

Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe

Autor(en): **Tetmajer, L. von**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **27/28 (1896)**

Heft 9

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-82386>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe. — Ein Gang durch die Gruppe 34 der schweiz. Landesausstellung in Genf. I. — Die Hochbauten der Schweiz. Landesausstellung von 1896 in Genf. IV. — Das Projekt der Jungfraubahn. II. — Zur Generalversammlung der G. e. P. in Genf, Festbericht. II. (Schluss.) —

Litteratur: Notes et Croquis techniques sur Genève. Les ateliers de construction Oerlikon. — Erklärung: Jungfraubahn.

Hiezu eine Tafel: Schweiz. Landesausstellung in Genf 1896: Palast der Schönen Künste. Hauptportal.

Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe.

Auszug aus dem VIII. Hefte der Mitteilungen der Materialprüfungsanstalt am schweiz. Polytechnikum.

Von Prof. L. von Tetmajer in Zürich.

Im Frühjahre des laufenden Jahres hat durch Veröffentlichung der gewonnenen Resultate eine, vor 13 Jahren im Interesse der Abklärung des Verhaltens der wichtigsten Baumaterialien in der erweiterten Druckprobe begonnene Untersuchung ihren Abschluss gefunden. Wir hatten uns zur Aufgabe gemacht, die viel umstrittene, auf dem Boden theoretischer Spekulationen und experimenteller Untersuchungen vielfach ventilirte Frage nach den Abhängigkeitsverhältnissen des Tragvermögens centrischen Druckkräften ausgesetzter, prismatischer Stäbe zu deren massgebenden Längenverhältnissen zu studieren und insbesondere die Gültigkeitsgrenzen der theoretischen Formeln experimentell festzustellen. Dank dem Opfersinne einiger Materialproduzenten, sowie dem Entgegenkommen des Hrn. Ing. E. Roussel, Vorsteher der Materialprüfungsstation der belgischen Staatsbahnen, welcher die kostenfreie Ausführung solcher Druckproben (Gusseisen) vermittelte, für welche die Kraftentfaltung der Maschinen in der schweiz. Materialprüfungsanstalt nicht mehr ausreichte, ist es gelungen, für das *Bauholz*, das *Gusseisen*, das *Schweiss- und Flusseisen* in Konstruktionsqualität, die vom Boden des Elasticitätsgesetzes abgeleiteten, theoretischen Knickungsformeln zu kontrollieren, deren Gültigkeitsgrenzen festzustellen, das für den Konstrukteur besonders wichtige Gebiet der Längenverhältnisse gedrückter Stäbe diesseits jener Grenzen aufzuschliessen und damit die ganze Arbeit abzuschliessen.

An die 319 Einzelproben, die die Untersuchung des Holzes forderte, haben das Material in Abschnitten von Rot- und Weisstannen, Föhren, Lärchen und Eichen kostenfrei zu 183 Versuchen zu verschiedenen Zeiten die p. t. Forstverwaltungen der Kantone *Aargau*, *Bern*, *Graubünden*, *St. Gallen*, *Waadt*, *Wallis* und der Stadt *Zürich* geliefert; der Rest wurde aus dem Handel bezogen. Ursprünglich arbeiteten wir mit Balken von c. 10×10 cm, später und der Hauptsache nach mit solchen von c. 16×16 cm Querschnitt bei wechselnder bis 600 cm reichender Länge. Das Versuchsmaterial war lufttrocken; ungeachtet einer mehrmonatlichen Lagerung unter Dach besass die Eiche immer noch einen Feuchtigkeitsgehalt bis 24,7 %, während derselbe bei den übrigen Holzarten zwischen 10 und 18 % schwankte.

