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

Band: 8 (1968)

Artikel: Tragverhalten von geschweissten I- und Kastenträgern mit breiten Druckgurten

Autor: Möller, H.-D. / Donat, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-8761

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Tragverhalten von geschweißten I- und Kastenträgern mit breiten Druckgurten

Behaviour of Welded Box Beams and I-Girder with Wide Compression Flanges

Comportement de poutres soudées en I ou en caissons, avec de larges ailes comprimées

H.-D. MÖLLER
Dr.-Ing.

R. DONAT
Dipl.-Ing.

Dresden, DDR

1. Allgemeines

Im Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen in Dresden werden seit mehreren Jahren theoretische Untersuchungen und Versuche über das Verhalten von dünnwandigen Druckelementen oberhalb der Beulgrenze durchgeführt. Im Jahre 1966 begannen, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Industrieanlagenmontagen und Stahlbau Leipzig und dem Institut für Fördertechnik in Leipzig, Untersuchungen über das Tragverhalten von I- und Kastenträgern mit breiten Druckgurten. Diese Untersuchungen wurden während der Überarbeitung der DDR-Stahlbauvorschriften notwendig, weil die mittragende Breite allseitig gelagerter Gurte nach Winter schon Abminderungen ergibt, für die in den bisherigen Stahlbauvorschriften noch volles Mittragen des Gurtes angesetzt wird. Da sich jahrzehntelang bei der Anwendung der Vorschriften keine negativen Erscheinungen gezeigt hatten, sollte ermittelt werden, in welchem Maße größere mittragende Breiten benutzt werden dürfen, als das in den amerikanischen Vorschriften der Fall ist.

2. Bezeichnungen

A, B, C, K, z	Konstanten
$D = \frac{E \cdot s^3}{12(1-\nu^2)}$	Plattensteifigkeit
F	Spannungsfunktion
f_o	Vorbeulentiefe
k	Beulfaktor
w	Durchbiegung
$\alpha = a/b$	Seitenverhältnis der Platte

$\lambda = b/s$	Plattenschlankheit
ε_x	mittlere Randdehnung
σ_R	Spannungen am gelagerten Plattenrand
$\sigma_{Ki} = \frac{k \cdot \pi^2 \cdot E \cdot s^2}{12(1-\nu^2) \cdot b^2}$	Beulspannung
ν	Querdehnungszahl

3. Druckgurte von Kastenträgern

3.1. Theoretische Untersuchungen

Dünnwandige Teile von Biegeträgern oder Durckstäben, die in ihrer Ebene auf Druck beansprucht sind, können vor Erreichen der Bruchlast des gesamten Trägers oder Stabes örtlich ausbeulen.

Bei einem dünnwandigen Druckgurt eines Kastenträgers, der vor Erreichen der Traglast örtlich ausbeult, ist eine ungleichmäßige Spannungsverteilung über den Gurt vorhanden. Die Spannungen konzentrieren sich in den Ecken, während sich die Mitte des Druckgurtes einer weiteren Aufnahme von Spannungen durch ein starkes Ausbiegen entzieht. Die Behandlung dieses Problems ist nur mit der Theorie großer Verformungen möglich. Die Grundlagen für die Behandlung derartiger Aufgaben wurde von Karman geschaffen. Unter Berücksichtigung von Vorbeulen erhält man folgende grundlegende Gleichungen:

$$\begin{aligned} \Delta\Delta F &= E\left(w_{xy}^2 - w_{xx} \cdot w_{yy} + 2 \cdot \overline{w}_{xy} \cdot w_{xy} - \overline{w}_{xx} \cdot w_{yy} - \overline{w}_{yy} \cdot w_{xx}\right) \\ \Delta\Delta W &= \frac{s}{D}\left[F_{yy}(w_{xx} + \overline{w}_{xx}) - 2F_{xy}(w_{xy} + \overline{w}_{xy}) + F_{xx}(w_{yy} + \overline{w}_{yy})\right] \end{aligned} \qquad (1)$$

Ebene oder wenig vorgekrümmte druckbelastete Platten haben das Bestreben in quadratischen Halbwellen auszubeulen. Aus diesem Grund ist es möglich, mit relativ einfachen Lösungsansätzen für w (x, y) für die Praxis brauchbare Lösungen zu erhalten. Unter diesen Voraussetzungen wurden alle Untersuchungen mit dem Lösungsansatz durchgeführt.

$$w(x,y) = f \cdot \cos\frac{\pi \cdot x}{a} \cdot \cos\frac{\pi \cdot y}{b} \qquad (2)$$

Für die Betrachtungen ist dabei der ungünstigste Fall der zur Ausbeulform affinen Vorbeulen angenommen.

$$\overline{w}(x,y) = f_0 \cdot \cos\frac{\pi \cdot x}{a} \cdot \cos\frac{\pi \cdot y}{b} \qquad (3)$$

Damit lassen sich die Gleichungen (1) in folgender Form schreiben:

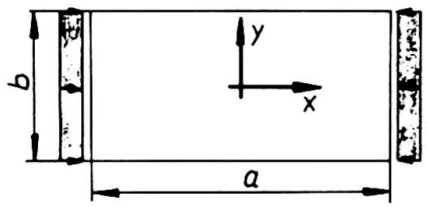

Bild 1

$$\begin{aligned} \Delta\Delta F &= E\left(1 + 2\frac{f_0}{f}\right)\left(w_{xy}^2 - w_{xx} \cdot w_{yy}\right) \\ \Delta\Delta W &= \frac{s}{D}\left(1 + \frac{f_0}{f}\right)\left(F_{yy} \cdot w_{xx} - 2F_{xy} \cdot w_{xy} + F_{xx} \cdot w_{yy}\right) \end{aligned} \qquad (4)$$

Für den Druckgurt eines Kastenträgers stellen folgende Randbedingungen die wirklichen Verhältnisse recht gut dar.

