

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	15/16 (1890)
<b>Heft:</b>	18
<b>Artikel:</b>	Das basische Converttereisen als Baumaterial: ein Beitrag zur Frage der Dimensionsberechnung von Eisenconstructionen
<b>Autor:</b>	Tetmajer, L.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-16456">https://doi.org/10.5169/seals-16456</a>

### 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:** 19.02.2026

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

INHALT: Das basische Convertereisen als Baumaterial. Ein Beitrag zur Frage der Dimensionsberechnung von Eisenconstructionen von Prof. L. Tetmayer in Zürich. I. — Literatur: Anwendungen der

Graphischen Statik. — Vereinsnachrichten: Stellenvermittlung. —

† Andreas Rudolf Harlacher. Professor an der deutschen technischen Hochschule zu Prag.

## Das basische Convertereisen als Baumaterial.

Ein Beitrag zur Frage der Dimensionsberechnung von Eisen-constructionen von Prof. L. Tetmayer in Zürich.

### I.

Vorliegende Abhandlung bezweckt eine Uebersicht über die Ergebnisse einer grössern Versuchsreihe in der Metallbranche zu geben, die der Hauptsache nach im verflossenen Winter im Festigkeitsinstitute des eidg. Polytechnikums zu Ende geführt wurde. Die Arbeit, welche etwa 1500 Einzelversuche umfasst und zu welcher mehrere deutsche Werke das erforderliche Material (etwa 31,5 t Eisen) liefer-ten, wurde ursprünglich unternommen, um die im Jahre 1884 auf Anregung des Hrn. Rob. Erhardt, ehem. techn. Director der Eisenwerke der Herren Gebr. Stumm zu Neunkirchen, begonnene und speciell an I-Trägern durchgeföhrte Untersuchung des relativen Werthes des basischen Converter-eisens als Constructionsmaterial zu einem vorläufigen Abschlusse zu bringen. Wenn einerseits die wiederholt lauf gewordenen Bedenken gegen die Zulässigkeit des basischen Convertereisens als Baumaterial für Brücken und andere Eisenconstructionen zu einer die Eigenschaften und Qualitäts-verhältnisse dieses Materials möglichst weitgehend aufschlies-senden Arbeit anspornten, so mussten wir es anderseits und insbesondere bei diesem Anlass als unsere specielle Aufgabe erachten, den Arbeitsplan der Untersuchung derart einzurichten, dass neben der Werthschätzung des Materials an sich auch die Frage der Ermittelung von Festigkeits-coeffizienten für das Baufach eine entsprechende Berücksichtigung fand. Dass unter solchen Umständen den uns befreundeten Werken nicht unansehnliche Leistungen zu-gemuthet werden mussten, ist wohl selbstredend. Weniger selbstredend war dagegen die Opferfreudigkeit, mit der diese Werke unsere Bemühungen unterstützten und wir nehmen den uns gebotenen Anlass freudig wahr, um namentlich dem Eisenwerke Kaiserslautern,

der Direction der Burbacher Hütte und insbesondere den Herren Chefs der Eisenwerke de Wendel et Comp. in Hayange

unsere Anerkennung öffentlich auszusprechen.

Die Triebfeder zur programmässigen Durchführung der oben angezogenen Arbeit lag, wie bereits erwähnt, im Bestreben unsere erste Arbeit über das relative Werthver-hältniss des basischen Convertereisens auf breiter Grundlage abzuschliessen. Gleichzeitig sollte die Untersuchung in die immer noch zweifelhaften Gesetze der Druckfestigkeit des schmiedbaren Eisens Licht bringen; sie sollte Gelegenheit bieten das Abhängigkeitsverhältniss der Druckfestigkeit von der Stablänge (Knickungsfestigkeit), die Einflüsse der Querschnittsform, der Nietung — letztere in soweit, als sie sich auf die Schwächung des Stabquerschnitts und auf allfällige Ein-flüsse der Nietabstände bezieht —, endlich die Einflüsse der excentrischen Krafteinwirkungen zu studiren. Neben den Gesetzen der Druckfestigkeit schien es unerlässlich, der Biegungs-festigkeit des Constructionsflusseisens in genietetem Zustande, ganz besonders aber der Frage der „Zuverlässigkeitserhält-nisse“ desselben näher zu treten. Wir waren berechtigt zu erwarten, dass, soferne die mehrfach laut gewordenen Be-denken gegen die Zuverlässigkeitserhält-nisse des basischen Convertereisens mit dessen Behandlung bei seiner Bearbeitung zusammenhängen, diese sich anlässlich der Feststellung der Biege- und Schmiedbarkeit, der Lochbarkeit durch Stanzen und Bohren, der Biegungs- und Stossfestigkeit an von Hand genieteter Träger etc. gelten machen würden, wodurch die Verwendbarkeit des Materials an sich tadelloser Chargen hinreichend gekennzeichnet wäre. Die Prüfung der Festigkeits- und Zuverlässigkeitserhält-nisse genieteter Träger sollte überdies zur Controlle der Ergebnisse der gleichartigen

