

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65 (1947)
Heft: 8

Artikel: Die Ausbeutung von durch einseitigen, gleichmässig verteilten Druck beanspruchten Blechen im elastischen und plastischen Bereich
Autor: Kollbrunner, C.F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-55833>

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: 14.01.2026

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

Die Ausbeulung von durch einseitigen, gleichmässig verteilten Druck beanspruchten Blechen im elastischen und plastischen Bereich

Von Ing. Dr. sc. techn. C. F. KOLLBRUNNER, Direktor der A.-G. Conrad Zschokke, Stahlbau, Döttingen

DK: 624.075.4

Zur Vervollständigung der am Institut für Baustatik an der E. T. H. durchgeführten Stabilitätsversuche über das Ausknicken zentrisch und exzentrisch belasteter Rechteckstäbe¹⁾ und das Ausbeulen der auf Druck beanspruchten freistehenden Winkel²⁾ wurden im gleichen Institut grosse Versuchsreihen über die Ausbeulung von auf gleichmässig verteilten Druck beanspruchten Platten im elastischen und plastischen Bereich durchgeführt³⁾. Die erste diesbezügliche zusammenfassende Veröffentlichung über 359 Versuche, die von der Technischen Kommission des Verbandes Schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbauunternehmungen (T. K. V. S. B.) herausgegeben wurde, behandelt diesen einfachsten Fall der Ausbeulung von Blechen⁴⁾. Damit das Problem der Plattenausbeulung noch weiter abgeklärt werden kann, müssen noch folgende Versuchsreihen durchgeführt werden:

1. Platten an den Rändern b durch ungleichmässigen Druck beansprucht (Bild 1 b)
2. Platten an den Rändern b durch reine Biegung beansprucht (Bild 1 c)
3. Platten durch Schub beansprucht (Bild 1 d) und eventuell:
4. Platten an den Rändern b und a durch gleichmässig verteilten Druck beansprucht (Bild 1 e)
5. Platten an den Rändern b und a durch ungleichmässigen Druck beansprucht (Bild 1 f)

Erst wenn diese Versuchsreihen, die mit einer neuen Festigkeitsmaschine am Institut für Baustatik der E. T. H. durchgeführt werden, beendet sind (die T. K. V. S. B. rechnet dabei mit einer Dauer von etwa 1½ Jahren), sollen einfache Versuche mit verschiedenen Aussteifungen durchgeführt werden. Anschliessend daran sind Blechträger mit verschiedenartig angeordneten Aussteifungen versuchstechnisch zu kontrollieren, damit als Schlussergebnis dem Konstrukteur einfache Anleitungen für die Berechnung und Anordnung der Aussteifungen gegeben werden können.

Heute ist es noch ein weiter Weg vom bis jetzt versuchstechnisch behandelten einfachsten Ausbeulproblem bis zur gewünschten Berechnung der ökonomischsten und dabei absolut sicheren Blechsaussteifung, ein Weg, der sicherlich noch viele Hindernisse aufweisen wird, der jedoch mit Arbeit, gutem Willen, einwandfreien Versuchen und klarer theoretischer Behandlung zum ersehnten Ziel, der Erkenntnis des Wahren, Besten und Zweckmässigsten führen wird.

¹⁾ C. F. Kollbrunner: Zentrischer und exzentrischer Druck von an beiden Enden gelenkig gelagerten Rechteckstäben aus Avional M und Baustahl. «Der Stahlbau» 1938, Hefte 4, 5 und 6.

²⁾ C. F. Kollbrunner: Das Ausbeulen des auf Druck beanspruchten freistehenden Winkels. Mitteilung Nr. 4 aus dem Institut für Baustatik an der E. T. H., Zürich 1935. A.-G. Gebr. Leemann & Co.

³⁾ C. F. Kollbrunner: Stabilität der auf Druck beanspruchten Platten im elastischen und plastischen Bereich. Abhandlungen der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Bd. VII. Zürich 1944, A.-G. Gebr. Leemann & Co.

C. F. Kollbrunner: Wybruszenie plyt pod wpływem ciśnienia równomiernie rozłożonego w granicach sprężystości i niesprężystości materialu. Prace naukowe, Członków Polskiej Komisji Norm Budowlanych. Polskie Archiwum Techniczne w Szwajcarii, Zeszyt 2, 1944.

