



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294698

g.

Mitteilungen

der Materialprüfungs-Anstalt
am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

VIII. Heft.

Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe.

Von

Prof. **L. Tetmajer**

Direktor der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum, etc.

4. Nr. 21 035



Selbst-Verlag der Anstalt.

In Kommission bei *J. Speidel*, Zürich IV.

ZÜRICH

Druck von F. LOHBAUER, Rämistrasse 12

1896.

g. 16.
16.

XXX
292/1



II 5212



Akc. Nr. _____ 20 / 52

Vorwort.

Vorliegendes Heft der Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum enthält die Zusammenstellung der Versuche, welche zu verschiedenen Zeiten in der Absicht unternommen wurden, die vielfach ventilerte Frage der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe abzuklären. Seit *Hodgkinson* haben sich berufene Männer der Praxis und der Wissenschaft in einer fast ununterbrochenen Kette teils experimenteller, teils mathematischer Arbeiten mit der Frage der gesetzmässigen Änderungen des Tragvermögens gedrückter Stäbe mit Änderung ihrer Längenverhältnisse beschäftigt ohne indessen zu einem abschliessenden Resultate zu gelangen. Selbst *Bauschinger* blieb es vorenthalten das Verhalten der unterschiedlichen Baustoffe in der erweiterten Druckprobe abzuklären, obschon gerade *Bauschinger* es gewesen, der durch Einführung der Spitzenlagerung seiner Versuchskörper dem Wesen der Knickungsvorgänge und damit jenem der Knickungsgesetze näher trat, als es irgend einem seiner Fachgenossen möglich war. So hat *Bauschinger* als erster auf experimentellem Wege die Richtigkeit der in Misskredit gebrachten Knickungsformel *Euler's* nachgewiesen, ohne jedoch deren Gültigkeitsgrenzen näher zu kennzeichnen, und ohne das für das Konstruktionsfach so wichtige Gebiet der Längenverhältnisse zwischen dem reinen Druck und den Knickungsvorgängen vorwiegend elastischen Charakters, für welche allein *Euler's* Formel Gültigkeit besitzen kann, aufzuschliessen. Dass *Bauschinger* dieses Gebiet unabgeklärt liess, lag lediglich nur an der Unzulänglichkeit seiner Hilfsmittel. Mit einigen wenigen, noch so exakt durchgeführten Versuchen war auf fraglichem Gebiete ein abschliessendes Resultat nicht zu erreichen und wenn es in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt gelungen ist *Bauschinger's* Befund zu bestätigen, die Gültigkeitsgrenzen der *Euler's*chen Formel festzulegen und das Verhalten der technisch wichtigsten Baustoffe im Intervalle der massgebenden Längenverhältnisse der gedrückten Stäbe dieseits jener Grenzen abzuklären, so ist das Resultat in erster Linie dem Opfersinne einiger Materialproduzenten zu danken, die nicht scheuten das Versuchsmaterial in den erforderlichen

Mengen (Gusseisen ca. 13,0 t; schmiedbares Eisen ca. 16,0 t; etc. etc.) zu liefern. Das Versuchsmaterial zu unsern Arbeiten haben kostenfrei geliefert:

die p. t. Forstverwaltungen der Kantone *Aargau, Bern, Graubünden, St. Gallen, Waadt und Wallis*;

die p. t. Forstverwaltung der *Stadt Zürich*;

die Direktion der Halberghütte der HH. *R. Böcking & Co.*, Brebach;

„ „ „ Giesserei der HH. Gebr. *Carels* in Gent;

„ „ „ von *Roll'schen* Eisenwerke in Choindez;

„ „ „ *Burbacher Hütte* in Burbach-Malstatt;

„ „ „ Werke der HH. *de Wendel & Co.* in Hayange.

Zur Ausführung der Knickungsversuche mit gusseisernen Rohrabschnitten reichte die disponible Kraftentfaltung der *Werder-Maschine* der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt nicht mehr aus und wir sahen uns genötigt neuerdings die Gefälligkeit des Herrn Ingr. *E. Roussel*, Chef der Materialversuchs-Anstalt der belgischen Staatsbahnen zu Malines, welcher nicht müde wird zu helfen, wenn es sich um Förderung wissenschaftlicher Interessen handelt, in Anspruch zu nehmen. Es erwächst uns lediglich nur die angenehme Pflicht dem Verwalter der belgischen Staatsbahnen, Herrn Generaldirektor *Schaar*, für die Bewilligung der kostenfreien Benützung der grossen Kirkaldy-Maschine der Maliner Versuchs-Anstalt, Herrn Ingr. *E. Roussel* für sein kollegiales Entgegenkommen und seine vielfachen Bemühungen hiermit Anerkennung und den wärmsten Dank auszusprechen.

Eine Reihe von Resultaten unserer Knickungsversuche mit Holz wurden bereits im Jahre 1888 in der *Schweizerischen Bauzeitung* (Bd. XI, Nr. 18) veröffentlicht. Die Ergebnisse der Knickungsproben mit schmiedbarem Eisen haben wir im 4. Hefte der offiziellen Mitteilungen unserer Anstalt niedergelegt. Des Zusammenhangs willen mit Ergebnissen späterer Versuche, ferner um einige Druck- und Schreibfehler, die in die Zahlenreihen des 4. Heftes eingeschlichen sind, richtig zu stellen, gelangen im vorliegenden Hefte auch einige der älteren Versuchsreihen zum nochmaligen Abdrucke.

Möge sich vorliegende Arbeit in jenen Kreisen, welchen sie zu dienen berufen ist, als zeitgemäss und nutzbringend erweisen.

ZÜRICH, im Frühjahr 1896.

Der Verfasser.

1. Ursachen der Knickerscheinungen, Grundformeln.

Wird ein prismatischer Stab der Wirkung einer centriscn Druckkraft N ausgesetzt, so erfahren dessen kleinste Teilchen Lagenänderungen, deren Inbegriff wir als Formänderung des Stabes beobachten. Diese besteht in einer Verkürzung des Stabes in seiner Längenrichtung, bei gleichzeitiger Breitung in den Querrichtungen. Bei Materialien, die den Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetzen folgen, erfahren die Stäbe bei Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze vorwiegend elastische d. h. solche Formänderungen, die nach Wegnahme der Belastung wieder verschwinden. Bei Inanspruchnahmen jenseits dieser Grenze sind sie vorwiegend unelastischer Art und die bleibenden Formänderungen desto grösser, je mehr sich die Anstrengung der Kohäsionsgrenze des Materials nähert, bei welcher entweder Trennung der Teile (das Zermalmen), lokales Ineinanderschieben der Fasern (z. B. bei Holz), oder eine plastische Deformabilität (bei zähen Metallen) eintritt.

Diese Vorgänge sind bei homogenen Materialien und Stäben von relativ geringer Länge zu beobachten. Relativ lange Stäbe verlieren unter Biegungserscheinung oft lange vor dem Erreichen der Kohäsionsgrenze des Materials ihre Tragkraft. An der Grenze des Tragvermögens treten solche Stäbe in einen labillen Gleichgewichtszustand; sie verlieren ihr Tragvermögen durch Hinzutritt an sich geringfügiger Einwirkungen, die eine Vergrösserung der Durchbiegung herbeiführen, fast plötzlich. Die Stäbe schlagen sich durch und brechen, sofern während der Verbiegung die *Bruchdehnung* des Materials auf der gespannten Stabseite erschöpft wird. Diesen Vorgang nennt man «*Knickung*»; die Belastung N , die eben noch Knickung hervorbringt, die «*Knickungskraft*». Die auf die Einheit der Querschnittsfläche des Stabes reduzierte Knickungskraft heisst «*Knickspannung*»; wir bezeichnen sie mit β_k . *Knickungsvorgänge* werden stets durch Verbiegung der Stäbe eingeleitet, welche je nach Umständen schon bei relativ geringen specifischen Anstrengungen des Stabmaterials beginnen, mitunter aber auch erst unmittelbar vor dem Erreichen des Grösstwertes der Tragkraft eintreten, wie dies beispielsweise die beiden folgenden Fälle näher illustrieren.

Weisstanne I_b (Spitzenlagerung).

Urspr. Balkenlänge: $l_0 = 520,2 \text{ cm}$; Querschnittsbreite: $b = 14,68 \text{ cm}$;

wirksame » $l = 539,4 \text{ cm}$; Querschnittsdicke: $s = 14,70 \text{ cm}$;

Querschnittsfläche: $F = 215,8 \text{ cm}^2$;

Trägheitshalbmesser: $k = 4,24 \text{ cm}$;

massgebendes Längenverhältnis: $\frac{l}{k} = 127,2$.

№	Belastung absolut in t		Ausweichung der Balkenmitte in cm				Knickspannung β_k in t pro cm^2			Bemerkungen	
			horizontal		vertikal		beobachtet	berechnet nach			
			absolut	Differenz	absolut	Differenz		Euler	Tetmajer		
9	0,50	9,85			15,60					Versuchsobjekt ist ziemlich stark schwindrissig und astknotig. Für die Tragkraft an der Grenze $\beta_k = 0,063 \text{ t pro } cm^2$ liefert Euler's Formel den Elasticitätsmodul zu: $\varepsilon = \frac{\beta_k \left(\frac{l}{k}\right)^2}{\pi^2} = 103 \text{ t p. } cm^2$	
	1,00	9,85	0,00		15,60	0,00					
	2,00	9,85	0,00		15,60	0,00					
	3,00	9,85	0,00		15,60	0,00					
	4,00	9,85	0,00		15,60	0,00					
	5,00	9,85	0,00		15,60	0,00					
	6,00	9,85	0,00		15,60	0,00					
	7,00	9,83	-0,02		15,58	-0,02					
	8,00	9,82	-0,01		15,58	0,00					
	9,00	9,80	-0,02		15,55	-0,03					
	10,00	9,80	0,00		15,53	-0,02					
	11,00	9,79	-0,01		15,50	-0,03					
	12,00	9,75	-0,04		15,45	-0,05					
	13,00	9,63	-0,12		15,30	-0,15					
	13,50	9,46	-0,17		14,98	-0,32	0,063	0,061	—		
13,70	Grenze d. Tragvermögens										
	0,50	9,85	0,00		15,55	-0,05					Balken wird intakt ausrangiert.

Knickungsversuch No. 10 (Flächenlagerung).

Stab mit Kreuzplatten, der Strebe No. 8 der Mönchensteiner
Brücke nachgebildet; Schweisseisen.

Strebenprofil: \perp aus 2 Winkelleisen, nominell 10,0 : 10,0 : 1,4 cm;

Strebenlänge: 7,447 m; Querschnittsfläche ^{52,0} 52,3 cm²;

Trägheitshalbmesser, Kleinstwert: 3,82 cm;

\perp u. \parallel zum Anschlussblech: 4,69 cm.

$J = 2.377$
 $k = \sqrt{\frac{2.377}{52,0}}$

№	Belastung absolut in t		Ausweichung der Stabmitte in cm				Knickspannung β_k in t pro cm ²			Bemerkungen
			horizontal		vertikal		beobachtet	berechnet nach		
			absolut	Differenz	absolut	Differenz		Euler	Tetmajer	
10	0,00	7,01			10,00					
	5,00	7,01	0,00		10,00					
	10,00	7,01	0,00		10,00					
	15,00	7,01	0,00		10,00					
	20,00	7,01	0,00		10,00					
	25,00	7,01	0,00		10,00					
	30,00	7,01	0,00		10,00					
	35,00	7,01	0,00		10,00					
	40,00	7,01	0,01		10,00					
	43,00	7,02	0,00		10,00					
	50,00	7,02	0,01		10,00					
	56,00	7,03	0,00		10,00					
	60,00	7,03	0,01		10,00					
	65,00	7,04	0,02		9,92					
	70,00	7,06			9,86					
72,50	<i>Verlust d. Tragvermögens.</i>					1,39	—	1,76	Versuchsobjekt schlägt sich fast plötzlich durch.	
	Richtung der Durchbiegung korrespondiert mit d. Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers der Teilflächen des Querschnitts.									

Für eine wirksame Stablänge:

$$l = 0,5 \times 744,7 = 372,4 \text{ cm}$$

wird die massgebende Stablänge:

$$\frac{l}{k} = \frac{372,4}{3,82} = 97,5;$$

es liefert die Formel:

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

$$\beta_k = 1,76 \text{ t pro cm}^2.$$

276

k für d. Teilfläche $\sqrt{\frac{101}{362}} = 1,97$; $\beta_k = 3,03 - 0,013 \cdot \frac{372,4}{1,97} = 0,57$

Weg auf Führung, Längsrit. Lauf 21 8.101 bis 104

Verbiegungen und damit Knickung prismatischer, centrischen Druckkräften ausgesetzter Stäbe werden erzeugt und gefördert:

1. durch Fehler, die die Homogenität des Materials nachteilig beeinflussen (Schweissfehler, Schlackennester, Gussporen, Blasen, Astknoten, u. d. m.);

2. durch Umstände, die Abweichungen der Stabaxe von der Krafrichtung erzeugen (unsymmetrische Querschnittsbildungen, excentrischer Guss, lokale Verschiedenheit der Elasticitätsverhältnisse, u. d. m.);

3. durch Ungradheit der Stabaxe (mathematisch geradlinige Stäbe sind in der Praxis selbstredend ausgeschlossen).

Wird nun ein materieller Stab von der Länge l_0 , vom Querschnitte F durch eine centrische Druckkraft N auf Druck beansprucht und biegt sich zu Folge einer oder mehrerer der vorstehend angeführten Umstände durch, so wird bei vorwiegend elastischer Formänderung, die Winkeländerung der elastischen Linie des deformierten Stabes an beliebiger Stelle durch:

$$d\tau = - \frac{Nx}{\varepsilon J} dy$$

ausgedrückt, weil im Sinne der Fig. 1 mit wachsender Länge (y) des Stababschnittes der Winkel abnimmt. Da nun für die Gleichung der elastischen Linie:

$$x = f(y)$$

$$f'(y) = \frac{dx}{dy} = tg\tau, \quad d\tau = \cos^2\tau \frac{d^2x}{dy^2}$$

ist, so erhält man die Differentialgleichung der elastischen Linie des deformierten Balkens in der Form:

Fig. 1. bedeutet.

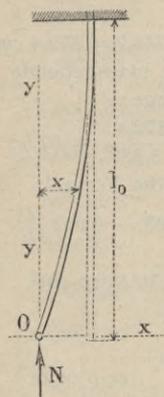
$$\frac{d^2x}{dy^2} = - \frac{1}{\cos^2\tau} \frac{Nx}{\varepsilon J} = - \frac{p^2}{\cos^2\tau}, \text{ worin } p^2 = \frac{N}{\varepsilon J}$$

Berücksichtigt man, dass τ sehr klein somit $\cos\tau = 1$ gesetzt werden darf, so erhält man als Gleichung der elastischen Linie:

$$x = C_1 \sin py + C_2 \cos py$$

und für Belastung innerhalb der Elasticitätsgrenze die Knickkraft:

$$N = \varepsilon p^2 J.$$



Die letzte Gleichung ist *Eulers Knickungsformel* in ihrer allgemeinen Form. Bei Anstrengungen innerhalb der Elasticitätsgrenze wird nach Vorstehendem die Axe des deformierten Stabes ein Teilstück einer Wellenlinie bilden; jenseits dieser Grenze kann die Gleichung nur den Wert einer Annäherung für sich in Anspruch nehmen. Dessen ungeachtet soll bei der Berechnung und den graphischen Darstellungen der Versuchsergebnisse die theoretische Form der deformierten Stabaxe beibehalten also auch auf das Gebiet der vorwiegend unelastischen Knickerscheinungen ausgedehnt werden.

1. *Specialfall: Der gedrückte Stab sei an beiden Enden vollkommen beweglich gelagert.*

Für $y = 0$ ist $x = 0$, somit $C_2 = 0$ also
 $x = C_1 \sin \rho y$.

Für $y = l_0$ soll vorstehende Gleichung $x = 0$ liefern. Diese Bedingung wird für:

$$\rho l_0 = \mu \pi$$

erfüllt, wenn μ eine ganze Zahl bedeutet.

Für:

$$\mu = 1 \text{ wird } \rho = \frac{\pi}{l_0} \text{ und } x = C_1 \sin \frac{\pi}{l_0} y,$$

somit *Eulers Knickungsformel*:

$$N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{l_0^2} \text{ oder } \beta_k = \frac{N}{F} = \varepsilon \pi^2 \left(\frac{k}{l} \right)^2,$$

wenn k den Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche in der Knickungsrichtung, und $l_0 = l$ die freie Knicklänge des Stabes bedeutet.

Für: $\mu = 2;$ $\mu = 3;$ $\mu = 4;$

wird: $\rho = 2 \frac{\pi}{l_0};$ $\rho = 3 \frac{\pi}{l_0};$ $\rho = 4 \frac{\pi}{l_0};$

somit: $x = C_1 \sin \frac{2\pi}{l_0} y;$ $x = C_1 \sin \frac{3\pi}{l_0} y;$ $x = C_1 \sin \frac{4\pi}{l_0} y;$

und: $N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{(l:2)^2};$ $N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{(l:3)^2};$ $N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{(l:4)^2}.$

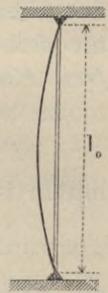


Fig. 2.

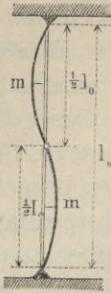


Fig. 3.

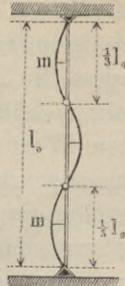


Fig. 4.

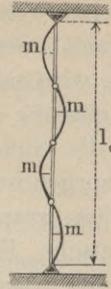


Fig. 5.

Wird also der Stab in dessen Mitte, in den Dritteln oder den Vierteln festgehalten, ohne die freien Tangentenänderungen der elastischen Linie an diesen Stellen zu verhindern, so wird die Formänderung in derselben Weise erfolgen, die Tragkraft an der Grenze den gleichen Wert erhalten, als ob jede Teilstrecke für sich beweglich eingespannt wäre. Es beträgt somit die *freie Knickungslänge* l

im *ersten* Fall: im *zweiten* Fall: im *dritten* Fall:

$$l = \frac{1}{2} l_0 \qquad l = \frac{1}{3} l_0 \qquad l = \frac{1}{4} l_0,$$

mithin ist in allen Fällen die *Knickungskraft* nach *Euler* durch:

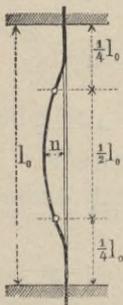
$$N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{l^2},$$

die *Knickspannung* durch:

$$\beta_k = \varepsilon \pi^2 \left(\frac{k}{l} \right)^2$$

ausgedrückt, sofern l im Sinne der vorstehenden Darlegungen, die *freie Knickungslänge* des Stabes bedeutet.

2. *Specialfall: Der gedrückte Stab sei an beiden Enden unwandelbar eingespannt.*



Bautechnisches Interesse hat hier zunächst der Fall $\mu = 2$, für welchen, da für:

$$y = 0 \text{ und } y = l_0; \quad \frac{dx}{dy} = tg \tau = 0$$

ergeben muss, ϕ , x und N durch:

$$\phi = 2 \frac{\pi}{l_0}; \quad x = C_2 \cos \frac{2\pi}{l_0} y \text{ und } N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{(l_0 : 2)^2}$$

Fig. 6. ausgedrückt werden.