Für $x = \pm \frac{a}{2}$ gerade bleibende Ränder

für $y = \pm \frac{b}{2}$ spannungsfreie Ränder ($\sigma_y = 0$; $\tau_{xy} = 0$) (5)

Für die Membranspannungen σ_x, σ_y und τ_{xy} erhält man unter Verwendung der ersten der Gleichungen (4) mit dem Lösungsansatz (3) und den Randbedingungen (5) folgende Ausdrücke [1]:

$$\sigma_x = -p_x + \frac{E\cdot\pi^2}{8\cdot b^2}(f^2+2ff_0)\left[\frac{b^2}{a^2}\cos\frac{2\pi y}{b} + \frac{1}{B}\left((z-1)\,ch\frac{2\pi y}{a} - \frac{2\pi y}{a}\,sh\frac{2\pi y}{a}\right)\cos\frac{2\pi x}{a}\right]$$

$$\sigma_y = \frac{E\cdot\pi^2}{8\cdot b^2}(f^2+2ff_0)\left[1 - \frac{1}{B}\left((z+1)\,ch\frac{2\pi y}{a} - \frac{2\pi y}{a}\cdot sh\frac{2\pi y}{a}\right]\cos\frac{2\pi x}{a} \qquad (6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E\cdot\pi^2}{8\cdot b^2}(f^2+2ff_0)\cdot\frac{1}{B}\left(z\cdot sh\frac{2\pi y}{a} - \frac{2\pi y}{a}\,ch\frac{2\pi y}{a}\right)\sin\frac{2\pi x}{a}$$

mit
$$B = ch\frac{\pi\cdot b}{a} + \frac{\pi b}{a}\cdot\frac{1}{sh\frac{\pi\cdot b}{a}} \qquad (7)$$

$$z = \frac{\pi\cdot b}{a}\,cth\frac{\pi\cdot b}{a} \qquad (8)$$

Die Biegespannungen ergeben sich zu

$$\sigma_{bx} = \pm\frac{E\pi^2}{1-\nu^2}\cdot\frac{s}{2}\left(\frac{1}{a^2} + \frac{\nu}{b^2}\right)f\cdot\cos\frac{\pi x}{a}\cdot\cos\frac{\pi y}{b}$$

$$\sigma_{by} = \pm\frac{E\pi^2}{1-\nu^2}\cdot\frac{s}{2}\left(\frac{\nu}{a^2} + \frac{1}{b^2}\right)f\cdot\cos\frac{\pi x}{a}\cdot\cos\frac{\pi y}{b} \qquad (9)$$

$$\tau_{bxy} = \frac{E\pi^2}{1-\nu^2}\cdot\frac{s}{2}\,\frac{1}{a\cdot b}\,f\,\sin\frac{\pi x}{a}\cdot\sin\frac{\pi y}{b}$$

Der in den Gleichungen (6) und (9) erhaltene Freiwert f wird mit Hilfe der Formänderungsenergie nach dem Rietz-Verfahren ermittelt.

$$f' - \varepsilon_x'(f'+f_0') + (A+C)(f'^2 + 2f'f_0')(f'+f_0') = 0 \qquad (10)$$

mit
$$f' = \frac{f}{s} \qquad f_0' = \frac{f_0}{s} \qquad \varepsilon_x' = \frac{E\cdot\bar{\varepsilon}_x}{\sigma_{ki}} \qquad \bar{\varepsilon}_x = -\frac{p_x}{E} - \frac{\pi^2}{8a^2}\cdot(f^2+2ff_0)$$

$$A = \frac{3}{2}\,\frac{1-\nu^2}{(1+\alpha^2)^2} \qquad C = \frac{3}{4}\cdot\frac{1-\nu^2}{(1+\alpha^2)^2}\left(1 + \frac{1}{\alpha^4} - \frac{2\alpha^5}{B\cdot\pi}\,sh\frac{\pi}{\alpha}\right)$$

Aus (10) läßt sich f' ermitteln, wenn man ε_x' als unabhängigen Parameter auffaßt.

Für die mittragende Breite b_m erhält man folgenden Ausdruck:

$$\frac{b_m}{b} = 1 - \frac{A}{\varepsilon_x'}\left(f'^2 + 2f'f_0'\right) \tag{11}$$

Die errechneten Werte für b_m/b sind in Bild 2 für a/b = 1,0 über den Parameter f_0' dargestellt. In diesem Diagramm ist die Kurve für die mittragende Breite eingetragen, die sich entsprechend den Vorschriften der DDR für die zulässigen Vorbeultiefen f_0 = b/250 ergibt. Die so gefundene Kurve kann durch folgende Gleichung recht gut angenähert werden.

$$\frac{b_m}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{Ki}}{\sigma_R}}\left(1 - 0{,}148\,\frac{\sigma_{Ki}}{\sigma_R}\right) \tag{12}$$