Das Verhalten des Gusseisens wurde an vierkantigen Vollbarren, sowie an Rohrabschnitten studiert. Zu den 296 ausgeführten Einzelversuchen waren c. 0,6 t Barrenguss und c. 13,0 t Röhrenguss erforderlich. Ersterer ist in einer Zürcher Eisengiesserei bezogen worden, letzteren haben kostenfrei geliefert:

die Verwaltung der L. von Roll'schen Eisenwerke, Choindex;

„ „ „ Halbergerhütte der Herren

„ „ „ R. Böcking et Comp., Brebach;

„ „ „ Giesserei der Herren Gebr. Carels in Gent.

Die Rohrabschnitte waren serienweise mit 10, 12 und 15 cm lichter Weite bei nominell 0,8 cm Wandstärke geliefert. Die Länge dieser Abschnitte variierte zwischen 20 und 400 cm; längere Rohre konnten in den vorgeschriebenen Abmessungen nicht gegossen werden. Sämtliche Rohre wurden auf Drehbänken ebenflächig und \perp zur Rohrachse abgestochen und mit etwas nachgeschliffenen Endflächen in die Festigkeits-Maschine gehängt. In den meisten Fällen waren Nachappreturen der Endflächen der Rohrabschnitte entbehrlich.

Zu den 349 Einzelversuchen in Schweiss- und Flusseisen, Konstruktionsmaterial, wurden etwa 16,0 t Eisen, teils in Form einfacher Walzstäbe, teils in Form zusammengenieteter Stäbe ebenfalls kostenfrei geliefert:

von der Verwaltung der Eisenwerke der Herren

F. Wendel et Comp., Hayange.

„ „ „ des Eisenwerks Kaiserslautern, sowie

„ „ „ der Burbacher Hütte bei Malstatt.

Der Form nach gelangten gedrehte und \perp zur Stabachse abgestochene *Rundeisen*, sodann *Winkelisen*, \perp -Eisen, \square -Eisen, Γ -Eisen, *Kreuzisen* aus vier Winkeln und zwei \perp -Eisen, ferner Γ -Profile, gebildet aus zwei \square -Eisen zur Probe. Diese Formeisenabschnitte waren in Längen von 30 bis 500 cm verfügbar.

Bezüglich der näheren Bestimmungen der Arbeitsprogramme, sowie der Art der Versuchsausführung sei auf das VIII. Heft der Mitteilungen der Materialprüfungsanstalt am schweiz. Polytechnikum verwiesen. Bemerken wollen wir bloss, dass die grössere Mehrzahl der ausgeführten Proben mit Spitzenlagerung der Stäbe ausgeführt wurde und dass bei Berechnung der Versuchsergebnisse als massgebende Länge das theoretische Mass, die halbe Balkenlänge in Anschlag gebracht wurde, so oft bei der Probe die feste Flächenlagerung des Balkens zur Anwendung kam.

Die gewonnenen Resultate klären das Verhalten der wichtigsten Baustoffe bei deren centrischer Inanspruchnahme auf Druck abschliessend auf; sie befestigen die schon durch *Bauschinger* gemachte Erfahrung, dass Baustoffe, die dem Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze folgen, wie das *Holz*, das *Schweiss- und Flusseisen*, der *Stahl* u. a. m., innerhalb bestimmter Grenzen, u. z. oft in überraschender Weise auch dem *Euler'schen* Gesetze folgen, dass dasselbe jedoch für Stäbe mit Längenverhältnissen, die in das Intervall diesseits jener Grenzen fallen, seine Gültigkeit verliert. Baustoffe, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen (*Gusseisen*, etc.), tragen in der erweiterten Druckprobe einen völlig andern Charakter. Von festen Grenzen der Gültigkeit der *Euler'schen* Formel kann bei diesen Materialien um so weniger die Rede sein, als fragliche Formel überhaupt und nur bei prismatischen Stäben mit relativ grossen Längenverhältnissen näherungsweise verwendbar ist.

