**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt

**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

**Band:** 110 (1992)

**Heft:** 30-31

**Artikel:** Dünnwandige Blechträger: Bemessung auf Stegkrüppeln mit Biegung und Schub

**Autor:** Herzog, Max

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-77940

**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:** 08.08.2025

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

# Dünnwandige Blechträger

## Bemessung auf Stegkrüppeln mit Biegung und Schub

**Anhand der Nachrechnung von 320 literaturkundigen Versuchen wird gezeigt, dass auch die neuesten Ausgaben verschiedener Stahlbaunormen das Titelproblem dieses Aufsatzes noch nicht in praxisgerechter Form lösen. Es werden daher einige einfache empirische Formeln mitgeteilt, welche mit Regressionsanalysen gewonnen wurden und dem Konstrukteur seine Routinearbeit erheblich erleichtern. Sie gestatten es, alle massgebenden Einflüsse auf das Tragverhalten dünnwandiger Blechträger unter einer konzentrierten Einzellast zutreffend zu berücksichtigen.**

VON MAX HERZOG, AARAU

Es dürfte unbestritten sein, dass die neuesten Normen die Arbeit des Konstrukteurs erschweren anstatt zu vereinfachen. Dabei sind in vielen Fällen einfachere Problemlösungen bekannt, deren Genauigkeit nur um wenige Prozente geringer ist als diejenige von wissenschaftlich anspruchsvolleren. Aber der Praxis ist wenig gedient, wenn der erhöhte Rechenaufwand für eine zweckmässige Konstruktion grösser ist als die erzielbare Kosteneinsparung. Jedenfalls bringt eine etwas höhere Stahltonnage dem Bauherrn im allgemeinen mehr Vorteile als eine umfangreichere Festigkeitsberechnung. Diese Lageeinschätzung wird auch durch neue Veröffentlichungen zur Bemessung dünnwandiger Blechträger auf Stegkrüppeln mit Biegung und Querkraft /1–3/ genährt.

**Verwendete Bezeichnungen**

| | |
|---|---|
| A | arithmetisches Mittel |
| a | Abstand von zwei Querstreifen |
| $b_F$ | Flanschbreite |
| c | Verteillänge der Einzellast |
| $c_o$ | Kontaktlänge der Einzellast |
| $F_L$ | Längssteifenquerschnitt |
| h | Steghöhe |
| K | Vergrösserungsbeiwert ($K_L$ für die Längssteife und $K_c$ für die Lasteintragungslänge) |
| M | Biegemoment |
| $M_F$ | Flanschfliessmoment ohne Stegmitwirkung |
| $P_B$ | Traglast bei grossflächigem Beulen |
| $P_K$ | Krüppellast ($P_{Ko}$ ohne Längssteife und $P_{KL}$ mit Längssteife) |
| $P_Q$ | Quetschlast |
| Q | Querkraft |
| $Q_u$ | Schubtraglast |
| $R_s$ | Fliessgrenze des Baustahls ($R_{sF}$ der Flanschen und $R_{sS}$ des Stegblechs) |
| $R_{su}$ | Zugfestigkeit des Baustahls |
| r | Halbmesser der Stegausrundung bzw. Kathetenlänge der Halsnaht |
| S | Standardabweichung |
| $t_F$, $t_S$ | Flansch- und Stegdicke |
| $t_K$ | Dicke der Kranschiene |
| V | Variationskoeffizient |
| $\eta$ | Wirkungsgrad |

### Die praktische Bemessung

Ein dünnwandiger Blechträger kann seine Tragfähigkeit unter der Wirkung einer grossen Einzellast – zum Beispiel als Kranbahnträger oder als Hauptträger einer Brücke beim Längseinschieben – durch örtliches Versagen einbüssen, wie dies *Granholm* /4, 5/ bereits vor 30 Jahren gezeigt hat. 1977 unterschied die EKS in einer Monographie über steifenlose Stahlskelett-Tragwerke und dünnwandige Vollwandträger die drei Versagensarten /6/

- Stegquetschen (örtlich)
- Stegkrüppeln (örtlich)
- Stegbeulen (grossflächig)

### Stegquetschen

Wird eine gleichmässige Lastverteilung auf die ideelle Länge (Bild 1)

$c = c_o + 6\,(t_K + t_F + r)$ (1)

vorausgesetzt, so beträgt die Quetschlast des Stegblechs

$P_Q = R_S c t_S$ (2)

Die Gl. (2) wird im allgemeinen nur bei Walzprofilen und bei dickwandigen Blechträgern massgebend.