Versuche Harkort's dienen; sie war nebenbei berufen Aufschluss darüber zu geben, ob die angeblich aus umfassenden Ver suchen an fachwerkartigen Trägern abgeleitete Verordnung, wonach in Oesterreich das basische Convertermaterial künftig hin für den Brückenbau durch Martin'isen zu ersetzen sei, allgemeine Beachtung verdiente oder der Ausfall dieser Ver suchen durch unaufgeklärt gebliebene Ursachen localer Natur bedingt gewesen, somit auch nur locale Bedeutung besitze, in welchem Falle als dann aber die die Entwicklung der Eisen-industrie schädigende Verordnung im Interesse der öffentlichen Sicherheit durch ein logisches, der Natur des metallurgischen Proesses angepasstes Abnahmeverfahren des Materials am Werke zu ersetzen sei. Wir sind nach wie vor der bestimmten Ansicht, dass, solange umfassende Ver suchen, wie die unserigen, keinerlei Anhaltspunkte zur Beurtheilung und Constatirung dessen liefern, was in dem dehnbaren Begriffe der „Unzuverlässigkeit“ vereinigt liegt, das Material tadelloser Chargen unseren Eisenconstructionen mindestens diejenige Sicherheit verleiht, die wir bei Anwendung von Schweisseisen normaler Constructionsqualität auszunützen gewohnt sind.

#### a. Resultate der Druck- und Knickungsproben.

Bevor wir auf die Ergebnisse unserer Druck- bzw. Knickungsversuche eintreten, sei gestattet, einige Bemerkungen über das Wesen der Druckfestigkeit des schmiedbaren Eisens vorauszusenden, lediglich um die Anschauungen darzulegen, die den bezüglichen Versuchsausführungen des Berichterstatters zu Grunde lagen.

Prof. Bauschinger leitet die Druckfestigkeit des Schmiede-eisens aus der Grenze des Tragvermögens kurzer Profil-abschnitte (Höhe = 8 bis 13 cm) ab und findet Zahlen-werthe, die zwischen 3,20 und 5,50 pro  $cm^2$  schwanken. Es ist nicht schwer einzusehen, dass diese Zahlen lediglich den Zeitpunkt des Eintritts seitlicher Verbiegung und damit allerdingen den Verlust des Tragvermögens der Profilabschnitte zum Ausdrucke bringen. Kürzere oder längere Abschnitte würden unzweifelhaft wesentlich abweichende Zahlen, kürzere Cylinder z. B. in dieser Hinsicht überhaupt keine brauch-baren Resultate ergeben haben; solche stauchen sich bei centrischer Einspannung in der Maschine platt, tragen ohne Trennung der Theile anstandslos 12 und mehr t pro  $cm^2$ .

Früher waren wir der Meinung, die Stauchgrenze, bei welcher erhebliche Breitungen des Materials auftreten, sei als Cohäsionsgrenze des Eisens bei dessen Inanspruchnahme auf Druck anzusehen. Eine nähere Ueberlegung belehrt indessen darüber, dass auch diese Auffassung nicht aufrecht zu erhalten sei und dass die Stauchgrenze (Stauchbeginn) ähnlich der Streck- und Bieggrenze bei Zerreiss- und Biege-versuchen lediglich blos eine nach aussen meist scharf ausgeprägte Zustandsänderung des Materials jenseits der Elasti-citätsgrenze bedeutet, die unter Umständen zur Cohäsions-grenze werden kann, diese jedoch nicht unbedingt sein muss.

Unsere Beobachtungen wiesen darauf, dass ähnlich dem Verhalten des schmiedbaren Constructionseisens in der Zug- und Biegprobe, dasselbe auch in der statischen Druckprobe drei, mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Zustandsänderungen zeigt, von denen die erste an der sog. Elasticitäts- oder Propor-tionalitätsgrenze, die zweite beim Stauchbeginn liegt und von welcher die dritte als Cohäsionsgrenze anzusehen ist, über welche hinaus das Material in einen Zustand plastischer Deformabilität tritt; es zerfliesst ähnlich dem Fliessen, welches wir bei Eintritt der Contraction der correspondirenden Zerreissprobe beobachten. Der Beginn dieser Art des Zerfliessens des Materials tritt bei vollkommen centrischer Einspannung, also bei vollkommen gleichmässiger Inanspruchnahme bei beliebig pro-filirten Versuchskörpern auch auf, ist wohl aus Gründen der Homogenität und leichtesten Erfüllung der Bedingung gleich-mässiger Inanspruchnahme am bequemsten an kurzen, cylind-