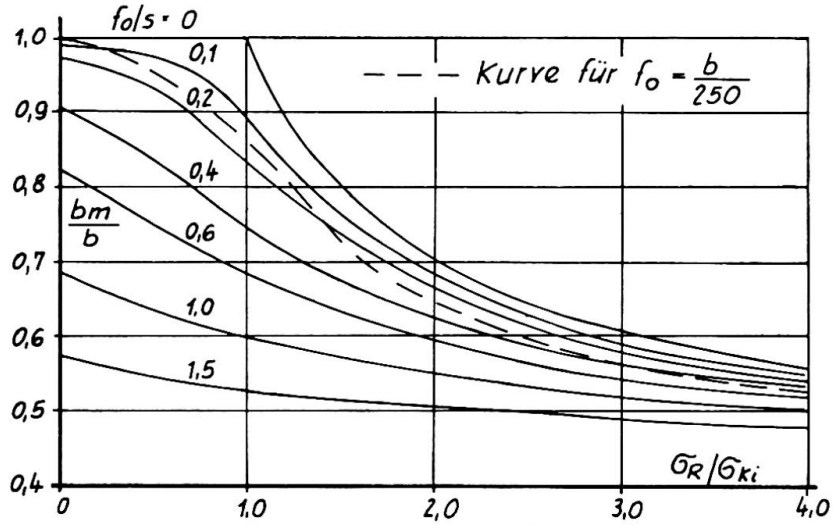

Bild 2 Mittragende Breite

In Bild 3 sind verschiedene Näherungsformeln für die mittragende Breite und die Kurve für f_0 = b/250 aufgetragen.

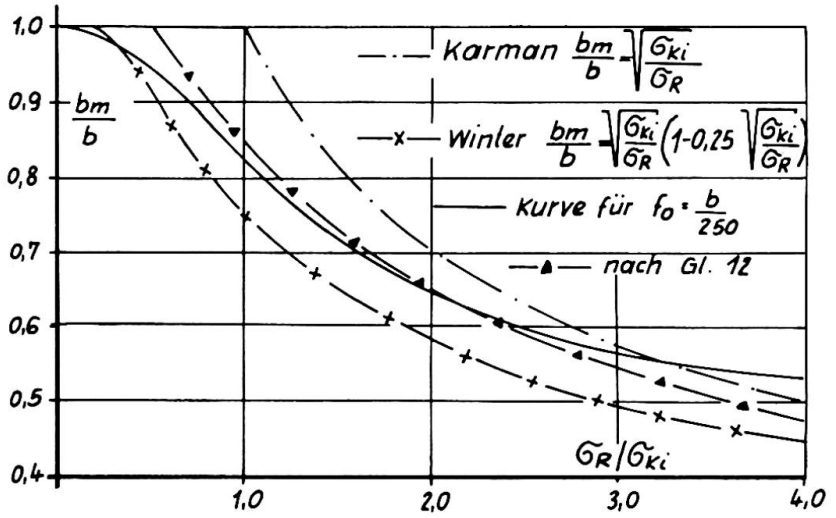

Bild 3

3.2. Vergleich zwischen Theorie und Versuch

Der Querschnitt der Versuchsträger und der Aufbau der Versuchseinrichtung gehen aus Bild 4 hervor. Die Abmessungen der Versuchsträger sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

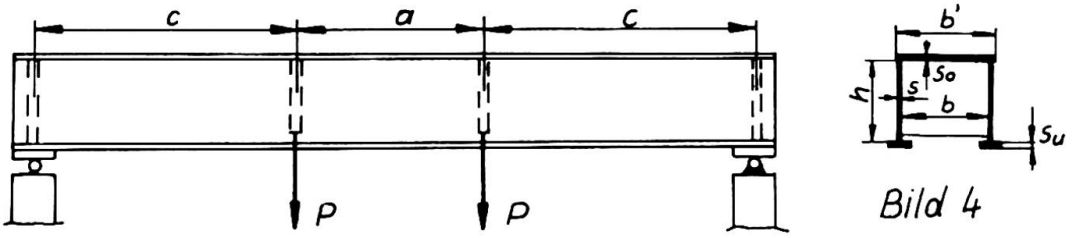

Bild 4

Träger	a mm	b mm	b' mm	u mm	h_{St} mm	C mm	s_o mm	s_u mm	s mm	F ges cm^2	λ
I	320	160	184	45	160	540	4	8	4	27,35	40
II	400	200	224	55	200	700	4	8	4	33,76	50
III	520	260	284	70	260	640	4	8	4	43,35	65
IV	640	320	344	85	320	880	4	8	4	52,15	80
V	800	400	424	105	350	1100	4	8	4	61,75	100
VI	800	400	424	103	300	1100	8	16	4	90,9	50
VII	1040	520	544	133	350	1480	8	16	4	114,0	65

Tabelle 1

Zur Feststellung der Fließgrenze der Druckgurte wurden für jeden Träger, aus dem für den Druckgurt verwendeten Blech, 3 Proben vom Herstellerbetrieb mitgeliefert.

Als mittlere Fließgrenze ergaben sich für das 4 mm starke Blech aus St 38 $\sigma_{0,2}$ = 3000 kp/cm². Der Standard schreibt für diesen Werkstoff eine Mindestfließgrenze von $\sigma_{0,2}$ = 2400 kp/cm² vor.

Die Träger wurden an den Auflagern statisch bestimmt gelagert und die Kräfte mittels Hydraulikzylindern an den Querschotten eingeleitet. Um an der Innenseite des Obergurtes Dehnmeßstreifen anbringen zu können, wurde der Querschnitt des Kastenträgers in der nach Bild 4 angegebenen Weise idealisiert. Zur Ermittlung der Membranspannungen waren am Druckgurt über dessen Breite 5 bzw. 7 Dehnungsstreifen auf der Ober- und Unterseite angebracht. Weitere Dehnmeßstreifen erhielt der Zuggurt.

