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

Band: 1 (1932)

Artikel: Diskussion

Autor: Chwalla, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-484

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: 15.07.2025

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

Dr. Ing. E. CHWALLA [1],
Professor an der Deutschen Technischen Hochschule, Brünn.

Im Anschluss an die theoretisch und baupraktisch bedeutungsvollen Referate der Herren Prof. Karner und Prof. Roš seien mir einige ergänzende Bemerkungen gestattet. Den Inhalt dieser Ausführungen entnehme ich meinem druckfertigen Manuskript « Druckstäbe aus Baustahl, Theorie ihres Tragverhaltens und Tragvermögens », das die theoretisch strengen

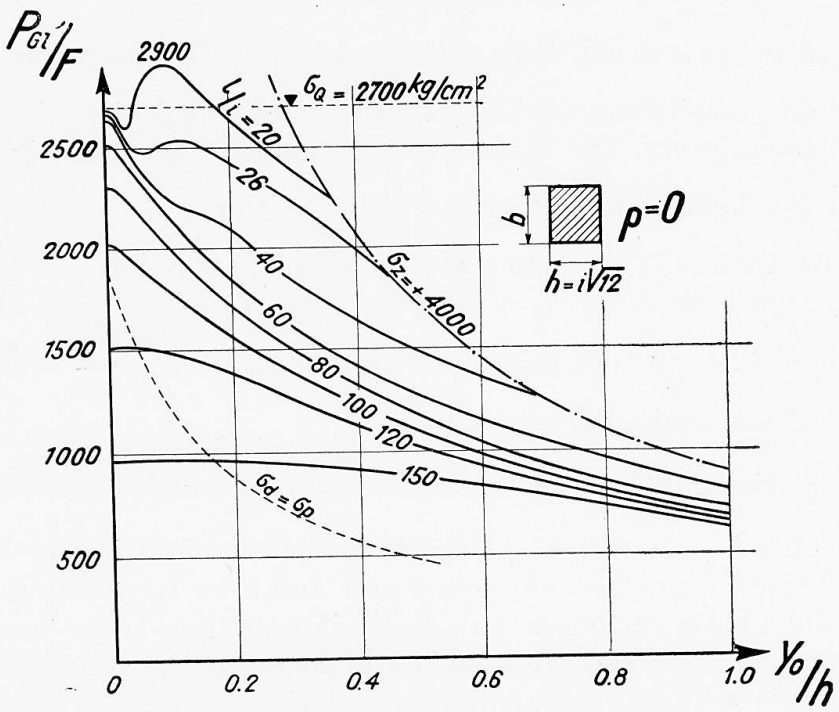

Fig. 1.

Lösungen der verschiedenen Gleichgewichtsprobleme gedrückter Stäbe aus Baustahl enthält. Die im folgenden erwähnten Ergebnisse sind unter der Voraussetzung ermittelt worden, dass der Stabquerschnitt ein Rechteck ist und das Spannungs-Dehnungsdiagramm mit dem von Roš-Brunner verwendeten übereinstimmt [2].

I) Greift die Druckkraft P eines beiderseits gelenkig gelagerten, geraden Stabes zentrisch an und werden die idealisierenden Voraussetzungen der Stabilitätstheorie zugrunde gelegt, dann biegt sich der Stab erst nach Erreichen der Euler-Kármán'schen Knicklast aus. Die in Fig. 1 dargestellten Kurven lassen erkennen, wie sich der in Richtung der Sehne ausgeübte Stabwiderstand (oder anders ausgedrückt, wie sich die zur

1. Da der Autor verhindert war, am Pariserkongress teilzunehmen, wurde das vorliegende Referat vom Generalsekretär, Hrn. Prof. Dr. L. Karner vorgetragen.

2. Roš-Brunner legten die Proportionalitätsgrenze in ihren früheren Veröffentlichungen durch die Koordinaten $\sigma_P = 1900$ kg/cm², $\varepsilon_P = 0,86$ ‰ fest; der damit bestimmte Elastizitätsmodul des Materials $E = 1,9 : 0,00086 = 2210$ t/cm² stimmt mit dem im Referate erwähnten Wert $E = 2150$ t/cm² nicht überein.

Erzielung des Gleichgewichtes jeweils erforderliche Druckkraft « P_{Gl} ») im Zuge der Ausbiegung verändert. Jede dieser Kurven bezieht sich auf den beigeschriebenen Wert der Stabschlankheit $\frac{l}{i}$; auf der Abszissenachse sind die auf die Querschnittshöhe h bezogenen seitlichen Ausbiegungen y_0 des Stabmittelpunktes aufgetragen, während die Ordinaten der Kurvenpunkte die durch die Querschnittsfläche $F = b.\,h$ dividierten Werte des Stabwiderstandes angeben. Wir sehen, dass die Euler-Kármán'sche Knicklast, unter der die Ausbiegung beginnt, bei allen nicht sehr stark gedrungenen Stäben die theoretisch oberste Grenze der Tragfähigkeit vorstellt. Der Abfall des Tragvermögens ist besonders bei Schlankheiten in der Umgebung von $\frac{l}{i} = 60$ sehr ausgeprägt; die Ausbiegung des knickenden Stabes erfolgt hier mit stark zunehmender Beschleunigung. Die Stäbe mit sehr kleinem Schlankheitsgrad zeigen ein eigenartiges Verhalten. So verlässt z. B. die Kurve für $\frac{l}{i} = 20$ die Ordinatenachse in der Höhe der Kármán'schen Knickspannung, (die hier schon knapp unterhalb der Quetschgrenze $\sigma_Q = 2700$ kg/cm² gelegen ist), fällt ein wenig ab und steigt dann über die Quetschgrenze bis zur Höhe $\frac{\max P_{Gl}}{F} = 2900$ kg/cm² an, um hierauf erst endgültig abzufallen.

