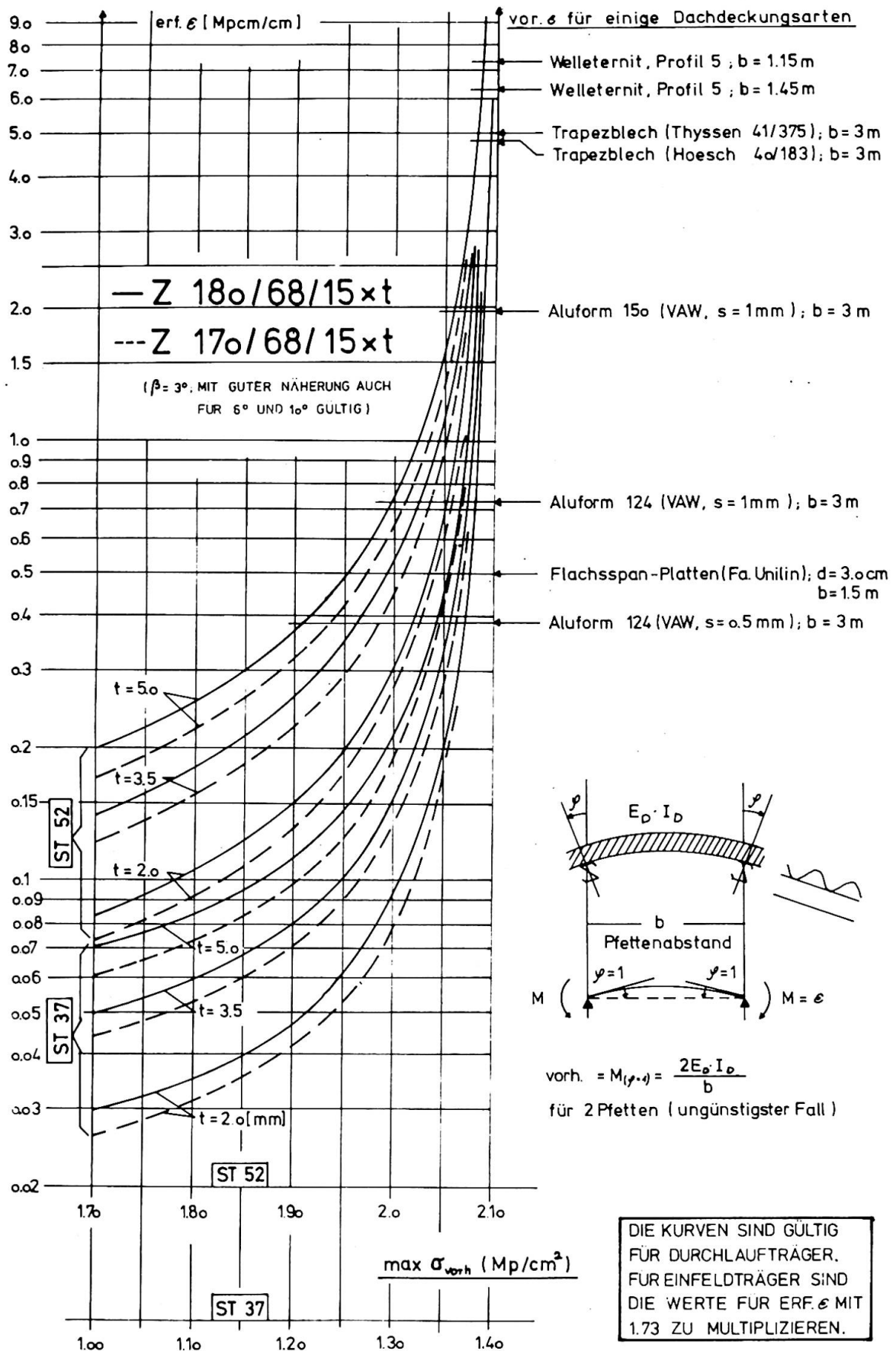


BILD 8: ERFORDERLICHER DREHBETTSKOEFFIZIENT ALS FUNKTION DER SPANNUNG

3.3 Experimentelle Ergebnisse

Auch für Z-Profile sind in Deutschland Versuche durchgeführt worden [15]. Das folgende Bild zeigt einen solchen Versuch, bei dem ebenfalls bis zu der für Biegung maßgebenden "elastischen Grenzlast" kein Kippen auftrat.

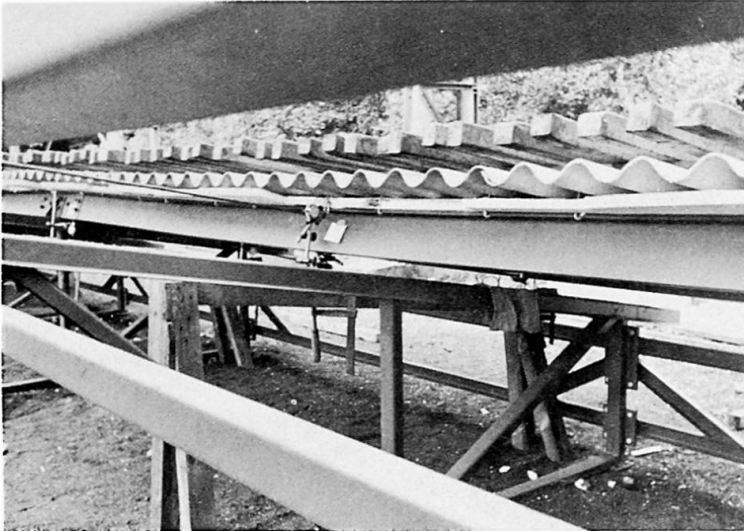


Bild 9: Ausschnitt aus Versuch mit Wellasbestzementplatten + 30 mm Isolierung; Pfetten Z 180/68/15 x 2,5 mit schrägem Steg über 6 x 6,00 m durchlaufend; Dachneigung ~18° (100°); Belastung mit Stahlbarren.