⁴⁾ C. F. Kollbrunner: Das Ausbeulen der auf einseitigen, gleichmässig verteilten Druck beanspruchten Platten im elastischen und plastischen Bereich (Versuchsbericht). Mitteilung Nr. 17 aus dem Institut für Baustatik an der E. T. H. Zürich 1946, A.-G. Gebr. Leemann & Co.

Untersucht man eine Platte, die an den Rändern b gelenkig gelagert ist und an den Rändern a die in Bild 2 angegebenen Randbedingungen erfüllen kann, so erhält man, sofern die Ränder b durch gleichmässig verteilten Druck beansprucht werden, für orthogonal anisotrope Platten folgende theoretische Ausbeulformel⁵⁾:

$$(1) \quad \sigma_K = p \frac{\pi^2 E}{12(1-\bar{m}^2)} \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \tau^* + q \frac{\pi^2 E}{12(1-\bar{m}^2)} \left(\frac{\delta a}{b^2}\right)^2 \frac{1}{n^2} + \frac{\pi^2 E}{12(1-\bar{m}^2)} \left(\frac{\delta}{a}\right)^2 n^2 \tau$$

Darin bedeuten:

E Elastizitätsmodul

\bar{m} Querkürzungsverhältnis (kann für Stahl und die vorliegenden Fälle zu 0,3 angenommen werden)

b Breite, a Länge, δ Dicke des Bleches

n Anzahl der Halbwellen

τ Knickzahl. Für Rechteckquerschnitte $\tau = \frac{4 \frac{E'}{E}}{\left(1 + \sqrt{\frac{E'}{E}}\right)^2}$

τ^* Knickzahl für das Glied, für welches beide Plattenrichtungen von Einfluss sind; $\tau < \tau^* < 1$

E' Veränderlicher Elastizitätsmodul über der Proportionalitätsgrenze: $E' = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$

Die Koeffizienten p und q bestimmen sich aus den Randbedingungen zu:

| | | |
|----------|-------------|-------------|
| Fall I | $p = 0,000$ | $q = 0,000$ |
| Fall II | $p = 0,425$ | $q = 0,000$ |
| Fall III | $p = 0,570$ | $q = 0,125$ |
| Fall IV | $p = 2,000$ | $q = 1,000$ |
| Fall V | $p = 2,500$ | $q = 5,000$ |
| Fall VI | $p = 2,270$ | $q = 2,450$ |

Dabei wurde bei der Aufstellung der Gleichung (1) angenommen, dass die Ränder b frei drehbar gelagert sind, so dass die Platten um diese Ränder frei wippen können. Dies ist jedoch weder in der Praxis noch bei den durchgeführten Versuchen vollkommen der Fall. Bei den Versuchen wurden die Ränder b durch Pressplatten, ohne Einschaltung eines Gelenkes, gedrückt, und in der Praxis ist ebenfalls kein Gelenk vorhanden. Berücksichtigt man diesen Umstand mit den Koeffizienten K_1 und K_2 und führt man für τ^* den durch

die Versuche ermittelten Wert $\frac{\tau + \sqrt{\tau}}{2}$ ein, so geht Gleichung (1) über in

$$(2) \quad \sigma_K = p \frac{\pi^2 E}{12(1-\bar{m}^2)} \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \frac{\tau + \sqrt{\tau}}{2} + K_1 q \frac{\pi^2 E}{12(1-\bar{m}^2)} \left(\frac{\delta a}{b^2}\right)^2 \frac{1}{n^2} + K_2 \frac{\pi^2 E}{12(1-\bar{m}^2)} \left(\frac{\delta}{a}\right)^2 n^2 \tau$$

Dabei sind die Korrekturfaktoren $K_1 = \frac{1}{K_2}$

⁵⁾ Ueber alle Einzelheiten wird auf die in Fussnote 4 angegebene Veröffentlichung verwiesen.