Die freie Knickungslänge beträgt somit: $l = \frac{1}{2} l_0$; die Inflexionsstellen liegen in den Vierteln der Stablänge.

3. *Specialfall*: Der gedrückte Stab sei einseitig unwandelbar, anderseitig beweglich eingespannt.

In diesem Falle beträgt die freie Knickungslänge nach Dr. E. Winkler:

$$l = 0,71 l_0.$$

Der Euler'schen Knickungsformel wird der Vorwurf gemacht, dass sie über die im gedrückten Stabe herrschenden Spannungszustände keine Aufschlüsse erteilt. Dieser Vorwurf hat nur teilweise Berechtigung und ändert an der Gültigkeit und der praktischen Verwendbarkeit der Euler'schen Formel nichts*). Man übersieht gewöhnlich, dass die Organe unserer Bauwerke mit m -facher Sicherheit gegen Knickung, somit in Belastungsintervallen arbeiten, in welchen Verbiegungen keineswegs unbedingt auftreten, das Stabmaterial also auch nicht unbedingt ungleichmässige Spannungszustände erfährt, wie dies der Fall wäre, wenn die Arbeitsbelastung aus irgend welchen Gründen schon anfänglich excentrisch angreifen würde.

Bei dem auf S. 6 wiedergegebenen Versuche trat Knickung bei 13,7 t auf. Setzen wir den Sicherheitsgrad $m = 5$, so wäre die Arbeitsbelastung des Stabes

$$N = \frac{13,7}{5} = 2,74 t.$$

Tabelle auf S. 6 zeigt, dass erst bei einer Belastung von ca. 6,5 t eine Verbiegung dieses Stabes wahrgenommen wurde, dass somit derselbe bei einer statischen Belastung von 2,74 t zuverlässig gleichmässig u. z. mit

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{2,74}{215,8} = 0,013 t \text{ pro } cm^2$$

arbeiten musste.

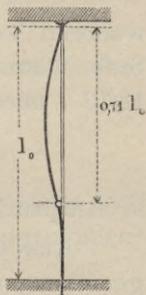


Fig. 7.

*) Es verdient bemerkt zu werden, was indessen aus der graphischen Darstellung der Versuchsergebnisse der Knickungsproben ohne weiteres ersichtlich ist, dass innerhalb bestimmter Grenzen die Versuchsergebnisse und die Ergebnisse der Rechnung nach Euler's Formel sich fast vollkommen decken. Die Übereinstimmung der Versuchs- und Rechnungsergebnisse war für das schmiedbare Eisen eine derartig genaue, dass aus der anfänglichen Divergenz dieser Resultate der unzulängliche Genauigkeitsgrad der Berechnung der

Für den auf S. 7 wiedergegebenen Fall beträgt $B = 72,5 t$; nimmt man $m = 4$, so wird

$$N = \frac{72,5}{4} = 18,13 t,$$

während Verbiegungen erst bei ca. 41,5 eingetreten sind. Dieser Stab wäre somit unter einer centrischen Arbeitsbelastung von 18,13 t ebenfalls gleichmässig u. z. mit:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{18,14}{52,3} = 0,349 t \text{ pro } cm^2$$

in Anspruch genommen worden sein.

Aus den angeführten Gründen ist es mindestens im Allgemeinen unstatthaft, die angreifende Kraft N als excentrisch wirkend, Biegungsspannungen erzeugend vorauszusetzen und zu behandeln.

Verbiegungen durch die Arbeitsbelastung N eines gedrückten Stabes würden nach *Navier's* Formel Inanspruchnahmen der meist gepressten Faser

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{Nx}{J} \cdot c = \sigma_a \left[1 + \frac{xc}{k^2} \right]$$

ergeben, worin

x den Excentricitätshebel bezüglich des Schwerpunktes des gefährlichen Querschnitts,

c den Schwerpunktsabstand von der meist gepressten Faser,

k den Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche in der Biegungsrichtung,

$\sigma_a = N : F$ die Inanspruchnahme des Stabmaterials auf Druck bedeutet.

In vorstehenden Ausdrücken ist der Excentricitätshebel x unbekannt und auch experimentell nicht bestimmbar. Die Excentricität x ist eben keine Folgewirkung einer *konstanten*

deutschen Normalprofile mit abgeschrägten (mit Anzug gewalzte) Flanschen nachgewiesen worden ist. Erst nach Ermittlung der genauen Schwerpunktslagen, Trägheitsmomente und Trägheitshalbmesser und nach Substitution dieser Werte in die *Euler'sche* Formel, trat die ausgewiesene Übereinstimmung der Versuchs- und Rechnungsergebnisse ein. Wir haben nicht verfehlt auf diese Verhältnisse s. Z. an massgebender Stelle aufmerksam zu machen und eine Revision der Werte der Querschnittsgrössen der deutschen Normalprofile zu beantragen.

Anfangsexcentricität, sondern Folge oft verschiedenartiger Umstände, — vergleiche die Einleitung dieser Nr. —, die sich während der Einwirkung der Belastung, nicht selten erst unmittelbar vor dem Erreichen der Grenze der Tragkraft entwickeln und ihren schädlichen Einfluss ausüben.

Sind die Querschnittsabmessungen des gedrückten Stabes mit m -facher Sicherheit gegen Knickung gewählt, so ist

$$N = \frac{1}{m} \pi^2 \varepsilon \frac{J}{l^2}.$$

Setzt man ferner voraus, unter der Arbeitsbelastung biege sich der Stab in der Mitte um x durch, so wird ein Biegemoment Nx erzeugt, und

$$Nx = \frac{J}{c} \sigma_b \text{ oder } N = \frac{J \sigma_b}{c x}$$

betragen, worin σ_b die Biegungsspannung der äussersten Faser bedeutet.

Durch Gleichsetzen der Werte von N erhält man mit C . v. Bach, vergleiche dessen Elasticität und Festigkeit, 2. Aufl., Seite 130:

$$\frac{\pi^2 \varepsilon}{m} \frac{J}{l^2} = \frac{J \sigma_b}{c x} \text{ oder } cx = \frac{\sigma_b}{\varepsilon} \frac{m}{\pi^2} l^2,$$

welcher Wert in die Navier'sche Formel eingeführt:

$$\sigma = \sigma_a \left[1 + \frac{\sigma_b m}{\varepsilon \pi^2} \left(\frac{l}{k} \right)^2 \right] = \sigma_a \left[1 + \eta \left(\frac{l}{k} \right)^2 \right]$$

liefert, worin die unbenannte Zahl:

$$\eta = \frac{\sigma_b}{\varepsilon} \frac{m}{\pi^2}$$

den s. g. »Knickungskoeffizienten« bedeutet.

Vorstehende Gleichung in der Form:

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

geschrieben, ist als die Schwarz-Rankine'sche Formel bekannt. Dass diese Formel zunächst nur für Materialinanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze gilt, bedarf keiner Erwähnung.

An Stelle des unbekanntem Excentricitätshebels x der Navier'schen Gleichung tritt in der Schwarz-Rankine'schen Knickungsformel der Knickungskoeffizient η als Unbekannte

auf, die experimentell innerhalb der Elasticitätsgrenze ebenso wenig bestimmbar ist als ein etwa ursprünglich vorhanden gewesener Excentricitätshebel. Zur Bestimmung von η bleibt soweit nichts übrig als die Gültigkeit der Schwarz-Rankine'schen Formel auf alle überhaupt möglichen Längenverhältnisse und Belastungszustände auszudehnen, wodurch sie den Charakter einer völlig empirischen Formel gewinnt.

Zur Ermittlung von η stehen verschiedene, jedoch ungleichwertige Wege offen. Für den Eintritt der Knickung wird gewöhnlich $\sigma_a = \beta_k$ und $\sigma = \beta_a$ gesetzt und η aus der Schwarz-Rankine'schen Formel:

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

für die unterschiedlichen Werte von $l : k$ berechnet werden. Nun ist keineswegs festgestellt, dass σ wirklich konstant und $= \beta_a$ sei; es ist vielmehr wahrscheinlicher dass σ und η sich ändern; wir werden indessen auch den vorstehend geführten Weg betreten, indem andere zu noch unwahrscheinlicheren, oft sinnlosen Resultaten führten.

2. Über die Auswahl, Form und Bearbeitung des Versuchsmaterials.

a. Bauholz.

Material-Lieferanten: die im Vorwort genannten schweiz. Forstverwaltungen.

Den Knickungsproben lagen ausschliesslich die bautechnisch wichtigen Holzarten, nämlich

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre*, die *Lärche*
sowie die *Eiche*

zu Grunde.

Für die Gewinnung, Formgebung und Bearbeitung des Versuchsmaterials waren zu verschiedenen Zeiten verschiedene Vorschriften gültig. Bei Entnahme des Holzes aus dem Handel

konnten Vorschriften überhaupt nicht gemacht werden; es ist soviel als möglich bloß der Wunsch geltend gemacht worden, astreines Holz zu erhalten.

Für den Bezug des Versuchsmaterials zu unsern ältesten Knickungsproben waren folgende Bestimmungen massgebend:

«Das zu prüfende Holz ist im Dezember aus geschlossenen, 80- bis 100-jährigen Beständen u. z. von der Molasse, dem Kalkboden, dem Thonschiefer und Granit- oder Gneissboden zu entnehmen, und nach Anleitung von Fig. 8 derart zu zerlegen, dass

1. 2 Stück Würfel von 10 *cm* Kantenlänge aus dem reifen Holz zu Seiten des Markes, nämlich No. 2 und 4, sowie 1 Würfel (No. 1) aus der Stamm-Mitte; ferner
2. 4 Stück Prismen, No. 2, 3, 4 und 5 von 10×10 *cm* Querschnitt und je einer Länge von 50, 100, 150 und 200 *cm* gewonnen werden. Die Prismen sind ähnlich den unter 1 angeführten Würfeln aus dem reifen Holz seitlich des Markstückes (No. 1) herauszuschneiden».

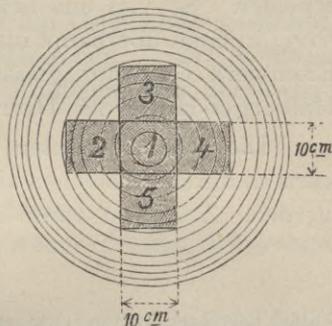


Fig. 8.

Das Material unserer Knickungsproben aus den Jahren 1888, teilweise auch 1894 und 1895 ist aus dem Handel genommen. Die Balken erhielten ca. 16×16 *cm* Querschnitt bei ca. 7,0 *m* Länge und waren möglichst astrein gewählt.

Bei Bezug des Versuchsmaterials zu den, anlässlich der Landesausstellung vom Jahre 1896 abgewickelten Ergänzungsproben galten folgende Vorschriften:

«Zur Probe gelangen von der Molasse und dem Jura:

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre* und die *Eiche*;
vom Granitboden:

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre* und die *Lärche*.

Von jedem Standorte und jeder Holzgattung sind aus verschiedenen Stämmen je ein 6 *m* langer, 16×16 *cm* starker Balken zu entnehmen. Die Versuchsobjekte müssen die Markröhre enthalten, durchweg dem reifen Holze angehören, möglichst astrein und normalwüchsig sein. Sämtliche Balken sind nach

mehrmonatlicher Lufttrocknung gerad- und scharfkantig behobelt, die Endflächen senkrecht zur Balkenaxe abgeschnitten und ebenflächig abgerichtet einzuliefern».

b. Gusseisen.

Material-Lieferanten: Carels-frères in Gent; Halberger-Hütte in Brebach; v. Roll'sches Eisenwerk in Choindez.

Vorgeschrieben war stehender Hochofenguss; ob diese Forderung eingehalten wurde, ist nicht mit Sicherheit zu entscheiden. So viel uns bekannt, giesst die Firma der Hr. *Carels-frères* in Gent überhaupt nur aus dem Kupolofen. Das v. Roll'sche Eisenwerk Choindez giesst aus dem Hochofen; desgleichen die Halberger-Hütte der Herren R. Böcking & Comp.

Die Rohre konnten in beliebigen Längen gegossen, die kürzern durch Abstechen auf der Drehbank aus längern gewonnen werden. Zu liefern waren für jede Gusseisenart 3 Serien, nämlich:

I. Serie:

2 Stück Rohrabschnitte von 10 cm innerer Durchmesser, 0,8 cm Wandstärke, 20 cm Länge											
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	50	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	100	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	150	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	200	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	250	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	300	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	350	»	»
2	»	»	10	»	»	0,8	»	»	400	»	»

II. Serie:

2 Stück Rohrabschnitte von 12 cm innerer Durchmesser, 0,8 cm Wandstärke, 20 cm Länge											
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	50	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	100	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	150	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	200	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	250	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	300	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	350	»	»
2	»	»	12	»	»	0,8	»	»	400	»	»

III. Serie.

2 Stück Rohrabschnitte von 15 cm innerer Durchmesser, 0,8 cm Wandstärke, 20 cm Länge

2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	50	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	100	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	150	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	200	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	250	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	300	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	350	»	»
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	400	»	»

Sämtliche Rohrabschnitte wurden auf Drehbänke gespannt, und auf die gewünschte Länge ebenflächig und \perp zur Rohraxe abgeschnitten. Eine Nachappretur der Endfläche war durchwegs entbehrlich.

c. Schmiedbares Eisen.

Material-Lieferant: HH. Petits-fils de F. de Wendel & Comp. in Hayange.

a. Rundeisen.

Geliefert wurden 20 Stück Schweiss-, 20 Stück Flusseisen-Rundstäbe mit

2,00, 2,50, 3,00, 3,50, 4,00, 4,50 und 5,00 cm Dicke
in Längen von 10 bis 120 cm.

Total: 40 Einzelversuche.

Diese Rundstäbe wurden auf beziehungsweise

1,78, 2,28, 2,78, 3,28, 3,77, 4,28 und 4,79 cm Dicke
abgedreht und exakt \perp zur Stabaxe abgestochen.

β . Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches N.-Profil Nr. 10^a mit 100. 100. 70
14,8 kg pro l m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitt und zwar je 2 Stück
in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Doppel-Winkel($\perp\perp$); deutsches N.-Profil Nr. 8^a mit 9,5 kg pr. l. m. 80. 80. 8

Geliefert wurden zusammen 22 Abschnitte und zwar je 2 Stück
in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

60.60.6

Kreuzprofil aus 4 Winkeln ; deutsch. N.-Profil

Nr. 6^a mit à 5,3 kg pro l. m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Total: 70 Einzelversuche.

γ. T-Eisen.

Das breitfüßige T-Eisen; deutsch. N.-Profil Nr. 12 : 6 mit 13,8 kg pro l. m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte u. z. je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.



Kreuzprofil aus 2 breitf. T-Eisen; deutsches N.-Profil

Nr. 9 : 4 1/2 mit 7,9 kg pro l. m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 0,60, 0,90, 1,20, 1,80, 2,40 und 3,00.

Total: 48 Einzelversuche.

δ. U-Eisen.

Das deutsche N.-Profil Nr. 14 mit 15,9 kg pro l. m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 0,80, 1,20, 1,60, 2,40, 3,20 und 4,00;

das Doppel-U-Eisen (□□); deutsches N.-Profil Nr. 8

mit 8,6 kg pro l. m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 0,80, 1,20, 1,60, 2,40, 3,20 und 4,00;

somit total: 48 Einzelversuche.

ε. Doppelt T-Eisen.

Das deutsche N.-Profil Nr. 18 mit 21,9 kg pro l. m.

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:

m 0,50, 0,75, 1,00, 1,50, 2,00 und 2,50;

somit total: 24 Einzelproben.

120.60.10

10.45.8

140 60

7 10

80.45

6 8

80 82

9. 10,4

Material-Lieferant: Burbacher Hütte bei Malstatt.

a. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches N.-Profil Nr. 10.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
80 bis einschl. 400 *cm*.

-Doppel-Winkeleisen; zusammengenietet aus deutschen
N.-Profilen Nr. 8.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
100 bis einschl. 500 *cm*.

 Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen; Zusammengenietet
aus deutschen N.-Profilen Nr. 6^a.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
100 bis einschl. 500 *cm*.

β. T-Eisen.

Breitfüßiges T-Eisen; Burbacher Profil Nr. 27.
Geliefert wurden 11 Abschnitte, Schweisseisen in Längen von
90 bis einschl. 4,30 *cm*.

 Kreuzprofil aus 2 T-Eisen; Zusammengenietet aus Bur-
bacher Profilen Nr. 16.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
100 bis einschl. 439 *cm*.

γ. U-Eisen.

Deutsches Normalprofil Nr. 14 mit 15,9 *kg* Gewicht pro *l m*.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
80 bis einschl. 400 *cm*.

 Doppel-U-Eisen; Zusammengenietet aus 2 U-Eisen,
deutsche N.-Profile Nr. 8.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
80 bis einschl. 400 *cm*.

δ. I-Eisen.

Doppelt T-Eisen; Deutsches N.-Profil Nr. 12.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
50 bis einschl. 250 *cm*.

Doppelt T-Eisen; Deutsches N.-Profil Nr. 17.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von
80 bis einschl. 400 *cm*.

Material-Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern.

Breitfüssiges T-Eisen; Burbacher Profil Nr. 24; 1 Stab;
Schweisseisen, 560 *cm* Länge.

U-Eisen; Schweisseisen, 1 Stab von 560 *cm* Länge.

┘┘-Eisen; Schweisseisen, zusammengenietet; 1 Stab von
560 *cm* Länge.

Sämtliche Stäbe der Kategorie »schmiedbares Eisen« wurden gerade gerichtet, die Endflächen senkrecht zur Stabaxe abgeschnitten und abgeschliffen, so dass eine tadellose Anlagerung derselben an die Druckflächen der Festigkeitsmaschine erreicht wurde.

3. Einspannung der Probekörper und Art der Versuchsausführung.

a. Bauholz.

Versuche aus dem Jahre 1883.

Anlässlich der Durchführung der Arbeiten für die schweiz. Landesausstellung vom Jahre 1883 bestand die Absicht, die Druckversuche an Holzprismen mit mehr als 50 *cm* Länge, mit einer Aufnahme der Grösse und Richtung der Durchbiegung in der Prismenmitte zu verbinden. Vorversuche haben indessen darüber belehrt, dass selbst bei gleichem Materiale und gleicher Prismenlänge die Grösse und Richtung der Formänderung von Zufälligkeiten, in erster Linie von der Beschaffenheit, Anzahl und Anordnung der Astknoten abhängig sei und selbst bei astreinem Holz die Grösse der Durchbiegung sich nicht proportional der Belastung ändere. In Anbetracht dieser Umstände wurde auf die Aufnahme der Formänderung verzichtet und wir beschränkten die Arbeit auf die Ermittlung der Grösse der Abnahme der Druckfestigkeit (Würfelfestigkeit) des Holzes bei wachsender Prismenlänge.