Die Nachrechnung von 28 Versuchen mit Walzprofilen in Zürich (2 von *Basler* /7/ sowie 26 von *Dubas* und *Gehri* /8/), deren kennzeichnende Parameter innerhalb folgender Grenzen lagen:

- Stegschlankheit $h/t_S$ = 13,3 bis 45,8
- Stegdicke $t_S$ = 4,1 bis 18,0 mm
- Verhältnis der Flansch- und Stegdicke $t_F/t_S$ = 1,34 bis 3,75
- Streckgrenze des Baustahls $R_s$ = 242 bis 856 N/mm², rechtfertigt die Wahl des Faktors 6 in der Gl. (1). Das Verhältnis von Messung zu Rechnung (Bild 2) wird durch die statistischen Kennwerte
- arithmetisches Mittel A = 1,119
- Standardabweichung S = 0,237
- Variationskoeffizient V = 0,212

charakterisiert. Die für die Bemessung massgebende 5%-Fraktile (nur 5% der Versuchswerte liegen unter der rechnerischen Voraussage) beträgt 84% des Wertes gemäss Gl. (2).

### Reines Stegkrüppeln

Reines Stegkrüppeln ohne Interaktion mit Biegung und Querkraft kann nur bei kurzen Trägern ohne Zwischenquersteifen beobachtet werden. Der Verfasser hat bereits vor sechs Jahren die einfache empirische Gleichung

$$P_K = 25\, R_S\, t_S^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{t_F}{t_S}} \cdot \sqrt{0{,}4 + \frac{h}{a}} \qquad (3)$$

für die 50%-Fraktile der Krüppellast dünnwandiger Blechträger mitgeteilt /9/. In ihr ist der Wert $\sqrt{0{,}4 + h/a}$ nicht kleiner als 1,0 einzusetzen. Es fällt sofort auf, dass die Schlankheit des Stegblechs $h/t_S$ in der Gl. (3) nicht vorkommt. Der unbedeutende Einfluss dieses Parameters wurde bereits vor 20 Jahren in Göteborg nachgewiesen (vgl. /10/ S. 80, Fig. 16). Die für die Bemessung massgebende 5%-Fraktile beträgt 80% des Wertes nach Gl. (3).

Letztere beruht auf der Auswertung von 136 Versuchen mit geschweissten Blechträgern /10–27/, deren massgebende Parameter innerhalb folgender Grenzen lagen:

- Stegschlankheit $h/t_S$ = 50,3 bis 505
- Blechfeldgrösse a/h = 0,75 bis 14,0
- Verhältnis der Flansch- zur Stegdicke $t_F/t_S$ = 1,0 bis 12,4
- Stegdicke $t_S$ = 0,99 bis 13,4 mm
- Steghöhe h = 250 bis 1300 mm
- Streckgrenze des Baustahls $R_s$ = 192 bis 360 N/mm².

Die in der Zwischenzeit bekanntgewordenen Daten von 63 neuen Versuchen (1 aus Paris /20/, 12 aus Braunschweig /21/, 15 aus Leipzig /3/ und 35 aus Zürich /2/) mit den Parametern:

$h/t_S$ = 64,2 bis 400

a/h = 0,75 bis 3,47

$t_F/t_S$ = 1,60 bis 7,5

$t_S$ = 2,0 bis 7,41 mm

h = 282 bis 1274 mm

$R_s$ = 238 bis 378 N/mm²

bestätigen die Gl. (3) eindeutig (Bild 3). Die statistischen Kennwerte des Verhältnisses von Messung zu Rechnung betragen

| | A | S | V |
|---|---|---|---|
| 136 ältere Versuche | 1,120 | 0,266 | 0,238 |
| 63 neue Versuche | 0,890 | 0,139 | 0,156 |
| 199 Versuche | 1,047 | 0,233 | 0,223 |

Wegen der fehlenden Symmetrie beträgt die Krüppellast unversteifter Träger*enden* nur etwa die Hälfte des Wertes gemäss Gl. (3).

