

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

Band: 5 (1956)

Artikel: Traglastversuche an zweiachsig aussermittig gedrückten Stäben aus Stahl

Autor: Klöppel, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-6110>

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: 23.02.2026

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

IV c 2

Traglastversuche an zweiachsig aussermittig gedrückten Stäben aus Stahl

**Ensaios de carga de vigas de aço submetidas à compressão
com excentricidade biaxial**

**Essais de charge de poutres en acier soumises
à une compression à excentricité bi-axiale**

**Load tests of steel beams submitted to a bi-axial
excentric compression**

PROF. DR. - ING. E. h. K. KLÖPPEL
Darmstadt

Im Institut des Verfassers (Ingenieurlabor der Tecnhnischen Hochschule Darmstadt) sind im vergangenen Jahr «Traglastversuche an zweiachsig aussermittig gedrückten Stäben aus Stahl» im Rahmen eines Forschungsprogrammes der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad-Godesberg, durchgeführt worden. Die Aufgabenstellung ist in Bild 1 erläutert. In der Praxis tritt dieser Fall bei Stützen räumlicher Rahmengebilde, so beispielsweise im Stahlskelettbau oft auf.

Für den ersten Versuchsabschnitt, über den hier berichtet wird, wurden die Aussermittigkeiten e_x und e_y paralleflanschiger I-Profile von unterschiedlichen Schlankheitsgraden λ variiert. Die Anzahl der Traglastversuche betrug:

1 Versuch mit Profil IP	14: $\lambda_x = 36, \lambda_y = 60,$
12 Versuche mit Profil IP	16: $\lambda_x = 34, \lambda_y = 57,$
15 Versuche mit Profil I	10.10: $\lambda_x = 48, \lambda_y = 83.$

Für die Bemessung zweiachsig aussermittig gedrückter Stäbe aus Stahl sind in den deutschen Vorschriften über Stabilitätsfälle DIN 4114 die Formeln I und II

$$\sigma_{zul} \geq \frac{P}{F} + 0,9 \left(\frac{W_x}{W_z} + \frac{W_y}{W_z} \right) \quad (I)$$

$$\sigma_{zul} \geq \frac{P}{F} + \frac{M_x}{W_z} + \frac{M_y}{W_z} \quad (II)$$

massgebend. Für Belastungsfall 1 und 2 betragen die zulässigen Spannungen $\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ und $\sigma_{zul} = 1600 \text{ kg/cm}^2$.

Das Ziel der Versuche war es, den Sicherheitsgrad der mit diesen Formeln ermittelten zulässigen Lasten P_{zul} gegenüber der experimentellen Traglast P_{Br} festzustellen.

Bild 2 zeigt die Versuchseinrichtung. Die Belastung erfolgte über je ein Kugellager. Die Grösse der Last war durch die Anzeige der Prüf-