rischen Körpern zu beobachten. Derselbe giebt sich durch eine mehr oder weniger plötzliche Aenderung der Verkürzungen kund. Beim Kupfer tritt eine sprungweise Abnahme der zwei Differenzen der Verkürzungen auf. Beim Schweisseisen ist der Natur der Sache nach die Aenderung der Verkürzungen oft nicht zu erkennen, nicht selten haben wir dieselbe unverkennbar beobachtet. Unsere Messungen ergaben im Mittel

für Flusseisen Schweisseisen  
(Constructionsqualität)

einen Elasticitätsmodul auf Druck  $\epsilon_a = 1,00 \epsilon_z$ ,  $\epsilon_a = 1,00 \epsilon_z$   
einen Grenzmodul " "  $\gamma_a = 1,18 \gamma_z$ ,  $\gamma_a = 1,05 \gamma_z$   
einen Stauchbeginn " "  $\sigma_a = 0,97 \sigma_z$ ,  $\sigma_a = 1,00 \sigma_z$   
eine Druckfestigkeit " "  $\beta_a = 0,99 \beta_z$ ,  $\beta_a = 0,97 \beta_z$   
worin  $\epsilon_z$ ,  $\gamma_z$ ,  $\sigma_z$  und  $\beta_z$  die correspondirenden Größen auf Zug bedeuten.

Zur Feststellung der Aenderungen der Druckfestigkeit mit wachsender Stablänge lag ein reichhaltiges Versuchsmaterial bestehend aus Rundeisen, ferner aus L-, L-, U-, H-, T-, T-, I- Eisen zur Verfügung. Die Stablänge varierte zwischen 50 und 500 cm für die Formeisen und 8,1 und 120 cm für die Rundeisen; die Querschnittsflächen zwischen 14,9 und 29,5 cm<sup>2</sup> bzw. zwischen 2,49 und 18,0 cm<sup>2</sup>. Die Nietstärke der durch Nietung zusammengesetzten Stäbe schwankte zwischen 1,4 und 1,8 cm und war derart gewählt,

5. Hinsichtlich des Einflusses der Nietung, insbesondere der Verschwächung des Stabquerschnitts durch Nietlöcher sowie der Lage der Nietlöcher im Querschnitt ist das Flusseisen entschieden empfindlicher als das Schweisseisen. Bei Dimensionirung von Druckstreben in Flusseisen ist sehr anzurathen, die Nietlöcher in Abzug zu bringen, so oft die Verschwächung des Stabquerschnitts durch die Nietlöcher 10% seiner vollen Querschnittsfläche erreicht.

6. Die Durchbiegung der Druckstäbe mit Längenverhältnissen  $l:k$  (Verhältniss der wirksamen Stablänge zum kleinsten Trägheitshalbmesser seiner Querschnittsfläche) grösser als etwa 100 erfolgt meist allmälig; bei Stäben mit  $l:k <$  etwa 100 dagegen in der Regel plötzlich. Die Formveränderung an der Grenze des Tragvermögens der Stäbe war im ersten Falle eine gesetzmässig-stetige und vorwiegend elastische, im letztern Falle dagegen eine mehr locale (in Nähe der Stabmitte) und vorwiegend unelastische.

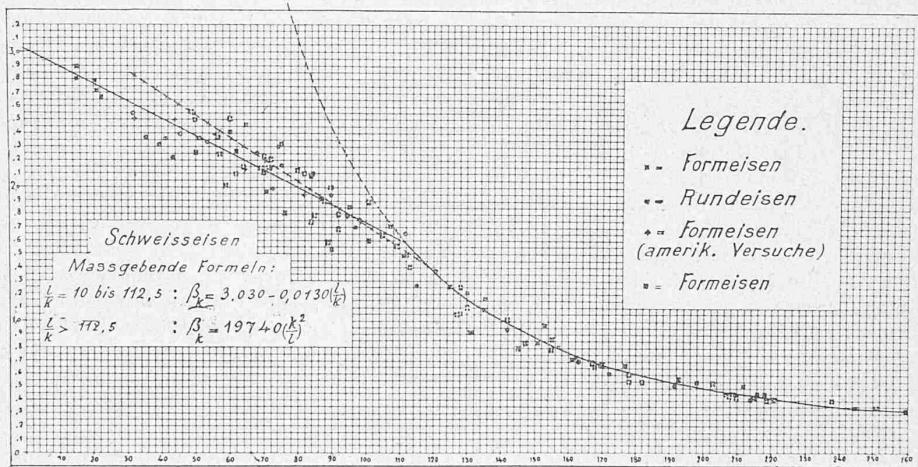
7. Die Richtung der Durchbiegung correspondirt in der Regel mit der Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers des Stabquerschnitts (Richtung des kleinsten Biegungswiderstandes).