Obwohl es nicht nur mit komplizierten Formeln /1–3, 16–19/, sondern auch mit der einfachen Gl. (3) möglich ist, für einzelne Versuchsreihen etwas bessere Voraussagen des reinen Stegkrüppelns (ohne Interaktion mit Biegung und Schub) bei Blechträgern ohne Längssteifen zu machen (Tabelle 1), lohnt sich der Mehraufwand einer komplizierteren Berechnung mit all ihren zusätzlichen Fehlerquellen nur für wissenschaftliche Untersuchungen, aber nicht für die tägliche Routinearbeit des Konstrukteurs.

Die Anordnung von Längssteifen zur Erhöhung der Krüppellast ist nur bei verhältnismässig enger Quersteifenteilung (a/h < 2) sinnvoll. Zur vollen Entfaltung ihrer Wirkung müssen die Längssteifen in der Nähe des Druckflansches liegen /22/ (Abstand höchstens h/5). Aus 31 Versuchen (13 in Göteborg /16/, 2 in Nagano /24/, 12 in Prag /28/ und 16 in Zürich /2/) kann abgeleitet werden, dass der Vergrösserungsbeiwert bei Vorhandensein von Längssteifen näherungsweise querschnittsproportional ist

$$K_L = \frac{h t_S + \eta F_L}{h t_S} \qquad (4)$$

Der Wirkungsgrad offener Längssteifen ist $\eta = 1$ und derjenige geschlossener ist wegen ihrer Torsionssteifigkeit mindestens $\eta = 2$ zu setzen. Das Verhältnis der gemessenen Krüppellast zur rechnerischen Voraussage ist dann durch die statistischen Kennwerte A = 1,060, S = 0,159 und V = 0,150 charakterisiert. In der Praxis wird es stets zweckmässiger sein, die Stegdicke zu vergrössern als Längssteifen anzuordnen.

## Stegkrüppeln mit Biegung und Querkraft

Dieses auf den ersten Blick kompliziert scheinende Problem kann mit der altbekannten Entwurfsregel für dünnwandige Blechträger, welche das Biegemoment den Flanschen und die Querkraft