Die Belastung der Träger erfolgte in einzelnen Laststufen. Bei jeder Laststufe wurden die Dehnungen gemessen. Die Feststellung der Durchbiegung des gesamten Trägers erfolgte mittels Meßuhren. Zur Kontrolle nahmen wir außerdem noch die Messung der Randdehnungen im Druckgurt mit Setzdehnungsmessern vor. Die Messung der örtlichen Verformungen des Druckgurtes erfolgten mit einem Tastograph, der mittels einer Vorrichtung in verschiedenen Längsschnitten über den Druckgurt geführt werden konnte.

Vor Beginn der Versuche wurden die Vorbeulen gemessen. Sie sind in Tabelle 2 den nach der Vorschrift zulässigen gegenübergestellt.

Träger	I	II	III	IV	V	VI
$\lambda = b/s$	40	50	65	80	100	50
$f_{o/s\ vorh.}$	1)	1)	0,26	0,10	0,10	0,15
$f_{o/s\ zul.}$	0,16	0,20	0,26	0,32	0,40	0,20

Tabelle 2

1) Verformung nicht meßbar

Bei der Durchführung der Versuche konnte festgestellt werden, daß die Durchbiegung des gesamten Trägers von Beginn an bei allen Versuchsträgern über den rechnerischen Werten lag. Dies läßt sich daraus erklären, daß infolge der Schweißeigenspannungen bereits bei geringen Belastungen örtliche Plastizierungserscheinungen auftreten, die sich in einer stärkeren Verformung des Bauteiles bemerkbar machen.

Die örtlichen Verformungen des Druckgurtes stiegen bei allen Trägern unterhalb der theoretischen Beullast für gelenkig gelagerte Platten stärker an, obwohl die aufgetretenen Halbwellenlängen bis $\lambda = 65$ eine elastische Randeinspannung anzeigten. Diese frühen Beulerscheinungen des Druckgurtes sind durch die Schweißeigenspannungen und die vorhandenen Vorkrümmungen zu erklären.

Im Bild 5, 6, 7 sind für einen Träger mit dem Schlankheitsgrad $\lambda = 100$ die Verformung in der Mitte des Druckgurtes, die Membrandehnungen und die Biegedehnungen über die Breite des Druckgurtes aufgetragen.

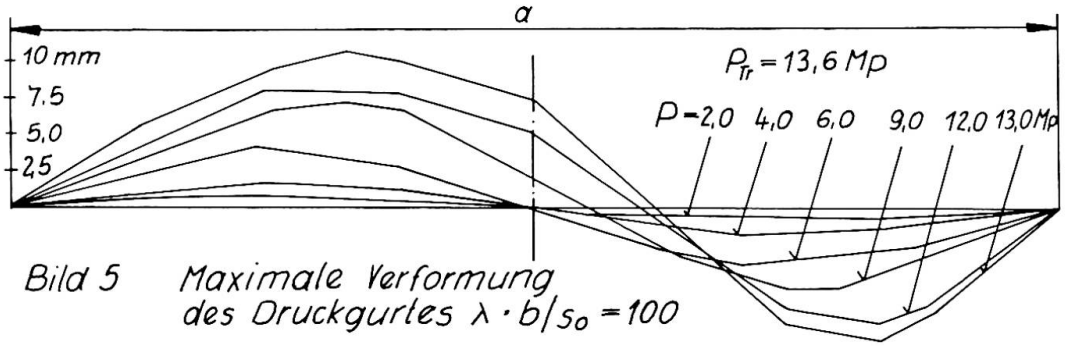

Bild 5 Maximale Verformung des Druckgurtes $\lambda \cdot b/s_0 = 100$

Die im Versuch gefundenen Traglasten sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Träger		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Versuchs-	1	5,89	7,7	10,9	13,9	14,9	24,20	31,1	Mpm
	2	5,89	7,7	11,1	13,6	15,2	24,20	32,0	Mpm
träger	3	–	7,7	10,6	13,9	–	–	–	Mpm