Die Ergebnisse unserer Beobachtungen und Rechnungen lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

A. *Bauholz* (im Mittel für Nadelhölzer).

1. *Centrischem* Drucke unterworfenen Balken mit Längenverhältnissen $l : k > \text{etwa } 100$ tragen den Charakter vorwiegend *elastischer Körper*, ihre Formveränderung verschwindet nach Wegnahme der Grenzbelastung grösstenteils.

2. *Centrischem* Drucke unterworfenen Balken mit Längenverhältnissen $l : k < \text{etwa } 100$ tragen den Charakter vorwiegend *unelastischer Körper*, d. h. nach Wegnahme der Grenzbelastung verschwindet bloss ein relativ kleiner Teil der Formveränderungen.

3. Bei Balken mit vorwiegend *elastischem* Charakter ($l : k > \text{etwa } 100$) treten deutlich ausgeprägte, regelmässige *Biegungserscheinungen* auf, welche bis zur Grenze des Tragvermögens des Balkens, den Belastungen nicht proportional, oft *unregelmässig* wachsen. An der Grenze des Tragvermögens treten *Gefügezerstörungen*, die bekannten *Ineinanderpressungen* der Fasern, nur ausnahmsweise auf.

4. Bei Balken mit vorwiegend *unelastischem* Charakter ($l : k < \text{etwa } 100$) wechseln die *äusseren Erscheinungen*. Bei längeren Prismen treten oft regelmässige *Biegungserscheinungen* auf; oft steht der Balken fast regungslos bis zur Grenze seines Tragvermögens und schlägt sich sodann plötzlich durch. Der Verlust des Tragvermögens ist fast regelmässig mit *Gefügezerstörungen*, *Ineinanderpressungen* der Fasern, die stets an *Astknotten* beginnen, verbunden.

5. Die Druckfestigkeit des Holzes hängt in erster Linie von dessen Feuchtigkeit, sodann von der Beschaffenheit, Verteilung und Häufigkeit der Astknoten ab; mit wachsender Balkenlänge nimmt der Einfluss der Astknoten ab. Bei Balken mit Längenverhältnissen $l:k > 150$ ist derselbe bereits verschwindend klein, wenn die Astknoten verteilt, gut verwachsen und nicht aussergewöhnlich zahlreich sind.

6. Für lufttrockenes Nadelholz mit Längenverhältnissen $l:k > \text{etwa } 100$ stimmt die Euler'sche Formel:

$$\beta_k = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{k}{l}\right)^2 \text{ für } \varepsilon = 105 \text{ t pro cm}^2$$

mit den Mittelwerten der Versuchsergebnisse fast vollkommen überein. Für Längenverhältnisse mit $l:k < \text{etwa } 100$ verliert dieselbe ihre Gültigkeit und liegen die Mittelwerte der spezifischen Knickspannungen um eine Gerade von der Form:

$$\beta_k = a - b \left(\frac{l}{k}\right)$$

gruppiert. Werden die Konstanten a und b derart bestimmt, dass die Gerade zur Schwerlinie der Versuchsergebnisse wird, so findet man:

$$\beta_k = 0,293 - 0,00194 \left(\frac{l}{k}\right).$$

Die durch vorstehende Gleichung dargestellte Gerade schneidet die kubische Hyperbel Euler's für $\varepsilon = 105$ nicht.

Bringt man in Anschlag, dass zufolge der unvermeidlichen Reibung der stählernen Spitzen der beweglichen Lagerplatten in den Pfannen der festen Lagerplatten die unter zu Grundelegung der Spitzenköpfe gewonnenen Resultate eher etwas zu hoch ausgefallen sind, so wird man für den Elasticitätsmodul der Euler'schen Formel $\varepsilon = 100 \text{ t pro cm}^2$ annehmen, dieselbe somit in Form:

$$\beta_k = 987,0 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

schreiben dürfen, welche Gleichung für $\frac{l}{k} = 100$ den nämlichen Wert liefert, als die obenstehende empirische Knickspannungsformel.

