

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	21/22 (1893)
<b>Heft:</b>	8
<b>Artikel:</b>	Formeln zur Berechnung auf Knickung beanspruchter Stäbe aus Schweiss- und Flusseisen
<b>Autor:</b>	Tetmajer, L.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-18166">https://doi.org/10.5169/seals-18166</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:** 10.02.2026

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

so war eine besondere Einteilung bei den Bogenübergängen notwendig, die durch Verwendung von Segmenten mit entsprechend grösserem Radius bewerkstelligt worden ist.

**Steigung.** Die Maximalsteigung,  $25\%$ , kommt im ganzen nur auf  $1590\text{ m}$  oder  $11,2\%$  der ganzen Länge vor. Die durchschnittliche Steigung Lauterbrunnen-Scheidegg beträgt  $13,5\%$  und die von Grund-Scheidegg  $14,7\%$ . Grund liegt um  $147\text{ m}$  und Grindelwald um  $238\text{ m}$  höher als Lauterbrunnen. Gegengefälle kommen nirgends vor. Die Stationen Lauterbrunnen-Wengernalp, Scheidegg, Grund und Grindelwald liegen horizontal. Die Station Wengen hat  $7\%$  und Alpiglen  $2\%$  Neigung. Die schwächste Steigung auf offener Bahn beträgt  $3\%$ . Diese Verhältnisse nötigten zur Kuppelung der Fahrzeuge auf den horizontalen und schwach geneigten Strecken, da sonst bei der Bergfahrt der Wagen leicht vorprallen und bei der Thalfahrt leicht zurückbleiben und aufrinnen könnte. Vor der Befahrung jener Strecken wird der Kuppelungshaken (Fig. 3 u. 4) mittels eines über das Wagendach geführten Drahtseilzuges vom Kondukteur heruntergelassen. Obwohl sich bis dahin diese Kuppelung bewährt hat, so ist doch nicht zu erkennen, dass die Fahrt ruhiger und der Betrieb einfacher sein würde, wenn sowohl auf offener Strecke wie auf den Bahnhöfen eine Neigung von wenigstens  $4\%$  möglich gewesen wäre. Dadurch würden auch die in die Station hineinragenden vertikalen Übergangskurven und die Stationslängen zwischen den Steilrampen verkürzt.

Die grosse Entfernung Wengen-Wengernalp forderte in der Mitte in Rücksicht auf möglichst ungehinderte Cirkulation der berg- und thalwärts fahrenden Züge die Anlage einer Kreuzungsstelle mit Bude für den Telegraphisten. Dieser Umstand ist ein nicht unwesentlicher Faktor des Betriebes; es sollten daher schon bei der Projektverfassung einer Bahn Fahrplanentwürfe aufgestellt werden, weil nachträglich Unterbau- und Steigungsverhältnisse wohl die Einschaltung von Schiebebühnen, nicht immer aber von diesen weit vorzuziehenden Zahnstangenweichen ermöglichen würden.

(Fortsetzung folgt.)

### Formeln zur Berechnung auf Knickung beanspruchter Stäbe aus Schweiss- und Flusseisen.

Von Prof. L. Tetmajer in Zürich.

In einer Abhandlung der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins vom 23. Juni 1. J. (Nr. 25, Seite 358) liefert Herr R. F. Mayer, Suppleant an der k. k. technischen Hochschule in Wien, unter Benützung unserer Knickungsformeln einen beachtenswerten Beitrag zur Dimensionenberechnung auf Knickung beanspruchter Stäbe in Eisenkonstruktionen.

Bezeichnet in  $t$  pro  $\text{cm}^2$

$\beta_k$  die Knickspannung,

$\sigma_k$  die zulässige Inanspruchnahme auf Knickung, mit

$\beta_d$  die Druckfestigkeit,

$\sigma_d$  die zulässige Inanspruchnahme des Eisens auf Druck; bezeichnet endlich

$\alpha$  den Abminderungskoeffizienten der zulässigen Druckspannung wegen Knickgefahr, so wäre

$$\sigma_k = \alpha \cdot \sigma_d$$

worin nach Mayers Ermittlungen  $\alpha$  zu setzen wäre

bei Schweisseisen; Flusseisen.

für Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k = 10$  bis  $110$

$$\alpha = 1 - 0,0043 \frac{l}{k}; \quad = 1 - 0,0036 \frac{l}{k},$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k \geq 110$

$$\alpha = 6500 \left( \frac{k}{l} \right)^2; \quad = 6900 \left( \frac{k}{l} \right)^2,$$

wenn  $l$  die freie Knicklänge,

$k$  den Trägheitshalbesser des Stabquerschnitts in der Knickrichtung bedeutet.