Tabelle 3

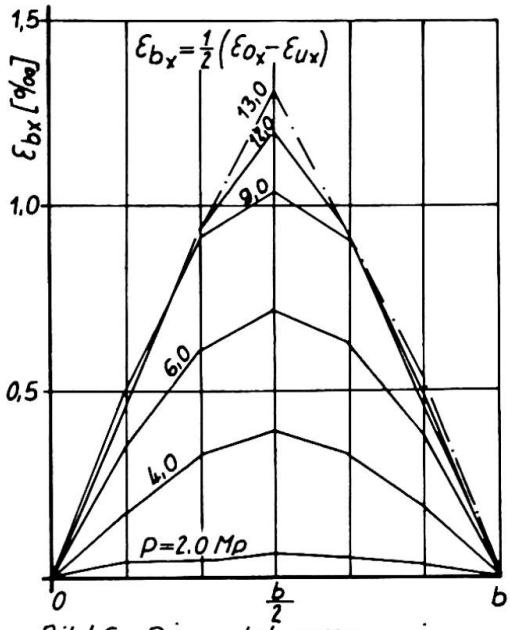

Bild 6 Biegedehnungen im Druckgurt

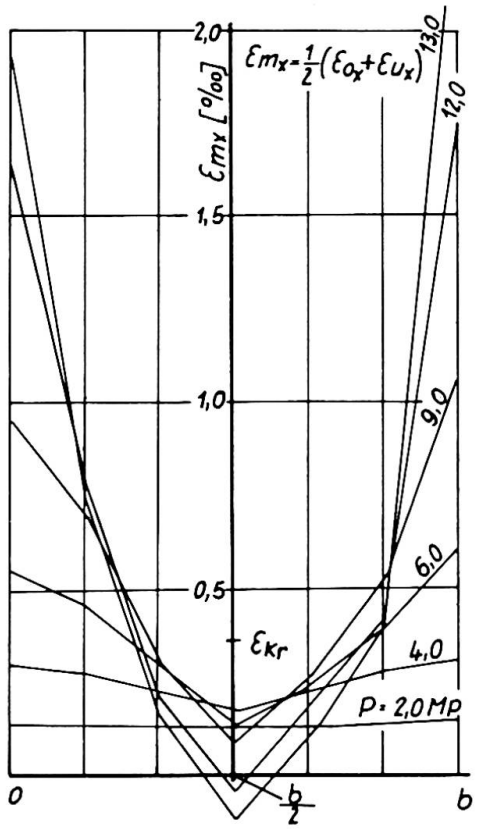

Bild 7 Membrandehnungen

Auffallend ist, daß die Tragmomente der Versuchsträger sehr wenig streuen. Alle Träger beulten unterhalb der Traglast aus, waren aber in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad des Druckgurtes noch in der Lage, weitere Belastung aufzunehmen. Die mögliche überkritische Belastung nimmt mit steigendem Schlankheitsgrad zu. Bei allen Trägern war ein ausgeprägtes Fließen festzustellen. Der Bruch kündigte sich vorher durch stetiges Fließen an. Das Versagen der Tragfähigkeit erfolgte durch starkes Fließen der Kanten, verbunden mit einem starken Ausbeulen des Druckgurtes. Mit den im Versuch ermittelten Tragmomenten wurden ideelle Vergleichsspannungen unter Verwendung des Widerstandsmomentes des vollen Querschnittes ermittelt: $\sigma_{i_{Tr}} = M_{Tr}/W_{voll}$. Zum Vergleich mit den im Versuch gefundenen ideellen Tragspannungen mußten auch ideelle Tragspannungen mit der mittragenden Breite nach Gleichung (12) und nach der Formel von Winter berechnet werden. Diese Kurven sind in Bild 8 aufgetragen. Dabei bedeuten die unteren Kurven mit der Bezeichnung min $\sigma_{i_{Tr}}$ die rechnerische Tragspannung bei der die Fließgrenze an der Außenfaser des Druckgurtes erreicht wird und die Kurven mit der Bezeichnung max $\sigma_{i_{Tr}}$ die rechnerische Tragspannung, bei der der Zuggurt vollplastiziert ist. Wie aus Bild 8 ersichtlich stimmt die Tendenz der rechnerischen Kurven mit der aus den Versuchen gefundenen nicht überein. Der stärkere Anstieg der Versuchskurve bei den kleinen Schlankheitsgraden resultiert aus einer Werkstoffverfestigung, die in der Rechnung nicht erfaßt werden kann.

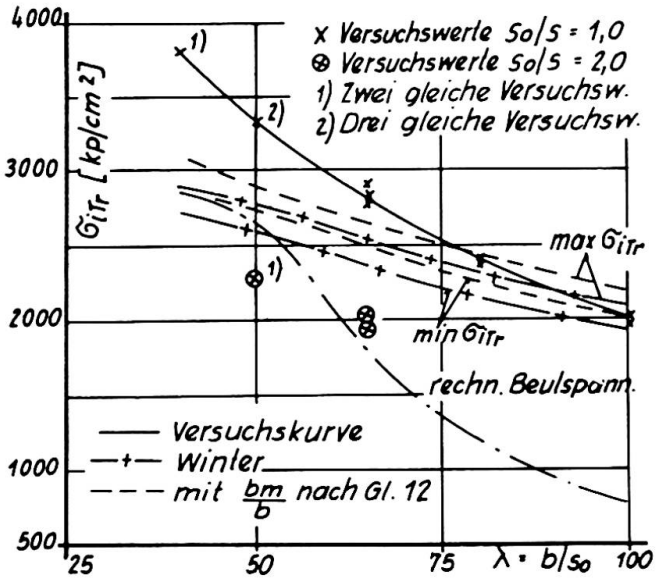

Bild 8 Tragspannungen σ_{iTr}

Die im Bild 8 mit ⊗ eingetragenen Versuchspunkte waren dazu gedacht, die Versuchsreihe der Träger I bis V in der Hinsicht zu bestätigen, daß die Tragfähigkeit der Kastenträger nur abhängig ist von den Plattenschlankheiten $\lambda = b/s$ der Gurte, nicht aber von ihrer absoluten Dicke s bzw. vom Verhältnis s_0/s. Diese Annahme wurde nicht bestätigt. Eine endgültige Erklärung für die im Versuch erhaltenen Ergebnisse konnte noch nicht gefunden werden.

4. Druckgurte von I-Trägern

4.1. Theoretische Untersuchungen

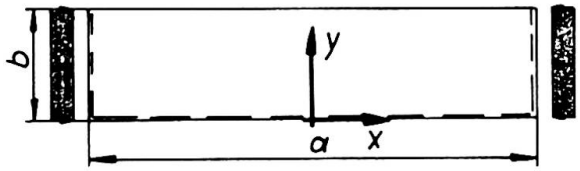

Bild 9

Der Druckgurt eines I-Trägers ist als dreiseitig gelagerte Platte aufgefaßt. Die Schwierigkeit des Problems besteht darin, daß der genaue Lösungsansatz zu sehr komplizierten Ausdrücken führt. Er konnte deshalb nicht verwendet werden.

