

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 13/14 (1889)
Heft: 3

Artikel: Notiz zur Frage der Knickfestigkeit des schmiedbaren
Constructionseisens
Autor: Tetmajer, L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-15589>

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: 21.02.2026

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

Hieraus bestimmte sich in Verbindung mit den Höhenmessungen in erster Linie die Höhendifferenz zwischen der mittleren Höhenmarke und der Verbindungslinie der seitlichen Festpunkte an der stromaufwärts gelegenen Tragwand zu $-15,53 \text{ mm}$, an der stromabwärts gelegenen Tragwand zu $-25,50 \text{ mm}$, was natürlich immer mit zu berücksichtigen ist.

In der seinem Aufsatze beigelegten Tafel hat der Verfasser die für die ganze Beobachtungszeit aus den Ablesungen der Thermometer berechneten Wärmepfeile graphisch aufgetragen und durch einen Linienzug verbunden, der die Schwankungen der Brückenmitte unter dem Einfluss der Wärmeänderungen darstellt. In diese Linie sollten nun alle directen Höhenbeobachtungen hineinpassen, was natürlich nicht immer, im Ganzen aber in befriedigender Weise und in vielen Fällen sehr genau zutrifft. Als Beispiel wollen wir hier eine dieser Beobachtungsreihen geben.

Am 11. Februar 1888 Morgens ergab eine Höhenmessung am stromabgelegenen Träger, dass um $10^h 2^{m} 13^{m}$ und 16^{m} die Mittelmarke um $14,4 \text{ mm}$ unter der Verbindungslinie der beiden Endmarken lag. Da die Mittelmarke aber, wie oben angegeben, ohnehin $15,53 \text{ mm}$ unter dieser Linie liegt, so bleibt eine Hebung der Brückenmitte $+1,13 \text{ mm}$.

Die Wärmemessungen ergaben im Mittel die folgenden Temperaturen

	T_o	T_u	$T' = T_o - T_u$
um 10^h	$5,2^0$	$4,7^0$	$+0,5^0$
um $10^h 30^m$	$5,8^0$	$5,2^0$	$+0,6^0$

Daraus folgen aus Gleichung $F = T + 0,12 T_u$ die Wärmepfeile um $10^h = +1,06 \text{ mm}$ und um $10^h 30^m = +1,22 \text{ mm}$, zwischen welche Werthe der direct gemessene von $1,13 \text{ mm}$ genau passt.

Am Vormittag des 9. August 1887 waren die Träger sehr ungleich erwärmt, weil der Untergurt des stromabwärts gelegenen Trägers im Schatten der Fahrbahn lag, während die übrigen Träger von der Sonne beschienen wurden. Es musste also nach Formel 2) gerechnet werden, indem man aus $\frac{t + 0,03 t_u + T + 0,12 T_u}{2}$ die Hebung der mittleren

Brückenaxe bestimmte. Die Höhenmessungen hätten nun ergeben sollen, dass der eine Gurt um den nämlichen Werth (C in Gleichung 2) sich über diese Lage erhob, während gleichzeitig der andere um so viel zurückblieb. Es zeigte sich aber, dass die aus der Temperatur berechnete Pfeilhöhe der Brückenmitte um $0,3 \text{ mm}$ grösser war, als das Mittel aus den directen Beobachtungen beider Trägerwände ergab.

Messungen bei so ungleichen Temperaturen sind daher in der That zur Bestimmung so kleiner Grössen, wie es bleibende Einsenkungen an Brücken sind, nicht geeignet.

Um ein genaueres Bild der erreichten Uebereinstimmung zu geben, wollen wir erwähnen, dass von 22 Höhenmessungen 15 überraschend gut mit den berechneten Wärmedeformationen harmoniren, „nämlich die Messungen 1, 3, 4, 5 und 6 am 11. Februar, 3, 4 und 5 am 9. August an dem stromab gelegenen Träger, ferner die Messungen 1, 2, 3, 4 am 11. Februar, sowie 1, 3 und 4 am 8. und 9. August an dem stromauf gelegenen Träger. Abweichungen bis zu $0,3 \text{ mm}$ zeigen am 11. Februar 2 und am 9. August ebenfalls 2 Messungen. Abweichungen nicht ganz bis zu 1 mm ergeben für den 11. Februar nur die Höhenmessung 6 am stromab gelegenen, sowie für den August 1887 nur die Messung 1 am stromab gelegenen und 5 am stromauf gelegenen Träger, mithin 3 von 22 Messungen.“ Diese Fehler mögen theils von Ablesefehlern herrühren, theils in den noch verbesserungsfähigen Gleichungen 1) und den Werthen M , m und n ihre Ursache haben. Der Verfasser glaubt annehmen zu dürfen, dass in den Endergebnissen der beobachteten und auf 0^0 reduzierten Wärmeerhebungen der Brückenmitte grössere Fehler als $0,3 \text{ mm}$ nicht enthalten sein werden, die erreichte Genauigkeit also $\frac{1}{120000}$ der Spannweite betrage. Es wird dies zugegeben werden können,