8. Das Tragvermögen der Stäbe mit Längenverhältnissen beim Flusseisen: beim Schweisseisen:

$$l:k > 105,0 \quad l:k > 112,5$$

folgt dem Euler'schen Gesetz (vergl. Fig. 1, in welcher für Schweisseisen unsere Versuchsresultate graphisch dargestellt

Fig. 1. Graphische Darstellung von Knick-Versuchen. — General-Zusammenstellung.



dass sich eine Verschwächung der betreffenden Stabquerschnitte im Betrage von Minimum 6%, Maximum 12,6% ergab. Die Niettheilung schwankte zwischen 16 und 55 cm, oder wenn  $s$  die Stärke der durch Nietung gefassten Profiltheile bedeutet, zwischen

$$t = 10,0 \text{ s} \text{ und } t = 75 \text{ s}.$$

Die Einspannung der Stäbe geschah in der Regel centrisch zwischen Spitzenkörner. Das Ergebniss der (388 Stück) Knickungsproben war folgendes:

1. Ungeachtet aller Vorsicht und Sorgfalt in der Appretur und Einspannung der Probestäbe war nicht zu vermeiden, dass bei einzelnen Stäben zufolge ungenügender Geradheit, Querschnittsveränderungen, Materialfehlern (Unhomogenitäten) und Mängeln der Einspannung ein vorzeitiges Durchbiegen eingetreten ist.

2. Umgekehrt trugen einzelne Stäbe tatsächlich mehr als nach dem festgestellten Gesetze durchschnittlich zu erwarten war.

3. Ein Einfluss der Form der Versuchsstäbe auf die Knickfestigkeit des schmiedbaren Constructionseisens wird wahrscheinlich bestehen. Vorliegende Versuchsreihen geben indessen zur Beurtheilung desselben keinen Anhaltspunkt.

4. Die durch Nietung zusammengesetzten Stäbe verhalten sich in jeder Hinsicht wie die einfachen Walzprofile, so ferne:

- a. die Nietabstände 55 cm nicht überschreiten;
- b. die Nieten die Nietlöcher satt ausfüllen;
- c. die Verschwächung des Stabquerschnitts durch Nietlöcher durchschnittlich etwa 12% seiner vollen Querschnittsfläche nicht überschreitet.

sind) und es betragen die Constanten:

$$22200 \text{ t pro cm}^2; \quad 19740 \text{ t pro cm}^2.$$

In den genannten Intervallen ist somit die specifiche Knickfestigkeit

beim Flusseisen durch:

$$\beta_k = 22200 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t \text{ pro cm}^2; \quad —$$

beim Schweisseisen durch: — ;  $\beta_k = 19740 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t \text{ pro cm}^2$  ausgedrückt.

9. Das Tragvermögen der Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k < 105,0$  bzw.  $< 112,5$  folgt dem Euler'schen Gesetze nicht und es bestätigen unsere Versuche, dass in diesem für das Constructionsfach in schmiedbarem Eisen besonders wichtigen Intervalle das Tragvermögen der Stäbe in Flus- und Schweisseisen mit abnehmenden Längenverhältnissen ( $l:k$ ) angenähert proportional wächst und für Flusseisen: für Schweisseisen:

$$\text{durch: } \beta_k = 3,207 - 0,01157 \left(\frac{l}{k}\right); \quad \beta_k = 3,030 - 0,013 \left(\frac{l}{k}\right)$$

dargestellt werden kann.

Vorstehende Ausdrücke gelten zunächst innerhalb der Versuchsgrenzen u. z. also im Intervalle

$$\frac{l}{k} = 20,4 \text{ bis } 105,0; \quad \frac{l}{k} = 18,5 \text{ bis } 112,5.$$

In Nähe der untern Grenzen ( $l:k = 18,5$  bzw. 20,4) verlieren die vorstehenden Gleichungen ebenfalls ihren Werth. Stäbe mit noch kleineren Längenverhältnissen geben unter

Breitungserscheinungen (fassförmiges Stauchen cylindrischer Körper), ohne dass Trennung der Theile, ein Zermalmen des Materials eintrete würde, regellose, oft recht erhebliche Grenzwerte ihres Tragvermögens, die unserer Ansicht nach für das Material nicht charakteristisch sind, da sie lediglich Zufälligkeiten zum Ausdruck bringen.