Ähnlich den Prismen zur Erhebung der Elasticitäts-Koeffizienten des Holzes auf Druck, wurden auch die den Knickungsproben unterworfenen Prismen armiert, d. h. auf die Druckflächen der Prismen wurden centrisch ca. 1,8 *cm* starke,

ebene Schmiedeisenplatten aufgeschraubt, die in napfartigen Höhlungen der gusseisernen, auf die Druckplatten der Festigkeitsmaschine aufgeschraubten Aufsätze passten. Jedes derart armierte Prüfungsobjekt in die Maschine gehängt, ist zunächst auf 5 *t* belastet worden; hierauf wurden die Stellschrauben der Druckplatten satt, d. h. derart angezogen, dass eine Bewegung der Lagerflächen während des Versuches ausgeschlossen war und nun ist allmählig steigernd so lange Druck geübt worden, bis entweder eine Durchbiegung oder Materialzerstörung durch lokale Ineinanderpressung der Fasern mit oder ohne vorangegangener Durchbiegung eingetreten ist.

Sämtliche Versuche wurden auf der Werder'schen Festigkeitsmaschine ausgeführt. Protokolliert wurde die Grösse der Knickungskraft; die allgemeine Form des deformierten Balkens; in besonderen Fällen die Richtung der Durchbiegung bzw. auch die Lage jener Querschnitte, in welchen Ineinanderpressen der Fasern stattgefunden hat.

Versuche aus den Jahren 1888, 1894 und 1895.

Die versuchsgerecht hergerichteten Balken wurden ohne Armierung ihrer Endflächen in der Axe der Festigkeitsmaschine gehängt. Die Druckplatten der Maschine gewährten freie Beweglichkeit der Balkenenden oder sie konnten mittelst 4 kräftigen Stellschrauben fixiert werden, so dass eine Tangentenänderung der Axe der Balkenenden während der Versuchsausführung ausgeschlossen blieb.

Fig. 9 stellt die Spannvorrichtung mit freier Beweglichkeit der Balkenenden, die s. g. Spitzenlagerung, dar. Wie die Erfahrung lehrt, arbeiten diese Spitzenlager nahezu vollkommen beweglich; sie arbeiten derart korrekt, dass eine Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen der Rechnung nach Euler's Formel erst dann erzielt wurde, als für die freie Knickungslänge der Prismen

$$l = l_0 + 2a$$

eingeführt wurde.

Sämtliche Prismen von mehr als 2,0 *m* Länge wurden in der Regel in den Dritteln unter Anwendung eines Gegengewichtes von zusammen $\frac{4}{5}$ des Balkengewichtes ausbalanciert. Bei der Versuchsreihe vom Jahre 1894 und 95 wurden sämtliche Balken

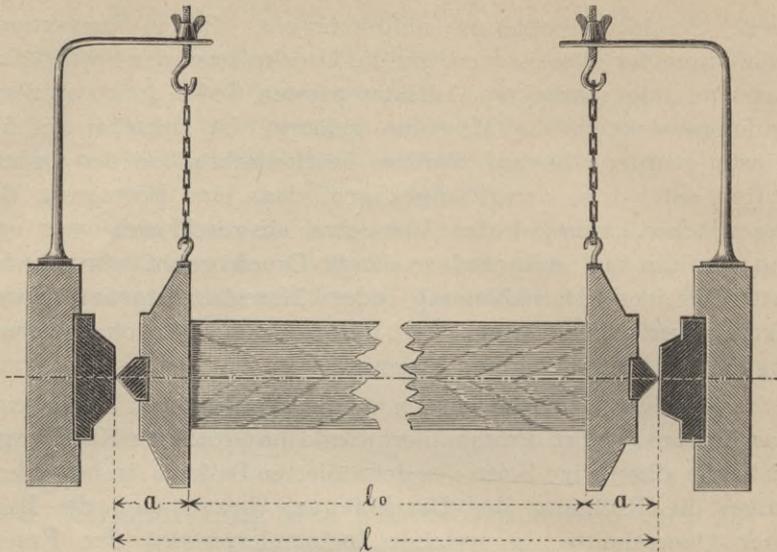


Fig. 9.

von unter 2,0 m Länge in der Mitte aufgehängt und mit ca. $\frac{3}{4}$ des Balkengewichts ausbalanciert. Auf diese Art wurde das Biegemoment des Eigengewichtes der Prismen aufgehoben. Ursprünglich benutzten wir leichte Flaschenzugketten, später dünne Seile, die einerseits an geeigneten Bügeln, die die Balken trugen, befestigt wurden, über Rollen liefen und andererseits Gewichtsschalen trugen

Vor dem Einlegen der Versuchsobjekte in die Maschinen wurde deren Oberflächenbeschaffenheit festgestellt; sie wurden sodann gewogen, gemessen und die Güte der Appretur, namentlich jene der Endflächen kontrolliert. Hierauf wurden die Balken in die Axe der Maschine eingelegt, ausbalanciert und die Lage derselben mittelst Libelle verifiziert.

Um ein Bild über den Verlauf und die Vorgänge während der Versuchsausführung zu gewinnen, wurde bei Balken von über 2,0 m Länge die Lagenänderung der Stabmitte nach 2 senkrecht zu einander stehenden Richtungen für jede Laststufe erhoben und protokolliert. Belastet wurde je nach Balkenlänge und Art der Einspannung verschieden. Anfänglich wurden Laststufen von grösseren Intervallen gewählt; gegen das Ende des Versuches reduzierten sich diese auf 0,250 bis 0,125 t. Auf eine bestimmte Dauer der Einwirkung der Last wurde nur dann

Rücksicht genommen, wenn Messungen der Formveränderungen vorgenommen wurden. In solchen Fällen wurde die Last 15 Sek. lang am Stabe belassen, die Lagenänderung der Mitte der Stabaxe in horizontalem und vertikalem Sinne abgelesen und nun unverzüglich weiter belastet.

Das Verhalten der Balken in der Maschine war ein ausserordentlich wechselndes. Oft stand der Balken bis zur Grenze seiner Tragkraft fast unbeweglich und verlor dieselbe sodann plötzlich. In den meisten Fällen stellte sich bei langen, seltener bei kurzen Stäben schon bei einer relativ geringfügigen Anstrengung, eine dem unbewaffneten Auge merkliche Formänderung ein, welche sodann gegen das Ende progressiv wuchs. Die Richtung der Durchbiegung wechselte derart, dass nichts allgemein Gültiges gesagt werden kann. Hier spielen die Astknoten, Schwindrisse, die zufällige Lage der Markröhre zur Druckrichtung, bezw. zur Maschinenaxe, die Unhomogenitäten bedingt durch Wuchsverhältnisse des Holzes eine ausschlaggebende Rolle. Die meisten Balken hatten wie erwähnt angenähert quadratischen Querschnitt und fiel deren Biegungsrichtung in die Richtung der Diagonalebene oder deren Nähe. Selten ist vorgekommen, dass sich das Holz ausschliesslich in horizontaler oder vertikaler Richtung, also senkrecht zu den Begrenzungsflächen durchgebogen hat.

Balken mit einem massgebenden Längenverhältnis ($l : k$) grösser als 100 trugen den Charakter vorwiegend elastischer Körper, d. h. die Formänderung ist nach Entfernung der Belastung der Hauptsache nach wieder verschwunden. Die kurzen Balken trugen dagegen den Charakter vorwiegend unelastischer Körper; sie sind der Hauptsache nach unter der Erscheinung des Ineinanderpressens der Fasern geknickt; selten sind Aufspaltungen oder eigentliche Querbrüche vorgekommen.

b. Gusseisen.

Ähnlich dem Arbeitsvorgange bei Durchführung der neuen Knickungsversuche mit Bauhölzern war jener bei Ausführung der Knickungsproben mit den gusseisernen Rohrabschnitten organisiert. Die versuchsgerecht hergerichteten Rohrabschnitte wurden zunächst gewogen, ausgemessen und ohne Armierung ihrer Endflächen in die Axe der Festigkeitsmaschine gehängt.

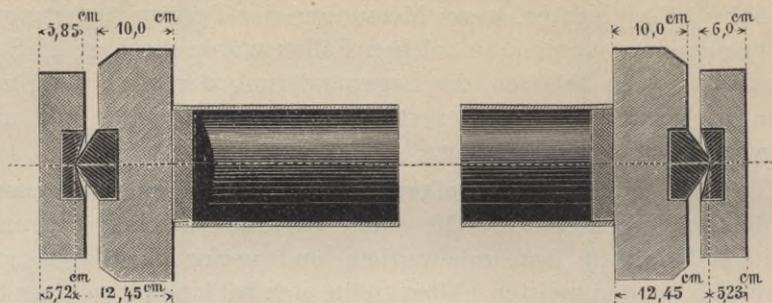


Fig. 10.

Die Konstruktion der Druckplatten geht aus Fig. 10 hervor. Man sieht die mit Spitzenkörnern ausgerüsteten, beweglichen Druckplatten trugen auswechselbare, zentrifugal aufgeschraubte, cylindrische Ansätze, deren Durchmesser mit etwas Spiel der inneren Weite der Probekörper der Versuchsreihen angepasst waren. Da der Durchmesser der cylindrischen Ansätze der Druckplatten mit der innern Rohrweite nicht immer befriedigend übereinstimmte, mussten die Probekörper den Rohrwandstärken und den zufälligen Spielräumen entsprechend, mit Papier oder Holzspähnen unterlegt, in die Maschine gehängt werden. Auf diese Weise war eine centrische Lage der Rohrenden in der Maschine erreicht. Dass trotz diesen Vorsichtsmaßregeln die Axe der Rohrabschnitte nicht immer vollkommen befriedigend in die Maschinenaxe fiel, ist selbstredend.

Das Biegemoment des Eigengewichtes der Rohrabschnitte von 2,0 und mehr Meter Länge wurde ähnlich wie beim Holze durch angehängte Gewichte aufgehoben.

Um ein Bild über den Verlauf der Biegeerscheinungen während der Versuchsausführung zu gewinnen, wurden bei Rohrabschnitten von 2,0 und mehr Meter Länge die Lagenänderungen der Stabmitte nach 2 \perp zu einander stehenden Richtungen für einzelne Laststufen erhoben und protokolliert. Wegen der Unzugänglichkeit der Probekörper in der Maschine, — dieselben mussten aus Vorsichtsgründen mit starken Holzhohlen umkleidet werden, — wurden in einiger Entfernung vom Versuchsobjekte, nach Anleitung der Fig. 11, Gradbogen montiert, welche vermittelt gut gespannter Schnüre die Bewegungen der Rohrmitte zu verfolgen gestatteten.

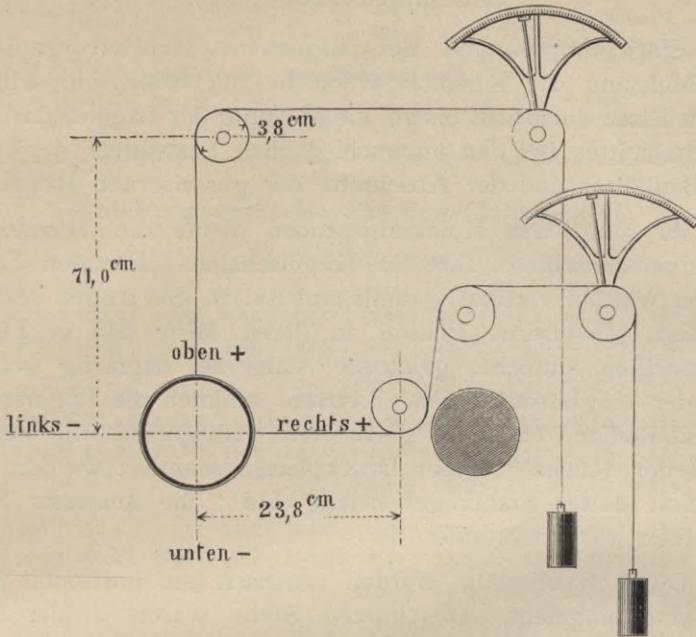


Fig. 11.

Zur Anwendung kam die grosse *Kirkaldy*-Maschine der belgischen Staatsbahnen im Arsenal zu Malines. Der Druck wurde hydraulisch mittelst der kontinuierlich wirkenden Pumpe der Maschine bewirkt. Auf eine bestimmte Dauer der Einwirkung der Last konnte nicht Rücksicht genommen werden. Es wurde, so oft die gewählte Laststufe erreicht war, abgelesen und unverzüglich weiter belastet.

Das Verhalten der Probekörper in der Maschine war nur in sofern ein verschiedenartiges, als die Rohrabschnitte unter 1,5 m Länge fast keine Verbiegungen erlitten und plötzlich unter heftiger Detonation in kleine Scherben zerfielen. Die langen Rohrabschnitte verbogen sich und brachen auf der gespannten Seite, unter Ablösung von Scherben, die oft das mittlere Drittel der Rohrabschnitte umfassten. Die Richtung der Verbiegung wechselte regellos; sie war offenbar durch die Excentricitätsverhältnisse des Kraftangriffs in den mittleren Rohrquerschnitten bedingt.

c. Schmiedbares Eisen.

Einrichtungen und der allgemeine Arbeitsvorgang bei Durchführung der Knickungsversuche mit Stäben in schmiedbarem Eisen entspricht bis auf die Messung der Lagenänderungen der Stabmitten bei den unterschiedlichen Laststufen, denjenigen der Bauhölzer und der Abschnitte der gusseisernen Röhren.

Zu sämtlichen Knickungsproben diente die *Werder'sche* Festigkeitsmaschine. Ihre in Kugelschalen spielenden Druckplatten wurden vertikal gestellt und fixiert. Sie trugen centriscb befestigt, gusseiserne Platten, in deren Mitte den in Fig 10 dargestellten ähnliche, gehärtete, stählerne, napfartig gehöhlte Cylinder einglassen waren. Letztere bildeten die Lagerschalen der konischen, ebenfalls gehärteten Stahlspitzen, die auf der Mitte der Rückseiten der Druckplatten montiert wurden. Die Conicität dieser Stahlkegel betrug 114° ; die äusserste Spitze derselben war abgerundet.

Die Versuchsstäbe wurden centriscb und horizontal in die Maschine eingelegt. Die kurzen Stäbe waren in der Mitte, die langen in den Dritteln mittelst Seilchen gefasst, welche über Rollen liefen und an ihren freien Enden Wagschalen trugen. Durch Belastung dieser Schalen konnte Fall für Fall das Biegemoment des Eigengewichtes des Probestabes, ähnlich wie dies bei den Holz- und Gussproben geschah, aufgehoben werden. Die Belastung geschah anfänglich je nach Länge und Querschnittsgrösse des Stabes durch Auflegen von 5,0 bis 1,0 *t*; gegen das Ende des Versuchs wurde das Gewicht auf 0,250 bis 0,125 abgemindert. Belastet wurde so oft die Libelle des *Werder'schen* Wagebalkens einspielte. Eine bestimmte Dauer der Krafeinwirkung konnte nicht eingehalten werden. Die in nachstehenden Zusammenstellungen eingetragenen Biegungrichtungen entsprechen den Erhebungen durch Visur längs den geknickten Stäben.

4. Resultate der Knickungsproben.

I. Abteilung: Bauholz.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit 0/0	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro <i>cm</i> ² nach	
		Balkenlänge		<i>b cm</i>	<i>s cm</i>	<i>F cm</i> ²	<i>k cm</i>			absolut <i>N t</i>	<i>t p. cm</i> ² β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
		<i>l₀ cm</i>	<i>l cm</i>										
Knickungsversuche aus dem Jahre 1883.													
<i>Flächenlagerung.</i>													
1	Föhre	200,2	100,1	10,4	10,0	104,0	2,89	34,6	17,1	19,25	0,185		
2	»	200,1	100,1	9,9	10,0	99,0	2,86	35,0	c. 25,0	21,50	0,217		
							Mittel	34,8	21,1	20,38	0,201	—	0,225
3	Föhre	150,2	75,1	10,4	9,9	103,0	2,86	26,3	17,1	18,50	0,180		
4	»	150,1	75,1	10,1	10,1	102,0	2,92	25,7	c. 25,0	22,50	0,221		
							Mittel	26,0	21,1	20,50	0,201	—	0,243
5	Föhre	100,1	50,1	10,3	10,1	104,0	2,92	17,2	17,1	19,00	0,183		
6	»	100,1	50,1	10,0	10,0	100,0	2,89	17,3	c. 25,0	21,00	0,210		
							Mittel	17,3	21,1	20,00	0,197	—	0,259
7	Föhre	50,0	25,0	9,2	9,4	86,5	2,66	9,4	17,1	21,75	0,251		
8	»	50,0	25,0	10,2	10,1	103,0	2,92	8,6	c. 25,0	21,25	0,206		
							Mittel	9,0	21,1	21,50	0,229	—	0,276
9	Lärche	200,0	100,0	9,8	10,0	98,0	2,83	35,3	11,5	24,75	0,252		
10	»	199,8	99,9	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	18,9	27,00	0,278		
11	»	200,0	100,0	9,8	10,1	99,0	2,83	35,3	c. 25,0	24,25	0,245		
12	»	199,1	99,6	10,0	10,3	103,0	2,89	34,5	15,7	26,00	0,252		
13	»	198,7	99,4	10,3	10,0	103,0	2,89	34,4	16,0	25,50	0,248		
							Mittel	35,0	21,4	25,50	0,255	—	0,225
14	Lärche	149,7	74,9	9,8	10,0	98,0	2,83	26,5	11,5	26,25	0,268		
15	»	150,0	75,0	10,0	9,9	99,0	2,86	26,2	18,9	27,13	0,274		
16	»	150,1	75,1	9,9	9,9	98,0	2,86	26,3	c. 25,0	26,50	0,270		
17	»	149,6	74,8	10,2	10,2	104,0	2,95	25,4	15,7	21,00	0,202		
18	»	149,9	75,0	10,1	9,9	100,0	2,86	26,2	16,0	22,75	0,228		
							Mittel	26,1	21,4	24,72	0,248	—	0,242
19	Lärche	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	11,5	31,25	0,319		
20	»	99,7	49,9	10,0	9,9	99,0	2,86	17,4	18,9	24,75	0,250		
21	»	100,1	50,1	10,0	9,9	99,0	2,86	17,5	c. 25,0	26,83	0,271		
22	»	100,1	50,1	10,2	9,9	101,0	2,86	17,5	15,7	25,75	0,255		
23	»	99,6	49,8	10,0	10,2	102,0	2,89	17,2	16,0	26,25	0,257		
							Mittel	17,4	21,4	26,96	0,270	—	0,259