Ein Stab der Schlankheit $\frac{l}{i} = 20$ würde sich somit nach Erreichen der Kármán'schen Knicklast ein wenig ausbiegen, jedoch schon bei einer Ausbiegung $y_0 = 0,04.\,h$ wieder zur Ruhe kommen und nun eine Laststeigerung bis auf $\max P_{Gl} = 2900.\,F$ kg vertragen; die oberste Grenze des Tragvermögens wird also bei diesen stark gedrungenen Stäben nicht durch die Kármán'sche Stabilitäts grenze (die « Verzweigungsstelle » des Gleichgewichtes) sondern durch die Grösse des sogenannten « sekundären Maximums » des Stabwiderstandes festgelegt, das im geringfügig ausgebogenen Zustand erreicht wird und hier oberhalb der Quetschgrenze des Materials und damit auch oberhalb des Verzweigungspunktes gelegen ist. Wir bezeichnen den Gleichgewichtszustand an dieser obersten Grenze der Tragfähigkeit als « kritischen Zustand » und nennen $\sigma_{kr} = \frac{\max P_{Gl}}{F}$ die « kritische » mittlere Druckspannung des zentrisch gedrückten, stark gedrungenen Stabes.

II) Greift die Druckkraft P exzentrisch mit dem sehr kleinen Hebelsarm $p = \frac{k}{8} = 0,021\,h$ an, dann erfährt der Stab unter der anwachsenden Last eine Ausbiegung und bildet Gleichgewichtszustände aus, die durch die Kurven Fig. 2 festgelegt werden. Diese (durch den beigeschriebenen Schlankheitsgrad gekennzeichneten) Kurven weisen Extreme auf, deren Ordinaten wieder die « kritischen » mittleren Druckspannungen $\sigma_{kr} = \frac{\max P_{Gl}}{F}$ liefern und die grössten vom Stabe getragenen Lasten festlegen. Wir unterscheiden nach der Ausbildungsweise zwei Arten von Extremen, die Maxima « erster » und

« zweiter » Ordnung, die in Fig. 2 bei der Kurve $\frac{l}{i} = 24,5$ in der gleichen Höhe liegen. Alle dargestellten Kurven für $\frac{l}{i} = 40$ bis $\frac{l}{i} = 180$ zeigen ausschliesslich Maxima erster Ordnung, während bei den Kurven für $\frac{l}{i} < 24,5$ das Maximum erster Ordnung rückgebildet und das Maximum zweiter Ordnung als das höher liegende für die Grenze der Tragfähigkeit massgebend wird; das Auftreten dieser Maxima « zweiter » Ordnung hängt mit der rela-

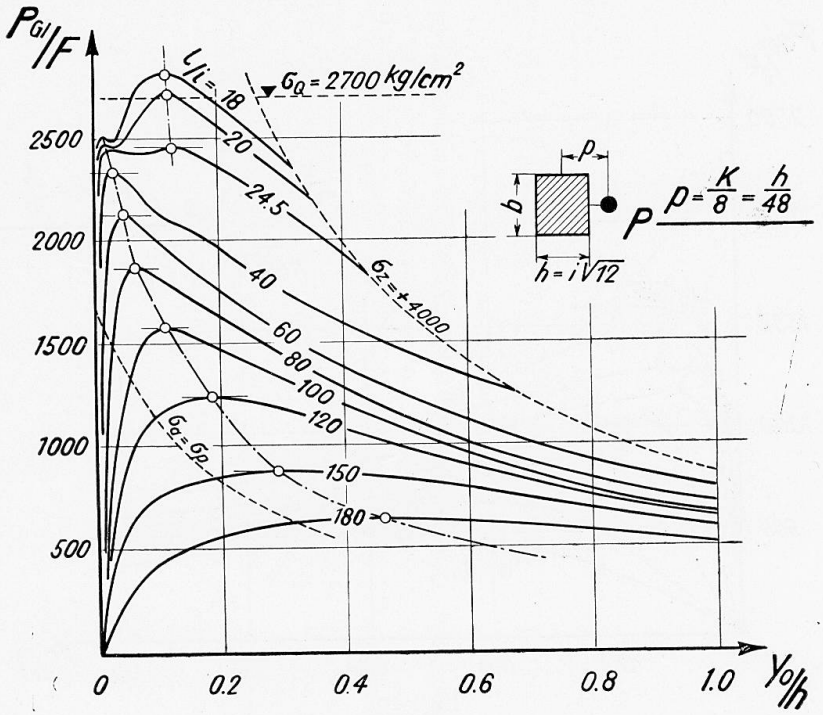

Fig. 2.

tiven Schwächung des Stabwiderstandes zusammen, die sich bemerkbar macht, wenn die Zugspannungen am Aussenrande des Stabscheitels den Streckbereich durchlaufen, während die Druckspannungen am Innenrande schon tief im Verfestigungsbereich gelegen sind. Untersuchen wir z. B. das Tragverhalten eines Stabes der sehr kleinen Schlankheit $\frac{l}{i} = 18$, dann ersehen wir aus dem Verlaufe der zugeordneten Kurve in Fig. 2., dass der Stab unter der Belastungsstufe $\frac{P_G}{F} = 2510$ kg/cm² (Maximum erster Ordnung) zwar eine geringfügige Vermehrung seiner Ausbiegung erfährt, dass er sich jedoch sofort wieder « erholt » und nun eine Laststeigerung bis zur Höhe $\sigma_{kr} = \frac{\max P_{Gl}}{F} = 2820$ kg/cm² ertragen kann. Erst unter dieser grossen Last, die schon oberhalb der « Quetschlast » F. σ_Q gelegen ist, wird das Tragvermögen des Stabes endgültig erschöpft; die Ausbiegung beträgt in diesem kritischen Zustande bloss $y_0 = 0,12\ h$.