10. Aus Vorstehendem geht hervor, dass es unmöglich ist die Gesetze der Knickfestigkeit des schmiedbaren Constructionseisens durch eine Gleichung überhaupt auszudrücken.

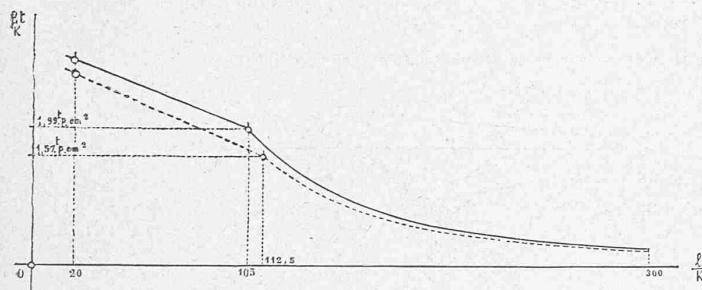
Mit Bezug auf die vielfach benützte Knickungsformel von Schwarz-Rankine

$$\beta_k = \frac{\beta}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

folgt hieraus, dass dieselbe zur Darstellung der Knickspannung nur gewaltsam und unter Annahme veränderlicher Erfahrungs-Coefficienten  $\eta$  eingerichtet werden kann.

Für das Intervall der vorwiegend unelastischen Knickungsvorgänge, in welchen allein der empirischen Formel Schwarz-Rankine's etwelche Berechtigung zuerkannt werden kann, fanden wir unter zu Grundelegung des gefundenen Knickgesetzes

Fig. 2. Graphische Darstellung der Knickungs-Formeln.



für Flusseisen:      für Schweisseisen:

im Mittel:  $\beta = 2,97 t \text{ pro cm}^2$ ;       $\beta = 2,79 t \text{ pro cm}^2$ ,  
im Maximum:  $\beta = 3,05$  "       $\beta = 2,86$  "  
im Minimum:  $\beta = 2,89$  "       $\beta = 2,72$  "

dabei betrug:

im Mittel: $\eta = 0,000059$	$\eta = 0,000050$
im Maximum: $\eta = 0,000081$	$\eta = 0,000064$
im Minimum: $\eta = 0,000057$	$\eta = 0,000057$

Hieraus folgt nun wieder, dass

a. in der Schwarz-Rankine'schen Formel selbst im Intervalle der vorwiegend unelastischen Knickungsvorgänge die Werthe von  $\beta$  und  $\eta$  veränderlich sind; dass

b. die angezogene Formel mit den vorstehend angegebenen Mittelwerthen von  $\beta$  und  $\eta$  die in diesem Intervalle vorkommenden Knickspannungen ( $\beta_k$ ) näherungsweise, für alle Bedürfnisse der Praxis jedoch hinreichend genau zum Ausdruck bringt; dass endlich c. der vielfach benützte Coefficient  $\eta = 0,0001$  keine Berechtigung besitzt.

Bezüglich aller Einzelheiten sei auf Seite 144—170 des 4. Heftes der off. Mittheilungen unserer Anstalt verwiesen. Dagegen dürfen wir nicht unterlassen an dieser Stelle folgende Bemerkungen einzuschalten:

Fig. 2 stellt den Verlauf der oben angegebenen Knickungsformeln dar. Der stark ausgezogene Linienzug entspricht dem Convertereisen (mit etwa 3,6 bis 4,5  $t \text{ pro cm}^2$  Zugfestigkeit), der gestrichelt ausgezogene dagegen dem Schweisseisen gewöhnlicher Constructionss Qualität. Die Abscissen der Schnittpunkte der Geraden mit Euler's Hyperbeln betragen beim Flusseisen  $l:k = 105$ , beim Schweisseisen = 112,5, die zugehörigen Ordinaten sind  $\beta_k = 2,00$  bzw. = 1,55  $t \text{ pro cm}^2$ . Hieraus geht hervor, dass die Euler'sche Knickungsformel an der Elasticitätsgrenze des schmiedbaren Constructionseisens ihre Gültigkeit verliert. An dieser Grenze ist der Unterschied der specifischen Knickspannungen ( $\beta_k$ ) zwischen Flusseisen und Schweisseisen am grössten. Mit wachsender Stablänge bzw. mit wachsenden Werthen der massgebenden Längenverhältnisse  $l:k$ , nimmt unter sonst gleichen Umständen fraglicher Unterschied ab. Stäbe mit  $l:k > 300$

werden somit in Flusseisen und Schweisseisen angenehrt gleich viel tragen.