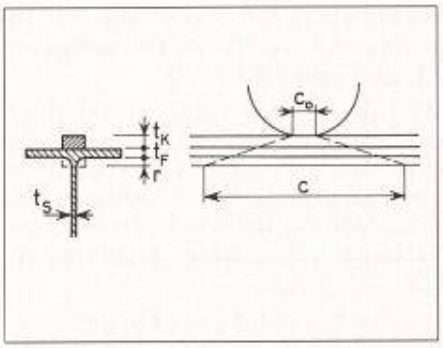


Bild 1. Stegquetschen

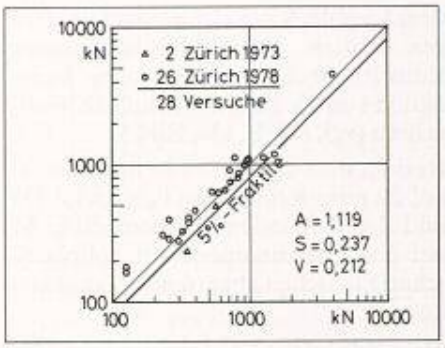


Bild 2. Quetschlast nach 28 Versuchen mit Walzprofilen

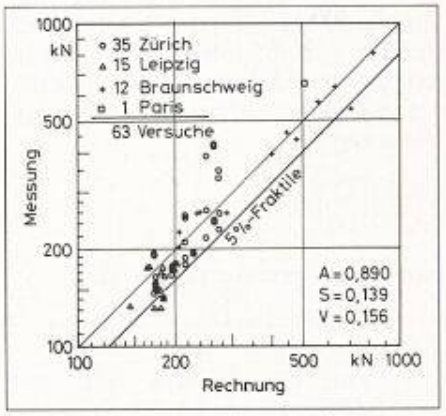


Bild 3. Reine Krüppellast nach 63 neuen Versuchen mit geschweissten Blechträgern

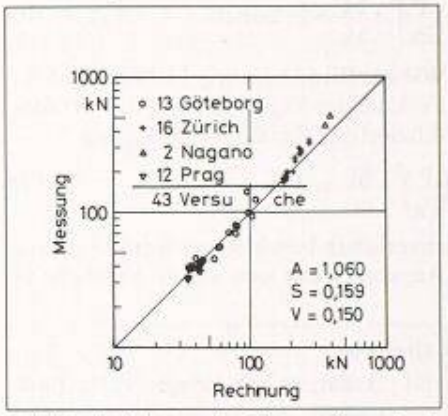


Bild 4. Anhebung der Krüppellast durch Längssteifen nach 32 Versuchen

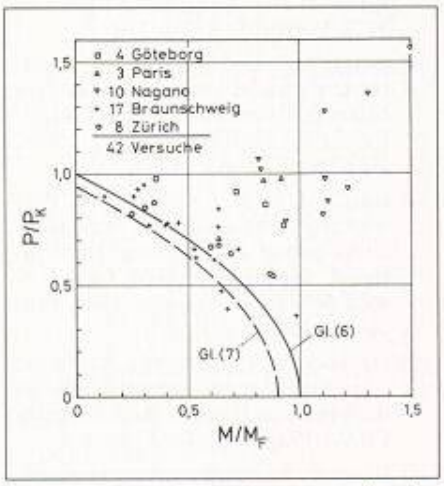


Bild 5. Abminderung der Krüppellast bei Interaktion mit Biegung nach 42 Versuchen

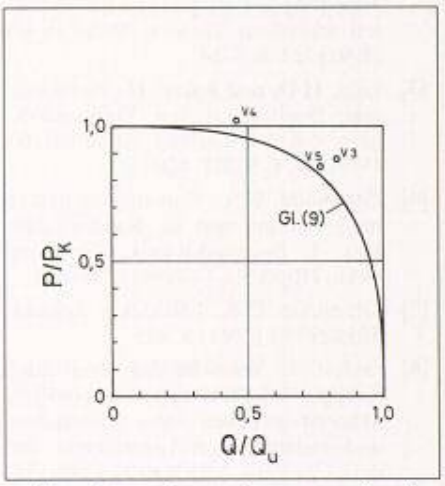


Bild 6. Abminderung der Krüppellast bei Interaktion mit Schub nach 3 Versuchen

| Nr. | Versuch | $b_F$ cm | $t_F$ cm | a cm | h cm | $t_S$ cm | $R_s$ N/mm² | $P_K$ in kN Mess. | Rech. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A 13 | 20,1 | 2,03 | 270 | 80 | 0,373 | 341 | 227,8 | 208,6 |
| 2 | A 17 | 19,9 | 2,02 | 270 | 80 | 0,373 | 341 | 201,4 | 208,2 |
| 3 | A 22 | 30,0 | 3,02 | 270 | 80 | 0,377 | 341 | 263,7 | 242,5 |
| 4 | A 24 | 30,1 | 3,03 | 270 | 80 | 0,374 | 341 | 262,3 | 239,5 |
| 5 | A 27 | 29,9 | 3,01 | 270 | 80 | 0,414 | 352 | 258,4 | 292,1 |
| 6 | B 11 | 20,1 | 2,04 | 170 | 80 | 0,627 | 329 | 439,4 | 479,0 |
| 7 | B 12 | 20,1 | 2,04 | 170 | 80 | 0,597 | 328 | 397,7 | 440,3 |
| 8 | B 13 | 20,1 | 2,02 | 270 | 80 | 0,613 | 325 | 469,0 | 454,1 |
| 9 | C 11 | 20,1 | 2,03 | 270 | 80 | 0,735 | 378 | 543,5 | 716,1 |
| 10 | C 15 | 19,9 | 2,01 | 270 | 80 | 0,642 | 373 | 571,8 | 562,2 |
| 11 | C 21 | 29,9 | 3,09 | 270 | 80 | 0,741 | 378 | 805,8 | 835,2 |
| 12 | C 25 | 30,0 | 3,02 | 270 | 80 | 0,634 | 373 | 631,4 | 630,5 |