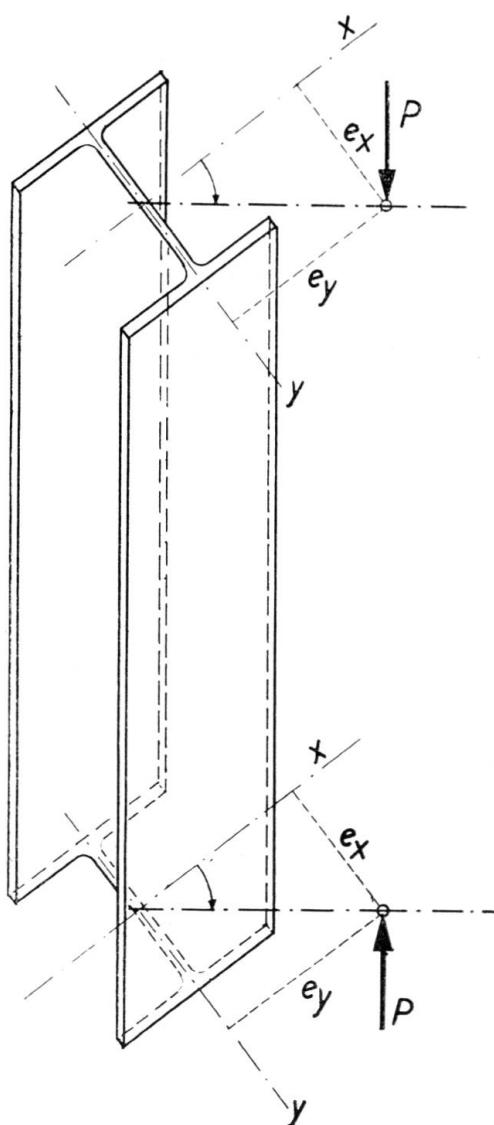


BILD 1. Aufgabenstellung

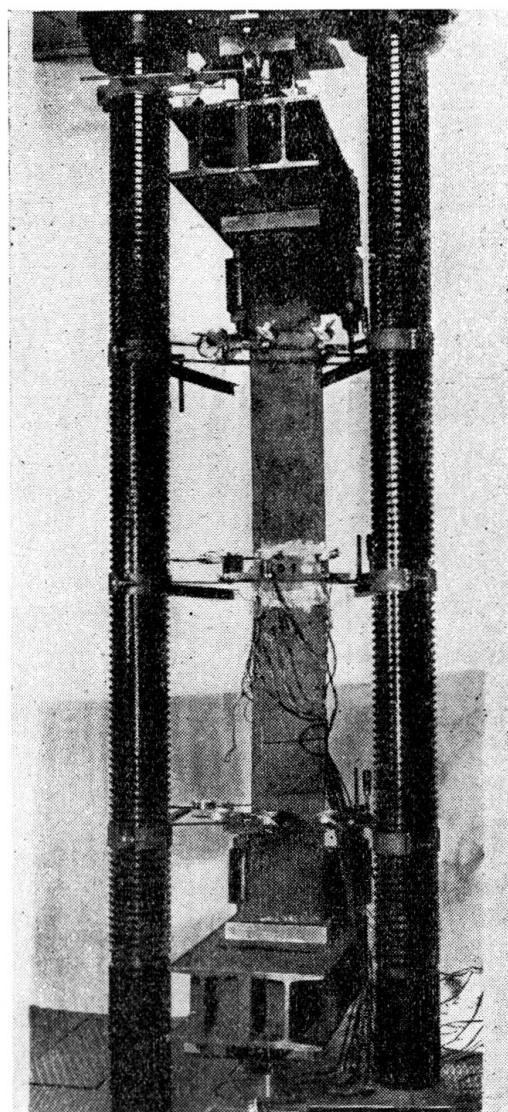


BILD 2. Versuchseinrichtung

maschine auf $\pm 168 \text{ kg}$ gegeben, so dass die Messgenauigkeit bei der kleinsten Bruchlast unter allen Versuchen 1,5 % war. Zum Teil wurden die Lasten durch Einschalten eines Maihak-Zylinders kontrolliert. Während der Belastung sind Dehnungen und Verschiebungen gemessen worden.

Für Dehnungsmessungen wurden Philips-Dehnungsmesstreifen verwendet mit einer Messgenauigkeit von $\epsilon = \pm 0,005 \text{ } \% \text{ o}$, was in Spannungen

ausgedrückt $\sigma = \pm 10,5 \text{ kg/cm}^2$ entspricht. Ihre Anordnung war bei den einzelnen Versuchen unterschiedlich. Bei zwei Versuchen wurde die Verteilung der Dehnungen über den Querschnitt untersucht (Bild 3).

Hierbei zeigte sich, dass die Euler-Bernoulli'sche Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte im plastischen Bereich nicht mehr streng erfüllt ist. Da die Abweichungen für den Zweck der vorliegenden Aufgabe jedoch nicht als erheblich anzusprechen waren, wurden durch geradlinige Interpolation auf rein geometrischem Wege die Punkte bestimmt, wo die