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- Fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro <i>cm</i> ² nach	
		Balkenlänge						<i>F</i> <i>cm</i> ²	<i>k</i> <i>cm</i>		%	absolut	<i>t p. cm</i> ² β <i>k</i>	Euler	Tet- majer
		<i>l</i> <i>cm</i>	<i>l</i> <i>cm</i>	<i>b</i> <i>cm</i>	<i>s</i> <i>cm</i>							<i>N t</i>	β <i>k</i>	β <i>k</i>	β <i>k</i>
24	Lärche	50,0	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	11,5	37,50	0,383				
25	»	49,9	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	18,9	34,50	0,352				
26	»	50,0	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	c. 25,0	25,75	0,263				
27	»	49,7	24,9	10,1	9,9	100,0	2,86	8,7	15,7	27,00	0,270				
28	»	49,4	24,7	9,9	9,7	96,0	2,80	8,8	16,0	28,00	0,292				
							Mittel	8,7	17,4	30,55	0,312	—	0,276		
29	Rot- tanne	199,8	99,9	9,9	9,6	95,0	2,77	36,1	12,7	19,50	0,205				
30	»	200,2	100,1	9,9	9,7	96,0	2,80	35,8	11,4	22,50	0,234				
31	»	200,4	100,2	9,9	9,6	95,0	2,77	36,2	?	23,50	0,247				
32	»	199,5	99,8	10,1	10,1	102,0	2,92	34,2	12,8	21,00	0,206				
33	»	194,2	97,1	9,8	9,9	97,0	2,83	34,3	13,6	21,25	0,219				
34	»	199,5	99,8	9,9	9,7	96,0	2,80	35,6	15,0	18,00	0,187				
35	»	199,7	99,9	9,7	9,9	96,0	2,80	35,7	14,3	15,25	0,159				
36	»	199,6	99,8	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	14,2	16,75	0,173				
37	»	199,3	99,7	10,0	10,1	101,0	2,89	34,5	14,4	18,25	0,181				
38	»	198,0	99,0	10,0	10,0	100,0	2,89	34,3	15,2	19,25	0,193				
39	»	199,0	99,5	9,7	10,1	98,0	2,80	35,5	20,0	24,50	0,250				
							Mittel	35,2	14,3	19,96	0,205	—	0,225		
40	Rot- tanne	150,2	75,1	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	12,7	21,25	0,221				
41	»	149,8	74,9	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	11,4	28,50	0,297				
42	»	150,0	75,0	10,0	9,8	98,0	2,83	26,5	?	24,75	0,253				
43	»	149,7	74,9	9,9	9,8	97,0	2,83	26,5	12,8	24,25	0,250				
44	»	149,7	74,9	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	13,6	21,25	0,221				
45	»	149,2	74,6	9,7	9,9	96,0	2,80	26,6	15,0	16,50	0,172				
46	»	149,7	74,9	10,0	9,8	98,0	2,83	26,5	14,3	17,50	0,179				
47	»	150,0	75,0	9,9	9,6	95,0	2,77	27,1	14,2	16,75	0,176				
48	»	149,0	74,5	10,2	10,3	105,1	2,95	25,3	14,4	19,00	0,181				
49	»	149,4	74,7	10,0	10,2	102,0	2,89	25,8	15,2	18,00	0,176				
50	»	149,9	75,0	10,3	9,7	99,9	2,80	26,8	20,0	25,50	0,255				
							Mittel	26,5	14,4	21,20	0,218	—	0,242		
51	Rot- tanne	99,9	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	12,7	23,75	0,245				
52	»	100,2	50,1	9,9	9,6	95,0	2,77	18,1	11,4	27,25	0,287				
53	»	100,0	50,0	9,9	10,0	99,0	2,86	17,5	?	25,00	0,253				
54	»	99,8	49,9	10,2	10,0	102,0	2,89	17,3	12,8	27,75	0,272				
55	»	100,0	50,0	9,7	9,8	95,1	2,80	17,9	13,6	22,50	0,236				
56	»	99,5	49,8	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	15,0	17,50	0,180				

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr.		Querschnitts-abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Querschnitts-fläche	Trägheits-halb-messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch-tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach		
		Balkenlänge		b cm	s cm	F cm^2	k cm			0/o	absolut $N t$	t p. cm^2 β_k	Euler β_k	Tet-majer β_k
		l_0 cm	l cm											
57	Rot-tanne	99,6	49,8	9,6	10,0	96,0	2,77	18,0	14,3	17,50	0,182			
58	»	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	14,2	16,75	0,171			
59	»	100,0	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	14,4	20,00	0,206			
60	»	100,0	50,0	10,1	10,1	102,0	2,92	17,1	15,2	15,50	0,152			
61	»	100,1	50,1	10,1	9,9	100,0	2,86	17,5	20,0	21,50	0,215			
							Mittel	17,6	14,4	21,36	0,218	—	0,259	
62	Rot-tanne	50,1	25,1	9,8	9,7	95,1	2,80	9,0	12,7	27,50	0,289			
63	»	50,1	25,1	9,6	9,8	94,1	2,77	9,1	11,4	36,00	0,383			
64	»	50,0	25,0	9,8	10,0	98,0	2,83	8,8	?	26,00	0,265			
65	»	49,6	24,8	9,9	9,7	96,0	2,80	8,9	12,8	37,25	0,388			
66	»	49,9	25,0	9,6	9,9	95,0	2,77	9,0	13,6	30,75	0,323			
67	»	49,7	24,9	9,6	9,9	95,0	2,77	9,0	15,0	22,50	0,237			
68	»	49,8	24,9	9,7	9,9	96,0	2,80	8,9	14,3	26,25	0,273			
69	»	50,0	25,0	9,7	9,9	96,0	2,80	8,9	14,2	19,00	0,198			
70	»	49,8	24,9	8,8	10,0	88,0	2,54	9,8	14,4	23,00	0,261			
71	»	49,4	24,7	9,9	9,8	97,0	2,83	8,7	15,2	26,50	0,273			
72	»	50,0	25,0	9,7	10,0	97,0	2,80	8,9	20,0	27,75	0,286			
							Mittel	9,0	14,36	27,50	0,289	—	0,276	
73	Weiss-tanne	200,0	100,0	9,9	9,8	97,0	2,83	35,3	12,4	25,75	0,266			
74	»	200,2	100,1	9,9	9,8	97,0	2,83	35,4	14,9	26,00	0,268			
75	»	200,0	100,0	9,9	10,0	99,0	2,86	35,0	?	17,50	0,177			
76	»	199,8	99,9	10,6	10,2	108,1	2,95	33,9	11,9	25,00	0,231			
77	»	200,0	100,0	10,2	10,5	107,1	2,95	33,9	12,7	24,00	0,224			
78	»	200,0	100,0	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	13,2	18,75	0,193			
79	»	199,7	99,9	9,9	9,9	98,0	2,86	34,9	12,5	21,50	0,219			
80	»	199,5	99,8	9,9	9,8	97,0	2,83	35,3	13,8	17,75	0,183			
81	»	199,9	99,9	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	13,2	23,25	0,240			
							Mittel	34,9	13,1	22,17	0,222	—	0,225	
82	Weiss-tanne	150,1	75,1	9,9	10,0	99,0	2,86	26,3	12,4	25,75	0,260			
83	»	150,0	75,0	9,9	9,8	97,0	2,83	26,5	14,9	25,00	0,258			
84	»	149,8	74,9	10,0	9,9	99,0	2,86	26,2	?	17,75	0,179			
85	»	150,0	75,0	10,1	10,0	101,0	2,89	26,0	11,9	21,75	0,215			
86	»	150,0	75,0	10,2	10,5	107,1	2,95	25,4	12,7	23,25	0,217			
87	»	149,9	75,0	9,9	10,0	99,0	2,86	26,2	13,2	18,25	0,184			
88	»	149,9	75,0	9,8	9,9	97,0	2,83	26,5	12,5	20,75	0,214			

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
		Balkenlänge		b cm	s cm	F cm^2	k cm	0/0	absolut N t		t p. cm^2 β k	Euler β k	Tet- majer β k		
		l_0 cm	l cm												
89	Weiss- tanne	149,9	75,0	9,9	9,9	98,0	2,86	26,2	13,8	19,25	0,196				
90	»	150,0	75,0	9,8	9,9	97,0	2,83	26,5	13,2	23,50	0,242				
							Mittel	26,2	13,1	21,00	0,211	—	0,242		
91	Weiss- tanne	99,7	49,9	9,9	9,8	97,0	2,83	17,6	12,4	24,50	0,253				
92	»	100,0	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	14,9	24,50	0,253				
93	»	100,0	50,0	9,9	10,0	99,0	2,86	17,5	?	18,70	0,189				
94	»	100,3	50,2	10,3	10,4	107,1	2,98	16,8	11,9	24,50	0,229				
95	»	100,0	50,0	10,1	10,0	101,0	2,89	17,3	12,7	24,00	0,238				
96	»	100,0	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	13,2	19,25	0,196				
97	»	99,7	49,9	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	12,5	22,25	0,229				
98	»	99,8	49,9	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	13,8	18,25	0,188				
99	»	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	13,2	20,75	0,212				
							Mittel	17,5	13,1	21,86	0,221	—	0,259		
100	Weiss- tanne	50,1	25,1	9,9	9,7	96,0	2,80	9,0	12,4	34,50	0,359				
101	»	50,0	25,4	9,9	9,7	96,0	2,80	9,1	14,9	30,00	0,312				
102	»	50,0	25,0	9,9	10,0	99,0	2,86	8,7	?	18,00	0,182				
103	»	49,8	24,9	9,9	10,2	101,0	2,86	8,7	11,9	30,50	0,302				
104	»	49,4	24,7	10,1	10,1	102,0	2,92	8,5	12,7	31,00	0,304				
105	»	50,2	25,1	9,8	10,0	98,0	2,83	8,9	13,2	25,40	0,259				
106	»	49,8	24,9	9,9	9,7	96,0	2,80	8,9	12,5	24,75	0,258				
107	»	49,6	24,8	9,8	9,9	97,0	2,83	8,8	13,8	26,25	0,270				
108	»	50,0	25,0	9,9	9,8	97,0	2,83	8,8	13,2	28,25	0,291				
							Mittel	8,8	13,1	27,63	0,282	—	0,276		
109	Eiche	199,8	99,9	10,0	10,0	100,0	2,89	34,6	22,5	27,75	0,278				
110	»	198,2	99,1	10,1	10,6	107,1	2,92	33,9	24,7	27,25	0,254				
							Mittel	34,3	23,6	27,50	0,266	—	0,226		
111	Eiche	150,1	75,1	9,9	9,9	98,0	2,86	26,3	22,5	27,50	0,281				
112	»	148,3	74,2	9,8	9,6	94,1	2,77	26,8	24,7	26,75	0,284				
							Mittel	26,6	23,6	27,13	0,283	—	0,241		
113	Eiche	100,0	50,0	10,0	9,9	99,0	2,86	17,5	22,5	27,50	0,278				
114	»	99,3	49,7	10,1	10,7	108,1	2,92	17,0	24,7	26,75	0,247				
							Mittel	17,3	23,6	27,13	0,263	—	0,259		
115	Eiche	50,0	25,0	10,0	10,0	100,0	0,289	8,7	22,5	33,75	0,338				
116	»	49,4	24,7	10,1	10,4	105,0	0,292	8,5	24,7	33,50	0,319				
							Mittel	8,6	23,6	33,63	0,329	—	0,276		

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
		Balkenlänge						F cm^2	k cm		0/o	absolut	t p. cm^2	Euler	Tet- majer
		l_0 cm	l cm	b cm	s cm	F cm^2	k cm	0/o	N t		β k	β k	β k	β k	
Knickungsversuche aus dem Jahre 1888.															
1. Serie: Spitzenlagerung.															
117	Föhre	725,0	743,0	14,31	13,75	196,8	3,97	187,2	17,6*	6,10	0,031				
118	»	725,0	743,0	13,40	13,40	179,6	3,87	192,0	17,6	5,00	0,028				
							Mittel	189,6	17,6	5,55	0,030	0,027	—		
119	Föhre	600,0	618,0	14,35	13,75	197,3	3,97	155,7	17,6	8,25	0,042	0,041	—		
120	»	500,0	518,0	13,48	13,47	181,6	3,89	133,2	17,6	11,00	0,061	0,056	—		
121	»	400,0	418,0	13,45	13,40	180,2	3,87	108,0	17,6	17,25	0,096	0,085	—		
122	Föhre	300,0	318,0	13,38	13,36	178,8	3,86	82,4	17,6	25,50	0,143				
123	»	300,0	318,0	13,24	12,88	170,5	3,72	85,5	17,6	22,80	0,134				
							Mittel	84,0	17,6	24,15	0,139	—	0,130		
124	Föhre	200,0	218,0	13,46	13,40	180,4	3,87	56,3	17,6	36,00	0,200				
125	»	200,0	218,0	13,31	12,83	170,8	3,71	58,8	17,6	34,50	0,202				
126	»	200,0	218,0	14,70	13,40	197,0	3,87	56,3	17,6	37,40	0,190				
							Mittel	57,1	17,6	35,97	0,197	—	0,182		
127	Föhre	120,0	138,0	14,40	13,80	198,7	3,99	34,6	17,6	43,50	0,219				
128	»	120,0	138,0	14,70	13,35	196,2	3,86	35,8	17,6	42,50	0,217				
							Mittel	35,2	17,6	43,00	0,218	—	0,225		
129	Föhre	100,0	118,0	13,35	12,85	171,5	3,71	31,8	17,6	40,80	0,238				
130	»	100,0	118,0	13,22	12,84	169,7	3,71	31,8	17,6	44,00	0,259				
							Mittel	31,8	17,6	42,40	0,249	—	0,231		
131	Föhre	50,0	68,0	13,42	12,86	172,6	3,72	18,3	17,6	49,00	0,284				
132	»	50,0	68,0	14,65	13,35	195,6	3,86	17,6	17,6	60,00	0,307				
							Mittel	18,0	17,6	54,50	0,296	—	0,258		
133	Föhre	20,0	38,0	14,30	13,80	197,3	3,99	9,5	17,6	52,00	0,264				
134	»	20,0	38,0	13,50	13,43	181,3	3,88	9,8	17,6	58,70	0,324				
135	»	20,0	38,0	13,33	12,84	171,2	3,71	10,2	17,6	60,00	0,350				
							Mittel	9,8	17,6	56,90	0,313	—	0,274		

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche $F \text{ cm}^2$	Träg- heits- halb- messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit 0/0	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
		Balkenlänge				absolut $N t$	$t \text{ p. cm}^2$ β_k					Euler β_k	Tet- majer β_k		
		$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$	$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$										
136	Lärche	725,0	743,0	13,68	13,48	184,4	3,90	190,5	17,6*	5,60	0,030	0,027	—		
137	»	600,0	618,0	13,75	13,60	187,0	3,93	157,3	17,6	7,40	0,040	0,040	—		
138	»	500,0	518,0	13,43	13,35	179,3	3,86	134,2	17,6	9,90	0,055	0,055	—		
139	»	400,0	418,0	13,40	13,40	179,6	3,87	108,0	17,6	14,80	0,082	0,085	—		
140	Lärche	300,0	318,0	13,36	13,34	178,2	3,86	82,4	17,6	22,40	0,126				
141	»	300,0	318,0	13,86	12,57	174,2	3,63	87,6	17,6	23,00	0,132				
							Mittel	85,0	17,6	22,70	0,129	—	0,128		
142	Lärche	200,0	218,0	13,40	13,38	179,3	3,87	56,3	17,6	32,50	0,181				
143	»	200,0	218,0	13,87	12,55	174,1	3,63	60,1	17,6	40,50	0,233				
144	»	200,0	218,0	13,10	13,00	170,3	3,76	58,0	17,6	41,50	0,244				
							Mittel	58,1	17,6	38,17	0,219	—	0,180		
145	Lärche	120,0	138,0	13,70	13,60	186,3	3,93	35,1	17,6	49,75	0,267				
146	»	120,0	138,0	13,00	13,00	169,0	3,76	36,7	17,6	45,50	0,269				
							Mittel	35,9	17,6	47,63	0,268	—	0,223		
147	Lärche	100,0	118,0	13,87	12,62	175,0	3,65	32,3	17,6	51,80	0,296				
148	»	100,0	118,0	13,90	12,55	174,4	3,63	32,5	17,6	49,80	0,286				
							Mittel	32,4	17,6	50,80	0,291	—	0,230		
149	Lärche	50,0	68,0	13,89	12,60	175,0	3,64	18,7	17,6	50,00	0,286				
150	»	50,0	68,0	13,30	13,05	173,6	3,77	18,0	17,6	52,00	0,300				
							Mittel	18,4	17,6	51,00	0,293	—	0,257		
151	Lärche	20,0	38,0	13,38	13,31	178,1	3,85	9,9	17,6	54,80	0,308				
152	»	20,0	38,0	13,80	13,60	187,7	3,93	9,7	17,6	59,50	0,317				
153	»	20,0	38,0	13,91	12,64	175,8	3,65	10,4	17,6	60,70	0,345				
							Mittel	10,0	17,6	58,33	0,323	—	0,274		

2. Serie: Flächenlagerung.

154	Föhre	725,0	362,5	14,68	13,40	196,7	3,87	93,7	17,6*	18,75	0,095	—	0,111
155	»	625,0	312,5	14,70	13,35	196,2	3,86	81,0	17,6	25,00	0,127	—	0,136
156	»	525,0	262,5	14,70	13,30	195,5	3,84	68,4	17,6	32,00	0,164	—	0,160

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
		Balkenlänge						F cm^2	k cm		0/0	absolut	t p. cm^2	Euler	Tet- majer
		b cm	l cm	b cm	s cm	F cm^2	k cm	0/0	N t		β k	β k	β k		
157	Lärche	725,0	362,5	13,27	13,00	172,5	3,76	96,4	17,6	18,25	0,106	—	0,106		
158	»	625,0	312,5	13,35	12,95	172,9	3,74	83,6	17,6	26,00	0,150	—	0,131		
159	»	525,0	262,5	13,25	13,03	172,6	3,77	69,6	17,6	32,30	0,187	—	0,158		
160	Rot- tanne	725,0	362,5	14,85	14,45	214,6	4,18	86,7	15,0*	22,00	0,102				
161		720,0	360,0	14,70	14,10	207,3	4,07	88,5	15,0	22,50	0,109				
							Mittel	87,6	15,0	22,30	0,106	—	0,123		
162	Rot- tanne	620,0	310,0	14,80	14,35	212,4	4,15	74,7	15,0	29,25	0,138				
163		600,0	300,0	14,70	13,95	205,1	4,03	74,4	15,0	31,25	0,152				
							Mittel	74,6	15,0	30,25	0,145	—	0,148		
164	Rot- tanne	520,0	260,0	14,77	14,30	211,2	4,13	63,0	15,0	37,50	0,178				
165		500,0	250,0	14,70	13,95	205,1	4,03	62,0	15,0	36,50	0,178				
							Mittel	62,5	15,0	37,00	0,178	—	0,172		
166	Weiss- tanne	725,0	362,5	14,20	13,85	196,7	4,00	90,6	15,0	19,25	0,098				
167		720,0	360,0	14,33	13,17	188,7	3,81	94,5	15,0	19,90	0,105				
							Mittel	92,6	15,0	19,58	0,102	—	0,113		
168	Weiss- tanne	620,0	310,0	14,65	13,83	202,6	4,00	77,5	15,0	25,50	0,126				
169		600,0	300,0	14,08	13,17	185,4	3,81	78,7	15,0	25,50	0,138				
							Mittel	78,1	15,0	25,50	0,132	—	0,141		
170	Weiss- tanne	520,0	260,0	14,55	13,70	199,3	3,96	65,7	15,0	34,00	0,171				
171		500,0	250,0	13,85	13,03	180,5	3,76	66,5	15,0	32,00	0,177				
							Mittel	66,1	15,0	33,00	0,174	—	0,165		

3. Serie: *Bestimmung der Elasticitätskoeffizienten und der Druckfestigkeit des Versuchsmaterials.*

									N t	β a	γ a	ϵ a	
172	Föhre	20,0	—	—	—	197,3	—	—	17,6**)	52,10	0,264	0,126	101,6
173	»	20,0	—	—	—	181,3	—	—	17,6	58,55	0,323	0,118	104,6
174	»	20,0	—	—	—	171,2	—	—	17,6	59,90	0,350	—	—
									Mittel	56,85	0,312	0,122	103,1

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Rot- und 2 Weisstannenbalken.

**) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Werte des	
		Balkenlänge						$F \text{ cm}^2$	$k \text{ cm}$		0/0	absolut	$t \text{ p.cm}^2$	Grenz- moduls	Elast- moduls
		$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$	$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$						$N t$	β_d	γ_d $t \text{ p.cm}^2$	ε_d $t \text{ p.cm}^2$	
175	Lärche	20,0	—	—	—	178,2	—	—	—	—	17,6*	54,90	0,308	0,113	106,8
176	»	20,0	—	—	—	188,0	—	—	—	—	17,6	59,60	0,317	0,120	109,5
177	»	20,0	—	—	—	175,8	—	—	—	—	17,6	59,90	0,346	—	—
											Mittel	58,13	0,324	0,117	108,2
178	Rot- tanne	25,0	—	—	—	201,1	—	—	—	—	15,0**	61,90	0,308	—	—
179	»	25,0	—	—	—	204,4	—	—	—	—	15,0	59,50	0,291	—	—
180	»	25,0	—	—	—	213,4	—	—	—	—	15,0	59,10	0,277	—	—
181	»	25,0	—	—	—	213,1	—	—	—	—	15,0	54,55	0,256	—	—
											Mittel	58,67	0,283	—	—
182	Weiss- tanne	25,0	—	—	—	182,1	—	—	—	—	15,0**	61,35	0,337	—	—
183	»	25,0	—	—	—	185,4	—	—	—	—	15,0	51,00	0,275	—	—
184	»	25,0	—	—	—	216,1	—	—	—	—	15,0	55,50	0,257	—	—
185	»	25,0	—	—	—	202,9	—	—	—	—	15,0	57,25	0,282	—	—
											Mittel	56,28	0,288	—	—

Knickungsversuche aus dem Jahre 1894.

Spitzenlagerung.

Lauf. No.	Holz- gattung	l_0	l	b	s	F	k	$\frac{l}{k}$	Feuch- tigkeit	$N t$	β_k	β_k	β_k
										0/0	absolut	$t \text{ p.cm}^2$	γ_d
186	Föhre	629,9	648,6	13,16	13,36	175,8	3,80	170,7	15,5†)	6,38	0,036	0,034	—
187	»	529,4	548,1	13,10	13,35	174,9	3,79	144,6	15,5	8,55	0,049	0,048	—
188	»	410,0	428,6	13,79	14,23	186,2	3,99	107,4	15,5	13,75	0,074	0,085	—
189	»	220,0	238,6	14,00	14,11	197,5	4,05	58,9	15,5	31,75	0,167	—	0,179
190	»	140,3	158,9	14,22	14,11	200,6	4,08	38,9	15,5	32,00	0,160	—	0,218
191	»	99,8	118,4	13,89	14,28	198,3	4,01	29,5	15,5	40,80	0,205	—	0,236
192	»	70,1	35,1	13,75	14,24	195,8	3,97	8,8	15,5	45,00	0,230	—	0,276
193	»	50,2	25,1	14,22	13,74	195,4	3,97	6,3	15,5	46,50	0,238	—	0,281

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

**) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Rot- und 2 Weisstannenbalken.

†) Mittel aus 3 Versuchen; entsprechend den 3 bezogenen Balken.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche $F \text{ cm}^2$	Träg- heits- halb- messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit %	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
		Balkenlänge		$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$					absolut $N t$	$t \text{ p. cm}^2$ $\frac{\beta}{k}$	Euler β_k	Tet- majer β_k
		$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$										
194	Föhre	14,50	7,3	14,29	14,08	201,2	4,07	1,8	15,5	58,00	0,288		
195	»	14,20	7,1	14,19	14,08	199,8	4,07	1,7	15,5	50,00	0,250		
196	»	13,40	6,7	13,24	13,20	174,8	3,81	1,8	15,5	55,50	0,318		
197	»	14,10	7,1	13,90	14,22	197,7	4,02	1,8	15,5	53,00	0,268		
							Mittel	1,8	15,5	54,12	0,281	—	0,290
198	Lärche	630,3	648,9	15,10	15,24	230,1	4,36	148,8	15,1*	12,10	0,053	0,045	—
199	»	529,7	548,3	14,64	15,25	223,3	4,23	129,6	15,1	15,50	0,069	0,059	—
200	»	410,4	429,0	15,25	15,26	232,7	4,41	97,3	15,1	26,60	0,114	—	0,104
201	»	329,8	348,4	15,15	15,39	233,2	4,38	79,5	15,1	29,60	0,127	—	0,139
202	»	240,0	258,6	15,33	15,02	230,3	4,34	59,6	15,1	53,60	0,233	—	0,177
203	»	140,0	158,6	15,80	15,58	246,2	4,50	35,2	15,1	57,50	0,233	—	0,225
204	»	97,2	115,8	15,13	15,12	228,7	4,37	26,5	15,1	56,10	0,245	—	0,242
205	»	69,8	34,9	15,62	15,63	244,1	4,51	7,7	15,1	66,80	0,274	—	0,278
206	»	50,2	25,1	15,58	15,50	241,5	4,48	5,6	15,1	75,75	0,314	—	0,282
207	»	15,5	7,8	15,33	14,98	229,6	4,33	1,8	15,1	78,80	0,343		
208	»	15,2	7,6	15,17	15,35	232,9	4,38	1,7	15,1	73,00	0,314		
							Mittel	1,8	15,1	75,90	0,329	—	0,290
209	Rot- tanne	630,7	649,3	12,57	12,49	157,0	3,61	179,9	14,2	6,25	0,040	0,030	—
210	»	530,7	549,3	12,53	12,56	157,4	3,62	151,7	14,2	8,62	0,055	0,043	—
211	»	410,5	429,1	11,46	11,47	131,4	3,31	129,6	13,0	7,50	0,057	0,059	—
212	»	330,3	348,9	11,54	11,99	138,4	3,33	104,8	10,7	12,00	0,087	0,089	—
213	»	240,2	258,8	11,58	11,43	132,4	3,30	77,1	13,0	18,40	0,139	—	0,143
214	»	140,1	158,7	11,81	12,17	143,7	3,41	46,5	10,7	31,00	0,216	—	
215	»	100,0	118,6	12,95	12,58	162,9	3,64	32,6	14,9	40,00	0,246	—	0,230
216	»	96,6	115,2	12,57	12,58	158,1	3,63	31,7	14,2	42,10	0,266	—	0,232

*) Wie bei Föhre.

Lauf. No.	Holzgattung	Urspur.		Querschnitts-abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Querschnitts-fläche	Trägheits-halb-messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch-tigkeit	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
		Balkenlänge		b cm	s cm	F cm^2	k cm		0/0	absolut	t p. cm^2	Euler β_k	Tet-majer β_k
		l_0 cm	l cm							N t	β_k		
217	Rot-tanne	69,8	88,4	12,13	11,84	143,6	3,42	25,8	10,7	32,50	0,226	—	0,243
218	»	49,8	68,4	12,03	12,09	145,4	3,48	19,7	10,7	32,00	0,220	—	0,255
219	»	11,6	5,8	11,48	11,37	130,5	3,29	1,8	13,0	37,50	0,287		
220	»	11,9	7,5	11,98	12,00	143,8	3,46	1,7	10,7	40,50	0,282		
221	»	12,7	6,4	12,58	12,60	158,5	3,64	1,8	14,2	49,00	0,309		
							Mittel	1,8	12,6	42,33	0,293	—	0,289
222	Weiss-tanne	630,2	648,8	14,97	15,11	226,2	4,33	149,8	15,0*)	9,75	0,043		
223	»	629,8	648,4	13,03	12,93	168,5	3,74	173,4	15,0	5,75	0,034		
							Mittel	161,6	15,0	7,75	0,039	0,038	—
224	»	529,9	548,5	15,02	15,08	226,5	4,34	126,4	15,0	13,10	0,058		
225	»	529,4	548,0	12,93	12,62	163,2	3,65	150,1	15,0	8,30	0,051		
							Mittel	138,3	15,0	10,70	0,055	0,052	—
226	»	409,8	428,6	13,04	12,98	169,3	3,75	114,3	15,0	13,10	0,077		
227	»	410,0	428,6	14,52	14,36	208,5	4,15	103,3	15,0	15,50	0,074		
							Mittel	108,8	15,0	14,30	0,076	0,083	—
228	»	330,1	348,7	15,22	15,18	231,0	4,39	79,4	15,0	30,10	0,130		
229	»	330,0	348,6	15,78	15,92	251,2	4,56	76,4	15,0	25,50	0,102		
							Mittel	77,9	15,0	27,80	0,116	—	0,142
230	»	241,6	260,2	15,09	15,03	226,8	4,34	60,0	15,0	28,50	0,126		
231	»	220,0	238,6	12,91	13,06	168,6	3,73	64,0	15,0	29,00	0,172		
							Mittel	62,0	15,0	28,75	0,149	—	0,173
232	»	140,5	159,2	16,02	15,89	254,6	4,59	34,7	15,0	45,25	0,178		
233	»	139,8	158,4	14,90	14,80	220,5	4,28	37,0	15,0	44,00	0,200		
							Mittel	35,9	15,0	44,63	0,189	—	0,223
234	»	96,0	114,6	15,04	14,95	224,8	4,32	26,5	15,0	53,70	0,239		
235	»	100,0	118,6	15,18	15,05	228,5	4,35	27,3	15,0	49,50	0,217		
							Mittel	26,9	15,0	51,60	0,228	—	0,241
236	»	70,2	35,1	14,90	14,75	219,8	4,26	8,2	15,0	49,00	0,223	—	0,277
237	»	50,1	25,0	15,08	15,00	226,2	4,34	5,8	15,0	57,00	0,252		
238	»	50,1	25,1	14,91	14,78	220,4	4,27	5,9	15,0	50,00	0,227		
							Mittel	5,9	15,0	53,50	0,240	—	0,282

*) Wie bei Föhre und Lärche.

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr.		Querschnitts-		Mittlere Querschnittsfläche $F \text{ cm}^2$	Trägheitshalb- messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtig- keit 0/0	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
		Balkenlänge		abmessungen in der Balkenmitte						absolut $N \text{ t}$	$t \text{ p. cm}^2$ β k	Euler β k	Tet- majer β k
		$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$	$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$								
239	Weiss- tanne	14,9	7,5	15,05	14,83	223,2	4,29	1,7	15,0	58,50	0,262		
240	»	14,8	7,4	14,98	14,88	222,9	4,30	1,7	15,0	56,00	0,251		
241	»	15,8	7,9	15,90	16,08	255,7	4,60	1,7	15,0	62,50	0,244		
							Mittel	1,7	15,0	59,00	0,252	—	0,290
242	Eiche	630,7	649,3	11,84	13,05	154,5	3,42	189,9	15,6*)	3,70	0,024	0,027	—
243	»	530,3	548,9	11,72	13,04	152,8	3,39	161,6	14,8	5,60	0,037	0,038	—
244	»	410,4	429,0	11,86	12,25	145,3	3,43	125,1	22,2	9,50	0,065	0,063	—
245	»	325,5	344,1	11,66	11,67	136,1	3,37	102,1	15,6	13,20	0,097	0,095	—
246	»	240,0	258,6	11,79	12,86	151,6	3,41	75,8	22,2	20,00	0,132	—	0,146
247	»	140,1	158,7	11,68	13,02	152,1	3,36	47,2	14,8	34,00	0,223	0,202	—
248	»	69,8	88,4	11,64	12,86	149,7	3,36	26,3	14,8	41,30	0,276		
249	»	50,0	68,6	11,87	13,03	154,7	3,43	20,0	14,8	45,25	0,292		
							Mittel	23,2	14,8	43,28	0,284	—	0,248
250	»	11,8	5,9	11,62	11,60	134,8	3,35	1,8	15,6	61,75	0,458		
251	»	11,8	5,9	11,93	12,28	146,5	3,45	1,7	22,2	45,00	0,307		
252	»	12,9	6,5	11,66	12,90	150,4	3,37	1,9	15,6	44,00	0,293		
							Mittel	1,8	17,8	50,25	0,353	—	0,290

Knickungsversuche aus dem Jahre 1895.

Spitzenlagerung.

1. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung;
Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Wallis (Brieg).*

253	Föhre	522,0	541,2	14,82	14,86	220,2	4,28	126,4	13,3**)	13,25	0,060	0,062	—
254	Föhre	470,0	489,2	15,02	15,00	225,3	4,34	112,7	13,3	15,20	0,067	0,078	—
255	Föhre	380,2	399,4	14,82	14,82	219,6	4,28	93,3	13,3	21,70	0,099	—	0,112

*) 1 Versuch; entsprechend einem bezogenen Balken.

**) Mittel aus 2 Versuchen entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche $F \text{ cm}^2$	Träg- heits- halb- messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit 0/0	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
		Balkenlänge		$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$					absolut $N t$	$t p. \text{ cm}^2$ β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
		$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$										
256	Föhre	199,9	219,1	15,00	15,03	225,5	4,34	50,5	13,3	43,25	0,192	—	0,195
257	»	150,0	169,2	15,01	15,97	224,7	4,34	39,0	13,3	47,80	0,213	—	0,217
258	»	74,9	37,5	15,01	15,01	225,3	4,34	8,6	13,3	66,40	0,295	—	0,276
259	»	15,0	7,5	14,75	14,78	218,0	4,26	1,8	13,3	78,80	0,361	—	0,290
260	Lärche	522,3	541,5	14,83	14,83	219,9	4,29	126,2	15,1*	11,35	0,052	0,062	—
261	»	470,0	489,2	15,00	15,02	225,3	4,34	112,7	15,1	16,20	0,072	0,078	—
262	»	380,2	399,4	14,43	14,42	208,1	4,17	95,8	15,1	16,75	0,080	—	0,107
263	»	200,0	219,2	15,00	15,00	225,0	4,34	50,5	15,1	41,40	0,184	—	0,195
264	»	150,1	169,3	14,97	15,00	224,6	4,33	39,1	15,1	51,40	0,228	—	0,217
265	»	74,7	37,4	15,01	15,00	225,2	4,34	8,6	15,1	63,50	0,282	—	0,276
266	»	14,9	7,5	14,77	14,80	218,6	4,27	1,8	15,1	83,30	0,381	—	0,290
267	Rot- tanne	522,1	541,3	14,81	14,84	219,8	4,28	126,5	13,1*	15,20	0,069	0,062	—
268	»	470,2	489,4	15,00	15,03	225,5	4,34	112,8	13,1	16,20	0,072	0,078	—
269	»	380,2	399,4	14,82	14,79	219,2	4,27	93,5	13,1	26,00	0,119	—	0,112
270	»	200,2	219,4	14,97	14,96	224,0	4,32	50,8	13,1	45,30	0,202	—	0,194
271	»	122,3	141,5	14,81	14,75	218,4	4,26	33,2	13,1	56,30	0,258	—	0,227
272	»	75,0	37,5	14,97	15,00	224,6	4,33	8,7	13,1	59,00	0,263	—	0,276
273	»	14,8	7,4	14,78	14,79	218,6	4,27	1,7	13,1	68,70	0,314	—	0,290

2. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung.

Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Waadt.*

274	Rot- tanne	600,1	619,3	14,99	14,99	224,7	4,33	143,0	14,4*	15,65	0,070	0,048	—
275	»	520,0	539,2	14,77	14,77	218,2	4,27	126,3	14,4	19,10	0,088	0,062	—
276	»	379,8	399,0	14,84	14,82	219,9	4,28	93,2	14,4	27,25	0,124	—	0,112

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr.		Wirk-same		Querschnitts-abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch-tigkeit 0/0	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
		Balkenlänge						F cm^2	k cm			absolut	t p. cm^2	Euler	Tet-majer
		l_0 cm	l cm	b cm	s cm				N t			β k	β k	β k	
277	Rot-tanne	200,0	219,2	14,54	14,51	211,0	4,19	52,3	14,4	49,50	0,235	—	0,192		
278	»	150,1	75,1	14,70	14,73	216,5	4,25	17,7	14,4	69,50	0,321	—	0,259		
279	»	75,0	37,5	14,68	14,68	215,5	4,24	8,8	14,4	70,80	0,329	—	0,276		
280	»	14,8	7,4	14,96	14,98	224,1	4,32	1,7	14,4	86,30	0,385	—	0,290		
281	Weiss-tanne	600,0	619,2	13,48	14,52	195,7	3,90	158,8	17,6*	6,40	0,033	0,039	—		
282	»	520,2	539,4	13,12	14,32	187,9	3,79	142,3	17,6	7,75	0,041	0,048	—		
283	»	380,3	399,5	14,54	14,52	211,1	4,20	95,1	17,6	21,00	0,099	—	0,109		
284	»	200,2	219,4	15,02	15,04	225,9	4,34	50,6	17,6	51,50	0,228	—	0,195		
285	»	150,0	75,0	13,10	14,33	187,7	3,79	19,8	17,6	42,40	0,226	—	0,255		
286	»	75,0	37,5	13,07	14,27	186,5	3,78	9,9	17,6	46,00	0,247	—	0,274		
287	»	13,5	6,8	13,45	14,50	195,0	3,89	1,7	17,6	61,70	0,316	—	0,290		

3. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung.

Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Waadt.*

288	Föhre	594,5	613,7	14,96	15,01	224,5	4,32	142,1	16,8*	8,63	0,038	0,049	—
289	»	520,2	539,4	14,95	15,00	224,3	4,32	124,9	16,8	10,88	0,049	0,063	—
290	»	380,2	399,4	15,02	14,99	225,1	4,33	92,2	16,8	22,25	0,099	—	0,114
291	»	199,7	218,9	15,02	14,96	224,7	4,32	50,7	16,8	39,50	0,176	—	0,195
292	»	149,9	169,1	14,94	14,98	223,8	4,32	39,1	16,8	39,50	0,176	—	0,217
293	»	74,8	37,4	14,94	14,99	224,0	4,32	8,7	16,8	47,50	0,212	—	0,276
294	»	50,1	25,1	14,97	14,95	223,8	4,32	5,8	16,8	62,50	0,279	—	0,282
295	»	15,1	7,6	14,92	15,00	223,8	4,31	1,8	16,8	79,10	0,353	—	0,290
296	Rot-tanne	598,0	617,2	15,00	15,02	225,3	4,34	142,2	14,6*	14,25	0,063	0,049	—
297	»	520,0	539,2	14,60	14,61	213,3	4,22	127,8	14,6	15,40	0,072	0,061	—

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche $F \text{ cm}^2$	Träg- heits- halb- messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuch- tigkeit 0/0	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
		Balkenlänge		$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$	absolut $N \text{ t}$	$t \text{ p. cm}^2$ β_k					Euler β_k	Tet- majer β_k		
		$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$												
298	Rot- tanne	380,4	399,6	15,00	15,00	225,0	4,34	92,1	14,6	28,00	0,124	—	0,114		
299	»	200,2	219,4	15,03	15,00	225,5	4,34	50,6	14,6	49,50	0,220	—	0,195		
300	»	150,1	169,3	14,61	14,61	213,5	4,22	40,1	14,6	54,50	0,255	—	0,215		
301	»	75,1	37,6	14,64	14,60	213,7	4,22	8,9	14,6	53,30	0,249	—	0,276		
302	»	50,1	25,1	14,62	14,59	213,3	4,22	5,9	14,6	63,00	0,295	—	0,282		
303	»	15,0	7,5	14,61	14,59	213,2	4,22	1,8	14,6	74,10	0,348	—	0,290		
304	Weiss- tanne	598,0	617,2	15,00	15,00	225,0	4,34	142,2	13,5*	10,63	0,047	0,049	—		
305	»	520,2	539,4	14,68	14,70	215,8	4,24	127,2	13,5	13,70	0,063	0,061	—		
306	»	380,2	399,4	15,05	15,00	225,8	4,34	92,0	13,5	23,25	0,103	—	0,115		
307	»	200,1	219,3	14,99	15,05	225,6	4,33	50,6	13,5	43,00	0,191	—	0,195		
308	»	150,1	169,3	14,69	14,68	215,6	4,24	39,9	13,5	46,50	0,216	—	0,216		
309	»	75,0	37,5	14,70	14,68	215,8	4,24	8,8	13,5	46,50	0,215	—	0,276		
310	»	50,1	25,1	14,70	14,66	215,5	4,24	5,9	13,5	49,60	0,230	—	0,282		
311	»	15,2	7,6	14,62	14,69	214,8	4,23	1,8	13,5	61,00	0,284	—	0,290		
312	Eiche	590,2	609,4	14,42	15,01	216,4	4,17	146,1	22,7*	11,75	0,054	0,046†	—		
313	»	520,0	539,2	14,01	14,98	209,9	4,05	133,1	22,7	12,90	0,061	0,056	—		
314	»	380,2	399,4	14,06	14,93	223,4	4,31	92,7	22,7	27,50	0,123	—	0,113†		
315	»	200,0	219,2	14,90	14,99	223,4	4,31	50,9	22,7	49,00	0,219	—	0,194		
316	»	149,8	169,0	14,01	15,02	210,4	4,05	41,7	22,7	57,00	0,271	—	0,212		
317	»	74,9	37,5	13,99	15,00	209,9	4,04	9,3	22,7	66,00	0,314	—	0,275		
318	»	50,0	25,0	14,02	14,98	210,0	4,05	6,2	22,7	71,00	0,338	—	0,281		
319	»	15,1	7,6	13,95	14,96	208,7	4,03	1,9	22,7	80,30	0,385	—	0,290		

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

†) Die Berechnung der Knickungsspannungen erfolgte für die Eiche nach den Formeln für das Nadelholz; daher die Divergenz der berechneten und beobachteten Werte.

Die beigeheftete Tafel enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Als Abscissen des orthogonalen Koordinatensystems sind die massgebenden Längenverhältnisse ($l:k =$ freie Knicklänge: kleinster Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche), als Ordinaten in t pro cm^2 diejenigen, mittleren spezifischen Pressungen (Kraft : Fläche) in die Tafel eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist.

Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge wurde bei Spitzenlagerung der Körnerabstand l , vergl. Fig. 9, bei Flächenlagerung auf unwandelbaren Druckflächen die halbe Balkenlänge in Rechnung gestellt.

In vorliegender Tafel wurden nun eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche*, die als solche in den tabellarischen Zusammenstellungen auf S. 62 bis 75 aufgeführt erscheinen;
2. bei gleichartigen Versuchen, die in den Zusammenstellungen auf S. 62 bis 75 das Ziehen eines Mittelwerts gestatteten, *das massgebende Mittel sowie der Grösst- und Kleinstwert* der zugehörigen Einzelversuche;
3. für die Nadelholzsorten: Föhre, Lärche, Weisstanne und Rotanne *die Werte der Gruppenmittel* für die massgebenden Längenverhältnisse:

$\frac{l}{k}$	= 0 bis einschliesslich 5;	= 80 bis einschliesslich 100;
5 »	» 10;	100 » 120;
10 »	» 20;	120 » 140;
20 »	» 40;	140 » 160;
40 »	» 60;	160 » 180;
60 »	» 80;	180 » 200;

4. *die Generalmittel* dieser Gruppen ohne Rücksicht auf die Holzart.

Unsere Beobachtungen und die Ergebnisse der graphischen Darstellung der gewonnenen Versuchsergebnisse führen nun zu folgenden Folgerungen:

a. Centrischem Drucke unterworfenen Balken mit Längenverhältnissen $l:k > ca. 100$ tragen den Charakter vorwiegend elastischer Körper; d. h. nach Wegnahme der Grenzbelastung verschwindet deren Formveränderung grösstenteils.

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

c. *Bei Balken mit vorwiegend elastischem Charakter ($l : k > \text{ca. } 100$) 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.*

d. *Bei Balken mit vorwiegend unelastischem Charakter ($l : k < \text{ca. } 100$) 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, Ineinanderpressen der Fasern, die stets an Astknoten beginnen, verbunden.*

e. *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, gutverwachsen und nicht aussergewöhnlich zahlreich sind.*

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

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

mit den Mittelwerten der Versuchsergebnisse fast vollkommen überein. Für Längenverhältnisse mit $l : k < \text{ca. } 100$ 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 Constanten a und b derart bestimmt,

dass die Grade zur Schwerlinie der Versuchsergebnisse 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 Spitzenköpfe 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.

g. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Nadelholzes im Betrage von:

$$\beta_a = 0,293 \text{ t pro cm}^2$$

und unter Berücksichtigung der Grundformeln:

$$\beta_k = 0,293 - 0,00194 \left(\frac{l}{k}\right) \quad \text{und} \quad \beta_k = 987,0 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

liefert die Schwarz-Rankin'sche Knickungsformel:

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

folgende Werte des Knickungskoeffizienten η :

für $\frac{l}{k} = 10$:	$\eta = 0,000693$;	für $\frac{l}{k} = 90$:	$\eta = 0,000183$;
= 20 :	= 0,000385;	= 100 :	= 0,000196;
= 30 :	= 0,000274;	= 120 :	= 0,000225;
= 40 :	= 0,000224;	= 140 :	= 0,000248;
= 50 :	= 0,000194;	= 160 :	= 0,000254;
= 60 :	= 0,000182;	= 180 :	= 0,000261;
= 70 :	= 0,000177;	= 200 :	= 0,000268.
= 80 :	= 0,000176;		

Hieraus geht hervor, dass der Knickungskoeffizient weder konstant, noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

II. Abteilung: Gusseisen.

Lauf. No.	Urspr.		Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro cm^2 nach	
	Rohrlänge							absolut <i>N t</i>	<i>t p.cm²</i> β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
	<i>l₀</i> cm	<i>l</i> cm	<i>d</i> cm	<i>s</i> cm	<i>F</i> cm^2	<i>k</i> cm					
Stehender Hochfenguss von Choindez; Spitzenlagerung.											
<i>1. Serie:</i>											
nomineller, innerer Durchmesser: 10,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.											
1	390,0	414,9	11,60	0,788	26,7	3,83	108,3	20,00	0,75		
2	390,0	414,9	11,60	0,813	27,5	3,82	108,6	17,36	0,63		
					Mittel	3,83	108,5	18,68	0,69	0,84	—
3	350,0	374,9	11,58	0,820	27,7	3,81	98,4	33,80	1,22		
4	350,0	374,9	11,68	0,800	27,3	3,85	97,4	26,26	0,96		
					Mittel	3,83	97,9	30,03	1,09	1,02	—
5	300,0	324,9	11,60	0,818	27,7	3,82	85,1	38,46	1,39		
6	300,0	324,9	11,60	0,763	25,9	3,84	84,6	36,45	1,41		
					Mittel	3,83	84,9	37,46	1,40	1,36	—
7	250,0	274,9	11,63	0,845	28,6	3,82	72,0	52,15	1,82		
8	250,0	274,9	11,68	0,820	27,9	3,85	71,4	60,00	2,15		
					Mittel	3,84	71,7	56,08	1,99	—	1,88
9	200,0	224,9	11,70	0,875	29,8	3,84	58,6	71,90	2,41		
10	200,0	224,9	11,68	0,863	29,3	3,84	58,6	68,80	2,35		
					Mittel	3,84	58,6	70,35	2,38	—	2,55
11	150,0	174,9	11,63	0,833	28,2	3,83	45,7	100,12	3,55		
12	150,0	174,9	11,68	0,783	26,8	3,86	45,3	90,75	3,39		
					Mittel	3,85	45,5	95,44	3,47	—	3,40
13	100,3	125,2	11,90	0,842	29,2	3,92	31,9	153,00	5,24		
14	100,3	125,2	11,70	0,775	26,6	3,88	32,3	131,00	4,93		
					Mittel	3,90	32,1	142,00	5,09	—	4,45
15	50,0	74,9	11,70	0,771	26,5	3,87	19,4	186,00	7,02		
16	50,0	74,9	11,75	0,803	27,6	3,88	19,3	183,00	6,63		
					Mittel	3,88	19,4	184,50	6,83	—	5,63
17	20,0	44,9	11,60	0,774	26,6	3,83	11,7	170,00	6,39		
18	20,0	44,9	11,63	0,769	26,2	3,85	11,7	178,00	6,79		
					Mittel	3,84	11,7	174,00	6,59	—	6,43

Lauf. No.	Urspr. Wirk- same		Mittlerer äusserer Durch- messer	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	Rohrlänge							absolut $N t$	$t p. cm^2$ β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
	l_0 cm	l cm	d cm	s cm	F cm^2	k cm					
<i>2. Serie:</i>											
nomineller, innerer Durchmesser: 12,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.											
19	391,0	415,9	13,53	0,820	32,8	4,52	92,0	31,53	0,96		
20	391,0	415,9	13,63	0,850	34,1	4,53	91,8	30,93	0,91		
					Mittel	4,53	91,9	31,23	0,94	1,17	—
21	350,0	374,9	13,78	0,853	34,6	4,58	81,9	43,50	1,26		
22	350,0	374,9	13,78	0,923	37,2	4,56	82,2	44,80	1,20		
					Mittel	4,57	82,1	44,15	1,23	1,46	—
23	300,0	324,9	13,55	0,760	30,5	4,53	71,7	47,35	1,55		
24	300,0	324,9	13,58	0,855	34,1	4,51	72,0	45,00	1,32		
					Mittel	4,52	71,9	46,18	1,44	—	1,87
25	250,0	274,9	13,73	0,813	32,9	4,57	60,2	75,00	2,28		
26	250,0	274,9	13,73	0,850	34,1	4,56	60,3	70,30	2,06		
					Mittel	4,57	60,3	72,65	2,17	—	2,45
27	200,0	224,9	13,60	0,775	31,2	4,54	49,5	90,00	2,88		
28	200,0	224,9	13,73	0,784	31,8	4,59	49,0	108,00	3,40		
					Mittel	4,57	49,3	99,00	3,14	—	3,13
29	150,0	174,9	13,68	0,830	33,5	4,55	38,4	126,50	3,78		
30	150,0	174,9	13,65	0,779	31,5	4,56	38,4	103,00	3,27		
					Mittel	4,56	38,4	114,75	3,53	—	3,93
31	100,0	124,9	13,75	0,875	33,1	4,58	27,3	158,50	4,79		
32	100,0	124,9	13,60	0,791	33,8	4,54	27,5	143,00	4,50		
					Mittel	4,56	27,4	150,75	4,65	—	4,87
33	50,0	74,9	13,70	0,830	33,5	4,56	16,4	185,00	5,52		
34	50,0	74,9	13,73	0,813	33,0	4,57	16,4	183,00	5,55		
					Mittel	4,57	16,4	184,00	5,54	—	5,93
35	20,0	44,9	13,60	0,818	32,8	4,53	9,9	208,00	6,34		
36	20,0	44,9	13,65	0,819	33,0	4,55	9,9	198,00	6,00		
					Mittel	4,54	9,9	203,00	6,17	—	6,62

Lauf. No.	Urspr.		Wirksame Rohrlänge	Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$		Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm								d cm	s cm	F cm^2	ϕ cm
			N t	β_k	β_k	β_k							
3. Serie:													
nomineller, innerer Durchmesser: 15,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.													
37	390,3	415,2	17,10	0,963	49,0	5,72	72,6	68,95	1,41				
38	390,4	415,3	17,03	0,940	47,5	5,70	72,9	75,00	1,58				
					Mittel	5,71	72,8	71,98	1,50	—		1,82	
39	350,6	375,5	17,13	0,928	47,2	5,74	65,4	81,50	1,73				
40	350,6	375,5	17,00	0,910	46,1	5,70	65,9	84,05	1,82				
					Mittel	5,72	65,7	82,78	1,78	—		2,17	
41	300,4	325,3	17,01	0,888	45,0	5,71	57,0	97,95	2,18				
42	300,4	325,3	17,01	0,905	48,2	5,69	57,2	104,00	2,16				
					Mittel	5,70	57,1	100,98	2,17	—		2,64	
43	250,6	275,5	17,00	1,035	51,9	5,66	48,7	129,40	2,49				
44	250,6	275,5	17,10	0,943	47,8	5,72	48,2	124,15	2,60				
					Mittel	5,69	48,5	126,78	2,55	—		3,19	
45	200,0	224,9	17,03	0,943	47,7	5,70	39,5	142,50	2,99				
46	200,0	224,9	17,18	0,958	48,8	5,75	39,2	144,30	2,96				
					Mittel	5,73	39,4	143,40	2,98	—		3,85	
47	150,5	175,4	17,10	0,900	45,8	5,74	30,6	169,50	3,70				
48	150,4	175,3	17,00	0,926	46,9	5,69	30,8	166,22	3,54				
					Mittel	5,72	30,7	167,85	3,62	—		4,58	
49	100,0	124,9	17,08	0,950	48,1	5,71	21,9	205,30	4,27				
50	100,4	125,3	17,05	0,950	48,0	5,70	22,0	195,80	4,08				
					Mittel	5,71	22,0	200,55	4,18	—		5,38	
51	50,0	74,9	17,00	0,938	47,9	5,68	13,2	246,00	5,14				
52	50,0	74,9	17,00	0,923	46,7	5,69	13,2	259,50	5,56				
					Mittel	5,69	13,2	252,75	5,35	—		6,27	
53	20,0	44,9	16,95	0,943	47,3	5,67	7,9	265,50	5,61				
54	20,0	44,9	16,95	0,950	47,7	5,66	7,9	251,50	5,27				
					Mittel	5,67	7,9	258,50	5,44	—		6,84	

Lauf. No.	Urspr. Wirk-same		Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halb-messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	Rohrlänge							absolut Nt	$t p. cm^2$ β_k	Euler β_k	Tet-majer β_k
	l_0 cm	l cm	d cm	s cm	F cm^2	k cm					
Carels, frères, Constructeurs à Gand (Belgique).											
<i>1. Serie:</i>											
nomineller, innerer Durchmesser: 10,0 cm; Wandstärke: 1,0 cm.											
55*	300,0	324,9	12,01	1,050	36,1	3,89	83,5	49,20	1,30	1,43	—
56*	300,0	324,9	12,10	1,088	37,6	3,91	83,1	54,75	1,46		
					Mittel	3,90	83,3	51,98	1,38		
57*	250,0	274,9	12,10	0,990	34,5	3,94	69,8	68,45	1,98	—	1,95
58*	250,0	274,9	12,15	1,138	39,3	3,91	70,3	82,70	2,10		
					Mittel	3,93	70,1	75,58	2,04		
59*	200,0	224,9	12,10	1,033	36,0	3,93	57,2	106,75	2,97	—	2,62
60*	200,0	224,9	12,10	1,068	37,0	3,92	57,4	107,00	2,89		
					Mittel	3,93	57,3	106,88	2,93		
61*	150,0	174,9	12,15	1,075	37,4	3,93	44,5	141,50	3,78	—	3,46
62*	150,0	174,9	12,15	1,105	38,3	3,92	44,6	128,50	3,36		
					Mittel	3,93	44,6	135,00	3,57		
63*	100,0	124,9	12,15	1,062	37,0	3,94	31,7	164,00	4,43	—	4,49
64*	100,0	124,9	12,18	1,075	37,5	3,94	31,7	131,00	3,49		
					Mittel	3,94	31,7	147,50	3,96		
65*	50,0	74,9	12,10	0,988	34,5	3,94	19,0	190,00	5,51	—	5,66
66*	50,0	74,9	12,10	1,063	36,8	3,92	19,1	202,00	5,49		
					Mittel	3,93	19,1	196,00	5,50		
67*	20,0	44,9	11,95	1,023	35,1	3,88	11,6	228,00	6,50	—	6,45
68*	20,0	44,9	12,10	0,979	34,2	3,95	11,4	238,50	6,97		
					Mittel	3,92	11,5	233,25	6,74		
<i>2. Serie:</i>											
nomineller, innerer Durchmesser: 12,0 cm; Wandstärke: 1,0 cm.											
69*	300,0	324,9	14,30	1,175	48,4	4,66	69,7	82,43	1,70	—	2,07
70*	300,0	324,9	14,25	1,117	46,0	4,66	69,7	80,35	2,29		
					Mittel	4,66	69,7	81,39	2,00		

*) Ziemlich stark excentrischer Röhrenguss.

Lauf. No.	Urspr.		Wirksame Rohrlänge	Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm							absolut Nt	tp, cm^2 β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
71*	250,0	274,9	143,50	1,125	46,7	4,69	58,6	120,00	2,57			
72*	250,0	274,9	143,00	1,208	49,6	4,65	59,1	165,00	3,33			
					Mittel	4,67	58,9	142,50	2,95	—	2,53	
73	200,0	224,9	14,30	1,083	44,9	4,69	48,0	164,50	3,66			
74	200,0	224,9	14,28	1,130	46,7	4,67	48,2	162,00	3,47			
					Mittel	4,68	48,1	163,25	3,57	—	3,22	
75	150,0	174,9	14,30	1,144	47,5	4,67	37,5	193,00	4,06			
76	150,0	174,9	14,25	1,149	47,3	4,65	37,6	191,00	4,04			
					Mittel	4,66	37,6	192,00	4,05	—	4,00	
77	100,0	124,9	14,30	1,150	47,5	4,67	26,7	215,00	4,53			
78*	100,0	124,9	14,30	1,138	47,0	4,67	26,7	204,00	4,34			
79*	100,0	124,9	14,30	1,175	48,4	4,66	26,8	181,00	3,74			
					Mittel	4,67	26,8	200,00	4,20	—	4,92	
80	50,0	74,9	14,20	1,114	45,7	4,64	16,1	297,00	6,50			
81	50,0	74,9	14,30	1,101	45,6	4,68	16,0	243,00	5,33			
82	50,0	74,9	14,40	1,144	47,7	4,70	15,9	267,00	5,60			
83	50,0	74,9	14,20	1,091	44,9	4,65	16,1	307,50	6,85			
					Mittel	4,67	16,0	278,63	6,07	—	4,98	
84	20,0	44,9	14,30	1,106	45,8	4,68	9,6	306,00	6,68			
85	20,0	44,9	14,20	1,103	45,3	4,65	9,7	293,25	6,47			
						4,67	9,7	299,63	6,58	—	6,65	

3. Serie:

nomineller, innerer Durchmesser: 15,0 cm; Wandstärke: 1,0 cm.