Tabelle 1. Reine Krüppellast nach Messung und Rechnung für die 12 Braunschweiger Versuche ohne Interaktion mit Biegung

dem Stegblech zuweist, elegant umgangen werden. Bei Anwendung dieser Entwurfsregel ist nämlich keine Interaktion von Biegung mit Schub zu beobachten (vgl. /23/ S. 135, Bild 5).

Bezieht man die wirkende Einzellast P auf die reine Krüppellast $P_K$ nach Gl. (3) und das vorhandene Biegemoment M auf das Grenzmoment mit vollplastischen Flanschen aber ohne Stegmitwirkung

$$M_F = R_s b_F t_F (h + t_F) \quad (5)$$

so gilt die Interaktionsgleichung

$$\left(\frac{P}{P_K}\right)^2 + \frac{M}{M_F} = 1 \quad (6)$$

Wie aus Bild 5 hervorgeht, kann die 5%-Fraktile der Versuchswerte mit der modifizierten Interaktionsgleichung

$$\left(\frac{P}{P_K}\right)^2 + \frac{M}{M_F} = 0{,}9 \quad (7)$$

zuverlässig beschrieben werden. Diese Aussage stützt sich auf 42 Versuche (4 aus Göteborg /10/, 3 aus Paris /20/, 10 aus Nagano /24/, 17 aus Braunschweig /21/ und 8 aus Zürich /2/).

Wird die Einzellast im Endfeld eines querversteiften Blechträgers auf die reine Krüppellast nach Gl. (3) bezogen und die durchschnittliche Querkraft des Endfeldes auf die bereits früher vom Verfasser angegebene Schubtraglast /23/

$$Q_U = \frac{R_S}{\sqrt{3}} \cdot h t_S \cdot \sqrt{\frac{100\, t_S}{a}} \cdot \sqrt[3]{\frac{b_F t_F R_{SF}}{h t_S R_{sS}}} \quad (8)$$

so zeigt die Nachrechnung der drei Stuttgarter Versuche /1/ V3, V4 und V5 (Bild 6), dass die Interaktion zwischen Krüppeln und Schub ohne Biegung mit der auf der sicheren Seite liegenden Näherung

$$\left(\frac{P}{P_K}\right)^3 + \left(\frac{Q}{Q_u}\right)^3 = 1 \quad (9)$$

ausreichend genau erfasst wird.

## Grossflächiges Stegbeulen

Ist die Lasteintragungslänge gross (c/h 0,5), so kommt es nicht zum örtlichen Stegkrüppeln, sondern zum grossflächigen Stegbeulen, wie es beispielsweise schon an Lagerquerscheiben von Kastenträgern im Brückenbau beobachtet worden ist.

Bei vorhandenen Quersteifen im Abstand a/h < 2 ist die Beultraglast entweder eine Funktion der horizontalen Zugfestigkeit (nicht Streckgrenze) des Stegblechs /25/

$$P_B = R_{su} \cdot \frac{t_S h^2}{a} \quad (10)$$

oder sie entspricht der Quetschlast gemäss Gl. (2). Die Nachrechnung von 13 Versuchen in London (12 aus /26/ und 1 aus /27/), deren kennzeichnende Parameter innerhalb folgender Grenzen lagen:

- Seitenverhältnis a/h = 0,71 bis 2,00

### Literatur


[1] Oxfort, J. und Gauger, H.U.: Beultraglast von Vollwandträgern unter Einzellasten, Stahlbau 58 (1989) H. 11, S. 331–339