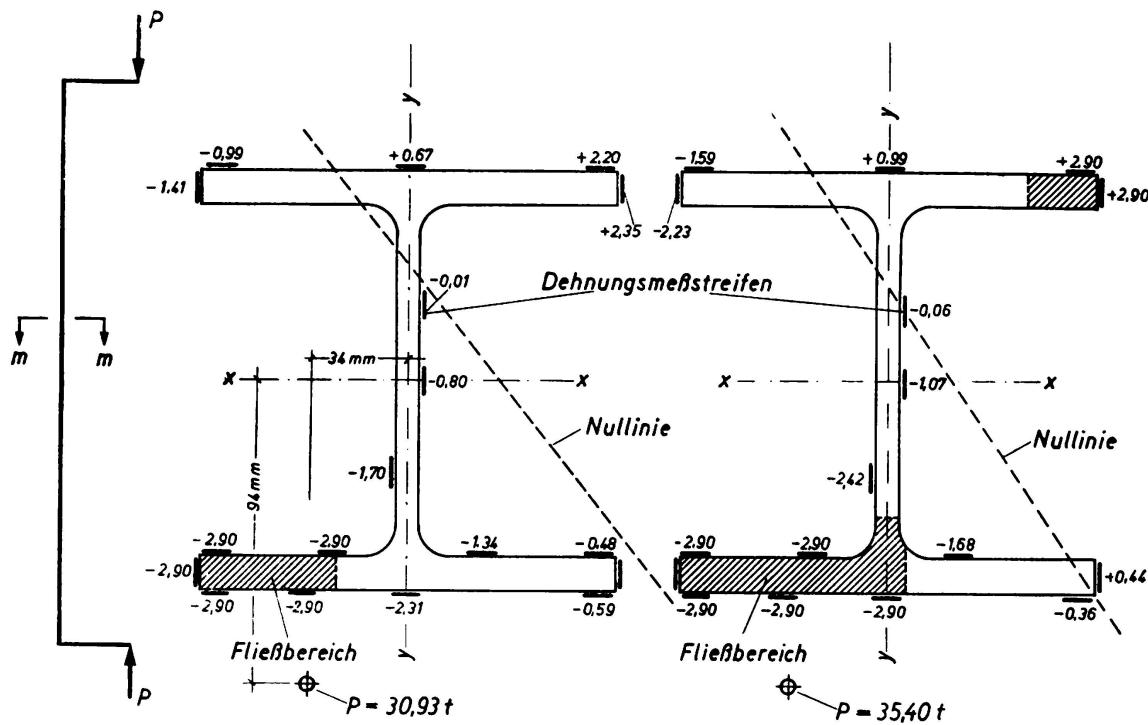


BILD 3. Ausdehnung des Fließgebietes im Querschnitt m-m

Dehnungen aus dem Biegsungsanteil Null sind. Diese Punkte liegen nahezu auf einer Geraden, die also als Nulllinie deklariert werden kann. Die Zuverlässigkeit ihrer Lage liess sich nun prüfen, indem die Dehnungen unter Zugrundelegung eines idealelastisch-idealplastischen Spannungs-Dehnungs-Diagrammes und der tatsächlichen Fliessspannung σ_F in Spannungen umgerechnet und über die drei in Betracht kommenden Gleichgewichtsbedingungen $\Sigma V = 0$, $\Sigma M_x = 0$, $\Sigma M_y = 0$ die Grösse der Traglast P und der beiden Exzentrizitäten e_x und e_y berechnet wurden. Diese Kontrolle befriedigte. Für die beiden Laststufen $P = 30,93 \text{ t}$ und $P = 35,40 \text{ t}$ sind in Bild 3 die Fließgebiete schraffiert. Bei der zweiten Laststufe ist bereits im Zugbereich ein Fließgebiet entstanden. Da sich die Querschnittsteile, in denen die Fließgrenze überschritten ist, an der weiteren Lastaufnahme nicht beteiligen, ändert sich mit fortschreitender Ausdehnung des Fließgebietes die Lage der Nulllinie, wobei die Frage,

ob auch dann die Nulllinie noch als Gerade angenommen werden kann, unbeantwortet bleiben muss.

Bild 4 zeigt einen Träger nach dem Versuch. Die weissen Markierungen geben die vermutete Ausdehnung der einzelnen Fliessgebiete an, worüber später noch zu berichten sein wird.