Ein Blick auf Fig. 2 lässt ferner erkennen, dass von der Elasticitätsgrenze weg anderseits die Unterschiede der Knickspannungen mit abnehmenden Längenverhältnissen der Stäbe ebenfalls abnehmen. Und wenn schon wir zugeben, dass die relative Lage der Geraden sich mit den Qualitätsverhältnissen der Materialien ändern wird (für das prima Burbacher Constructionseisen steigt die Gerade nach unsren Rechnungen steiler als die gezeichnete an, die Unterschiede der Knickspannungen nehmen progressiver ab), so geht doch aus vorstehender Darstellung klar hervor, dass kurze Stäbe einen kleineren Unterschied ihres Tragvermögens besitzen als nach deren Elasticitätsgrenzen und Moduli zu erwarten wäre. Mit andern Worten: vermöge der Stauchvorgänge findet je nach den Homogenitäts-, Weichheits- bzw. Festigkeitsverhältnissen des Constructionseisens bei kurzen Stäben eine Ausgleichung des Tragvermögens auf Druck statt und ist nicht ausgeschlossen, dass sogar bestes Schweisseisen die Tragfähigkeit weichen Flusseisen erreicht und überschreitet. Diese Beobachtung scheint uns desshalb von Belang zu sein, weil sie erklärt, weshalb in unsren Versuchen die Unterschiede in der Biegungsfestigkeit der Zorès-Eisen und der genieteten Träger in Flusseisen und Schweisseisen so klein ausfielen, weshalb weiches, an sich tadelloses Flusseisen in faconirten Stäben auf Biegung oft wesentlich weniger trägt als schlechtes, brüchiges Schweisseisen; sie erklärt endlich die Ursache, weshalb die Tragkraft der flusseiserne Träger in den Harkort'schen Versuchsreihen, ohne zu brechen, hinter denjenigen der schweisseiseren zurück geblieben sind.

Aus unsren Versuchen und Rechnungsergebnissen geht ferner mit Bezug auf das schmiedbare Constructionseisen die Unzulässigkeit der jetzt üblichen Art der Benutzung der Schwarz-Rankine'schen Knickungsformel unzweideutig hervor. Gewöhnlich wird in

$$\beta_k = \frac{\beta}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

$\beta$  schlechtweg durch die zulässige Materialanspruchnahme auf einfachen Zug oder Druck ersetzt und das Ergebniss der Ausrechnung der Formel sodann als Mass der zulässigen Inanspruchnahme auf Knicken angesehen. Nun ist leicht einzusehen, dass dieser Vorgang der Ermittelung der zulässigen Knickspannung eine Aenderung des Sicherheitsgrades der zu dimensionirenden Construction nach sich zieht, welche verursacht, dass schliesslich die gedrückten, vermöge der Möglichkeit des Eintritts schädlicher Ausbiegungen stets etwelche Gefahr in sich bergenden Elemente unserer Eisenconstructionen einen geringern Sicherheitsgrad erhalten als die gespannten, was nicht nur nicht rationell sondern geradezu unstatthaft ist.

Es ist nämlich vor Augen zu behalten, dass in der Formel von Schwarz-Rankine  $\beta$  nicht die Druckfestigkeit des Constructionseisens, sondern eine Zahl bedeutet, die höher als die Stauchgrenze und niedriger als jene Festigkeitsgrenze liegt. Die Americaner (siehe L. Strobel's Knickversuche, Zeitschr. deutscher Ing. 1888, Seite 1121), haben für  $\beta$  einfach 3,0 angenommen. Unsere Versuche ergaben

für Flusseisen  $\beta = 2,97$  (rund 3,00)  $t \text{ pro cm}^2$ ,  
für Schweisseisen  $\beta = 2,79$  (rund 2,80)  $t \text{ pro cm}^2$ .

Ist also  $m$  der einzuhaltende Sicherheitsgrad einer Eisenconstruction und angenähert  $\beta_s = \beta_d$  die Zug- oder Druckfestigkeit des Materials, so ist die zulässige Inanspruchnahme gegen die statische Festigkeit desselben

auf Zug oder Druck:  $\sigma_s = \sigma_d = \frac{1}{m} \beta_s = \frac{1}{m} \beta_d$ .