4. Weitere Untersuchungen und noch ungelöste Probleme

Außer den hier behandelten theoretischen und experimentellen Ergebnissen wurden in Deutschland in den letzten Jahren weitere Fragen in diesem Zusammenhang behandelt, von denen einige hier kurz erwähnt werden:

- a) Das Verhalten von Pfetten mit C-Profil [16].
- b) Das Verhalten von Trägern, die mit über dem Obergurt gestoßenen Betonplatten belastet sind [17].
- c) Das Zusammenwirken von Pfetten und Dachhaut bei Unterwindbelastung in offenen Hallen [18].

Das zuletzt genannte Problem ist auch in Großbritannien experimentell behandelt worden [19] und wird z. Zt. an der Technischen Universität Berlin theoretisch untersucht.

5. Zusammenfassung

Es wurde ein kurzer Überblick über in Deutschland durchgeführte theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Frage der stabilisierenden Wirkung der Dachdeckung auf Pfetten mit warmgewalztem oder kaltverformtem Profil gegeben. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, daß bei den üblichen Abmessungen und Dachdeckungsarten eine volle Kippbehinderung durch die Dachhaut vorhanden ist, so daß zusätzliche konstruktive Maßnahmen entbehrlich sind. Das etwas schwierige noch ungelöste Problem der Windbelastung von unten, bzw. des Windsogs, wird zur Zeit genauer untersucht.

6. Literatur

- [1] Finzi, L.: "Interaction of different Structural Elements", IVBH, Neunter Kongress in Amsterdam 1972, Einführungsbericht, Zürich 1971, S. 90/91.

- [2] Pelikan, W.: "Traglastversuche mit kontinuierlichen Pfetten und Welleternit-Eindeckung", Der Bauingenieur 41(1966), S.440-44.
- [3] Vogel, U.: "Zur Kippstabilität durchlaufender Stahlpfetten", Der Stahlbau 39 (1970), S. 76 - 82.
- [4] Chwalla, E.: "Kippung von Trägern mit einfach-symmetrischen dünnwandigen und offenen Querschnitten", Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften, Wien II a, Bd. 153 (1944), S. 47.
- [5] Hildenbrand, P.: "Vergleich zweier Wege zur Ermittlung der Kippstabilität gerader gabelgelagerter Einfeldträger mit doppelt-symmetrischem I-Querschnitt nach der Energiemethode", Der Stahlbau 40 (1971), S. 18-23.
- [6] Lindner, J.: "Mindeststeifigkeiten für den Kippsicherheitsnachweis beim Traglastverfahren", erscheint demnächst in der Zeitschrift "Der Bauingenieur".
- [7] Pelikan, W.: "Ermittlung der Kippsicherheit von Stahlpfetten mit Welleternit-Eindeckung", Der Bauingenieur 40 (1965), S. 55-59.
- [8] Prüfungsbericht Nr. S 11289 der Amtlichen Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-Institut (Universität Stuttgart), vom 30. 4. 1969.
- [9] Oxfort, J.: "Zur Kippsicherheit von I-Stahlpfetten mit ALUFORM-Profilblecheindeckung. Stellungnahme für Vereinigte Aluminium-Werke A.G., Bonn.
- [10] Prüfungsbericht Nr. S 11638 der Amtlichen Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-Institut (Universität Stuttgart), vom 25. 2. 1970.
- [11] Oxfort, J. u. Hildenbrand, P.: "Traglastversuche an durchlaufenden Pfetten mit Leichtbetonplatten als Dacheindeckung", Der Bauingenieur 46 (1971), S. 131-135.
- [12] Vogel, U.: "Zur Berechnung von durchlaufenden Stahlpfetten in geneigten Dächern nach dem Traglastverfahren", Der Stahlbau 33 (1966), S. 302-308.
- [13] Vogel, U.: "Die Kippstabilität von Durchlaufträgern mit dünnwandigem Z-Querschnitt bei Belastung in Richtung einer Querschnittshauptachse", Der Bauingenieur 47 (1972).
- [14] DIN 4114, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Beuth-Vertrieb GmbH, Köln.
- [15] Versuchsbericht Nr. 24/70 vom 22. 7. 70 der Firma Theodor Wuppermann GmbH, Leverkusen.
- [16] Oxfort, J. u. Hildenbrand, P.: "Traglastversuch an durchlaufenden C-Pfetten mit Aluminium-Trapezblechen als Dacheindeckung", Der Bauingenieur 46 (1971), S. 338-342.
- [17] Fischer, M.: "Das Stabilitätsproblem des in Höhe des oberen Flansches wirklichkeitsnah belasteten I-Trägers", Der Stahlbau 39 (1970), S. 267 - 275.
- [18] Versuchsbericht Nr. 27/70 vom 10. 12. 70 der Firma Theodor Wuppermann GmbH, Leverkusen.
- [19] Bryan, E.R.: "Asbestos cement sheeting and zed purlins under downward load and wind suction", Civil Engineering, Vol. 65, No. 765, p. 375-376, April 1970.