In Bild 5 sind die Traglasten P_{Br} aller Versuche mit I 10.10 und einheitlicher Knicklänge angegeben; die Schlankheitsgrade sind $\lambda_x = 48$ und

$\lambda_y = 83$. Die Grösse der Traglasten ist dort eingetragen, wo die Wirkungsgerade der jeweiligen Last die Querschnittsebene der Stütze durchstieß. Für nur einachsige Aussermittigkeit der Last auf der $x - y$ -Achse (Hauptachsen) konnte die kritische Last nach Jäger — Jezek berechnet werden. Um den Anschluss an diese rechnerischen Werte zu finden, wurden noch zwei Versuche mit nur einachsiger Aussermittigkeit durchgeführt. Nachdem sich hier unter Zugrundelegung der jeweils tatsächlichen Fliessgrenze Übereinstimmung auf maximal $\pm 4,6\%$ ergab, wurden auch die rechnerischen Werte der Traglast für weitere Exzentrizitäten auf den Hauptachsen eingetragen. Die hierbei zugrundeliegende Fliessgrenze $\sigma_f = 2,62 \text{ t/cm}^2$ ist das arithmetische Mittel der Fliessgrenzen aller Stützen I 10.10, deren Traglasten in Bild 5 eingetragen sind.

Anschliessend wurden jeweils Punkte mit gleicher Traglast durch Kurven verbunden.

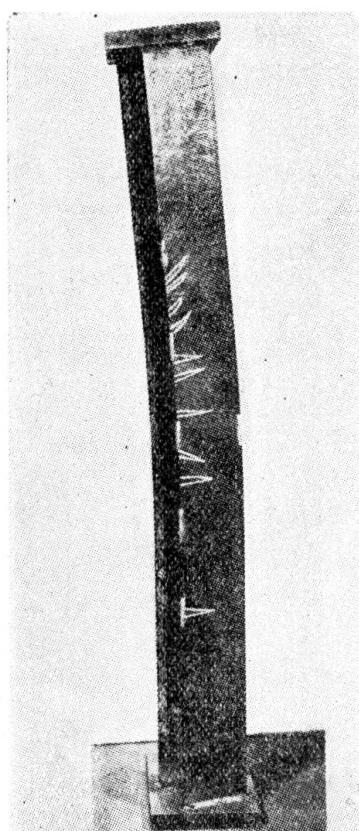
Um nun die Frage nach der Tragsicherheit gegenüber den Bemessungsformeln der deutschen Stabilitätsvorschrift DIN 4114 beantworten zu können, wurden als nächstes die nach DIN 4114 zulässigen Lasten P_{zul} nach den Formeln I und II ermittelt.

Bild 6 zeigt wiederum einem Querschnitt der Stütze, in dem jeweils Punkte gleicher zulässiger Last P_{zul} miteinander verbunden sind. Es ergeben sich auf diese Weise parallele

BILD 4. Verteilung und Ausdehnung der Fliessgebiete

Geraden. Hierzu ist noch zu erläutern, dass nach der DIN 4114 bei der Bemessung der Stützen auf planmässige Exzentrizität, abgesehen vom Biegendrillknicken, von den zwei zu führenden Nachweisen der ungünstigere massgebend ist. In Bild 6 ist die Grenze für den Gültigkeitsbereich der beiden Formeln angegeben. Für kleinere Exzentrizitäten ist Formel I, für grosse Formel II zuständig.

Überträgt man nun die im vorhergehenden Bild 5 gezeigten Kurven gleicher experimentell ermittelter Traglasten P_{Br} in das Diagramm gleicher zulässiger Lasten P_{zul} , so kann man für jeden Punkt das Ver-



hältnis $\nu_{Br} = P_{Br} : P_{zul}$ bestimmen, das ist das Verhältnis der tatsächlichen Traglast P_{Br} zur (nach DIN 4114) zulässigen Last P_{zul} .

Bild 7 zeigt für zwei Kurven die Bestimmung der einigen Punkten zugeordneten Tragsicherheiten ν_{Br} , wobei die nur geringe Abweichung der vorhandenen Fliessgrenze von der den P_{zul} zugrundeliegenden Fliess-