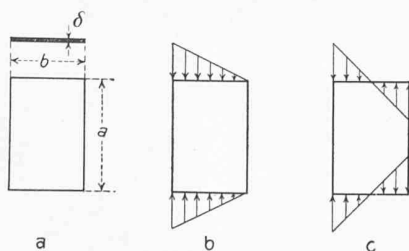


Bild 1

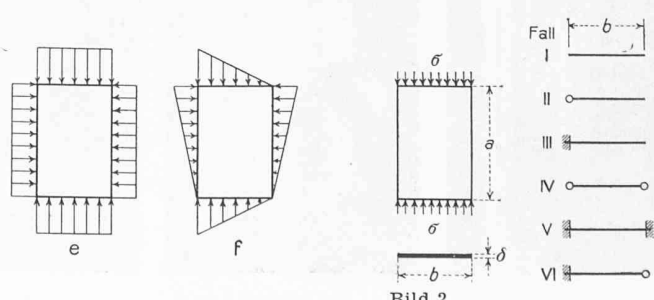


Bild 2

Tabelle 1: Minimale kritische Ausbeulspannungen

| Fall | Elastischer Bereich min σ_K | Plastischer Bereich min σ_K |
|------|---|--|
| III | $1,154 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$ | $0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [0,992 + 0,285 \sqrt{\tau}]$ |
| IV | $3,615 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$ | $0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [3,000 + \sqrt{\tau}]$ |
| V | $6,301 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$ | $0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [5,722 + 1,25 \sqrt{\tau}]$ |
| VI | $4,881 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$ | $0,9038 \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \cdot \sqrt{\tau} [4,265 + 1,135 \sqrt{\tau}]$ |

Fall II: $K_2 = 1,5$ (für den elastischen und plastischen Bereich)

Fall III bis VI: $K_2 = 1,0$ (für den elastischen Bereich)
 $K_2 = 1,2$ (für den plastischen Bereich)

Während für den Fall II, in welchem nur immer eine Halbwellen ausgebildet wird, σ_K nach Gleichung (2) bestimmt werden muss, genügt für die Fälle III bis VI die Bestimmung der minimalen kritischen Ausbeulspannung

$$(3) \quad \min \sigma_K = \frac{\pi^2 E \sqrt{\tau}}{12(1 - m^2)} \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 \left[p \frac{1 + \sqrt{\tau}}{2} + 2 \sqrt{q} \right]$$

Dabei sind α_0 und α' nach Bild 3

$$(4) \quad \alpha_0 = n \sqrt{K_2} \sqrt{\frac{\tau}{q}}$$

$$(5) \quad \alpha' = \sqrt{K_2} \sqrt{\frac{\tau}{q}} \sqrt{n(n+1)}$$

Mit $m = 0,3$ und durch Einführung der Koeffizienten p und q erhält man aus Gleichung (3) die in Tabelle 1 angegebenen Werte. Für den Fall II ergibt sich dabei folgende Gleichung mit $K_2 = 1,5$:

$$(6) \quad \sigma_K = \left\{ 1,3557 \left(\frac{b}{a}\right)^2 \tau + 0,384 \frac{\tau + \sqrt{\tau}}{2} \right\} E \left(\frac{\delta}{b}\right)^2$$

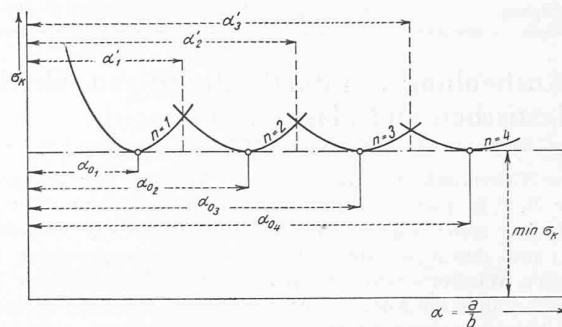


Bild 3

Damit sind dem Konstrukteur für durch einseitigen gleichmässig verteilten Druck beanspruchte Platten einfache Formeln gegeben, mit denen er leicht die kritische Ausbeulspannung bestimmen kann.

Im Gegensatz zum elastischen Bereich mit $\tau = 1$, für den die Gleichung (1) mit den Formeln von Bleich⁶⁾ (orthogonale anisotrope Platte) und Chwalla⁷⁾ (orthogonale isotrope Platte) übereinstimmt, wo ohne weiteres die minimale kritische Ausbeulspannung der Fälle III bis VI oder für den Fall II die kritische Ausbeulspannung bestimmt werden kann, ist die Berechnung dieser Spannungen im plastischen Bereich insofern komplizierter, als die Knickzahl τ eine durch die τ -Linie bestimmte Funktion von σ_K ist. Hier genügt bei guter Schätzung von τ eine dreimalige Wiederholung der Rechnung⁵⁾. Wie aus Bild 4 hervorgeht, haben die Versuche eindeutig bewiesen, dass sich die Platten orthogonal anisotrop verhalten. Bild 5 zeigt einen Versuch, bei dem die Kanten a beiderseits fest eingespannt waren (Fall V). Die Platte beulte in sechs Wellen aus.