Für alle Fälle der Anwendung hinreichend genau wird somit für Baubholz ähnlich dem schmiedbaren Eisen, welches wie das lufttrockene Holz eine ausgeprägte Elasticitätsgrenze besitzt, die Knickspannung durch folgende Formelgruppen ausgedrückt:

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} = 1,8$ bis 100 :

$$\beta_k = 0,293 - 0,00194 \left(\frac{l}{k}\right);$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} > 100$:

$$\beta_k = 987,0 \left(\frac{k}{l}\right)^2.$$

Bezeichnet F in cm^2 den Querschnittsinhalt des dem centrischen Drucke unterworfenen Balkens, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher entweder Ineinanderpressen der Fasern oder Verlust des Tragvermögens wegen Durchbiegung auftritt, ausgedrückt in t :

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} = 1,8$ bis 100 durch

$$N = \beta_k F = \left(0,293 - 0,00194 \frac{l}{k}\right) F;$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} > 100$ durch:

$$N = \beta_k F = 987,0 \left(\frac{k}{l}\right)^2 F = 987,0 \frac{J}{l^2}$$

dargestellt sein, worin $J = FK^2$ das kleinste Trägheitsmoment der Querschnittsfläche des Balkens bedeutet.

Ersetzt man in vorstehenden Formelgruppen den Trägheitshalbmesser k durch die kleinste Querschnittsbreite des gedrückten Balkens, setzt also für:

$$k = b \sqrt{\frac{1}{12}} = 0,3 b,$$

so wird die Knickungskraft N desselben

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{b} = 0,5$ bis 30 :

$$N = \beta_k F = \left(0,293 - 0,0065 \frac{l}{b}\right) F; \text{ ferner}$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{b} > 30$:

$$N = \beta_k F = 82,3 \left(\frac{b}{l}\right)^2 F \text{ betragen.}$$

Vorstehende Formeln liefern t à 1000 kg für F in cm^2 .

B. Gusseisen.

1. Das Material unserer Knickungsproben mit gusseisernen Stäben war sowohl bezüglich dessen chemischer Zusammensetzung als auch der physikalischen Eigenschaften nach verschiedenartig und verschiedenwertig.

2. Die chemische Analyse der Robrscherben, ausgeführt im Laboratorium der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt ergab:

an Graphit; gebund. C.; Mangan; Silicium; Phosphor; Schwefel.

Für Brebach-Eisen: Marke R (Röhrenguss)

2,684 0/0; 0,781 0/0; 0,346 0/0; 1,334 0/0; 1,470 0/0; 0,058 0/0.

Marke S (Säulenguss)

2,678 „ ; 0,910 „ ; 0,601 „ ; 1,691 „ ; 1,103 „ ; 0,077 „

Marke RL (gewöhnlicher Guss)

2,536 „ ; 0,758 „ ; 0,364 „ ; 2,418 „ ; 1,717 „ ; 0,052 „

Für Carels-frères-Eisen:

2,600 „ ; 0,600 „ ; 0,437 „ ; 2,394 „ ; 1,725 „ ; 0,035 „

Für Choindex-Eisen:

2,503 „ ; 1,128 „ ; 0,373 „ ; 1,640 „ ; 1,096 „ ; 0,065 „

3. Die Gütebiege- und Zerreihsproben, ausgeführt an vor-schriftsgemäss gegossenen Barren von $3,0 \times 3,0 \text{ cm}$ Querschnitt (vergl. die Konferenz-Beschlüsse München-Berlin) ergaben:

an Biege-arbeit; Durch-biegung; Biege-festigkeit; Zug-festigkeit; Druck-festigkeit.

Für Brebach-Eisen (Mittelwerte aus 6 Versuchen):

Marke R (Röhrenguss)

0,42 cm t ; 1,52 cm ; 2,60 t/cm^2 ; 1,78 t/cm^2 ; 8,09 t/cm^2 .