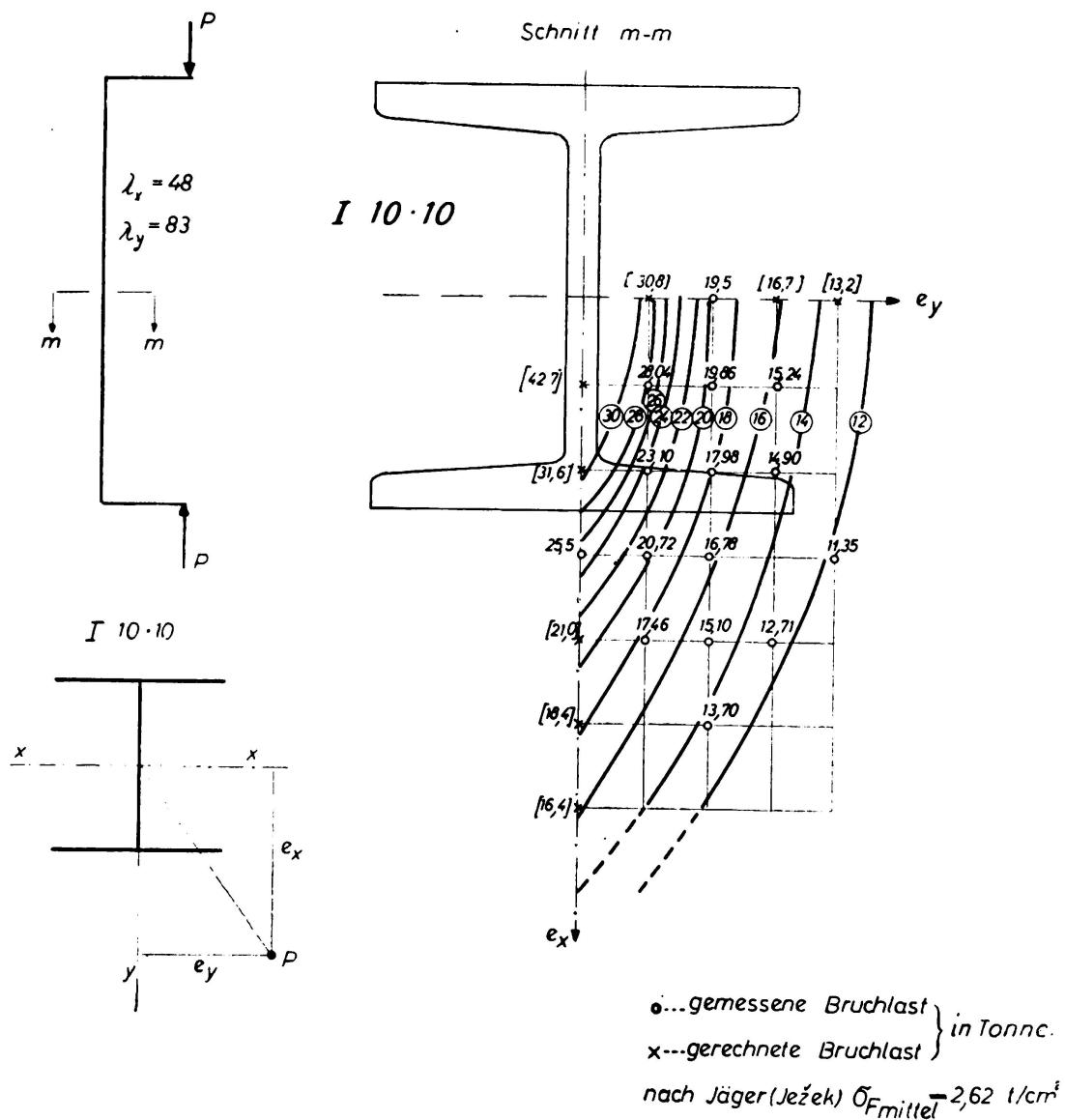


BILD 5. Kurven gleicher Traglast für I 10.10

grenze $\tau_f = 2,4 \text{ t/cm}^2$ ausser Betracht geblieben ist. Aus der Tatsache, dass die Kurven gleicher Traglast gekrümmmt sind, folgt, dass die Sicherheiten der auf Grund von Formel I oder II ermittelten P_{zul} nicht überall gleich gross sind. Bei Betrachtung einer einzelnen Kurve gleicher Traglast erkennt man, dass die Tragsicherheit dort am grössten ist, wo der

Abstand der Kurve von der Verbindungsgeraden ihrer auf den Hauptachsen gelegenen Endpunkte am grössten ist. Da dieser Abstand auf den Hauptachsen gleich Null ist, ist also die Tragsicherheit bei Bemessung nach DIN 4114 bei zweiachsiger Aussermittigkeit erwartungsgemäss grösser als bei einachsiger Aussermittigkeit.