86	300,0	324,9	17,00	1,080	54,0	5,64	57,6	123,90	2,29		
87	300,0	324,9	16,93	1,038	51,8	5,63	57,7	125,00	2,41		
					Mittel	5,64	57,7	124,45	2,35	—	2,44
88	250,0	274,9	17,10	1,038	52,3	5,69	48,3	162,80	3,11		
89	250,0	274,9	17,00	1,000	50,3	5,67	48,5	165,00	3,28		
					Mittel	5,68	48,4	163,90	3,20	—	3,19

Lauf. No.	Urspr. Wirk- samer Rohrlänge		Mittlerer äusserer Durch- messer <i>d</i> cm	Mittlere Wand- stärke <i>s</i> cm	Mittlere Quer- schnitts- fläche <i>F</i> cm ²	Träg- heits- halb- messer <i>k</i> cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro cm ² nach	
	<i>l</i> ₀ cm	<i>l</i> cm						absolut <i>N</i> t	<i>t</i> p. cm ² <i>β</i> k	Euler <i>β</i> k	Tet- majer <i>β</i> k
90	200,0	224,9	16,95	0,988	49,5	5,65	39,8	191,00	3,86		
91	200,0	224,9	16,95	0,945	47,5	5,67	39,7	188,00	3,96		
					Mittel	5,66	39,8	189,50	3,91	—	3,82
92	150,0	174,9	17,10	1,091	54,8	5,67	30,8	223,00	4,07		
93	150,0	174,9	16,85	0,925	46,3	5,64	31,0	216,00	4,67		
					Mittel	5,66	30,9	219,50	4,30	—	4,56
94	100,0	124,9	17,10	1,113	55,8	5,67	22,0	263,00	4,71		
95	100,0	124,9	17,10	1,033	52,1	5,69	22,0	292,50	5,61		
					Mittel	5,68	22,0	277,75	5,16	—	5,38
96*	50,0	74,9	17,50	1,028	52,8	5,80	12,9	300,00	5,68		
97	50,0	74,9	17,10	1,040	52,4	5,69	13,2	292,50	5,58		
					Mittel	5,75	13,6	296,25	5,63	—	6,23
98	20,0	44,9	16,70	0,893	44,4	5,60	8,0	273,00	6,15		
					Mittel	5,60	8,0	273,00	6,15	—	6,83

Rud. Böcking & Co.; Halbergerhütte, Brebach.

1. Serie: Säulenguss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 10,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

99	390,0	414,9	11,63	0,873	29,5	3,81	108,9	22,86	0,78		
100	400,0	424,9	11,68	0,910	30,8	3,82	111,2	22,42	0,73		
					Mittel	3,82	110,1	22,64	0,76	0,81	—
101	350,0	374,9	11,73	0,863	29,4	3,85	97,4	35,00	1,19		
102	350,0	374,9	11,73	0,860	29,3	3,85	97,4	33,73	1,15		
					Mittel	3,85	97,4	34,37	1,17	1,04	—
103	300,0	324,9	11,65	0,843	28,6	3,83	84,8	40,00	1,40		
104	300,0	324,9	11,70	0,880	29,9	3,84	84,6	39,30	1,31		
					Mittel	3,84	84,7	39,65	1,36	1,38	—
105	250,0	274,9	11,70	0,875	29,8	3,84	71,6	60,00	2,01		
106	250,0	274,9	11,70	0,838	28,6	3,85	71,4	60,00	2,10		
					Mittel	3,85	71,5	60,00	2,06	—	1,89

Lauf. No.	Urspr.		Wirksame Rohrlänge	Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro <i>cm</i> ² nach	
	<i>l</i> ₀ <i>cm</i>	<i>l</i> <i>cm</i>						<i>d</i> <i>cm</i>	<i>s</i> <i>cm</i>	<i>F</i> <i>cm</i> ²	<i>k</i> <i>cm</i>
107	200,0	224,9	11,63	0,800	27,2	3,84	58,6	65,40	2,41		
108	200,0	224,9	11,65	0,905	30,5	3,81	59,0	70,95	2,33		
					Mittel	3,83	58,8	68,18	2,37	—	2,53
109	150,0	174,9	11,70	0,908	30,8	3,83	45,7	109,00	3,54		
110	150,0	174,9	11,63	0,880	29,7	3,81	45,9	110,00	3,70		
					Mittel	3,82	45,8	109,50	3,62	—	3,37
111	100,0	124,9	11,60	0,869	29,3	3,81	32,8	120,00	4,10		
112	100,0	124,9	11,63	0,879	29,7	3,81	32,8	146,00	4,92		
					Mittel	3,81	32,8	133,00	4,51	—	4,39
113	50,0	74,9	11,70	0,836	28,5	3,85	19,5	177,00	6,21		
114	50,0	74,9	11,70	0,880	29,5	3,84	19,5	174,00	5,90		
					Mittel	3,85	19,5	175,50	6,06	—	5,62
115	20,0	44,9	11,60	0,918	30,1	3,79	11,8	192,00	6,38		
116	20,0	44,9	11,70	0,988	33,2	3,80	11,8	222,00	6,69		
					Mittel	3,80	11,8	207,00	6,54	—	6,41

2. Serie: Säulenguss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 12,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

117	400,0	424,9	13,78	0,938	37,8	4,55	93,4	41,10	1,09		
118	400,0	424,9	13,73	0,868	35,0	4,56	93,2	41,31	1,18		
					Mittel	4,56	93,3	41,21	1,14	1,13	—
119	350,0	374,9	13,73	0,932	37,5	4,53	82,8	58,90	1,57		
120	350,0	374,9	13,78	0,982	39,5	4,54	82,6	54,40	1,38		
					Mittel	4,54	82,7	56,65	1,48	1,44	—
121	300,0	324,9	13,65	0,973	39,2	4,49	72,4	62,10	1,59		
122	300,0	324,9	13,73	0,918	36,9	4,54	71,6	68,20	1,85		
					Mittel	4,52	72,0	65,15	1,72	—	1,87
123	250,0	274,9	13,73	0,910	35,7	4,55	60,4	89,00	2,49		
124	250,0	274,9	13,70	0,898	36,1	4,54	60,6	93,13	2,58		
					Mittel	4,55	60,5	91,07	2,54	—	2,44

Lauf. No.	Urspr.		Wirksame Rohrlänge	Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro <i>cm</i> ² nach	
	<i>l</i> ₀ <i>cm</i>	<i>l</i> <i>cm</i>						absolut <i>N t</i>	<i>t p. cm</i> ² <i>β_k</i>	Euler <i>β_k</i>	Tet- majer <i>β_k</i>
			<i>d</i> <i>cm</i>	<i>s</i> <i>cm</i>	<i>F</i> <i>cm</i> ²	<i>k</i> <i>cm</i>	$\frac{l}{k}$				
125	200,0	224,9	13,75	0,908	36,6	4,55	49,4	97,50	2,66		
126	200,0	224,9	13,65	0,870	35,4	4,52	49,8	100,00	2,83		
					Mittel	4,54	49,6	98,75	2,75	—	3,11
127	150,0	174,9	13,70	0,928	37,2	4,53	38,6	124,00	3,33		
128	150,0	174,9	13,73	0,913	36,8	4,54	38,5	130,50	3,56		
					Mittel	4,54	38,6	127,25	3,45	—	3,92
129	100,0	124,9	13,75	0,928	37,3	4,55	27,5	151,00	4,05		
130	100,0	124,9	13,70	0,866	34,9	4,55	27,5	172,00	4,93		
					Mittel	4,55	27,5	162,00	4,49	—	4,86
131	50,0	74,9	13,73	0,833	33,7	4,57	16,4	215,00	6,38		
132	50,0	74,9	13,70	0,881	35,5	4,54	16,5	221,00	6,23		
					Mittel	4,56	16,5	218,00	6,31	—	5,92
133	20,0	44,9	13,73	0,923	37,3	4,54	9,9	228,00	6,11		
134	20,0	44,9	13,80	0,906	36,5	4,57	9,8	244,50	6,70		
					Mittel	4,56	9,9	236,25	6,41	—	6,62

3. Serie: Säulenguss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 15,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

135	400,0	424,9	16,63	0,932	45,9	5,56	76,4	74,10	1,61		
136	400,0	424,9	16,65	0,875	43,3	5,59	76,0	61,40	1,42		
					Mittel	5,58	76,2	67,75	1,52	—	1,70
137	350,0	374,9	16,63	0,930	45,8	5,56	67,4	81,48	1,78		
138	350,0	374,9	16,70	0,945	46,7	5,58	67,2	75,00	1,61		
					Mittel	5,57	67,3	78,24	1,60	—	2,08
139	300,0	324,9	16,73	0,990	48,9	5,57	58,3	100,05	2,05		
140	300,0	324,9	16,65	0,958	47,2	5,56	58,4	95,00	2,01		
					Mittel	5,57	58,4	97,53	2,03	—	2,56
141	250,0	274,9	16,65	0,925	45,7	5,57	49,4	130,00	2,85		
142	250,0	274,9	16,60	0,865	42,7	5,57	49,4	133,00	3,12		
					Mittel	5,57	49,4	131,50	2,99	—	3,12

Lauf. No.	Urspr.		Wirksame Rohrlänge	Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm							absolut Nt	t p. cm^2 β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
			d cm	s cm	F cm^2	k cm						
143	200,0	224,9	16,60	0,875	43,2	5,57	40,4	143,00	3,31			
144	200,0	224,9	16,63	0,863	42,7	5,58	40,3	153,00	3,58			
					Mittel	5,58	40,4	148,00	3,45	—		3,78
145	150,0	174,9	16,63	0,829	41,1	5,59	31,5	162,00	3,94			
146	150,0	174,9	16,53	0,850	41,8	5,55	31,5	167,00	4,00			
					Mittel	5,57	31,5	164,50	3,97	—		4,51
147	100,0	124,9	16,63	0,922	45,5	5,56	22,5	200,00	4,40			
148	100,0	124,9	16,63	0,920	45,4	5,56	22,5	205,90	4,54			
					Mittel	5,56	22,5	202,95	4,47	—		5,33
149	50,0	74,9	16,60	0,844	41,8	5,58	13,4	252,00	6,03			
150	50,0	74,9	16,63	0,866	43,0	5,58	13,4	253,50	5,90			
					Mittel	5,58	13,4	252,75	5,97	—		6,25
151	20,0	44,9	16,60	0,771	38,3	5,60	8,0	220,00	5,74			
152	20,0	44,9	16,60	0,830	41,1	5,58	8,0	257,00	6,25			
					Mittel	5,59	8,0	238,50	6,00	—		6,83

4. Serie: Röhrenguss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 10,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

153	400,0	424,9	11,70	0,837	28,6	3,85	110,4	21,88	0,77			
154	400,0	424,9	11,60	0,812	27,5	3,82	108,6	22,44	0,82			
					Mittel	3,84	109,5	22,16	0,80	0,82		—
155	350,0	374,9	11,73	0,875	29,8	3,85	97,4	34,55	1,16			
156	350,0	374,9	11,70	0,902	30,6	3,83	97,9	34,65	1,13			
					Mittel	3,84	97,7	34,60	1,15	1,03		—
157	300,0	324,9	11,68	0,890	30,1	3,83	84,8	45,00	1,50			
158	300,0	324,9	11,68	0,912	30,8	3,82	85,1	41,01	1,33			
					Mittel	3,83	85,0	43,01	1,42	1,37		—
159	250,0	274,9	11,70	0,865	29,4	3,84	71,6	70,00	2,38			
160	250,0	274,9	11,70	0,863	29,4	3,84	71,6	60,00	2,04			
					Mittel	3,84	71,6	65,00	2,21	—		1,89

Lauf. No.	Urspr. Wirk-same		Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halbmesser	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	Rohrlänge							absolut $N t$	$t p. cm^2$ β_k	Euler β_k	Tet-majer β_k
	l_0 cm	l cm	d cm	s cm	F cm ²	k cm					
161	200,0	224,9	11,60	0,825	27,9	3,82	58,9	69,25	2,48		
162	200,0	224,9	11,68	0,803	27,4	3,85	58,4	80,50	2,94		
					Mittel	3,84	58,7	74,88	2,71	—	2,55
163	150,0	174,9	11,70	0,920	31,2	3,83	45,7	109,00	3,49		
164	150,0	174,9	11,70	0,868	29,6	3,84	45,5	110,50	3,73		
					Mittel	3,84	45,6	109,75	3,61	—	3,39
165	100,0	124,9	11,63	0,859	29,0	3,82	32,7	150,00	5,17		
166	100,0	124,9	11,70	0,959	32,3	3,81	32,8	172,00	5,33		
					Mittel	3,82	32,8	161,00	5,25	—	4,39
167	50,0	74,9	11,68	0,870	29,5	3,83	19,6	180,00	6,10		
168	50,0	74,9	11,65	0,846	28,7	3,83	19,6	204,00	7,11		
					Mittel	3,83	19,6	192,00	6,61	—	5,61
169	20,0	44,9	11,60	0,841	28,4	3,82	11,8	192,00	6,76		
170	20,0	44,9	11,75	0,885	30,2	3,85	11,7	213,00	7,05		
					Mittel	3,84	11,8	202,50	6,91	—	6,41

5. Serie: Röhrenguss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 12,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

171	400,0	424,9	13,70	0,950	38,1	4,52	94,0	42,00	1,10		
172	400,0	424,9	13,70	0,865	34,9	4,55	93,4	43,50	1,25		
					Mittel	4,54	93,7	42,75	1,18	1,12	—
173	350,0	374,9	13,75	0,928	37,3	4,55	82,4	60,00	1,61		
174	350,0	374,9	13,70	0,940	37,7	4,52	82,9	54,55	1,45		
					Mittel	4,54	82,7	57,28	1,53	1,47	—
175	300,0	324,9	13,70	0,938	37,6	4,52	71,9	69,80	1,86		
176	300,0	324,9	13,78	0,913	36,9	4,56	71,3	68,20	1,85		
					Mittel	4,54	71,6	69,00	1,86	—	1,89
177	250,0	274,9	13,70	0,920	36,9	4,53	60,7	89,63	2,43		
178	250,0	274,9	13,78	0,943	38,0	4,55	60,4	89,70	2,36		
					Mittel	4,54	60,6	89,67	2,40	—	2,44

Lauf. No.	Urspr.		Mittlerer äusserer Durch- messer	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	Rohrlänge							absolut $N t$	$t p. cm^2$ β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
	l_0 cm	l cm									
179	200,0	224,9	13,70	0,870	35,0	4,55	49,4	109,60	3,13		
180	200,0	224,9	13,70	0,853	34,4	4,55	49,4	119,50	3,47		
					Mittel	4,55	49,4	114,55	3,30	—	3,12
181	150,0	174,9	13,70	0,810	32,8	4,57	38,3	121,25	3,70		
182	150,0	174,9	13,65	0,848	34,1	4,54	38,5	129,50	3,80		
					Mittel	4,56	38,4	125,38	3,75	—	4,03
183	100,0	124,9	13,70	0,845	34,1	4,56	27,5	177,00	5,19		
184	100,0	124,9	13,70	0,846	34,2	4,55	27,5	195,00	5,70		
					Mittel	4,56	27,5	181,00	5,45	—	4,86
185	50,0	74,9	13,70	—	—	—	—	(150,00)	(?)		
186	50,0	74,9	13,70	0,893	35,9	4,54	16,5	232,00	6,46		
					Mittel	4,54	16,5	232,00	6,46	—	5,92
187	20,0	44,9	13,70	0,918	36,8	4,53	9,9	267,00	7,26		
188	20,0	44,9	13,75	0,940	37,8	4,54	9,9	234,00	6,19		
					Mittel	4,54	9,9	250,50	6,73	—	6,62

6. Serie: Röhrenguss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 15,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

189	400,0	424,9	16,68	0,863	42,8	5,60	75,9	80,93	1,89		
190	400,0	424,9	16,60	0,995	48,8	5,53	76,8	77,25	1,58		
					Mittel	5,57	76,4	79,09	1,74	—	1,68
191	350,0	374,9	16,68	0,993	48,9	5,56	67,4	88,25	1,81		
192	350,0	374,9	16,65	0,803	39,9	5,61	66,8	83,83	2,10		
					Mittel	5,59	67,1	86,04	1,96	—	2,10
193	300,0	324,9	16,70	1,000	49,3	5,56	58,4	115,00	2,33		
194	300,0	324,9	16,65	0,970	47,8	5,56	58,4	105,05	2,22		
					Mittel	5,56	58,4	110,03	2,28	—	2,56
195	250,0	274,9	16,60	0,900	44,4	5,56	49,4	130,00	2,93		
196	250,0	274,9	16,60	0,950	46,7	5,54	49,6	135,00	2,89		
					Mittel	5,55	49,5	132,50	2,91	—	3,12

Lauf. No.	Urspr. Wirk-same		Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm ²	Trägheits-halbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm ² nach	
	Rohrlänge							absolut N t	t p. cm ² β_k	Euler β_k	Tet-majer β_k
	l_0 cm	l cm									
197	200,0	224,9	16,63	0,863	42,7	5,58	40,3	152,00	3,56		
198	200,0	224,9	16,70	0,931	46,1	5,59	40,2	157,00	3,41		
					Mittel	5,59	40,3	154,50	3,49	—	3,78
199	150,0	174,9	16,55	0,888	43,6	5,55	31,5	170,00	3,90		
200	150,0	174,9	16,60	0,908	46,2	5,55	31,5	209,00	4,52		
					Mittel	5,55	31,5	189,50	4,21	—	4,51
201	100,0	124,9	16,73	0,998	49,3	5,57	22,4	242,50	4,92		
202	100,0	124,9	16,65	0,975	48,0	5,55	22,5	227,00	4,73		
					Mittel	5,56	22,5	234,75	4,83	—	5,33
203	50,0	74,9	16,60	0,845	41,8	5,58	13,4	237,00	5,67		
204	50,0	74,9	16,65	0,900	44,1	5,53	13,5	289,50	6,57		
					Mittel	5,56	13,5	263,25	6,12	—	6,24
205	20,0	44,9	16,65	0,884	43,7	5,58	8,0	285,00	6,52		
206	20,0	44,9	16,70	0,841	41,9	5,62	8,0	270,00	6,44		
					Mittel	5,60	8,0	277,50	6,48	—	6,83

7. Serie: Gewöhnlicher Guss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 10,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