wenn die Beobachtungszeiten günstig gewählt werden. Weitere und länger fortgesetzte Untersuchungen, die jedenfalls sehr wünschenswerth sind, müssen im Uebrigen darthun, wie weit die auseinandergesetzte Methode geeignet ist, kleine sich einstellende bleibende Deformationen an im Gebrauch befindlichen Brücken aufzudecken. Sie kann, wenn einmal mehr Erfahrung und mehr Material vorliegt, im Verein mit andern zu einem wichtigen Hilfsmittel für die Controle solcher Brücken in Bezug auf ihre Festigkeitsverhältnisse werden. Jetzt schon aber kann sie bei gewöhnlichen Brückenproben werthvolle Dienste leisten. Weiss man auch schon längst aus Versuchen, dass die Brücken unter dem Einfluss der steigenden Temperatur ihrer Theile deformiren, so wird man nun bei länger dauernden Probelastungen diesen Einfluss eliminiren können. Wie nothwendig diess werden kann, zeigt die Curve der aufgetragenen Wärmepfeile des 9. August 1887. Während vom frühen Morgen dieses Tages bis gegen Mittag die Temperatur der Eisentheile um etwa $18^0 - 20^0$ stieg, hob sich die Brückenaxe um $5 - 6 \text{ mm}$. Es ist hieraus ersichtlich, welcher störende Einfluss dieser Umstand auf die Messungen der Einsenkung haben kann, falls man den Lastzug behufs vollständiger Ausbildung bleibender Deformationen längere Zeit auf einer Brücke auch mit parallelen Gurten stehen lässt. Bei gebogener Schwerpunktaxe und namentlich beim eigentlichen Bogen sind diese Einflüsse natürlich noch bedeutender.

Zum Schluss wirft der Verfasser die Frage auf, ob nicht diese Beobachtungsmethode die so viel umständlichere Prüfung der Brücken mittelst aufgestellten Probelasten zu ersetzen im Stande wäre und empfiehlt zu diesem Zwecke dringend, dass auch andere Verwaltungen solche Messungen in weitem Umfang unternehmen möchten, welchem Wunsch wir uns nur anschliessen können. G. M.

Notiz zur Frage der Knickfestigkeit des schmiedbaren Constructionseisens.

Von Prof. L. Tetmajer in Zürich.

Nr. 49 der Zeitschrift deutscher Ingenieure vom Jahre 1888 bringt einen Auszug der Verhandlungen der amerikanischen Civilingenieure „über Knickungsversuche mit schmiedeisernen Säulen“, welche Herr Ingenieur C. L. Strobel gelegentlich seines Entwurfes zur Mississippibrücke der Chicago-Milwaukee- und St. Paulleisenbahn bei Kansas-City angeregt hatte. Die Versuche sind an genieteten Säulen aus \angle -Eisen mit ca. $60,0 \text{ cm}^2$ Inhalt und $5,2 \text{ cm}$ kleinsten Trägheitshalbmesser (k) bei satter Flächenlagerung ausgeführt worden. Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht über die gewonnenen Resultate:

Nr. des Versuches	Nr. der Säule	Länge cm	Gewicht der Säule kg	Querschnitt cm ²	Längenver- hältniss $l:k$	Beobachtete Bruchlast absolut l	l pro cm^2
1.	3.	333	191	63,8	32,0	158,0	2,59
2.	4.	"	200	64,4	"	157,0	2,43
3.	2.	457	259	61,1	44,0	149,0	2,43
4.	5.	"	255	59,8	"	154,0	2,57
5.	1.	581	317	59,6	56,0	142,0	2,38
6.	6.	"	342	65,2	"	155,0	2,38
7.	7.	670	365	59,9	64,5	129,0	2,16
8.	8.	"	365	59,9	"	124,0	2,08
9.	9.	"	365	59,9	"	129,0	2,16
10.	10.	762	408	59,1	73,0	117,0	1,98
11.	11.	"	420	61,0	"	120,0	1,97
12.	12.	"	422	61,4	"	122,0	1,99
13.	13.	853	465	60,5	82,0	118,0	1,95
14.	14.	"	476	62,2	"	122,0	1,96
15.	15.	"	465	60,5	"	118,0	1,95

Die Werthziffern des Versuchsmaterials (Schweisseisen) wurden ermittelt und es sollen dieselben im Mittel aus einer grösseren Zahl von Einzelproben ergeben haben: eine Zugfestigkeit von: $3,5 \text{ t pro cm}^2$; eine Dehnung von: $12,0$ bis $22,0 \text{ } \%$; eine Contraction von: 15 bis $29 \text{ } \%$.