Marke S (Säulenguss)

0,46 cm t ; 1,60 cm ; 2,70 t/cm^2 ; 1,77 t/cm^2 ; 8,39 t/cm^2 .

Marke RL (gewöhnlicher Guss)

0,38 cm t ; 1,40 cm ; 2,54 t/cm^2 ; 1,77 t/cm^2 ; 8,22 t/cm^2 .

Für Choindex-Eisen (Mittel aus 4 Versuchen):

0,51 cm t ; 1,94 cm ; 2,33 t/cm^2 ; 1,43 t/cm^2 ; 6,20 t/cm^2 .

Spähne der den Gütebiegeproben unterworfenen Barren ergaben folgende Zusammensetzungen:

Graphit; gebund. C.; Mangan; Silicium; Phosphor; Schwefel.

Für Brebach-Eisen: Marke R (Röhrenguss)

2,771 0/0; 0,820 0/0; 0,433 0/0; 1,504 0/0; 1,364 0/0; 0,080 0/0.

Marke S (Säulenguss)

2,679 „ ; 1,002 „ ; 0,546 „ ; 1,455 „ ; 0,978 „ ; 0,082 „

Marke RL (gewöhnlicher Guss)

2,605 „ ; 0,660 „ ; 0,355 „ ; 2,307 „ ; 1,712 „ ; 0,052 „

Für Choindex-Eisen:

2,996 „ ; 0,999 „ ; 0,275 „ ; 1,239 „ ; 0,744 „ ; 0,043 „

4. Direkte Beobachtungen lehren und es bestätigt die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse die Erfahrung, dass das Gusseisen in der erweiterten Druckprobe weder eine sprungweise Aenderung des gesetzmässigen Verlaufs der Tragkräfte an der Grenze, noch eine deutlich ausgeprägte Verschiedenheit im Charakter der Formänderungen zeigt. Diese Beobachtung ist eine unmittelbare Folge der Gefügebeschaffenheit des Gusseisens. Je graphitreicher das Eisen, je größer und dunkler das Korn, desto grösser die bleibenden Formänderungen unter sonst gleichen Umständen. Eine bestimmte Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze besitzt das Gusseisen nicht und da dasselbe dem Proportionalitätsgesetze überhaupt nicht folgt, so können auch die Formeln der Elasticitätslehre für das Gusseisen nur den Wert roher Annäherungen für sich in Anspruch nehmen.

5. Stäbe in grauem Giessereieisen mit einem Längenverhältnisse $\frac{l}{k} = c$. 80 nähern sich dem Charakter vorwiegend elastischer Körper; mit darüber hinauswachsenden Längenverhältnissen der Stäbe mildern sich die aus der Gefügebeschaffenheit des grauen Gusseisens herrührenden Abweichungen vom Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze des schmiedbaren Eisens, sodass für Gusstäbe von $l:k > \text{etwa } 80$ an die Euler'sche Knickungsformel auch für

das mittel- und feinkörnige, graue Gusseisen benützt und die spezifische Knickspannung durch:

$$\beta_k = 9870,0 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

ausgedrückt werden darf.

6. Für Gusseisen mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} < c. 80$ verliert die Euler'sche Formel ihre Gültigkeit und es liegen die Mittelwerte der spezifischen Knickspannungen um eine parabolische Kurve gruppiert, welche für alle Bedürfnisse der Anwendung hinreichend genau durch die Gleichung:

$$\beta_k = 0,00053 \left(\frac{l}{k}\right)^2 - 0,120 \frac{l}{k} + 7,76 (t/cm^2)$$

ausgedrückt werden.