Dafür wurde folgender Näherungsansatz benutzt:

$$w(x,y) = f \cdot \cos\frac{\pi x}{a}\left(\frac{y}{b} + \varrho \cdot \sin\frac{K\pi y}{b}\right) \qquad (13)$$

Aus den beiden Randbedingungen am freien Rand erhält man die Bestimmungsgleichungen für die Konstanten ϱ und K.

$$\varrho = -\frac{1}{\sin\pi K} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K^2}{\nu} \cdot \alpha^2} \qquad \alpha^2 = \frac{\nu}{K^2} \cdot \frac{1 - \frac{\operatorname{tg}\pi K}{\pi K}}{\frac{\operatorname{tg}\pi K}{\pi K} - \frac{\nu}{2-\nu}} \qquad (14)$$

In Tabelle 4 sind die Werte für ϱ und K angegeben.

α	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	10,0
K	1,430	1,407	1,361	1,305	1,282	1,240	1,220	1,203	1,193	1,187
ϱ	1,0236	0,7394	0,4339	0,2915	0,1991	0,1201	0,0753	0,0378	0,0147	0,0038

Tabelle 4

Daraus ist ersichtlich, daß ϱ auf die in der Praxis vorkommenden Fälle von $\alpha > 1$ nur sehr wenig Einfluß hat. In der weiteren theoretischen Betrachtung wurden deshalb nur Fälle $\alpha > 1$ behandelt, für die mit dem einfacheren Ansatz

$$w(x,y) = f \cdot \frac{y}{b} \cdot \cos\frac{\pi x}{a} \qquad (15)$$

gearbeitet werden kann. Für die Vorbeulen wurde wiederum eine zur Ausbeulform affine Form angesetzt.

Dieser Lösungsansatz wird in die Gleichung (1) eingesetzt, die Spannungsfunktion F ermittelt und aus dem Minimum der Formänderungsenergie des Systems der Freiwert f bestimmt. Damit erhält man folgenden Ausdruck für die mittragende Breite

$$\frac{b_m}{b} = \frac{1 + A \cdot B (f' + 2f_0')(f' + f_0')}{1 + A(1+B)(f' + 2f_0')(f' + f_0')} \qquad (16)$$

mit $A = \dfrac{1-\nu^2}{1 + 6(1-\nu)\frac{\alpha^2}{\pi^2}}$ $\quad B = \frac{4}{5} + \frac{9}{8} \cdot \frac{\alpha^4}{\pi^4}\left(1 - \frac{2}{C}\frac{\alpha}{2\pi} \operatorname{sh}\frac{2\pi}{\alpha}\right)$ $\quad C = \operatorname{ch}\frac{2\pi}{\alpha} + \frac{2\pi}{\alpha}\frac{1}{\operatorname{sh}\frac{2\pi}{\alpha}}$

Die nach Gleichung (16) errechnete mittragende Breite ist im Bild 10 aufgetragen. In diese Abbildung ist auch die Kurve für die mittragende Breite eingetragen, für die die Vorverformung $f_0 = b/100$ beträgt. Der aus den theoretischen Untersuchungen gefundene Ausdruck für die mittragende Breite ist sehr umständlich. Es wird deshalb wieder der gleiche Näherungsansatz verwendet wie bei den Kastenträgern.

$$\frac{b_m}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{ki}}{\sigma_R}}\left(1 - 0{,}148\,\frac{\sigma_{ki}}{\sigma_R}\right) \qquad (18)$$

In diese Gleichung wird für $\sigma_{ki} = 0{,}45 \cdot E/\lambda^2$ eingesetzt. Winter gibt für die mittragende Breite von Platten mit einem freien Rand folgende Gleichung an:

$$\frac{b_m}{b} = \frac{0{,}8}{\lambda}\sqrt{\frac{E}{\sigma_R}}\left(1 - \frac{0{,}202}{\lambda}\sqrt{\frac{E}{\sigma_R}}\right) \qquad (19)$$

In Bild 11 sind diese Kurven, der nach der theoretischen Berechnung unter Berücksichtigung der Vorverformung ermittelten, gegenübergestellt. Man sieht, daß sie besonders bei größeren Überschreitungen stark voneinander abweichen, wobei festgestellt werden muß, daß die Näherungskurven die wirklichen Verhältnisse besser wieder geben dürften, als die aus der theoretischen Berechnung gefundene.