In dieser Form der Wiedergabe unserer Versuchsergebnisse liegt eine Fehlerquelle vor, die vorstehende Formeln

mit der Schwarz-Rankine'schen teilen, und welche in ihren Konsequenzen zu einer unbewussten Abminderung des angenommenen Sicherheitsgrades der gedrückten Organe der Konstruktion führen kann. In der Schwarz-Rankine'schen Formel

$$\sigma_k = \frac{\sigma_d'}{1 + \eta \left( \frac{l}{k} \right)^2},$$

ist, wie wir s. Z. nachgewiesen haben<sup>\*)</sup>, für das schmiedbare Konstruktionseisen  $\sigma_d'$  nicht eigentlich die zulässige Inanspruchnahme auf Druck, sondern ein Wert  $<$  als diese, welchen der Konstrukteur Fall für Fall unter zu Grundelegung des Erfahrungskoeffizient und des gewählten Sicherheitsgrades zu ermitteln hat, während man wohl mit Recht gewohnt ist, die auf Grundlage irgend eines der bekannten Verfahren ermittelte Grösse der zulässigen Inanspruchnahme auf Zug, derjenigen auf Druck und Biegung gleichwertig anzusehen und in die Dimensionenberechnung von Eisenkonstruktionen einzustellen ( $\sigma_z = \sigma_d = \sigma_b$ ). Gleches gilt von den Mayer'schen Formelgruppen, soferne  $\sigma_d$  nicht auch Fall für Fall ermittelt, sondern etwa, wie dies wohl in der Regel auch geschieht, der zulässigen Inanspruchnahme des Eisens auf Zug gleichwertig angenommen wird. Wie uns scheint ist dieser Punkt in der Mayer'schen Abhandlung nicht genügend scharf hervorgehoben, obschon bei Anlass der Konstanten-Bestimmung angeführt wurde, dass für seine Formelgruppe

$$\sigma_d = \frac{A}{n}$$

bedeutet, worin

$A$  nach unseren Ermittlungen für Schweisseisen:  $3,03\text{ t}$ ,

für Flusseisen:  $3,21\text{ t}$  pro  $\text{cm}^2$  zu setzen wäre und

$n$  den gewählten Sicherheitsgrad der Konstruktion bedeutet.

Die Gültigkeitsgrenzen unserer Knickungsformeln sind angegeben. Man weiss, dass dieselben für Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k < 18$  (vergl. das 4. Heft unserer offiziellen Mitteilungen, S. 167 — 168) keine Gültigkeit mehr besitzen, dass vielmehr für Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k < 18$  die Knickfestigkeit in Druckfestigkeit übergeht, für welche verschiedene Experimentatoren sehr verschiedene Zahlenwerte angegeben haben. Wir erinnern nur an Bauschingers einschlägige Arbeiten, aus welchen für das Schweisseisen eine Druckfestigkeit schwankend zwischen  $3,5$  und  $5,5\text{ t}$  pro  $\text{cm}^2$  resultiert, während amerikanische Ingenieure für diese schlechtweg  $3,0\text{ t}$  pro  $\text{cm}^2$  setzen. Nach unsern Erfahrungen (vergl. das 4. Heft, S. 50—81) ist die Druckfestigkeit des schmiedbaren Konstruktionseisens angenähert der Zugfestigkeit gleich; bei Anstrengungen über dieses Mass des Kohäsionswiderstandes hinaus, tritt das Eisen in eine Zustandsform plastischer Deformabilität, die sich in der Zugprobe durch lokales Zerfliessen, durch Kontraktionserscheinungen, die Vorläufer der Trennung der Teile, des eigentlichen Bruches, geltend macht. Die Resultate unserer Beobachtungen begründen somit auch die Berechtigung, die zulässige Inanspruchnahme des Eisens auf Zug jener auf Druck gleich zu setzen und als numerisch gleichwertig zu behandeln.

Anlässlich der Beratungen des Entwurfs der schweiz. Brückenverordnung haben wir in einer unberücksichtigt gebliebenen Eingabe vom 26. Januar 1892 das techn. Inspektorat schweiz. Eisenbahnen auf die Sachlage in eingehender Weise aufmerksam gemacht und zur Berücksichtigung der Knickgefahr die Einführung von Abminderungskoeffizienten der zulässigen Inanspruchnahme auf Druck (gleich jener auf Zug und Biegung) schon deshalb empfohlen, um das anderseits aufgebrachte Korrektiv der Inanspruchnahme auf Druck bei Stäben mit Knickgefahr ( $l:k \leq 18$ ) aus der Welt zu schaffen, durch welches Konstruktionen entstehen können, deren gedrückte, also durch die Möglichkeit seitlicher Ausweichungen stets in höherem Masse gefährdeten Organe einen geringeren Sicherheitsgrad aufweisen als die gespannten, was ebenso unlogisch als unrationell ist.