Fig. 3 zeigt in gleicher Weise das Tragverhalten von Stäben, deren Druckkraft mit dem grossen Hebelarm $p = 2\,k = \frac{h}{3}$ exzentrisch angreift. Wir können auch hier die Kurven-Extreme « erster » und « zweiter » Ordnung scharf unterscheiden; die ersteren liefern das Tragvermögen aller Stäbe mit der Schlankheit $\frac{l}{i} \geqq 28$, während durch die letzteren wieder die Tragfähigkeit der stark gedrungenen Stäbe bestimmt wird. Die gestrichelte Linie, bis zu der alle dargestellten Kurven gezeichnet wurden, legt die « Grenze des Untersuchungsbereiches » fest und ist jenen Gleichgewichtszuständen zugeordnet,

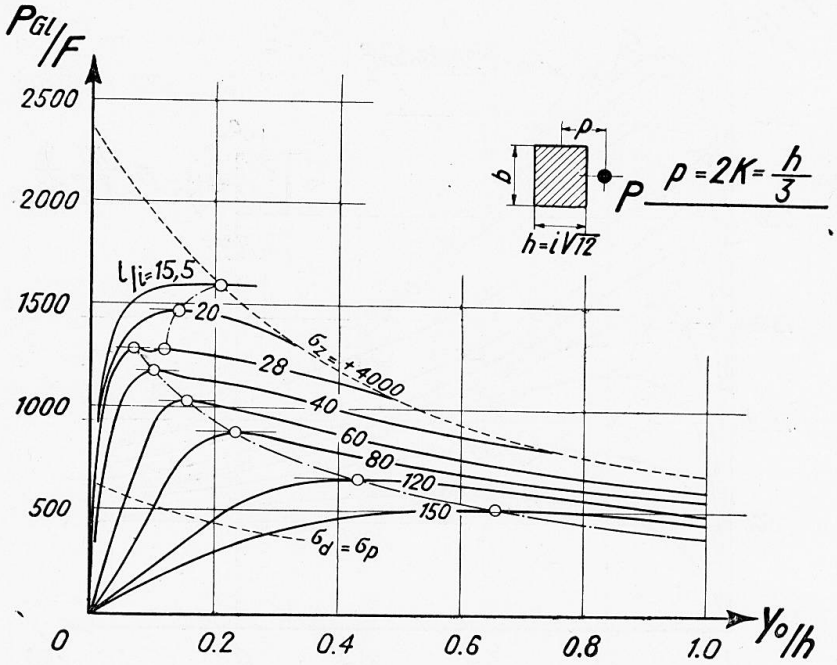

Fig. 3.

in denen die grösste am Aussenrande des Stabes auftretende Zugspannung den Wert $\sigma_z = +4000$ kg/cm² (d. i. nahezu die statische Zugfestigkeit des zugrundegelegten Materials) erreicht. Ausserhalb dieser Grenzlinie würden die Kurven stark abfallen und die Dehnungen auf der Aussenseite sich rasch den grossen Werten der Bruchdehnung nähern; das Tragverhalten der Stäbe in diesem Stadium ist praktisch und theoretisch ohne Bedeutung.

III) Fig. 4 zeigt das Diagramm, das die gefundenen strengen Lösungen für das Tragvermögen exzentrisch gedrückter Baustahlstäbe zur Darstellung bringt und mit dem Ergebnis der guten Näherungstheorie von Roš-Brunner (Fig. 6 des Referates) zu vergleichen ist. Die eingetragenen Kurven beziehen sich auf die beigeschriebenen Exzentrizitätsmasse $\frac{p}{k}$ des Kraftangriffes und legen den funktionalen Zusammenhang zwischen dem Grösstwert $\sigma_{kr} = \frac{\max P_{Gl}}{F}$ der aufgenommenen mittleren Druckspannung und dem Schlankheitsgrade $\frac{l}{i}$ des Stabes fest. Jede dieser Kurven besteht aus zwei Aesten, die auf

der gestrichelt gezeichneten Linie eine Ecke bilden ; der längere, schwach geneigte Ast ist jenen kritischen Zuständen zugeordnet, die durch das Erreichen eines Maximums « erster » Ordnung bedingt sind, während der kurze, steil aufwärts strebende Kurvenast den Maxima « zweiter » Ordnung zugehört. Der Punktbereich dieser Maxima zweiter Ordnung durchbricht, wie wir sehen, das Niveau der Quetschgrenze $\sigma_{kr} = \sigma_Q = 2700$ kg/cm² und legt daher auch kritische Zustände fest, die bei Laststufen oberhalb der Quetschlast ausgebildet werden. Je mehr sich diese steil verlaufenden Kurvenäste der strichpunktiert eingezeichneten Grenzlinie des Untersuchungsbereiches