Man schloss daraus, dass das Versuchsmaterial einem

Schweisseisen angehöre, dessen Druckfestigkeit etwa 3,0 t pro cm^2 betrage (?).

An Hand dieser völlig aus der Luft gegriffenen Druckfestigkeit des Materials und vorstehend angeführten Versuchsergebnissen wurde der Erfahrungscoefficient η der Schwarz-Rankine'schen Knickungsformel

$$\sigma_k = \frac{\sigma_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2} \text{ berechnet als constant und } = 0,0009$$

gefunden. Dabei wurden die Versuche Nr. 1, 2, 3 und 4 ausgeschlossen, weil die Säulen mit Längenverhältnissen $l:k < 45$ keine Knickungserscheinungen ergaben, die Festigkeitsverhältnisse derselben keine gesetzmässige Aenderungen mehr erkennen liessen. In der That beträgt das Mittel aus den Einzelversuchen 1, 2, 3 und 4: 2,50 t pro cm^2 und entspricht der Stauch- oder Quetschgrenze des Materials, welche wir für weiches Schweisseisen zu 2,35 t, für normales Constructionsflusseisen zu 2,65 t, im Mittel also zu 2,50 t pro cm^2 bestimmt und als eine Art von Cohäsionsgrenze des Materials der Berechnung unserer einschlägigen Versuchsergebnisse zu Grunde gelegt hatten; vergl. die Schweiz. Bauzeitung, Bd. X. S. 93 u. d. f.

Mit der völlig unmotivirten Annahme einer Druckfestigkeit von 3,0 t pro cm^2 steht und fällt der Coefficient $\eta = 0,0009$. Wäre die Stauchgrenze ($\sigma_d = 2,50$ t pro cm^2) der Berechnung zu Grunde gelegt worden, so würde anschliessend an unsere Versuchsergebnisse η ebenfalls variabel und durch eine Function

$$\eta = f\left(\frac{l}{k}\right)$$

ausdrückbar angetroffen worden. Da nun die Druckfestigkeit willkürlich gewählt wurde — man hätte ja ebenso berechtigt sagen können: dem Versuchsmaterial mit obigen Werthziffern entspricht ein Schweisseisen mit etwa 4,0 oder 5,0 t pro cm^2 Druckfestigkeit —, so erscheint der ermittelte Erfahrungscoefficient η werthlos!

Die in der oben angezogenen Abhandlung der Schweiz. Bauzeitung beschriebenen, seither mehrfach ergänzten Knickungsversuche ergaben unter andern das wichtige Resultat, dass die *echten, elastischen Knickerscheinungen* nur dann auftreten, wenn die mittlere Flächenspannung an der Grenze der Tragkraft des Stabes den Grenzmodul (γ) des Eisens für Druck nicht überschreitet, dass diese Knickerscheinungen dem Euler'schen Gesetze folgen und dass somit von einer Constanz des Erfahrungscoefficienten η der Schwarz-Rankine'schen Formel keine Rede sein könne. Es wurde ferner nachgewiesen, dass für das schmiedbare Constructionsflusseisen die Grenze, an welcher Knickungserscheinungen auftreten, durch:

$$l:k > 80$$

ausgedrückt und für alle Fälle der Anwendung hinreichend genau bestimmt sei.

Die americanischen Knickversuche bewegen sich innerhalb der Grenzen $l:k = 37$ und 82, wenn l die freie Knickungslänge der Versuchsstücke bedeutet. Sie erreichen somit, Dank der gewählten Einspannungsart (feste Flächenlagerung) der Säulen, eben noch die Grenze, wo echte elastische Knickerscheinungen beginnen, und ist somit die ziemlich regelmässige Abnahme der Tragfähigkeit der Säulen diesseits der Stauchgrenze nicht als eine Folge der eigentlichen Knickung anzusehen. Aehnliche Verhältnisse haben wir bei Prüfung prismatischer Stäbe bei liegendem Guss und beim Holze auch angetroffen und zu erklären gesucht (bezüglich des letztern, vergleiche die Abhandlung des Verfassers in der Schweizer. Bauzeitung, Bd. XI. Nr. 17.) Beim Bauholz spielen ohne Zweifel die in ziemlich regelmässigen Abständen auftretenden Astknoten eine entscheidende Rolle. Ob die zahlreichen Nieten der americanischen Säulen nicht auch eine ähnliche Rolle spielen, bleibt bis auf Weiteres unentschieden.