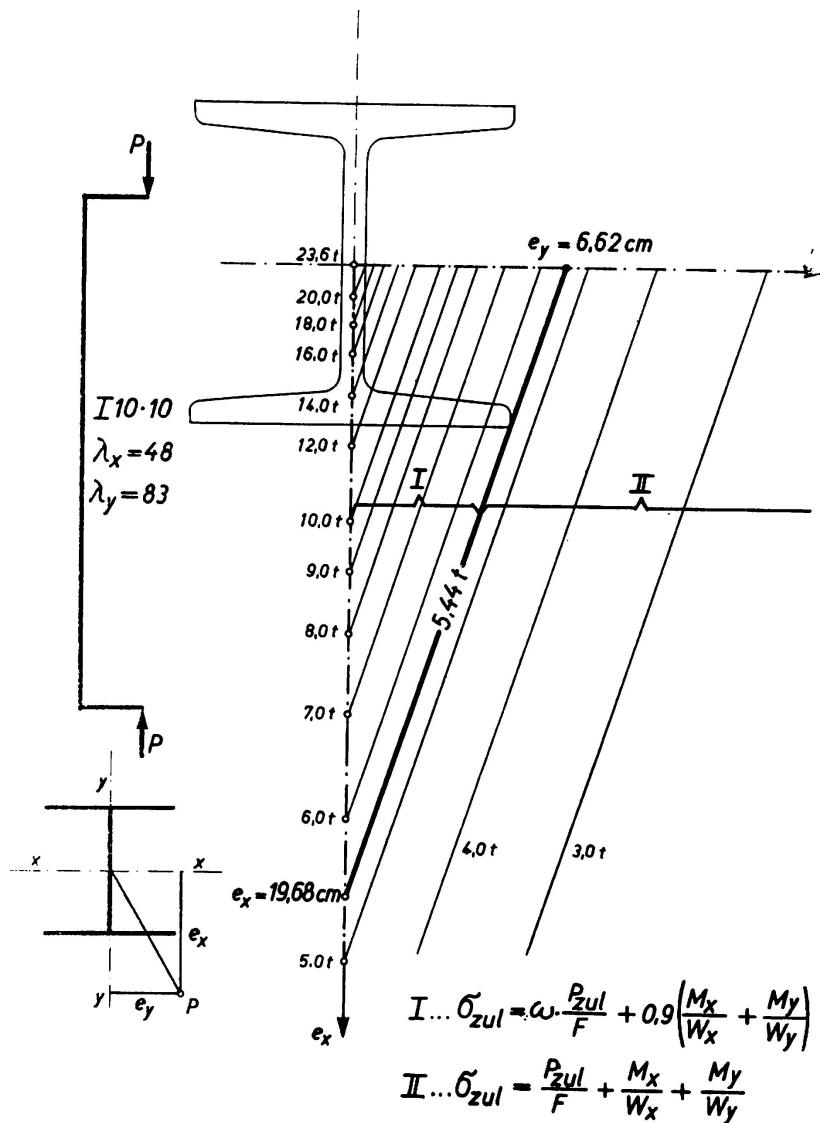


BILD 6. Zulässige Last (P_{zul}) nach DIN 4114

In Bild 9 sind nun die nach Bild 7 ermittelten Tragsicherheiten v_B , wieder über den Durchstossungspunkten der Lastwirkungsgeraden aufgetragen und alle Punkte gleichgrosser Tragsicherheit durch Kurven verbunden. Es ergibt sich ein «Sicherheits-Hügel», dessen Abhänge nach den Hauptachsen zu abfallen. Die in Bild 9 gezeigten Kurven gelten für das Profil I 10.10 mit den Schlankheitsgraden $\lambda_x = 48$ und $\lambda_y = 83$.