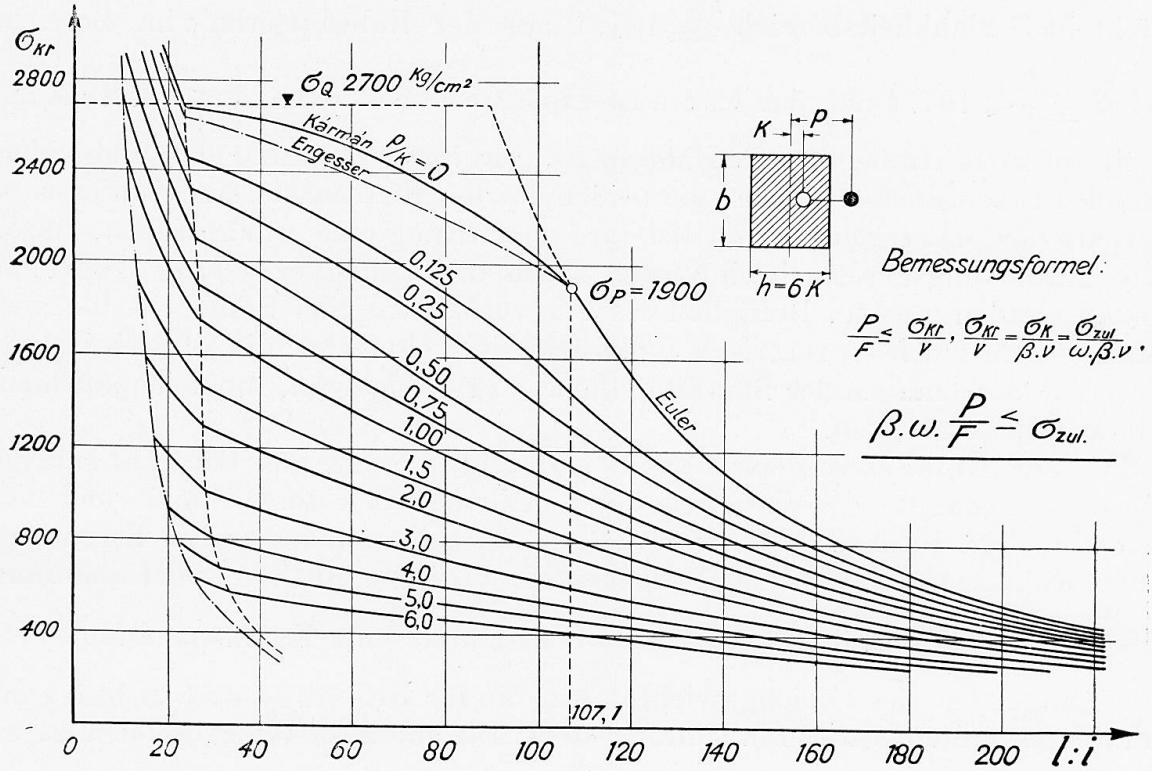

Fig. 4.

nähern, umso schwächer sind die Extreme des Stabwiderstandes ausgeprägt und umso grösser werden die im kritischen Zustand auftretenden Biegespannungen ; alle Punkte links ausserhalb dieser Grenzlinie sind Stäben zugeordnet, die unter der anwachsenden exzentrischen Belastung bis zur Erreichung einer Zugspannung $\sigma_z = +\ 4000$ kg/cm² am Aussenrand des Stabes keinen kritischen Zustand, also kein ausgeprägtes Maximum des Widerstandes zeigen und daher hinsichtlich ihres Tragverhaltens einem durch Querlasten gebogenen Baustahlstab ähneln.

Die in Fig. 4 für die verschiedenen Exzentrizitätsmasse dargestellten Kurven sind unter Voraussetzung von Normalspannungsverteilungen entwickelt worden, die affin verwandt sind mit der Formänderungskurve des Baustahls. Es lässt sich nachweisen, dass diese Spannungsverteilungen bis zum Erreichen des kritischen Zustandes vom linearen « Entlastungsgesetz » unbeeinflusst blei-

ben [1], wenn das Exzentrizitätsmass nicht kleiner ist als $\frac{p}{k} \sim \frac{1}{8}$ und die Druckkraft in ihrer exzentrischen Lage von Null anwächst. Werden diese entlastungsfreien Spannungsverteilungen rein formell auch im Falle $\frac{p}{k} = 0$ in Rechnung gestellt, dann wird die strichpunktiert gezeichnete, den Namen « Engesser » tragende Kurve erhalten, die bloss als obere Grenzkurve der Schar von Bedeutung ist. Die theoretisch in Geltung stehende, dem zentrischen Kraftangriff $\frac{p}{k} = 0$ zugeordnete Kurve wurde in Fig. 4 voll ausgezogen und besteht im Schlankheitsbereich $\frac{l}{i} \geqq 107,1$ aus der Eulerhyperbel, im Bereiche $23,8 \leqq \frac{l}{i} < 107,1$ aus der Kármán-Linie und im Bereiche $\frac{l}{i} < 23,8$ aus der steil aufwärts strebenden, den Maxima « zweiter » Ordnung des Stabwiderstandes zugeordneten Kurve; die beiden letzten Kurvenäste sind isoliert ausserhalb der Schar gelegen, da bei ihrer Herleitung eine veränderte, durch das Entlastungsgesetz beeinflusste Normalspannungsverteilung zugrunde gelegt werden musste. Bezüglich des Tragverhaltens jener Stäbe, die bloss im Sinn des Entwurfes « zentrisch » gedrückt sind, ohne aber die idealisierenden Voraussetzungen der Stabilitätstheorie zu befriedigen, muss ich auf mein Manuskript verweisen.

IV) Zur Bemessung exzentrisch gedrückter Stäbe aus Baustahl schlage ich das sogenannte « β-Verfahren » vor. Wir beziehen die Ordinaten der einzelnen in Fig. 4 dargestellten Kurven auf die Ordinaten der Euler-Kármán'schen Knickspannungslinie und drücken die kritische mittlere Druckspannung des exzentrisch gedrückten Stabes als Bruchteil $\frac{1}{\beta}$ der Knickspannung (Verzweigungsstelle des Gleichgewichts) aus, die für denselben Stab bei zentrisch gedachtem Angriff in Geltung steht. Die auf diese Weise aus den strengen Lösungen abgeleiteten Verhältniszahlen $\beta = \frac{\sigma_k}{\sigma_{kr}}$ sind in der im Anschluss gezeigten Tabelle zusammengestellt worden. Wird nun der Bemessung des exzentrisch gedrückten Stabes eine ν-fache Sicherheit zugrunde gelegt, dann unterliegt die grösste im Stab auftretende Druckkraft der Bedingung $\frac{P}{F} \leqq \frac{\sigma_{kr}}{\nu}$ oder $\frac{P}{F} \leqq \frac{\sigma_k}{\beta . \nu}$, die nach Einführung der bekannten sog. « Knickzahl » $\omega = \frac{\nu . \sigma_{zul}}{\sigma_k}$ die einfache Form $\beta . \omega . \frac{P}{F} \leqq \sigma_{zul}$ annimmt. Der Beiwert « β » bringt hier die Abminderung zum Ausdruck, die die Tragfähigkeit zufolge der Exzentrizität des Kraftangriffes erfährt; wenn für $l/i \geqq 24$ das Exzen-