Aehnlich ist die zulässige Inanspruchnahme auf Knicken abzuleiten. Für das Intervall  $l:k = 18$  bis rund 110 wäre nach Schwarz-Rankine

$$\text{für Flusseisen: } \sigma_k = \frac{1}{m} \frac{3,00}{1 + 0,00007 \left(\frac{l}{k}\right)^2} \quad \text{für Schweisseisen: } \sigma_k = \frac{1}{m} \frac{2,80}{1 + 0,00006 \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

Im andern Fall macht man zu Ungunsten des Sicherheitsgrades der Construction Fehler im Verhältnisse:

$$\frac{\beta_d}{3,00} \text{ beim Flusseisen; } \frac{\beta_d}{2,80} \text{ beim Schweisseisen.}$$

Wir wollen hier eines der zahlreichen Beispiele anführen. Die gespannten Elemente der Hauptträger einer eisernen Brücke einer schweizerischen Hauptbahn sind mit einer zulässigen Inanspruchnahme  $\sigma_a = \sigma_d = 0,775$  t pro  $cm^2$ , die gedrückten Stäbe dagegen in der üblichen Weise nach der Formel:

$$\sigma_k = \frac{0,775}{1 + 0,0001 \left(\frac{k}{\beta}\right)^2}$$

berechnet worden. Bei einer mittleren Zugfestigkeit des verwendeten Schweisseisens von  $\beta_z = 3,56$  t pro  $cm^2$  besitzen die gespannten Elemente einen Sicherheitsgrad von:  $\frac{3,56}{0,775} = 4,6$ , die gedrückten Stäbe dagegen  $\frac{2,80}{0,775} = 3,6$ ; es wird somit das Verhältniss:

$$\frac{4,6}{3,6} \text{ oder angenähert } = \frac{\beta_d}{2,80} = \frac{3,56}{2,80} = 1,27 \text{ d. h. der Fehler } 27\%.$$

Wenn die nach der Formel von Schwarz-Rankine dimensionirten eisernen Brücken und Dachstuhlelementen zu Klagen keine Veranlassung gaben, so beweist dies lediglich, dass die Sicherheitsgrade, mit welchen ihre Elemente tatsächlich arbeiten, ausreichende sind. Ratiell ist die Massenvertheilung dieser Objecte nicht; indessen steht nichts

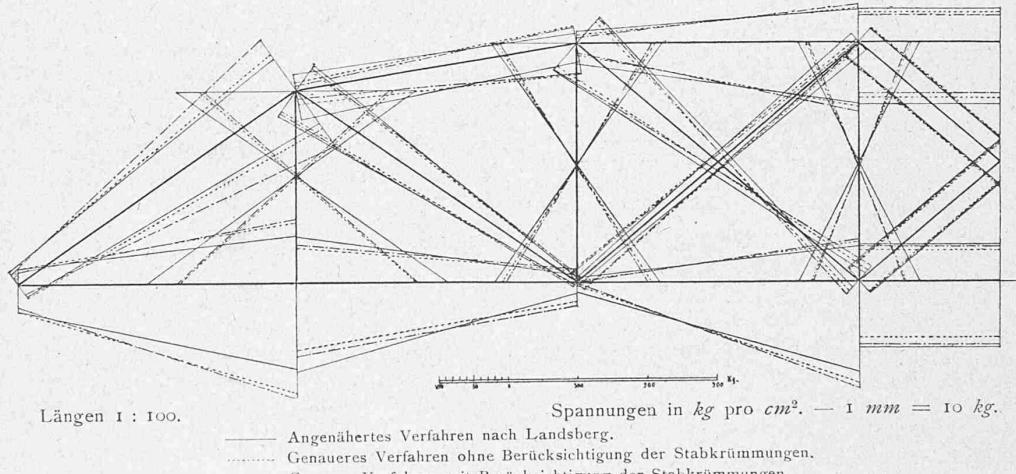
grössten Beanspruchungen sicher nur erhalten, indem man die Nebenspannungen für die Belastung jedes einzelnen Knotenpunktes berechnet und die gleichartigen Spannungen addirt, für welche umständliche Arbeit sich das angenehmste Verfahren besser empfiehlt. Es sind nach demselben die Secundärspannungen für einen solchen Einzelfall, Belastung des zweiten Knotenpunktes der vorerwähnten Brücke, seinerzeit von dem Referenten ebenfalls ermittelt worden und in nebenstehender Figur 2 dargestellt. Diese gibt ein hübsches Bild über die Abnahme der Nebenspannungen von der Laststelle aus, wo sie relativ bedeutend sind, nach dem Brückendeck hin.

