**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung

**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

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

**Heft:** 9

**Artikel:** Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe

**Autor:** Tetmajer, L. von

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-82386

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 14.07.2025

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

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 ventilierte 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, Choindez;
„ „ „ 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 ⊥ 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 ⊥ zur Stabachse abgestochene *Rundeisen*, sodann *Winkeleisen*, ⊤-*Eisen*, ⊏-*Eisen*, ⊥-*Eisen*, *Kreuzeisen* aus vier Winkeln und zwei ⊤-Eisen, ferner ⊥-*Profile*, gebildet aus zwei ⊏-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 Versuchsresultate 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 Interval 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 unterworfene Balken mit Längenverhältnissen $l : k >$ etwa 100 tragen den Charakter vorwiegend elastischer Körper*, ihre Formveränderung verschwindet nach Wegnahme der Grenzbelastung grösstenteils.

2. *Centrischem Drucke unterworfene Balken mit Längenverhältnissen $l : k <$ 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 ($l : k >$ 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 Gefüge-Zerstörungen, die bekannten Ineinanderpressungen der Fasern, nur ausnahmsweise auf.

4. *Bei Balken mit vorwiegend unelastischem Charakter ($l : k <$ etwa 100) wechseln die äusseren Erscheinungen.* Bei längern Prismen treten oft regelmässige Biegungserscheinungen auf; oft steht der Baken fast regungslos bis zur Grenze seines Tragvermögens und schlägt sich sodann plötzlich durch. Der Verlust des Tragvermögens ist fast regelmässig mit Gefügezerstörungen, Ineinanderpressen der Fasern, die stets an Astknoten 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 $l : k >$ etwa 100 stimmt die Euler'sche Formel:*

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

*mit den Mittelwerten der Versuchsresultate fast vollkommen überein. Für Längenverhältnisse mit $l : k <$ etwa 100 verliert dieselbe ihre Gültigkeit und liegen die Mittelwerte der specifischen 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 Grade zur Schwerlinie der Versuchsresultate wird, so findet man:

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

Die durch vorstehende Gleichung dargestellte Grade 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 Spitzenkörner gewonnenen Resultate eher etwas zu hoch ausgefallen sind, so wird man für den Elasticitätsmodul der Euler'schen Formel $\varepsilon = 100\ t$ 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 Knickungsformel.

*Für alle Fälle der Anwendung hinreichend genau wird somit für Bauholz 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 Rohrscherben, ausgeführt im Laboratorium der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt ergab:*

| an Graphit; | gebund. C.; | Mangan; | Silicium; | Phosphor; | Schwefel. |
|---|---|---|---|---|---|
| Für *Brebacher-Eisen*: Marke R (Röhrenguss) | | | | | |
| 2,684 % | 0,781 % | 0,346 % | 1,334 % | 1,470 % | 0,058 %. |
| 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 *Choindez-Eisen*: | | | | | |
| 2,503 „ | 1,128 „ | 0,373 „ | 1,640 „ | 1,096 „ | 0,065 „ |

3. *Die Gütebiege- und Zerreissproben, ausgeführt an vorschriftsgemäss gegossenen Barren von 3,0 × 3,0 cm Querschnitt* (vergl. die Konferenz-Beschlüsse München-Berlin) ergaben:

| an Biegungsarbeit; | Durchbiegung; | Biegungsfestigkeit; | Zugfestigkeit; | Druckfestigkeit. |
|---|---|---|---|---|
| Für *Brebacher-Eisen* (Mittelwerte aus 6 Versuchen): | | | | |
| Marke R (Röhrenguss) | | | | |
| 0,42 *cm t*; | 1,52 *cm*; | 2,60 *t/cm²*; | 1,78 *t/cm²*; | 8,09 *t/cm²*. |
| Marke S (Säulenguss) | | | | |
| 0,46 *cm t*; | 1,60 *cm*; | 2,70 *t/cm²*; | 1,77 *t/cm²*; | 8,39 *t/cm²*. |
| Marke RL (gewöhnlicher Guss) | | | | |
| 0,38 *cm t*; | 1,40 *cm*; | 2,54 *t/cm²*; | 1,77 *t/cm²*; | 8,22 *t/cm²*. |
| Für *Choindez-Eisen* (Mittel aus 4 Versuchen): | | | | |
| 0,51 *cm t*; | 1,94 *cm*; | 2,33 *t/cm²*; | 1,43 *t/cm²*; | 6,20 *t/cm²*. |

*Spähne* der den Gütebiegeproben unterworfenen Barren ergaben folgende Zusammensetzungen:

| Graphit; | gebund. C.; | Mangan; | Silicium; | Phosphor; | Schwefel. |
|---|---|---|---|---|---|
| Für *Brebacher-Eisen*: Marke R (Röhrenguss) | | | | | |
| 2,771 % | 0,820 % | 0,433 % | 1,504 % | 1,364 % | 0,080 %. |
| 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 *Choindez-Eisen*: | | | | | |
| 2,996 „ | 0,999 „ | 0,275 „ | 1,239 „ | 0,744 „ | 0,043 „ |

4. *Direkte Beobachtungen lehren und es bestätigt die graphische Darstellung der Versuchsresultate 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 gröber 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 $l : k >$ etwa 80 an die Euler'sche Knickungsformel auch für*

*das mittel- und feinkörnige, graue* Gusseisen benützt und die specifische 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 specifischen 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 Koefficienten 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 Kraftrichtung gegen die Stabachse u. d. m.

3. *Einflüsse der Form der Versuchsstäbe auf die Knickungsfestigkeit 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:

*α. 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 Winkeleisen, 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 Nieten bei einem Abstande 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 Nieten die Nietlöcher satt ausfüllen;*

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

5. *Hinsichtlich der Einflüsse der Nietung, insbesondere der Schwächung des Stabquerschnitts durch Nietlöcher, sowie der Lage der Nietlöcher 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:* $\frac{l}{k} \leqq$ etwa 112

beim *Flusseisen:* (mit einer Zugfestigkeit $\leqq 4{,}0\ t$ pro $cm^2$): $\frac{l}{k} \leqq$ etwa 105

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

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

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

9. *Stäbe mit Längenverhältnissen*

beim *Schweisseisen:* $\frac{l}{k}$ = etwa 10 bis 112

beim *Flusseisen:* $\frac{l}{k}$ = 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 Bauhölzer, mit abnehmenden Längenverhältnissen angenähert proportional wächst und die Knickspannungen und Knickungskräfte 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 Flusseisensorten, für solche mit mehr als 4,0 $t/cm^2$ Zugfestigkeit blieben folgende Formelgruppen in Kraft,*

bei Stäben mit Längenverhältnissen:

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

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

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

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass die *Navier'*sche bezw. *Schwarz-Rankine'*sche Knickungsformel die ausgewiesenen Knickungsgesetze zum Ausdrucke zu bringen nicht vermag, und dass der Koefficient dieser Formel, der sogen. Knickungskoefficient 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 Verkehrswesen* 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-