1. Bei der von Prof. Roš im Bericht der II. Int. Brückenbautagung in Wien (S. 344, Abb. 48) gemachten Feststellung dürfte ein Versehen unterlaufen sein; die Druckspannungen am Aussenrand des Stabes werden im angeführten Beispiel schon abgebaut, bevor sie noch die Elastizitätsgrenze erreicht haben, so dass wohl eine Spannungsumkehr, jedoch keine Entlastung unelastisch gestauchter Fasern eintritt.

TABELLE DER WERTE : $\beta = \frac{\sigma_k}{\sigma_{kr}}$

$\frac{L}{i}$ \ $\frac{p}{k}$	0.125	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
20	0.99	1.04	1.14	1.25	1.36	1.47	1.59	1.70	1.82	2.06	2.32	2.60	2.89
25	1.09	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74	1.86	1.98	2.22	2.50	2.81	3.12
30	1.11	1.17	1.30	1.43	1.57	1.71	1.85	1.98	2.11	2.38	2.70	3.02	3.35
35	1.12	1.19	1.33	1.47	1.62	1.77	1.91	2.04	2.17	2.45	2.78	3.11	3.44
40	1.13	1.21	1.36	1.51	1.67	1.82	1.96	2.09	2.23	2.52	2.85	3.18	3.52
45	1.14	1.23	1.40	1.55	1.71	1.87	2.01	2.15	2.29	2.58	2.91	3.24	3.59
50	1.16	1.25	1.43	1.59	1.75	1.91	2.06	2.20	2.35	2.64	2.97	3.30	3.65
55	1.17	1.27	1.46	1.63	1.80	1.96	2.11	2.25	2.40	2.70	3.03	3.35	3.70
60	1.18	1.29	1.49	1.67	1.84	2.00	2.15	2.30	2.45	2.75	3.08	3.40	3.74
65	1.20	1.31	1.52	1.71	1.88	2.04	2.20	2.35	2.50	2.80	3.13	2.44	3.78
70	1.21	1.33	1.55	1.75	1.92	2.08	2.24	2.39	2.54	2.84	3.17	3.48	3.81
75	1.22	1.35	1.58	1.78	1.96	2.12	2.27	2.42	2.58	2.88	3.20	3.51	3.83
80	1.24	1.37	1.61	1.81	1.99	2.15	2.30	2.45	2.61	2.91	3.22	3.53	3.85
85	1.25	1.39	1.63	1.83	2.01	2.17	2.33	2.48	2.63	2.93	3.24	3.55	3.86
90	1.26	1.41	1.65	1.85	2.03	2.19	2.34	2.49	2.64	2.94	3.25	3.56	3.87
95	1.27	1.43	1.67	1.86	2.04	2.19	2.34	2.49	2.64	2.94	3.25	3.56	3.85
100	1.29	1.45	1.68	1.87	2.04	2.19	2.34	2.49	2.64	2.94	3.24	3.54	3.81
105	1.30	1.46	1.69	1.87	2.03	2.18	2.33	2.48	2.63	2.92	3.21	3.49	3.76
110	1.29	1.44	1.65	1.81	1.97	2.11	2.26	2.40	2.54	2.81	3.09	3.35	3.59
115	1.26	1.39	1.58	1.74	1.88	2.01	2.15	2.28	2.42	2.67	2.92	3.16	3.38
120	1.23	1.35	1.52	1.67	1.80	1.93	2.06	2.18	2.31	2.54	2.76	2.98	3.19
125	1.20	1.31	1.47	1.60	1.73	1.85	1.97	2.09	2.21	2.42	2.62	2.82	3.02
130	1.18	1.27	1.42	1.55	1.67	1.78	1.89	2.00	2.12	2.31	2.50	2.69	2.88
135	1.16	1.24	1.38	1.50	1.61	1.72	1.83	1.93	2.04	2.23	2.41	2.58	2.75
140	1.14	1.21	1.34	1.46	1.57	1.67	1.77	1.87	1.97	2.15	2.32	2.48	2.64
145	1.12	1.19	1.31	1.42	1.53	1.63	1.73	1.82	1.91	2.07	2.23	2.39	2.54
150	1.11	1.18	1.29	1.39	1.49	1.59	1.69	1.78	1.86	2.00	2.15	2.30	2.45

trizitätsmass verschwindet, wird $\beta \rightarrow 1$. Die Sicherheitszahl ν stimmt bei diesem Bemessungsverfahren mit der Knicksicherheitszahl überein und kommt ziffernmässig nicht zur Geltung ; sie ist ebenso wie die dem Verfahren zugrundegelegte Knickspannung σ_k in der amtlich vorgeschriebenen Knickzahl ω enthalten. Die β-Tabellen sind wie die ω-Tabellen für alle genormten Baustahlsorten festzulegen ; für den St 37 und etwas vergütete Sorten darf unmittelbar die angegebene Tabelle Verwendung finden. Soll das Bemessungsverfahren, wie Prof. Karner in seinem einleitenden Referate (Vorbericht S. 34) mit Recht fordert, einen formell befriedigenden Uebergang zu der bei gedrungenen Stäben üblichen Randspannungsbedingung $\frac{P}{F} + \frac{M}{W} \leq \sigma_{zul}$ gewährleisten, dann dürfen die amtlich vorgeschriebenen β-Werte im Bereiche kleiner Schlankheitsgrade die Grösse min $\beta = \left(1 + \frac{p}{k}\right) : \omega$ nicht unterschreiten. Bei Zugrundelegung der deutschen ω-Werte müssten dann beispielsweise die in unserer Tabelle für $\frac{p}{k} = 0{,}5$, $2{,}0$ und $4{,}0$ angegebenen β-Werte im Schlank-

heitsbereich $\frac{l}{i} < 40$ bezw. $\frac{l}{i} < 57{,}5$ bezw. $\frac{l}{i} < 65$ durch dieses min β ersetzt werden.