Die Forderung gleicher Sicherheit für sämtliche

<sup>\*)</sup> Vergl. die Anmerkung auf Seite 169 des 4. Heftes unserer offiziellen Mitteilungen.

Teile einer Eisenkonstruktion lässt sich grundsätzlich durch die in genannter Eingabe entwickelten Formeln erreichen, welche Formeln jenen des Herrn R. F. Mayer bis auf konst. Faktoren entsprechen, diesen gegenüber jedoch den Vorzug haben, bei ihrer Anwendung keine Irrtümer aus unrichtiger Wahl der Grösse von  $\sigma_a$  zuzulassen, indem die — ähnlich wie bei der Schwarz-Rankine'schen Formel — nötige Zwischenrechnung (die Ermittlung des Wertes von  $\sigma_a$ ) entfällt, weil man einfach den ein für allemal ermittelten Wert der zulässigen Inanspruchnahme auf Zug gleich jenem auf Druck ( $\sigma_z = \sigma_a$ ) in Rechnung zu stellen hat.

Auf Grundlage unserer Versuche sind die spezifischen Knickspannungen in  $t$  pro  $cm^2$  ausgedrückt:

$$\text{Schweisseisen} \quad \text{Flusseisen}$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k = 18$  bis rund 110 durch:

$$\beta_k = 3,03 - 0,013 \frac{l}{k}; = 3,21 - 0,0116 \frac{l}{k},$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:k > 110$

$$\beta_k = 19740 \left( \frac{k}{l} \right)^2; = 22200 \left( \frac{k}{l} \right)^2,$$

dabei beträgt die Druckfestigkeit des Eisens im Mittel:

$$\beta_d = 3,60 t \text{ pro } cm^2 = 4,00 t \text{ pro } cm^2.$$

Die zulässige Inanspruchnahme der, der Knickgefahr unterworfenen Stäbe ist allgemein durch

$$\sigma_k = \frac{\beta_k}{\beta_d} \cdot \sigma_d = \alpha \sigma_d$$

ausgedrückt, welche Gleichung unter Berücksichtigung der Werte von  $\beta_k$  und  $\beta_d$  zu folgenden Ausdrücken führt:

$$\text{Schweisseisen} \quad \text{Flusseisen}$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen von rund  $\frac{l}{k} = 15$  bis 110

$$\sigma_k = \left( 0,84 - 0,016 \frac{l}{k} \right) \sigma_d; = \left( 0,80 - 0,0029 \frac{l}{k} \right) \sigma_d$$

oder im Mittel für Fluss- und Schweisseisen:

$$\sigma_k = \left( 0,82 - 0,0022 \frac{l}{k} \right) \sigma_d \dots \dots \quad (I)$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen  $\frac{l}{k} > 110$

$$\sigma_k = 5480 \left( \frac{k}{l} \right)^2 \sigma_d; = 5550 \left( \frac{k}{l} \right)^2$$

oder im Mittel für Fluss- und Schweisseisen:

$$\sigma_k = 5520 \left( \frac{k}{l} \right)^2 \sigma_d \dots \dots \quad (II)$$

Formeln I und II sind für alle Bedürfnisse der Anwendung hinreichend genau; eine gesonderte Berechnung der Abminderungskoeffizienten für das Schweiss- und das Flusseisen erscheint angesichts der an sich unbedeutenden Abweichung der Zahlenwerte und mit Rücksicht auf die bei Dimensionierung der Knickgefahr unterworfenen Stäben sonst auftretenden Unsicherheiten unnötig und von illusorischem Werte.

Tabelle der Abminderungskoeffizienten für das Fluss- und Schweisseisen.