[2] Tschamper, H.: Konzentrierte Lasteinleitung und Biegung an unversteiften schlanken Trägern. Stahlbau 60 (1991) H.1, S. 5–14

[3] Glas, H.D. und Johne, H.: Noch einmal: Beultraglast von Vollwandträgern unter Einzellast. Stahlbau 60 (1991) H. 4, S. 111–120

[4] Granholm, C.A.: Provning av balkar med extremt tunt liv. Rapport 202, Inst. f. Byggnadsteknik, Chalmers Tekn. Högskola, Göteborg 1960–61

[5] Granholm, C.A.: Lättbalkar. Teknisk Tidskrift 91 (1961) S. 455

[6] Oxfort, J.: Versuche zum Beul- und Krüppelverhalten von unversteiften Trägerstegblechen unter zentrischen und exzentrischen Einzellasten auf dem Obergurt, Stahlbau 52 (1983) H. 10, S. 309–312

[7] Basler, K.: Rippenlose Verbindungen im Stahlhochbau. Schweiz. Zentralstelle f. Stahlbau, H. A4. Zürich 1973

[8] Dubas, P. und Gehri, E.: Behaviour of webs under concentrated loads acting between widely spaced vertical stiffeners. ECCS Commission 8.3, Zürich 1978

[9] Herzog, M. Die Krüppellast von Blechträger- und Walzprofilstegen. Stahlbau 55 (1986) H. 3, S. 87–88

[10] Bergfelt, A.: Studies and tests on slender plate girders without stiffeners – Shear strength and local web crippling. IABSE Colloquium on Design of Plate and Box Girders for ultimate strength, London 1971, Report S. 67–83

[11] Bergfelt, A. und Hövik, J.: Thin-walled deep plate girders under static loads. IVBH Kongress New York 1968, Schlussbericht S. 465–478

[12] Skaloud, M. und Novak, P.: Post-buckled behaviour and incremental collapse of webs subjected to concentrated loads. IVBH Kongress Amsterdam 1972, Vorbericht S. 101–110

[13] Bergfelt, A. und Lindgren, S.: Livintryckning under koncentrerad last vid balkar med slankt liv. Publ. S 74:5, Inst. f. Konstruktionstekn., Chalmers Tekn. Högskola, Göteborg 1974

[14] Bagchi, D.K. und Rockey K.C.: Post buckling behaviour of a web plate under partial edge loading. Third Internat. Specialty Conf. on Cold Formed Structures, Missouri 1975. Proceedings Bd. 1

[15] Drdacky, M. und Novotny, R.: Partial edge load carrying capacity tests on thick plate girder webs. Acta Technica CSAV (Prag) 1977, Nr. 5

[16] Bergfelt, A.: Patch loading on a slender web – Influence of horizontal and vertical stiffeners on the load carrying capacity. Publ. S 79:1. Inst. f. Konstruktionstekn., Chalmers Tekn. Högskola, Göteborg 1978–79

[17] Roberts, T.M. und Rockey, K.C.: A mechanism solution for predicting the collapse loads of slender plate girders when subjected to in-plane patch loading. Proc. ICE, Part 2, 67 (1979) S. 155–175

[18] Roberts, T.M.: Slender plate girders subjected to edge loading. Proc. ICE, Part 2, 71 (1981) S. 805–819

[19] Roberts, T.M. und Markovic, N.: Stocky plate girders subjected to edge loading. Proc. ICE, Part 2, 75 (1983) S. 539–550

[20] Galea, Y., Godart, B., Radouant, I. Raoul, J.: Tests of buckling of panels subjected to in-plane patch loading. Internat. Coll. on Stability of Plate and Shell Structures, Ghent 1987. Proceedings S. 65–71

[21] Scheer, J.,Liu, X.L., Falke, J. und Peil, U.: Traglastversuche zur Lasteinleitung an I-förmigen geschweissten Biegeträgern ohne Steifen. Stahlbau 57 (1988) H. 4, S. 115–121