V) Die in Fig. 4 niedergelegte « Standardlösung » des Problems setzt einen rechteckigen Stabquerschnitt, beiderseits gleich grosse Hebelarme und eine Lagerung der Stabenden in reibungsfreien Gelenken voraus. Um den Einfluss der Querschnittsform auf die Grösse der kritischen Last zu untersuchen, habe ich die wichtigsten im Stahlbau vorkommenden Stabquerschnitte in

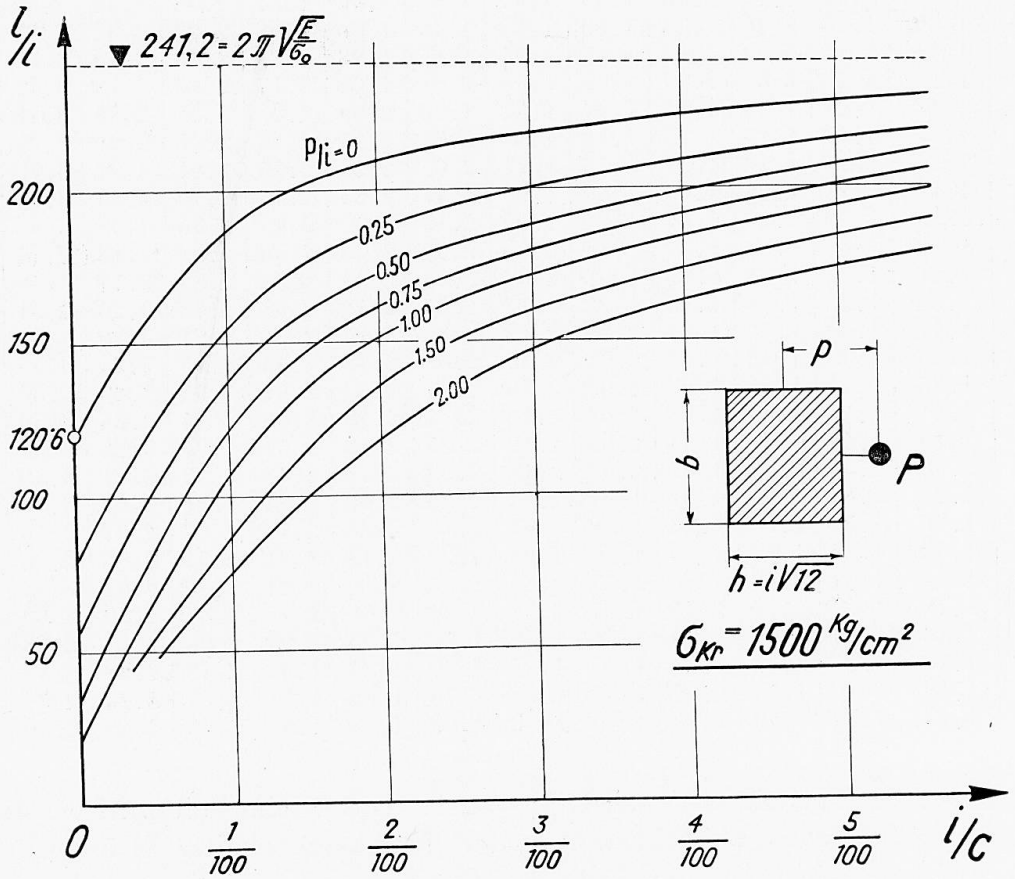

Fig. 5.

fünf « Profilklassen » zusammengefasst und für jede dieser Klassen die strenge Lösung des Problems für die Laststufen $\sigma_{kr} = 1000$ und 1900 kg/cm² entwikkelt. Es zeigte sich, dass wir unsere « Standardlösung » mit guter Annäherung auch bei der Berechnung von Stäben beliebiger Querschnittsform verwerten dürfen, wenn wir als Bezugsgrösse für den Angriffshebel p nicht ausschliesslich die « verschränkt » gemessene Kernweite k, sondern je nach der Profilklasse k oder i oder $a = \frac{i + k}{2}$ verwenden. Lassen wir grössere, praktisch aber noch erträgliche Abweichungen zu, dann können wir einheitlich $\frac{p}{k}$ als Exzentrizitätsmass für Vollstäbe aller Querschnittsformen verwenden. Auch die Fälle verschieden grosser oder wechselseitig liegender Angriffshebel wurden einer strengen Lösung zugeführt; sofern $p_2 \neq -p_1$ ist, dürfen wir derar-

tige Stäbe näherungsweise so wie Druckstäbe mit den beiderseits gleich grossen Hebelarmen $p_m = \frac{p_1 + p_2}{2}$ behandeln. Weiters habe ich die strenge Theorie exzentrisch gedrückter Baustahlstäbe entwickelt, deren Enden eine elastische Einspannung erfahren. Wir denken uns den gegebenen Stab beiderseits verlängert und als dreifeldrigen Durchlaufträger gelagert; die Länge c der so entstehenden lastfreien Seitenfelder gibt dann in der Form $\frac{1}{c/i}$ ein baupraktisch leicht abschätzbares Mass für den Grad der elastischen Einspannung eines im Tragwerk eingebauten Druckstabes. In Fig. 5 wird gezeigt, wie der Schlankheitsgrad $\frac{l}{i}$ des Stabes bei wachsendem Einspannungsgrad $\frac{i}{c}$ zunehmen darf, wenn der Stab unter der Laststufe $\sigma_{kr} = \frac{\max P_{Gl}}{F} = 1500$ kg/cm² sein Tragvermögen einbüssen soll; die einzelnen Kurven beziehen sich auf das beigeschriebene, in der Form p/i eingeführte Exzentrizitätsmass.