7. Bezeichnet man mit F in cm^2 den Querschnittinhalt des einem centrischen Drucke unterworfenen Gusstabes, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher Bruch eintritt, für praktische Bedürfnisse ausreichend genau ausgedrückt durch folgende Formelgruppen (in t zu 1000 kg):

für Stäbe mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} =$ etwa 5 bis 80:

$$N = \beta_k F = \left[0,00053 \left(\frac{l}{k}\right)^2 - 0,120 \frac{l}{k} + 7,76\right] F;$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} > 80$:

$$N = \beta_k F = 9870,0 \left(\frac{k}{l}\right)^2 F.$$

C. Schmiedbares Eisen, Konstruktionsqualität.

Die Ergebnisse dieser Versuchsserien sind aus frühern Veröffentlichungen bekannt. An Koeffizienten unserer älteren Formeln haben wir einige Aenderungen vorgenommen und dadurch Rechnung und Versuch in noch bessere Uebereinstimmung gebracht, als dies früher der Fall gewesen. Des Zusammenhangs willen seien hier die fraglichen Resultate nochmals übersichtlich zusammengestellt.

1. Ungeachtet aller Vorsicht und Sorgfalt in der Appretur und Einspannung der Probestäbe war nicht zu vermeiden, dass einzelne derselben zu Folge ungenügender Geradheit, Querschnittsänderungen, Materialfehler u. d. m. sich verbogen und ihre Tragkraft vorzeitig verloren haben.

2. Umgekehrt trugen einzelne Stäbe mehr als nach den festgestellten Gesetzen durchschnittlich zu erwarten war. Der Grund dieser Erscheinung ist bedingt durch das zufällige Zusammenwirken günstiger Nebenumstände, zufälliger Härte- und Dichteverhältnisse, Lage der Krafttrichtung gegen die Stabachse u. d. m.

3. Einflüsse der Form der Versuchsstäbe auf die Knickfestigkeit des schmiedbaren Konstruktionseisens werden wahrscheinlich bestehen. Vorliegende Versuchsreihen geben indessen zur Beurteilung derselben keine Anhaltspunkte.

4. Die durch Nietung zusammengesetzten Stäbe verhalten sich wie einfache Walzprofile, sofern:

a. die Nietabstände (Teilung) die 70-fache Dicke der gefassten Flanschen nicht überschreiten. Ob nicht noch grössere Nietabstände zulässig wären, lässt sich aus unseren Versuchen nicht ableiten. Versuche, ausgeführt an Stäben mit Kreuzprofilen aus zwei Winkelleisen, die den mittleren Stäben der eingestürzten Mönchensteiner Brücke nachgebildet waren (vergl. die Schweiz. Bauzeitung, Bd. XXI, Nr. 16 und 17), lehren, dass vier nietige Versteifungsbänder mit paarweise gegenüberliegenden Nietten bei einem Abstände gleich der 80-fachen Winkeldicke, die Teilprofile zu einem Profil zu vereinigen nicht mehr vermochten. In der Druckprobe haben diese Stäbe entsprechend den Trägheitsmomenten der Einzelwinkel und nicht mit denjenigen des ganzen Kreuzprofils gearbeitet;

β. die Nietten die Niellöcher satt ausfüllen;

γ. die Schwächung der Stabquerschnitte durch Niellöcher durchschnittlich etwa 12% nicht überschreitet.

5. Hinsichtlich der Einflüsse der Nietung, insbesondere der Schwächung des Stabquerschnitts durch Niellöcher, sowie der Lage der Niellöcher im Querschnitt ist das Flusseisen im allgemeinen empfindlicher als das Schweisseisen.

6. Die Durchbiegung der Druckstäbe mit Längenverhältnissen $l : o >$ etwa 100 erfolgt in der Regel allmählich und es sind die Formänderungen vorwiegend elastischer Art. Stäbe mit Längenverhältnissen $l : k <$ etwa 100 verbiegen sich meist plötzlich, oft erst an der Grenze des Tragvermögens; die Formänderungen tragen sodann der Hauptsache nach den Charakter unelastischer Körper.

7. Die Richtung der Durchbiegung korrespondiert in der Regel mit der Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers des Stabquerschnitts.