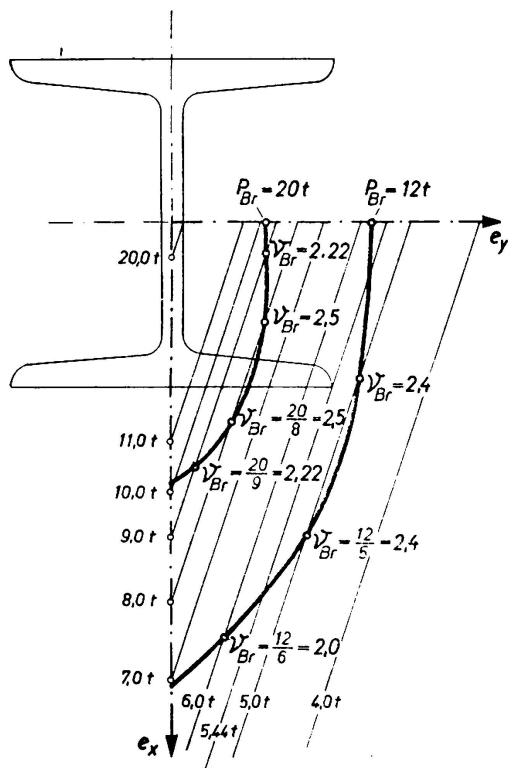


BILD 7. Bestimmung der Tragsicherheit $v_{Br} = \frac{P_{Br}}{P_{zul}}$

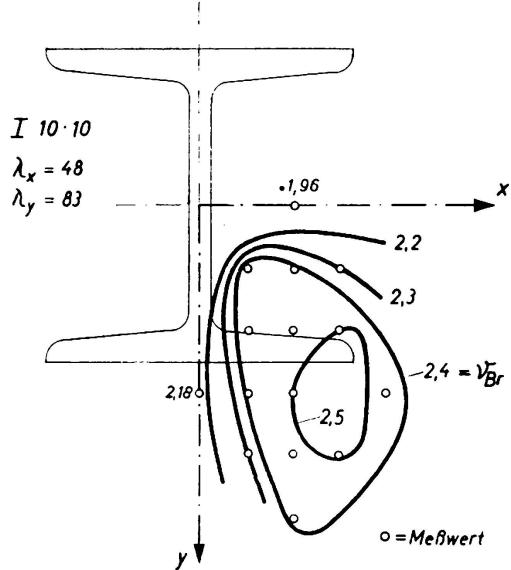


BILD 8. Kurven gleicher Tragsicherheit $v_{Br} = \frac{P_{Br}}{P_{zul}}$

ZUSAMMENFASSUNG

Nach der deutschen Stabilitätsvorschrift DIN 4114 werden zur Zeit zweiachsig aussermittig gedrückte Stäbe (abgesehen vom Biegedrillknicken) nach den Formeln I und II bemessen.

Die zunächst nur für zwei verschiedene Schlankheitsgrade mit I P Profilen durchgeführten Versuche zeigen, dass Stützen, die nach diesen Formeln dimensioniert werden, gegenüber der tatsächlichen Traglast P_{Br} Sicherheitsgrade v_{Br} aufweisen, die soviel grösser als diejenigen für einachsige Aussermittigkeiten sind, dass hierfür eine bessere Ausnutzung des Stahles gerechtfertigt wäre.

Als Beispiel sei ein Profil I 10.10 gewählt mit Schlankheitsgraden $\lambda_x = 48$ und $\lambda_y = 83$. Wenn bei diesem die Exzentrizitäten $e_x = 6,0 \text{ cm}$ und $e_y = 3,0 \text{ cm}$ betragen, so ergibt sich im Belastungsfall 1 als zulässige Last nach Formel I $P_{zul} = 6,70 \text{ t}$. Der Versuch lieferte $P_{Br} = 16,78 \text{ t}$, dabei war aber die Fliessgrenze $\sigma_F = 2,50 \text{ t/cm}^2$, so dass die mit P_{zul} zu vergleichende Traglast genügend genau durch Abminderung im Verhältnis von 2,4 durch 2,5 zu 16,2 t erhalten wird. Wenn die der Formel I für einachsige Aussermittigkeit zugrundeliegende Sicherheit von 1,5 auch hier als ausreichend angesehen wird, so wäre in diesem Einzelfalle eine

Erhöhung der zulässigen Last von 6,70 t auf 10,7 t, also um fast 60 % möglich.

Die Durchführung der Versuche lag in den Händen von Herrn Dipl.-Ing. Knud Ackermann.

R E S U M O

Pelo regulamento de estabilidade alemão DIN 4114, as vigas de aço submetidas à compressão com excentricidade biaxial (desprezando a encurvatura por flexo-torsão) serão calculadas pelas fórmulas I e II.