VI) Ist die Achse eines zentrisch gedrückten Stabes im spannungslosen Anfangszustand angenähert nach einer Sinushalbwelle mit der Pfeilhöhe η_0 gekrümmt, dann unterliegt der Stab gleichfalls einem « kritischen » Zustand ; das Problem ist streng behandelbar, wenn wir hinsichtlich des genauen

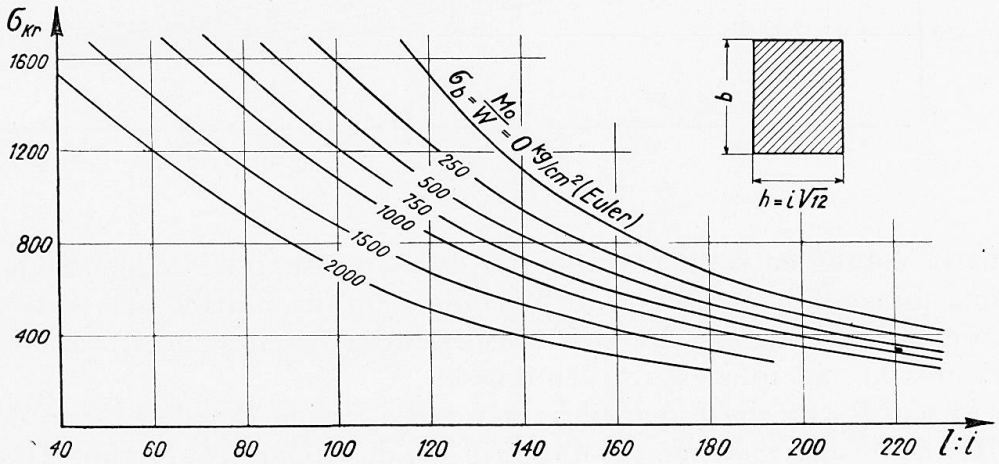

Fig. 6.

Verlaufes der primären Achsenform eine einschränkende, praktisch jedoch bedeutungslose Voraussetzung zulassen. In Fig. 6 ist die gefundene Lösung dargestellt worden; die einzelnen Kurven, die ebenso wie in Fig. 4 den Zusammenhang zwischen dem Schlankheitsgrad des Stabes und der grösstmöglichen (kritischen) mittleren Druckspannung festlegen, beziehen sich auf die beigeschriebenen Werte der primär vorhandenen Scheitelausbiegung $\frac{\eta_0}{h}$. Wenden wir diese Lösung bei der Berechnung der Tragfähigkeit schlanker, stählerner Dreigelenk-Bogenträger mit kleiner Pfeilhöhe an, dann zeigt sich, dass die Einhaltung der zulässigen Inanspruchnahme bei der üblichen Bemessung des Bogens nicht ausreicht, um auch die geforderte Sicherheit gegen Erreichen des

« kritischen Zustandes » unter halbseitiger Belastung zu gewährleisten.

VII) Wird ein prismatischer Baustahlstab untersucht, der ausser einer zentrischen Druckkraft noch eine angenähert sinusförmig verteilte Querbelastung von der Gesamtgrösse Q zu tragen hat, dann kann das Gleichgewichtsproblem, soferne über die genaue Intensitätsverteilung dieser Querbelastung eine einschränkende Voraussetzung zugelassen wird, einer strengen Lösung zugeführt werden. In Fig. 7 sind, ähnlich wie in Fig, 4 und 6, die Kurven dargestellt, die den gefundenen Zusammenhang zwischen der kritischen Druckspannung und dem Schlankheitsgrad festlegen ; die Grösse der Querbelastung Q wird hiebei durch die ideelle, nach Navier berechnete Biegerandspannung $\sigma_b = \frac{M_o}{W}$ zum Ausdruck gebracht, die in der Stabmitte bei ausschliesslicher Wirkung

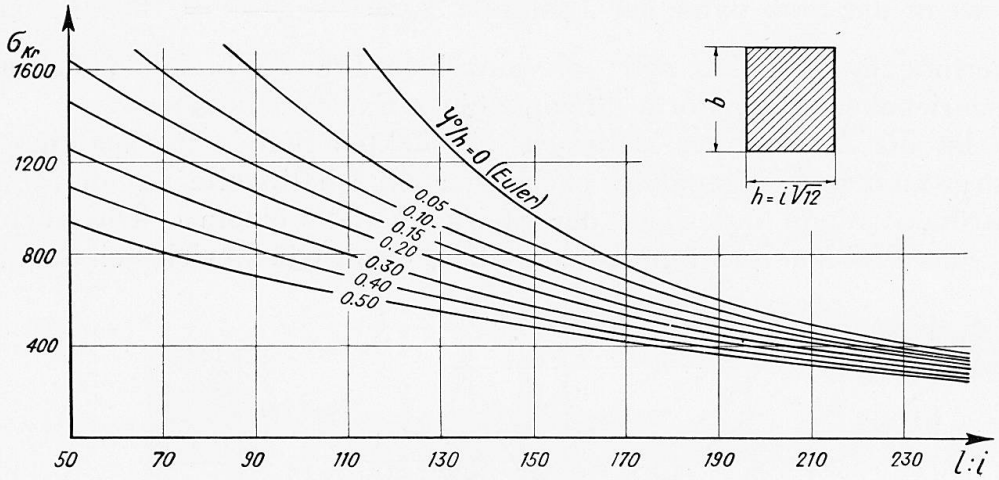

Fig. 7.

der Querbelastung entstehen würde. Bei der Bemessung derartiger Stäbe muss in jedem Einzelfalle wohl erwogen werden, ob die auftretende Achsialkraft oder die Querbelastung oder beide Wirkungsgrössen gemeinsam mit der Sicherheitszahl multipliziert werden müssen.