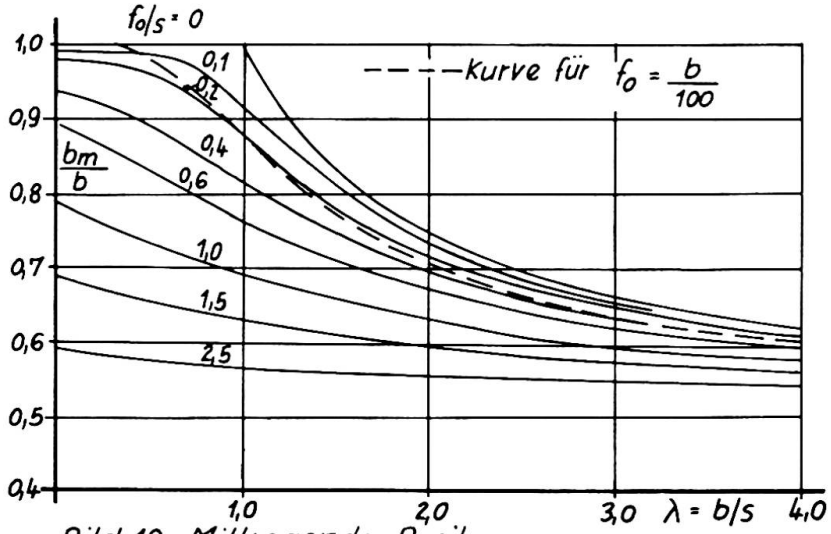

Bild 10 Mittragende Breite

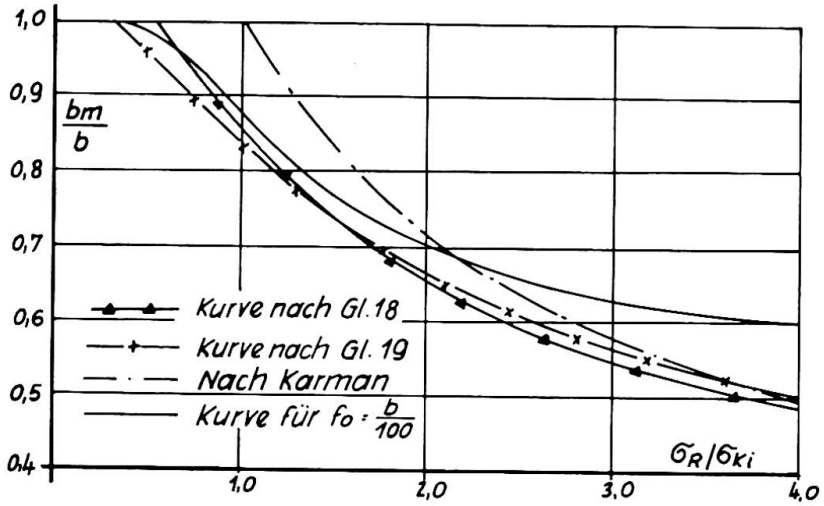

Bild 11 Mittragende Breite von I-Trägern

4.2. Vergleich zwischen Theorie und Versuch

Die Ansicht und der Querschnitt der Versuchsträger sind in einer Prinzipskizze in Bild 12 dargestellt. Die Abmessungen der Versuchsträger enthält Tabelle 5.

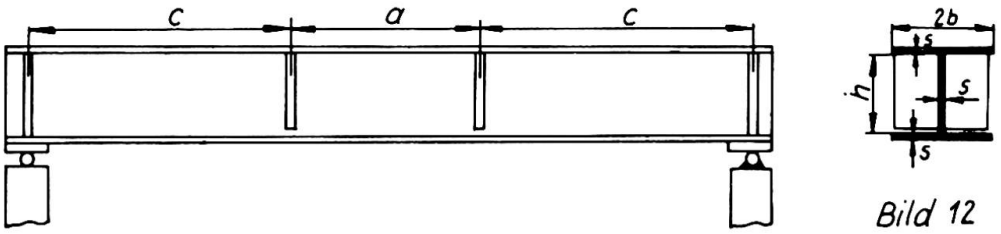

Bild 12

Träger	a mm	c mm	L mm	b mm	h mm	s mm	λ	α
I	180	560	1300	60	160	4	15	3
II	300	650	1600	60	160	4	15	5
III	240	680	1600	80	160	4	20	3
IV	400	700	1800	80	160	4	20	5
V	300	650	1600	100	200	4	25	3
VI	500	650	1800	100	200	4	25	5
VII	420	1140	2700	140	300	4	35	3
VIII	420	1140	2700	140	300	4	35	3
IX	360	720	1800	120	240	8	15	3
X	600	750	2100	120	240	8	15	5
XI	480	1210	2900	160	320	8	20	3
XII	600	2000	4600	200	400	8	25	3

Tabelle 5

Die Versuchsdurchführung und das Meßprogramm war ähnlich wie bei den Kastenträgern.

Die Messung der Durchbiegungen bei den I-Trägern ergab den gleichen Effekt wie bei den Kastenträgern. Alle gemessenen Durchbiegungen liegen höher als die gerechneten.

Die im Versuch gemessenen örtlichen Verformungen stimmen bei den Trägern mit 4 mm Gurten gut mit den theoretisch ermittelten überein. Stärkere Abweichungen traten allerdings bei den Trägern mit dickeren Gurten auf. Bei diesen lagen die im Versuch gemessenen Verformungen wesentlich unter den gerechneten Werten.

In der Tabelle 6 sind die gerechneten und die im Versuch aus der Verformung abgeleiteten Beulspannungen angegeben. Die Rechenwerte wurden dabei mit dem Faktor K = 0,45 bestimmt. Vor allem bei den größeren Schlankheitsgraden tritt der Fall auf, daß die Rechenwerte gegenüber den Versuchswerten zu tief liegen. Der Beulfaktor K könnte für diese Fälle größer gewählt werden.

$\lambda = b/s$	15	20	25	35	
σ_{Kr} rechn.	3170	2360	1510	770	kp/cm²
σ_{Kr} Versuch	2865	2240	1695	1010	kp/cm²

Tabelle 6

In der folgenden Tabelle 7 sind die im Versuch gefundenen Traglasten in kpm angegeben. Festzustellen ist, daß die Streuung der Versuchswerte bei den I-Trägern wesentlich größer ist als bei den Versuchen mit Kastenträgern.

α \ λ	15	20	25	35	15	20	25
3	2740	3600	5120	8300	17500	29000	30500
5	3175	3700	4300	7620 1)	16750		

Tabelle 7: Traglasten von I-Trägern
1) $\alpha = 3{,}0$

Zum Vergleich mit den aus theoretischen Überlegungen gefundenen Werten wird wieder der Wert $\sigma_{iTr} = M_{Tr}/W_{voll}$ gebildet. Die so aus den Versuchen bestimmten Werte und die mit der mittragenden Breite nach Gleichung (18) und (19) ermittelten Ergebnisse sind im Bild 13 aufgetragen.