$l:k$	$\alpha$	$l:k$	$\alpha$	$l:k$	$\alpha$	$l:k$	$\alpha$
15	0,79	75	0,66	135	0,30	195	0,15
20	0,78	80	0,64	140	0,28	200	0,14
25	0,77	85	0,63	145	0,26	205	0,13
30	0,75	90	0,62	150	0,25	210	0,13
35	0,74	95	0,61	155	0,23	215	0,12
40	0,73	100	0,60	160	0,22	220	0,11
45	0,72	105	0,59	165	0,20	225	0,11
50	0,71	110	0,52	170	0,19	230	0,10
55	0,70	115	0,42	175	0,18	235	0,10
60	0,69	120	0,38	180	0,17	240	0,10
65	0,68	125	0,35	185	0,16	245	0,09
70	0,67	130	0,33	190	0,15	250	0,09

## Der internationale Ingenieur-Kongress in Chicago.

Während die Ausstellung im Jackson-Park täglich etwa 100 000 Besucher heranlockt, tagt in der Stadt selbst in ununterbrochener Folge eine Reihe von internationalen, wissenschaftlichen und philanthropischen Kongressen, alle unter der Oberleitung des Richters Charles C. Bonney. Die Woche vom 31. Juli bis 5. August wurde den Ingenieuren eingeräumt. An sämtliche Ingenieur-Vereine der Welt waren Einladungen zur Teilnahme abgesandt worden, so auch an den Schweizer. Ingenieur- und Architekten-Verein.\* Ausser Amerika, das selbstverständlich die grösste Zahl der Teilnehmer lieferte, waren fast alle Kulturstaten der Welt vertreten, in erster Linie Deutschland, England und Frankreich.

Die Versammlungen fanden in dem unlängst im Geschäftsviertel der Stadt, dicht am Ufer des Michigansees errichteten Kunstgebäude (Art Palace) statt. Der erste und letzte Tag waren hauptsächlich den gemeinschaftlichen Sitzungen gewidmet. An den übrigen Tagen verteilt sich die Teilnehmer auf folgende sieben Sektionen:

- A. Civilingenieurwesen.
- B. Maschinenbau.
- C. Bergbau.
- D. Metallurgie.
- E. Unterrichtswesen.
- F. Militäringenieurwesen.
- G. Marine und Schiffsbau.

Die Sektionen C und D hielten meist gemeinschaftliche Sitzungen ab. Die Sektion E war ursprünglich den Elektrikern zugedacht; doch da die Jünger der theoretischen und angewandten Elektricität Ende August zu einem besondern Kongresse zusammentreten, so liess man diesen Zweig des Ingenieurwesens fallen und setzte an dessen Stelle das Unterrichtswesen, und mit gutem Erfolge; denn die Sektion E bot in mancher Hinsicht hervorragendes Interesse. Sie vereinigte in sich eine grosse Zahl zum Teil bedeutender Professoren der Ingenieurwissenschaften und gewährte dem aufmerksamen Beobachter einen guten Einblick in das Unterrichtswesen der amerikanischen Ingenieurschulen, besonders wenn er seine Aufmerksamkeit zugleich der schönen, wohlgeordneten Ausstellung amerikanischer Unterrichtsanstalten im Jackson Park zuwandte.

Erschreckend gross war die Zahl der angemeldeten Vorträge. Das Programm stellte deren nicht weniger als 213 in Aussicht, und zwar in Sektion A 52, B 23, C 15, D 23, E 23, F 32, G 45, wozu noch eine Reihe von Vorträgen über Luftschiffahrt kamen. Auf amerikanische Redner fielen gut  $\frac{2}{3}$  aller Vorträge, auf Deutschland 23, auf England 14, auf Frankreich 8. Glücklicherweise fiel ein sehr grosser Teil des überreichen Stoffes dahin, weil die Verfasser nicht erschienen. Auch wurde ausdrücklich verlangt, dass die Vorträge nicht vollständig, sondern nur auszugsweise vorgelesen werden sollten. Nichtsdestoweniger war die Geschicklichkeit bewundernswert, mit der es die Vorsitzenden fertig brachten, neben den Vorträgen noch Zeit zu Diskussionen, zum Teil sehr eingehenden zu gewinnen. Sämtliche Vorträge wurden englisch gehalten, bzw. gelesen. Eine grössere Anzahl lag bereits gedruckt vor und stand den Liebhabern zur Verfügung. Auch in den Diskussionen wurde nur sehr selten eine andere als die englische Sprache gehört.

Ihren Berichterstatter interessierten hauptsächlich die Verhandlungen der Civilingenieure. Doch war der ihnen zugewiesene Raum ungünstig gelegen. Durch die blos mit einem Vorhang abgeschlossene Thüre drang fortwährendes Geräusch der Vorübergehenden und von draussen ertönte fast ununterbrochen das dumpfe Rollen der Wagen und das Läuten und Schnauben der Lokomotiven, sodass es meistens nur den zunächst Sitzenden möglich war, das Gesprochene zu verstehen. Einigen Trost gewährte es in dieser Hinsicht, zu sehen, dass die Verhandlungen von einem

\*) Siehe Schweiz. Bztg. Bd. XXI S. 152.