Im Anschluss an diese Ausführungen sei mir eine Bemerkung zu der von Roš-Brunner angegebenen Lösung (Fig. 30 des Referates) erlaubt. Das Roš-Brunner'sche Verfahren setzt hier implicite voraus, dass die Querbelastung die gleiche Momentenverteilung hervorruft wie die achsiale Druckkraft, dass somit der Biegemomentenverlauf der Querbelastung Q ein sinusförmiger ist. Das ideelle, bei der Herleitung der Lösung als Parameter dienende Biegemoment in Stabmitte beträgt dann $M = \frac{Q\,l}{2\,\pi}$, so dass sich die gefundenen Ergebnisse, genau genommen, nicht auf den Fall einer Einzellast $H = \frac{4\,M}{l}$, sondern auf den Fall einer sinusförmig verteilten Querbelastung der Grösse $Q = \frac{2\,\pi\,M}{l}$ beziehen. Die in Fig. 30 des Referates eingezeichneten Kurven sind dann der Reihe nach mit $Q = \frac{P_k}{127{,}3}, \frac{P_k}{63{,}7}, \frac{P_k}{31{,}8}, \frac{P_k}{15{,}9}$ zu beschreiben und die Kur-

ven, die den Querlasten $Q = \frac{P_k}{200}, \frac{P_k}{100}, \frac{P_k}{50}$ und $\frac{P_k}{25}$ zugeordnet sind, liegen dementsprechend höher.

VIII) Das durch die Kurven Fig. 1-3 dargestellte Tragverhalten gedrückter Baustahlstäbe kann die Grösse der Tragfähigkeit statisch unbestimmter Tragwerke aus Baustahl grundlegend beeinflussen. Die wertvollen Ergebnisse, auf die die theoretische Untersuchung derartiger Systeme bei Berücksichtigung der Plastizität des Werkstoffes führte, sind an die Voraussetzung gebunden, dass der Widerstand der im Tragwerk vorkommenden Druckstäbe nach Erreichen der Knicklast konstant bleibt, wie dies bei einem gezogenen oder gebogenen Stab aus ideal-plastischem Material der Fall ist. Demgegenüber zeigen jedoch die Baustahlstäbe der üblichen Schlankheitsgrade schon bei geringfügigen Verkürzungen der Stabsehne einen ungemein starken Abfall des achsialen Widerstandes, der eine ganz erhebliche Ueberbeanspruchung des « stützenden Grundsystems » und damit in der Mehrzahl der praktischen Fälle ein vorzeitiges Versagen des letzteren zur Folge hat. Die im Rahmen der angeführten Theorie ermittelten « tragbaren » Lasten können aus diesem Grunde u. U. um 40 % zu gross sein.

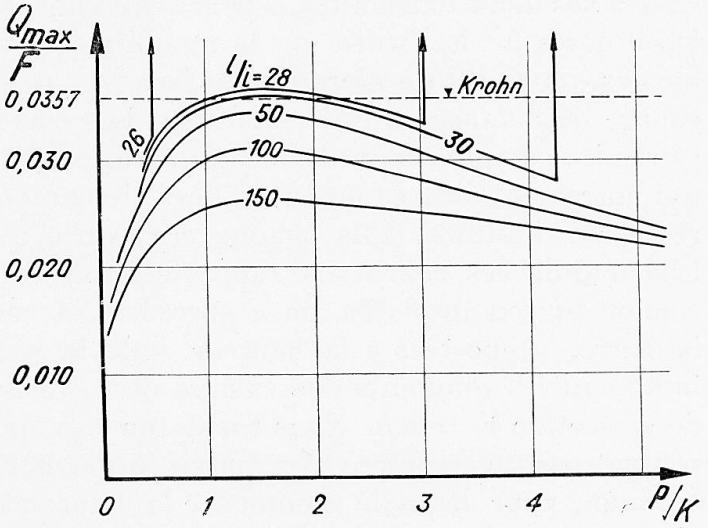

Fig. 8.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass ich im angeführten Manuskript auch das Stabilitätsproblem des Rahmenstabes einer exakten, (die Nachgiebigkeit der Querverbindungen berücksichtigenden) Lösung zugeführt und ein Verfahren zur Bemessung der Querverbindungen entwickelt habe, das im Wesen dem von Prof. Roš geschilderten Verfahren gleicht.

In Fig. 8 ist der gefundene Zusammenhang zwischen der grössten, vor dem Zusammenbruch des Stabes auftretenden Querkraft, dem Schlankheitsgrad und dem Exzentrizitätsmass für Stäbe mit Rechtecksquerschnitt dargestellt. Wir erkennen, dass Q_{max} nur bei Stäben, deren Tragvermögen durch ein « Maximum zweiter Ordnung » begrenzt ist, wesentlich über den Krohn'schen Wert ansteigt. Um von der Baustahlsorte unabhängig zu sein, können wir (da Q_{max} im allg. nicht mehr als im Mass der Quetschgrenze σ_Q wächst) anstelle der Krohnformel allgemeiner z. B. $Q_{max} = \frac{\sigma_Q}{75} \cdot F$ schreiben und die Querverbindungen, sofern für sie nicht die Bruch- sondern die Fliessgrenze als massgebend angesehen wird, unmittelbar für $Q_{max} = \frac{\sigma_{zul}}{75} \cdot F$ auf « zulässige Spannung » bemessen.