Jedenfalls bilden beide Verfahren eine schöne und nützliche Belehrung der graphischen Statik. Das letztere ist überdies besonders geeignet, eine bekannte Gabe des Verfassers in helles Licht zu stellen, darin bestehend, seinen Problemen die einfachst mögliche Gestalt verleihen und sie in grösster Klarheit zur Darstellung bringen zu können, wodurch sie dem Verständniss des Lernenden nahe gelegt werden. Man überzeugt sich hievon leicht, wenn man mit Ritters Darstellung die langathmige, mühsame Rechnung Landbergs und seine praktisch kaum verwertbare Construction vergleicht; dadurch soll aber natürlich des Letztern Verdienst, die Grundidee gegeben zu haben, in keiner Weise verkleinert werden.

Das letzte Capitel endlich behandelt die räumlichen Fachwerke. Wir sind von einer vollständigen Theorie derselben noch weit entfernt, wie der Verfasser in der Vorrede sagt; begreiflich daher, dass dieses

Fig. 1. \*) Vergleichung der nach verschiedenen Methoden berechneten Nebenspannungen.

(Zum Artikel: Anwendungen der Graphischen Statik.)



Längen 1 : 100.

Spannungen in kg pro  $cm^2$ . — 1 mm = 10 kg.

— Angenähertes Verfahren nach Landsberg.  
.... Genaueres Verfahren ohne Berücksichtigung der Stabkrümmungen.  
- - - Genaues Verfahren mit Berücksichtigung der Stabkrümmungen.

im Wege, künftig in der Dimensionierung gleiche Sicherheitsgrade für Zug und Druck zu Grunde zu legen, wodurch im Allgemeinen die gedrückten Elemente unserer Eisenconstructionen etwas stärkere, die gespannten dagegen entschieden schwächere Abmessungen erhalten werden als bisher.

Nach Vorstehendem ist es überflüssig besonders hervorzuheben, dass Constructeure, die anderseits ausschliesslich mit der Euler'schen Formel rechnen und deren Gültigkeit bis zur Cohäsionsgrenze des Eisens (etwa 3,5 t pro  $cm^2$  für Schweisseisen) voraussetzen, Stäbe mit kleineren Längenverhältnissen aber einfach unter zu Grundlegung der zulässigen Inanspruchnahme auf reinen Druck

$$\sigma_d = \frac{\beta_d}{m} = \sigma_z$$

dimensioniren, den Sicherheitsgrad ihrer Constructionen unbewusst in noch höherem Masse reduciren, als dies bei der herrschenden Art der Verwendung der Schwarz-Rankine'schen Formel der Fall gewesen wäre.

(Schluss folgt.)

## Literatur.

**Anwendungen der Graphischen Statik.** Nach Professor Dr. C. Culmann, bearbeitet von W. Ritter, Professor am eidg. Polytechnikum zu Zürich. Zweiter Theil: das Fachwerk.

(Schluss.)

Für die Durchrechnung eines einzigen Belastungsfalles würde Referent die genaue Methode vorziehen. Aber freilich kann man die

Capitel einigermassen den Eindruck der Lückenhaftigkeit machen muss. Doch findet der construirende Ingenieur Alles, was ihn interessiren kann. — Zuerst sind die allgemeinen Eigenschaften der Fachwerke, die Bedingungen der statischen Bestimmtheit und Unbestimmtheit, die Auflagerbedingungen u. s. w. besprochen. Daran schliesst sich die Erörterung der Berechnungsmethoden, von welchen der Complicirtheit des Problems wegen eigentlich nur die Cremona'sche wesentliche Dienste leistet. Specieller durchgenommen sind die Windverstrengungen der Brückenelemente; die klare Auseinanderhaltung der Wirkungsweise der verschiedenen derselben und die Regeln zur Berechnung der Windträger selbst und der auf die Gurtungen entfallenden Windbeanspruchungen werden, auch wenn sie nur angenähert sind, Manchem willkommen sein. Für oben liegende Fahrbahn machte Prof. Ritter Gebrauch von einem Verfahren Köchlins \*\*), welches er etwas abändert. Die genaue Behandlung der statisch unbestimmten räumlichen Systeme, welche die Brücke mit ihren Versteifungen bilden, wird so umständlich, dass von derselben in der Praxis keine Rede sein kann.

Als zweites Beispiel des räumlichen Fachwerks, welches ausführlich durchgenommen und welchem eine Tafel gewidmet, ist eine mit einer

\*) Obige Fig. 1, zu dem auf Seite 109 Gesagten gehörig, stellt die nach den verschiedenen Methoden berechneten Nebenspannungen dar, welche in der gebräuchlichen Weise über den Stabachsen aufgetragen sind. Weitere Erläuterungen scheinen überflüssig; man sieht, dass gelegentlich der Einfluss der Stabkrümmungen bedeutender sein kann als derjenige der Vernachlässigung der Füllungsglieder.

\*\*) Applications de Statique graphique, Seite 126 u. folg.