[22] Dubas, P. und Gehri, E. (Herausg.): Behaviour and design of steel plated structures. ECCS Tech. Committee 8, Struct. Stability Working Group 8.3, Zürich 1986

[23] Herzog, M.: Tragfähigkeit und Bemessung unversteifter und versteifter Blechträger auf Schub in einfachster Näherung. Bauingenieur 63 (1988) H. 3, S. 133–137

[24] Shimizu, S., Yoshida, S. und Okuhara, H.: An experimental study on patch-loaded web plates. Internat. Coll. on Stability of Plate and Shell Structures, Ghent 1987. Proceedings, S. 85–94

[25] Herzog, M.: Die Traglast der Lagerquerscheiben stählerner Kastenträger nach Versuchen. Bauingenieur 52 (1977) H.7, S.263–265.

[26] ICE Conference on Steel Box Girder Bridges, London 1973. Proceedings S. 95–117, 173–191 und 222–224

[27] Einarsson, B. und Dowling, P.J.: Tests on simply stiffened rectangular diaphragms – model 1. Imperial College of Science and Technology, London 1979. CESLIC Report BG 54

[28] Karnikova, I. Novak, P. und Skaloud, M.: Ultimate load behaviour of longitudinally stiffened steel webs subjected to partial edge loading. Stavebnicky Casopis 27 (1979) H. 10, S. 752–755

- Stegschlankheit $h/t_s = 31{,}3$ bis 381
- Lasteintragungsverhältnisse $c_o/a = 0{,}104$ bis 0,603
  $c_o/h = 0{,}139$ bis 0,883
- Streckgrenze $R_s = 257$ bis 458 N/mm²
- Zugfestigkeit $R_{su} = 387$ bis 583 N/mm²,

zeigt (Bild 7), dass die für die Bemessung massgebende 5%-Fraktile der Versuchswerte 85% des Rechenwerts nach den Gln. (10) bzw. (2) beträgt.

Bei fehlenden Quersteifen kann sich die mit Gl. (10) beschriebene horizontale Zugbandwirkung nicht einstellen und die Beultraglast entspricht dann nur der reinen Krüppellast gemäss Gl. (3). Die Nachrechnung der 12 bekannten Versuche (2 aus Göteborg /11/, je 3 aus Zürich /2/ und Paris /20/ sowie 4 aus Nagona /24/) lässt allerdings erkennen, dass die gemessene Beultraglast infolge der grossen Lasteintragungslänge um den Faktor

$$1 < K_c = \frac{2c}{h} < 2 \qquad (11)$$

grösser ausfällt (Bild 8) als der Rechenwert nach Gl. (3).

## Sicherheitsbetrachtung

Weil die 5%-Fraktile der Versuchswerte als die *kennzeichnende* Festigkeit gilt, ist der genormte Teilsicherheitsabstand $\gamma_M = 1{,}1$ gegenüber der 5%-Fraktile einzuhalten. Die Abminderungsbeiwerte für die 5%-Fraktilen (zum Beispiel 0,80 bei Gl. (3) sind aber nur einmal einzuführen, entweder bei den Gln. (2), (3), (8) und (10) oder bei den Interaktionsgleichungen (6) und (9).

## Kommentar

Bei der Bemessung auf Stegkrüppeln ist zwischen den beiden Versagensfällen des Stegquetschens, das bei Walzprofilen und dickwandigen Blechträgern massgebend wird, und des eigentlichen Stegkrüppelns bei dünnwandigen Blechträgern zu unterscheiden. Bei den letztgenannten sind wiederum zwei Versagensarten denkbar. Für kleine Lasteintragungslängen, wie sie unter Laufkranen und beim Einrollen von Brückenträgern vorkommen, kommt es zum örtlichen Stegkrüppeln unter der