⁶⁾ F. Bleich: Theorie und Berechnung der eisernen Brücken, Berlin 1924, S. 216. Verlag von Julius Springer.

⁷⁾ E. Chwalla: Das allgemeine Stabilitätsproblem der gedrückten, durch Randwinkel verstärkten Platte. «Ingenieur-Archiv», V. Band, 1934, S. 54.

Neue Methoden für die Bestimmung der Zementfeinheit

DK : 660.955.3

Von F. GUYE, Ingenieur-Chemiker, S. I. A., Leiter der Prüfungs- und Forschungsanstalt der Zementfabrik Holderbank-Wildeggen A.-G.

I. Allgemeines

Die Mahlfeinheit der hydraulischen Bindemittel beeinflusst nicht nur die Festigkeiten des daraus angefertigten Mörtels und Betons, sondern auch sein Schwinden, seine Hydrationswärme, Wasserdurchlässigkeit, Wasserlöslichkeit, Frostbeständigkeit und weitere seiner Eigenschaften. Sie bildet also für den Zement einen grundlegenden Qualitätsbegriff. Eine sorgfältige und genaue Feinheitbestimmung ist deshalb von grosser Wichtigkeit [1]).

¹⁾ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

Bei der fortschreitenden technischen Entwicklung der Zementherstellung genügt heute die bis jetzt gebräuchliche Siebmethode nicht mehr. Tatsächlich gleiten beim normalen Sieb von 4900 Maschen pro cm² (Maschenweite 88 μ) mehr als 90 % des Materials durch die Maschen und gerade darunter befinden sich die aktiven Teilchen des Zementes.

Andererseits können bei der Siebung die Prüfergebnisse merkliche Unterschiede aufweisen, je nachdem ob das Sieben von Hand oder mit der Maschine erfolgt und je nach der Art der verwendeten Siebweben.

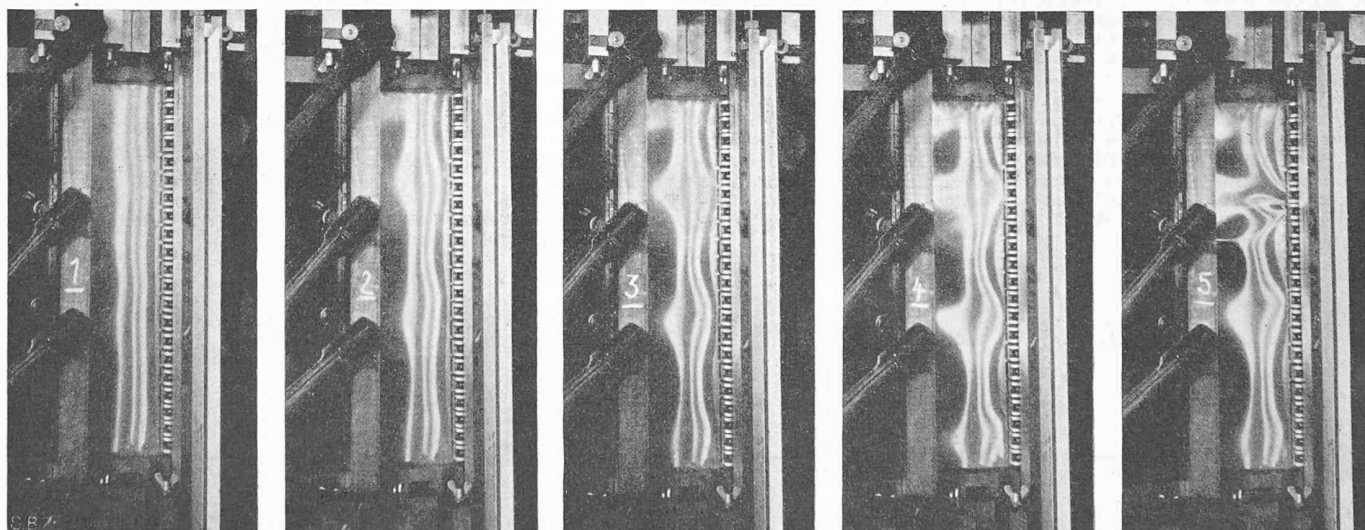


Bild 5. Kanten a beidseits fest eingespannt. Fall V: $b = 9,4$ cm, $a = 40,0$ cm, $d = 0,1$ cm. Ausbeulung in sechs Wellen