Der Umstand, dass die americanischen Versuche sich zwischen Stauchgrenze und Knickungsbeginn (Grenzmodul für Druck) bewegen, macht sie besonders werthvoll, denn

sie ergänzen gerade in dem Intervalle der Zufälligkeiten die Bauschinger'schen und des Verfassers gleichartige Versuche und gestatten die specif. Knickspannung (σ_k) angenähert, für alle Fälle der Anwendung jedoch hinreichend genau auszudrücken. Es ist kaum nöthig zu erwähnen, dass in besagtem Intervalle eine genaue Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch und zwar selbst für ein und dasselbe Material ausgeschlossen bleibt und voraussichtlich ausgeschlossen bleiben wird.

Trägt man nämlich die Ergebnisse der angezogenen Knickungsversuche graphisch und zwar derart auf, dass an die massgebenden Längenverhältnisse $l:k$ als Abscissen die mittleren, specifischen Anstrengungen der Druckstäbe an der Grenze ihres Tragvermögens als Ordinaten angetragen erscheinen, so wird man finden, dass die Versuchsergebnisse zerstreut zu beiden Seiten einer Geraden liegen, deren Gleichung zu:

$$\sigma_k = 3,141 - 0,0142 \left(\frac{l}{k}\right)$$

festgestellt werden konnte. Sie gilt im Intervalle von $l:k = 45$ bis 105, an welcher Grenze sie noch etwas über die Elasticitätsgrenze des Schweisschmiedeisens ($\gamma = 1,60$ t pro cm^2) die Curve der echten Knickspannungen schneidet.

Folgende Zusammenstellung von Durchschnittswerthen gibt eine Uebersicht über die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung nach obiger Formel. Relativ am schlechtesten passen des Verfassers Mittelwerthe; der Grund dieser Thatsache ist darin zu suchen, dass die Oberflächenbeschaffenheit, die absolute Härte und Compressibilitätsverhältnisse des vom Verfasser gewählten Versuchsmaterials (wie schon erwähnt, war dies einmal ein ausnahmsweise weiches, zähes Schweisseisen, dann aber ein normales Flusseisen in Rundstabform, während die Americaner und Bauschinger mit sehr verschiedenartigem façonnirten Schweisseisen gearbeitet haben) von jenen der andern Experimentatoren wesentlich abweicht.

$\frac{l}{k}$	σ_k t pro cm^2	$\frac{l}{k}$	σ_k t pro cm^2	$\frac{l}{k}$	σ_k t pro cm^2
$\frac{l}{k}$	beobachtet	berechnet	$\frac{l}{k}$	beobachtet	berechnet
32,0*	2,51*	2,50	56,0*	2,38*	2,35
44,0*	2,50*	2,50	56,4†	2,36†	2,34
45,9	2,63	2,49	58,7†	2,44†	2,31
49,5†	2,56†	2,44	64,5*	2,13*	2,23
55,3	2,45	2,38	67,4†	1,87†	2,18
53,9†	2,26*	2,38	68,0	2,46	2,17
					u. s. w.

Die mit * bezeichneten Zahlen sind Mittelwerthe der Eingangsangeführten americanischen Versuche, die mit † bezeichneten sind dagegen dem 15. Hefte der Mittheilungen Bauschingers entnommen.

Miscellanea.

Strassenbahn Frauenfeld-Wyl. Dass natürliche Verkehrslinien, die durch Eisenbahnen abgeschnitten worden, ihren früheren Verkehr durch Anlage von Secundärbahnen wenigstens theilweise wieder erlangen können, beweist die seit 1. September 1887 eröffnete schmalspurige Eisenbahn Frauenfeld—Wyl. Die Strasse Frauenfeld—Wyl als Strasse I. Classe hatte vor Erstellung der Eisenbahnen einen äusserst regen Fuhrwerkverkehr; sie war Hauptpoststrasse zwischen Schaffhausen, Zürich, Winterthur, St. Gallen und dem Toggenburg. Nach Eröffnung der Bahnen zwischen genannten Städten hörte dieser Verkehr auf, die Strasse wurde öde und verlassen, nur noch zwei traurige Pöstchen besorgten in langsamem Tempo den Localverkehr zwischen Frauenfeld und Wyl und dieselben haben im letzten Jahre ihres Betriebes 1886 im Ganzen sage 2267 Personen befördert. Im Hinweis auf diesen geringen Strassen-Verkehr und auf die beiden Hauptorte Frauenfeld und Wyl mit nicht sehr grosser Bevölkerungszahl wurde dem inzwischen angeregten Schmalspurbahnproject sowohl in technischen als in finanziellen ja selbst in Regierungskreisen keine rosige Zukunft in Aussicht gestellt. Trotzdem ist nach langen Mühen das Project als meterspurige Strassenbahn zur Ausführung gelangt und den 1. September 1887 dem Betriebe übergeben worden. Schon vor Neujahr 1888 war der Reiz der Neuheit verschwunden, und es kann daher das Jahr 1888 für das Unternehmen