Os primeiros ensaios efectuados com perfis I PN para dois coeficientes de esbeltez diferentes mostraram que as colunas dimensionadas com estas fórmulas apresentam em relação à carga efectiva de rotura P_{Br} um coeficiente de segurança ν_{Br} muito maior do que as solicitadas por uma carga com excentricidade monoaxial, tornando-se possível neste caso um melhor aproveitamento do aço.

Tome-se como exemplo concreto um perfil I 10.10 com coeficientes de esbeltez $\lambda_x = 48$ e $\lambda_y = 83$. Supondo excentricidades $e_x = 6,0$ cm e $e_y = 3,0$ cm, a carga admissível no caso de carga 1 é, segundo a fórmula I, $P_{zul} = 6,70$ t. Pelos ensaios obtém-se $P_{Br} = 16,78$ t para um limite elástico $\sigma_F = 2,50$ t/cm²; a carga a comparar com P_{zul} pode portanto obter-se com uma aproximação suficiente reduzindo 16,78 na relação de 2,4 para 2,5, ou seja 16,2 t. Admitindo neste caso o mesmo coeficiente de segurança de 1,5, válido para o caso de excentricidade monoaxial, a carga admissível poderia ser aumentada de 6,70 t para 10,70 t, o que representa um acréscimo de quase 60 %.

Os ensaios foram executados pelo Eng. Knud Ackermann.

R É S U M É

Selon le règlement de stabilité allemand DIN 4114, les poutres en acier soumises à la compression à excentricité bi-axiale (en négligeant le flambage par flexo-torsion), seront calculées à l'aide des formules I et II.

Les premiers essais effectués avec des profilés I NP pour deux élancements différents ont montré que les colonnes calculées à l'aide de ces formules présentent, par rapport à la charge effective de rupture P_{Br} un coefficient de sécurité ν_{Br} beaucoup plus grand que celles soumises à une charge à excentricité monoaxiale, une meilleure utilisation de l'acier étant alors possible dans ce cas.

Soit, par exemple, un profilé I 10.10 dont les élancements sont $\lambda_x = 48$ et $\lambda_y = 83$. En supposant des excentricités $e_x = 6,0$ cm et $e_y = 3,0$ cm, la charge admissible dans le cas de charge 1 est, selon la formule I, $P_{zul} = 6,70$ t. Les essais permettent d'obtenir $P_{Br} = 16,78$ t pour une limite élastique $\sigma_F = 2,50$ t/cm²; la charge à comparer à P_{zul} peut donc être obtenue en réduisant 16,78 dans le rapport 2,4:2,5 ce qui donne 16,2 t.

En admettant dans ce cas, le même coefficient de sécurité de 1,5 valable dans le cas de l'excentricité mono-axiale, la charge admissible pourrait être augmentée de 6,70 t à 10,70 t, soit de près de 60 %.

Les essais ont été exécutés par l'Ing. Knud Ackermann.

S U M M A R Y

In accordance with german standards DIN 4114, steel beams under bi-axial eccentric compression loads (neglecting flexo-torsional buckling) will be calculated with formulae I and II.

The first tests carried out with I NP beams for two different slenderness ratios, have shown that columns calculated with those formulae have in relation to effective rupture load P_{Br} a much greater safety factor ν_{Br} than those under a mono-axial eccentric load, a better use of the steel being possible in this case.

Assuming, for example a I 10.10 rolled profile with slenderness ratios $\lambda_x = 48$ and $\lambda_y = 83$, if the eccentricities are $e_x = 6.0$ cm and $e_y = 3.0$ cm, permissible load for load condition 1 is, according to formula I, $P_{adm} = 6.70$ t. Tests show that $P_{Br} = 16.78$ t for a yield point $\sigma_F = 2.50$ t/cm²; the load to be compared to P_{adm} can therefore be determined with enough precision by reducing 16.78 in the same ratio as 2.4:2.5, the result being 16.2 t. Assuming in this case the same safety factor as in the case of a mono-axial eccentric load, the permissible load could be increased from 6.70 t to 10.70 t, which corresponds to almost 60 %.

Tests were carried out by Eng. Knud Ackerman.

Leere Seite
Blank page
Page vide