8. Das Tragvermögen der Stäbe an der Grenze hängt von deren Längenverhältnissen ab. Stäbe mit Längenverhältnissen

beim Schweisseisen: (mit einer Zugfestigkeit $\leq 4,0 t$ pro cm^2):
 $\frac{l}{k} \leq$ etwa 112

beim Flusseisen:

$\frac{l}{k} \leq$ etwa 105

folgen dem Euler'schen Gesetze und es sind die Knickspannungen und Knickkräfte ausgedrückt durch:

$$\beta_k = 19740 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t/cm^2; \quad \beta_k = 21220 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t/cm^2.$$

$$N = \beta_k F = 19740 F \left(\frac{k}{l}\right)^2 \text{ in } t; \quad N = \beta_k F = 21220 F \left(\frac{k}{l}\right)^2 \text{ in } t.$$

9. Stäbe mit Längenverhältnissen

beim Schweisseisen:

beim Flusseisen:

$\frac{l}{k} =$ etwa 10 bis 112

$\frac{l}{k} =$ etwa 10 bis 105

folgen dem Euler'schen Gesetze nicht und bestätigen unsere Versuche, dass in diesem Intervalle das Tragvermögen der Stäbe in schmiedbarem Eisen, ähnlich jenem der Baubölzer, mit abnehmenden Längenverhältnissen angenähert proportional wächst und die Knickspannungen und Knickkräfte durch folgende Formeln ausgedrückt werden können:

$$\beta_k = 3,93 - 0,0129 \frac{l}{k}, t/cm^2; \quad \beta_k = 3,10 - 0,0114 \frac{l}{k}, t/cm^2.$$

$$N = \left(3,03 - 0,0129 \frac{l}{k}\right) F \text{ in } t; \quad N = \left(3,10 - 0,0114 \frac{l}{k}\right) F \text{ in } t$$

10. Für härtere Flusseisenarten, für solche mit mehr als 4,0 t/cm^2 Zugfestigkeit blieben folgende Formelgruppen in Kraft,

bei Stäben mit Längenverhältnissen:

$\frac{l}{k} \geq 105$

$\frac{l}{k} =$ etwa 10 bis 105.

$$\beta_k = 22200 \left(\frac{k}{l}\right)^2, t/cm^2; \quad \beta_k = 3,21 - 0,0116 \frac{l}{k}, t/cm^2.$$

$$N = 22200 F \left(\frac{k}{l}\right)^2, \text{ in } t; \quad N = \left(3,21 - 0,0116 \frac{l}{k}\right) F, \text{ in } t.$$

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass die Navier'sche bzw. Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel die ausgewiesenen Knickungsgesetze zum Ausdruck zu bringen nicht vermag, und dass der Koeffizient dieser Formel, der sogen. Knickungskoeffizient für das Holz, Gusseisen und das schmiedbare Eisen weder konstant ist, noch durch eine Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

Ein Gang durch die Gruppe 34 der schweiz. Landesausstellung in Genf.

Von A. Bertschinger,

Adjunkt des techn. Inspektors der schweiz. Eisenbahnen.

I.

Transportmittel und Verkehrsweisen nehmen die vordere Hälfte des rechten Seitenschiffes der weiten Maschinenhalle ein. Die grosse Mehrzahl der Ausstellungsbesucher betritt von hier aus, vom Palast der schönen Künste oder von der Industrieabteilung herkommend, die stolze Halle und steht bewundernd vor den zwei Kolossen von Lokomotiven, denen es gelingt, den Eindruck der Leere, dessen man sich im gewaltigen Mittelschiff des Gebäudes nicht ganz erwehren kann, zu mildern.

Wir nehmen den officiellen Ausstellungskatalog zur Hand und finden dort unter Gruppe 34, in nicht gerade sehr logischer Reihenfolge zusammengewürfelt: „Lokomotiv-