Alle Träger beulten unterhalb der Traglast aus und waren nach dem Ausbeulen noch in der Lage, wesentliche Kräfte aufzunehmen. Allerdings ist bei den I-Trägern noch zu beachten, daß mit der Abnahme der mittragenden Breite die Kippgefahr der Träger ansteigt. Bei den Versuchen zeigte sich an den gemessenen Membrandehnungen, daß bis $\lambda = 20$ gewisse Biegeeffekte um die y-Achse des Trägers auftraten, ohne daß allerdings ein Versagen durch Kippen eintrat. Die Traglast der Träger wurde begrenzt durch ein starkes Beulen (Falten) des Druckgurtes bei wesentlich kleineren Dehnungen am Steg als bei den Kastenträgern. Die bisherigen Versuche erstreckten sich jedoch nur auf Träger, die ein Verhältnis $s_G/s_{St} = 1{,}0$ besaßen. Wie sich Verhältnisse $s_G/s_{St} > 1{,}0$ auf die Tragfähigkeit auswirken, soll in weiteren Versuchen festgestellt werden. Außerdem sind Untersuchungen mit I-Trägern aus höherfestem Stahl vorgesehen.

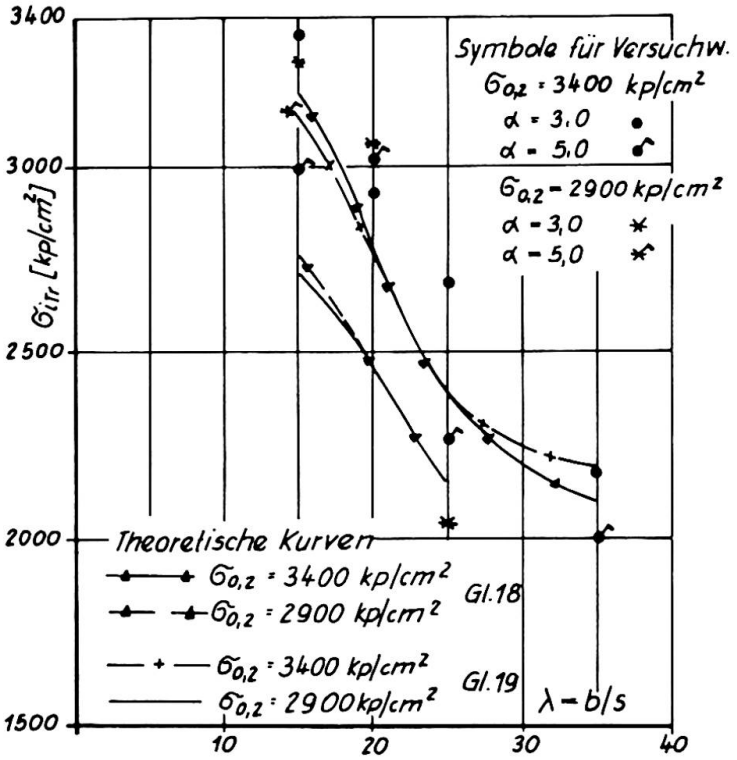

Bild 13 Tragspannungen σ_{iTr} von I-Trägern

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, daß allein theoretische Betrachtungen keine ausreichende Grundlage für die Schaffung neuer Vorschriften bilden, da viele Einflüsse wie die Vorverformungen, die Schweißeigenspannungen und unterschiedliche Steifigkeitsverhältnisse sich nur sehr schwer rechnerisch erfassen lassen. Es sind in jedem Fall zur Bestätigung des theoretisch ermittelten Tragverhaltens Versuche erforderlich.

5. Literaturverzeichnis

Möller	Einfluß von Vorbeulen auf die Spannungsverteilung in Trägergurten IfL-Bericht 63-31/64
Winter	Strength of Thin Stell Compression Flanges Trans. ASCE Vol. 112 (1947) S. 527
Winter	Performance of Thin Stell Compression Flanges AIPC 3. Kongress. Liege Perlim. Publ. 1948
Skalond	Verhalten von Stegblechen im überkritischen Bereich Acta Technica (CSSR) No. 3 (1961) S. 294
Donat	Mittragende Breite breiter Druckgurte IfL-Bericht 6-243/67

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Feststellung der Tragfähigkeit von I- und Kastenträgern mit breiten Druckgurten wurden theoretische Untersuchungen und Versuche durchgeführt. Die Versuche mit Kastenträgern erfolgten mit Gurtschlankheiten $\lambda = b/s$ von 40 bis 100 und für I-Träger mit Schlankheitsgraden von $\lambda = 15$ bis 35.
Die aus den theoretischen Berechnungen und den Versuchen erhaltenen Ergebnisse sind in Bildern und Tabellen dargestellt.

SUMMARY

Theoretical investigations and experiments were conducted to determine the carrying capacity of box beams and I-girder with wide compression flanges. The flange slendernes $\lambda = b/s$ form 40 to 100 was used for box beams and a slendernes ratio of $\lambda = 15$ to 35 for I-girders.
The results of the theoretical calculations and tests are shown in pictures and diagrams.

RÉSUMÉ

Pour déterminer la force portante de poutres en I et de poutres à double âme avec membrures comprimées larges, des études théoriques et des essais ont été effectués. Les essais avec les poutres à double ame ont étť pratiqués avec des proportions de membrure de $\lambda = b/s$ de 40 à 100, ceux avec les poutres en I ont été opérés avec des proportions de mombrure de $\lambda = 15$ à 35.
Les résultats des calculs théoriques et des essais sont représentés sur les figures et tableaux.

Leere Seite
Blank page
Page vide