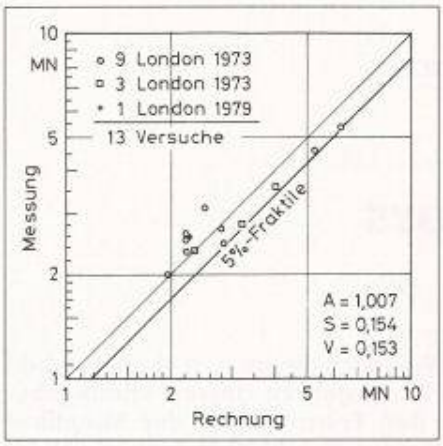


*Bild 7. Traglast querversteifter Blechträger bei grossflächigem Beulen nach 13 Versuchen*

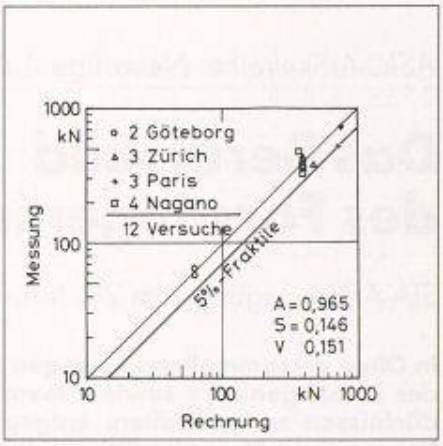


*Bild 8. Traglast unversteifter Blechträger bei grossflächigem Beulen nach 12 Versuchen*

Einzellast. Diese Krüppellast ist nach Gl. (3) eine Funktion folgender Parameter

- Streckgrenze des Baustahls
- Stegdicke
- Verhältnis von Flansch- zur Stegdicke
- Verhältnis des Quersteifenabstands zur Trägerhöhe,

aber nicht der Stegschlankheit. Bei nicht zu grossem Quersteifenabstand ($a/h < 2$) kann die Krüppellast durch Längssteifen nahe dem Druckflansch angehoben werden. Trotzdem wird es im allgemeinen wirtschaftlicher sein, die höhere Krüppellast mit einem dickeren Stegblech zu gewährleisten als mit arbeitsintensiven Längssteifen, die sowohl einen offenen als auch einen geschlossenen Querschnitt (mit einem mindestens doppelt so grossen Wirkungsgrad) besitzen können.

Für grosse Lasteintragungslängen, wie sie im allgemeinen nur bei den Lagerquerscheiben von Kastenträgern im Brückenbau vorkommen, stellt sich eine grossflächige Beule mit gleichzeitig einknickendem Druckflansch ein. Die Beultraglast beruht dann auf der horizontalen Zugwirkung des Stegblechs, welches häufig durch Mannlöcher geschwächt ist. Dabei bestimmt die Zugfestigkeit des Baustahls die Grösse der Beultraglast und nicht die nur für die Quetschlast massgebende Streckgrenze. Fehlen die Quersteifen ganz, so fällt die Beultraglast bei grossen Lasteintragungslängen ($0{,}5 < c/h < 1$) grösser aus als die Krüppellast nach Gl. (3).

Bei gleichzeitigem Auftreten von örtlichem Stegkrüppeln und Biegung oder Schub findet eine Interaktion statt, welche die Krüppellast im allgemeinen abmindert. Die Interaktion von Stegkrüppeln und Biegung mit Schub kann mit der altbekannten Entwurfsregel, welche das Biegemoment den Trägerflanschen und die Querkraft dem Stegblech zuweist, elegant umgangen werden.

## Folgerung

Es wird anhand der Nachrechnung von 320 literaturkundigen Versuchen aus aller Welt gezeigt, dass die zuverlässige Bemessung unversteifter und versteifter Blechträger unter einer konzentrierten Einzellast – eine Beanspruchung, die beim Längseinschieben von Stahlbrücken vorkommt – mit einem kleineren und gleichzeitig weniger fehleranfälligen Rechenaufwand möglich ist als nach den bereits geltenden Normen, zum Beispiel SIA-Norm 161, und DASt-Richtlinie 015 bzw. den noch in Diskussion stehenden Normenentwürfen, zum Beispiel Eurocode 3.

Adresse des Verfassers: *Dr. M. Herzog*, dipl. Bauing., Rohrerstrasse 3, 5000 Aarau.