207	400,0	424,9	11,75	0,895	30,5	3,85	110,4	24,64	0,81		
208	400,0	424,9	11,70	0,838	28,6	3,85	110,4	23,38	0,82		
					Mittel	3,85	110,4	24,01	0,82	0,81	—
209	350,0	374,9	11,63	0,808	27,4	3,84	97,6	32,50	1,19		
210	350,0	374,9	11,65	0,915	30,8	3,81	98,4	44,25	1,44		
					Mittel	3,83	98,0	38,38	1,32	1,03	—
211	300,0	324,9	11,60	0,888	29,9	3,80	85,5	40,53	1,36		
212	300,0	324,9	11,68	0,775	26,5	3,86	84,2	36,38	1,37		
					Mittel	3,83	84,9	38,46	1,37	1,37	—
213	250,0	274,9	11,60	0,825	27,9	3,82	72,0	62,50	2,24		
214	250,0	274,9	11,70	0,815	27,9	3,86	71,2	65,00	2,33		
					Mittel	3,84	71,6	63,75	2,29	—	1,89

Lauf. No.	Urspr.		Wirksame Rohrlänge	Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm							absolut $N t$	$t p. cm^2$ β_k	Euler β_k	Tet- majer β_k
	d cm	s cm	F cm^2	k cm								
215	200,0	224,9	11,60	0,850	28,7	3,81	59,0	73,25	2,55			
216	200,0	224,9	11,60	0,795	27,0	3,83	58,7	74,70	2,77			
					Mittel	3,82	58,9	73,98	2,66	—	2,53	
217	150,0	174,9	11,60	0,845	28,6	3,81	45,9	114,00	3,99			
218	150,0	174,9	11,70	0,880	29,9	3,84	45,5	114,00	3,81			
					Mittel	3,83	45,7	114,00	3,90	—	3,39	
219	100,0	124,9	11,58	0,825	27,8	3,81	32,8	126,50	4,55			
220	100,0	124,9	11,60	0,850	28,8	3,81	32,8	137,50	4,77			
					Mittel	3,81	32,8	132,00	4,66	—	4,39	
221	50,0	74,9	11,65	0,825	28,1	3,84	19,5	152,00	5,41			
222	50,0	74,9	11,68	0,791	28,1	3,85	19,5	186,00	6,26			
					Mittel	3,85	19,5	169,00	6,02	—	5,62	
223	20,0	44,9	11,65	0,801	27,4	3,85	11,7	201,00	7,35			
224	20,0	44,9	11,65	0,799	27,3	3,85	11,7	213,00	7,78			
					Mittel	3,85	11,7	207,00	7,57	—	6,43	

8. Serie: Gewöhnlicher Guss.

nomineller, innerer Durchmesser: 12,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

225	400,0	424,9	13,73	0,925	37,2	4,54	93,6	39,69	1,07		
226	400,0	424,9	13,78	0,883	35,7	4,57	93,0	44,28	1,24		
					Mittel	4,56	93,3	41,99	1,16	1,10	—
227	350,0	374,9	13,75	0,888	35,8	4,56	82,2	56,35	1,57		
228	350,0	374,9	13,70	0,918	36,8	4,53	82,8	55,00	1,50		
					Mittel	4,55	82,5	55,68	1,54	1,45	—
229	300,0	324,9	13,70	0,955	38,2	4,52	71,9	63,85	1,67		
230	300,0	324,9	13,75	0,950	38,2	4,54	71,6	62,95	1,65		
					Mittel	4,53	71,8	63,40	1,66	1,87	—
231	250,0	274,9	13,73	0,858	34,7	4,56	60,3	93,00	2,68		
232	250,0	274,9	13,75	0,938	34,0	4,58	60,0	87,75	2,58		
						4,57	60,2	90,38	2,63	—	2,46

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge		Wirk-same Durchmesser	Mittlere äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halb-messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm							absolut Nt	t p. cm^2 β_k	Euler β_k	Tet-majer β_k
	b cm	s cm	F cm^2	k cm								
233	200,0	224,9	13,65	0,850	34,2	4,55	49,4	119,00	3,48			
234	200,0	224,9	13,75	0,868	35,1	4,57	49,2	121,00	3,45			
					Mittel	4,56	49,3	120,00	3,47	—		3,13
235	150,0	174,9	13,78	0,924	37,3	4,56	38,4	127,00	3,41			
236	150,0	174,9	13,73	0,825	33,4	4,57	38,3	133,00	3,98			
					Mittel	4,57	38,4	130,00	3,70	—		3,83
237	100,0	124,9	13,63	0,864	34,6	4,52	27,6	178,00	5,15			
238	100,0	124,9	13,75	0,843	34,1	4,57	27,3	213,00	6,25			
					Mittel	4,55	27,5	195,50	5,70	—		4,86
239	50,0	74,9	13,70	0,865	34,9	4,55	16,5	216,00	6,19			
240	50,0	74,9	13,70	0,880	35,4	4,54	16,5	242,00	6,84			
					Mittel	4,55	16,5	229,00	6,52	—		5,92
241	20,0	44,9	13,70	0,831	33,6	4,56	9,9	253,50	7,55			
242	20,0	44,9	13,65	0,856	34,4	4,53	9,9	213,00	6,19			
					Mittel	4,55	9,9	233,25	6,87	—		6,62

9. Serie: Gewöhnlicher Guss.

Nomineller, innerer Durchmesser: 15,0 cm; Wandstärke: 0,8 cm.

243	400,0	424,9	16,65	0,910	45,0	5,57	76,3	69,90	1,55			
244	400,0	424,9	16,63	0,943	46,4	5,56	76,4	72,95	1,57			
					Mittel	5,57	76,4	71,40	1,56	—		1,38
245	350,0	374,9	16,65	0,858	42,5	5,59	67,1	83,03	1,95			
246	350,0	374,9	16,65	0,848	42,1	5,60	67,0	83,25	1,98			
					Mittel	5,60	67,1	83,14	1,97	—		2,20
247	300,0	324,9	16,58	0,838	41,4	5,57	58,3	103,30	2,50			
248	300,0	324,9	16,60	0,875	43,2	5,57	58,3	96,95	2,24			
					Mittel	5,57	58,3	100,13	2,37	—		2,66
249	250,0	274,9	16,63	0,868	42,9	5,58	49,3	126,75	2,95			
250	250,0	274,9	16,63	0,855	42,3	5,58	49,3	134,80	3,19			
					Mittel	5,58	49,3	130,78	3,07	—		3,13

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge		Wirksame Mittlerer äusserer Durchmesser	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm						d cm	s cm	F cm^2	k cm
251	200,0	224,9	16,60	0,864	42,7	5,57	40,4	163,00	3,82		
252	200,0	224,9	16,60	0,865	42,7	5,57	40,4	175,00	4,10		
					Mittel	5,57	40,4	169,00	3,96	—	3,78
253	150,0	174,9	16,55	0,779	38,6	5,58	31,3	191,00	4,95		
254	150,0	174,9	16,68	0,838	41,6	5,61	31,2	195,00	4,69		
					Mittel	5,60	31,3	193,00	4,82	—	4,52
255	100,0	124,9	16,63	0,903	44,6	5,57	22,4	255,00	5,72		
256	100,0	124,9	16,68	0,838	41,6	5,61	22,3	235,00	5,65		
					Mittel	5,59	22,4	245,00	5,69	—	5,34
257	50,0	74,9	16,60	0,838	41,5	5,58	13,4	240,00	5,78		
258	50,0	74,9	16,60	0,868	42,9	5,57	13,5	267,00	6,22		
					Mittel	5,58	13,5	253,50	6,00	—	6,24
259	20,0	44,9	16,60	0,788	39,1	5,60	8,0	268,50	6,87		
260	20,0	44,9	16,60	0,780	38,7	5,60	8,0	278,00	7,18		
					Mittel	5,60	8,0	273,25	7,03	—	6,83

Lauf. No.	Urspr.		Wirk-same		Querschnitts-abmessungen		Mittlere Querschnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	Stablänge				in der Stabmitte					absolut	t p. cm^2	Euler	Tet-majer
	l_0 cm	l cm	b cm	s cm	F cm^2	k cm	N t	β_k	β_k	β_k			
Diener & Co., Zürich.													
<i>1. Serie: Gewöhnlicher Guss*).</i>													
Massige Vierkantstäbe mit nominell $3,0 \times 3,0$ cm Querschnitt; <i>Spitzenlagerung.</i>													
261	159,3	173,0	2,98	3,01	8,97	0,86	201,0	2,60	0,29				
262	159,2	172,9	2,98	2,98	8,88	0,86	201,0	2,75	0,31				
					Mittel	0,86	201,0	2,68	0,30	0,24	—		
263	137,8	151,5	2,98	2,99	8,91	0,86	176,0	3,30	0,37				
264	137,7	151,4	2,91	3,02	8,79	0,84	180,0	3,25	0,37				
					Mittel	0,85	178,0	3,28	0,37	0,31	—		
265	116,2	129,9	3,01	3,02	9,09	0,87	149,0	4,45	0,49				
266	116,1	129,8	2,98	2,99	8,91	0,86	151,0	4,90	0,55				
					Mittel	0,87	150,0	4,68	0,52	0,43	—		
267	105,1	118,9	2,91	3,01	8,76	0,84	141,5	4,20	0,48				
268	107,6	121,3	2,98	3,01	8,97	0,86	141,0	4,30	0,48				
					Mittel	0,85	141,3	4,25	0,48	0,52	—		
269	94,4	108,1	2,91	3,02	8,79	0,84	129,0	6,75	0,77				
270	94,4	108,1	2,98	3,04	9,06	0,86	126,0	6,80	0,75				
					Mittel	0,85	127,5	6,78	0,81	0,61	—		
271	88,5	102,2	2,94	2,96	8,70	0,85	120,2	5,65	0,65				
272	89,8	103,5	2,98	3,03	9,03	0,86	120,3	5,50	0,61				
					Mittel	0,86	120,3	5,58	0,63	0,68	—		
273	72,8	86,5	3,04	3,04	9,24	0,88	98,0	11,80	1,28				
274	72,8	86,5	3,14	3,16	9,91	0,91	95,0	10,90	1,10				
					Mittel	0,90	96,5	11,35	1,19	1,06	—		
275	51,1	64,8	2,87	2,88	8,27	0,83	78,0	14,50	1,76				
276	51,2	64,9	2,91	2,92	8,50	0,84	77,0	13,60	1,60				
					Mittel	0,84	77,5	14,05	1,68	—	1,64		
277	29,6	43,3	2,87	2,91	8,35	0,83	52,0	22,20	2,66				
278	29,6	43,3	2,91	2,91	8,47	0,84	51,5	22,30	2,64				
					Mittel	0,84	51,8	22,25	2,65	—	2,96		

*) Ausgeführt auf der *Werder'schen* Maschine in Zürich.

Lauf. No.	Urspr. Wirk-same		Querschnitts-abmessungen in der Stabmitte		Mittlere Quer-schnitts-fläche $F \text{ cm}^2$	Träg-heits-halb-messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
	Stablänge		$b \text{ cm}$	$s \text{ cm}$				absolut $N t$	$t \text{ p. cm}^2$ β_k	Euler β_k	Tet-majer β_k
	$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$									
<i>2. Serie: Gewöhnlicher Guss.</i>											
Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0 \times 3,0 cm Querschnitt; <i>Flächenlagerung.</i>											
Nachstehende Zahlenwerte sind berechnet für eine freie Knicklänge (l):											
$l = \frac{1}{1,9} l_0$											
279	259,1	136,4	3,01	3,03	9,12	0,87	156,8	3,75	0,41		
280	259,3	136,5	2,97	3,00	8,91	0,86	158,7	3,75	0,42		
					Mittel	0,87	157,8	3,75	0,42	0,39	—
281	237,7	125,1	3,01	3,04	9,15	0,87	143,8	4,30	0,47		
282	237,9	125,2	3,01	3,03	9,12	0,87	143,9	4,55	0,50		
					Mittel	0,87	143,9	4,43	0,49	0,47	—
283	216,0	113,7	3,01	3,04	9,15	0,87	130,7	5,50	0,60		
284	216,1	113,7	2,94	2,95	8,67	0,85	133,8	4,85	0,56		
					Mittel	0,86	132,3	5,13	0,58	0,56	—
285	194,6	102,5	3,01	3,04	9,15	0,87	117,8	6,50	0,71		
286	194,6	102,5	3,11	3,11	9,67	0,90	113,9	7,35	0,76		
					Mittel	0,89	115,9	6,93	0,74	0,73	—
287	172,3	90,7	3,08	3,10	9,55	0,89	101,9	9,20	0,96		
288	172,5	90,8	3,04	3,10	9,42	0,88	103,2	8,80	0,93		
					Mittel	0,89	102,6	9,00	0,95	0,93	—
289	151,3	79,6	3,08	3,12	9,61	0,89	89,4	11,50	1,20		
290	151,5	79,7	3,04	3,10	9,42	0,88	90,6	11,70	1,24		
					Mittel	0,89	90,0	11,60	1,22	1,21	—
291	129,8	68,3	3,08	3,10	9,55	0,89	76,7	15,20	1,59		
292	129,7	68,3	3,11	3,11	9,67	0,90	75,9	14,70	1,52		
					Mittel	0,90	76,3	14,95	1,56	—	1,69
293	108,0	56,8	3,11	3,12	9,70	0,90	63,1	21,00	2,16		
294	108,0	56,8	3,04	3,06	9,30	0,88	64,5	19,95	2,15		
					Mittel	0,89	63,8	20,48	2,16	—	2,26
295	86,4	45,5	3,04	3,06	9,30	0,88	51,7	25,00	2,69		
296	86,3	45,4	3,04	3,10	9,42	0,88	51,6	25,60	2,72		
					Mittel	0,88	51,7	25,30	2,71	—	2,98

Die beigeheftete Tafel II enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Nach wie vor sind als Abscissen des orthogonalen Koordinatensystems die massgebenden Längenverhältnisse ($l:k$), als Ordinaten in t pro cm^2 diejenigen, mittleren spezifischen Pressungen eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist. Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge, wurde der Körnerabstand, vergl. Fig. 9 bzw. 10, somit

$$l = l_0 + 2a$$

in Rechnung gestellt.

In Tafel II wurden eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche* ausgeführt an Rohrabschnitten von Brebach, Carels-frères, und Choindez.

2. *Mittelwerte aus je 2 Versuchen*, ausgeführt an rektangulären, massiven Barren geliefert von der Giesserei der HH. Diener & Co. in Zürich.

3. *Die Gruppenmittel* für die Längenverhältnisse

$\frac{l}{k} = 0$	bis einschliesslich	9;	$\frac{l}{k} = 46$	bis einschliesslich	50;
= 9	»	»	10;	= 50	»
= 10	»	»	12;	= 60	»
= 12	»	»	15;	= 65	»
= 15	»	»	17;	= 69	»
= 17	»	»	20;	= 75	»
= 20	»	»	25;	= 80	»
= 25	»	»	30;	= 90	»
= 30	»	»	35;	= 95	»
= 35	»	»	44;	= 100	»
= 44	»	»	46;		

Die Ergebnisse unserer Versuche lassen sich nun folgendermassen zusammenfassen:

1. *Das Material unserer Knickungsproben mit gusseisernen Stäben, ist sowohl bezüglich dessen chemischer Zusammensetzung als auch der physikalischen Eigenschaften 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 <i>Brebacher-Eisen</i> : 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 0/0;	0,910 0/0;	0,601 0/0;	1,691 0/0;	1,103 0/0;	0,077 0/0.
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,536 0/0;	0,758 0/0;	0,364 0/0;	2,418 0/0;	1,717 0/0;	0,052 0/0.
Für <i>Carels-frères-Eisen</i> :					
2,600 0/0;	0,600 0/0;	0,437 0/0;	2,394 0/0;	1,725 0/0;	0,035 0/0.
Für <i>Choindez-Eisen</i> :					
2,503 0/0;	1,128 0/0;	0,373 0/0;	1,640 0/0;	1,096 0/0;	0,065 0/0.

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 Biegungs- arbeit;	Durch- biegung;	Biegungs- festigkeit;	Zug- festigkeit;	Druck- festigkeit.
Für <i>Brebacher-Eisen</i> : (Mittelwerte aus 6 Versuchen)				
Marke R (Röhrenguss)				
0,42 cm t;	1,52 cm;	2,60 t p. cm ² ;	1,78 t p. cm ² ;	8,09 t p. cm ² .
Marke S (Säulenguss)				
0,46 cm t;	1,60 cm;	2,70 t p. cm ² ;	1,77 t p. cm ² ;	8,39 t p. cm ² .
Marke RL (gewöhnlicher Guss)				
0,38 cm t;	1,40 cm;	2,54 t p. cm ² ;	1,77 t p. cm ² ;	8,22 t p. cm ² .
Für <i>Choindez-Eisen</i> : (Mittel aus 4 Versuchen).				
0,51 cm t;	1,94 cm;	2,33 t p. cm ² ;	1,43 t p. cm ² ;	6,20 t p. cm ² .

Spähne der den Gütebiegeproben unterworfenen Barren ergaben folgende Zusammensetzungen:

Graphit;	gebund. C.;	Mangan;	Silicium;	Phosphor;	Schwefel.
Für <i>Brebacher-Eisen</i> : 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 0/0;	1,002 0/0;	0,546 0/0;	1,455 0/0;	0,978 0/0;	0,082 0/0.
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,605 0/0;	0,660 0/0;	0,355 0/0;	2,307 0/0;	1,712 0/0;	0,052 0/0.
Für <i>Choindez-Eisen</i> :					
2,996 0/0;	0,999 0/0;	0,275 0/0;	1,239 0/0;	0,744 0/0;	0,043 0/0.

4. Direkte Beobachtungen lehren und bestätigt die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse (vergl. Tafel II) die Erfahrung, dass das Gusseisen in der erweiterten Druckprobe weder eine sprungweise Änderung 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 Beschaffenheit des Gefüges. Je graphitreicher das Eisen, je gröber und dunkler das Korn, je grösser die bleibenden Formveränderungen bei der ausgeübten Belastung. Eine bestimmte Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze besitzt das Gusseisen nicht, und da dasselbe dem Proportionalitätsgesetze auch nicht folgt, können die Formeln der Elasticitätslehre für das Gusseisen auch nicht mehr als den Wert roher Annäherungen für sich in Anspruch nehmen.

5. Guss-Stäbe mit einem Längenverhältniss von ca. 80 nähern sich dem Charakter vorwiegend elastischer Körper; mit darüber hinaus wachsenden Längenverhältnissen der gedrückten Stäbe mildern sich die von den Gefügeverhältnissen des grauen Gusseisen herrührenden Abweichungen vom Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze des schmiedbaren Eisens, so dass für Guss-Stäbe von $l:k > \text{ca. } 80$ 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 Guss-Stäbe mit Längenverhältnissen $l:k < \text{ca. } 80$ verliert die Euler'sche Formel ihre Gültigkeit und liegen die Mittelwerte der spezifischen Knickspannungen um eine parabolische Kurve gruppiert, welche für alle praktischen Bedürfnisse hinlänglich genau durch die Gleichung:

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

in t pro cm^2 ausgedrückt wird.

7. Bezeichnet F in cm^2 den Querschnittsinhalt des einem centrischem Drucke unterworfenen Guss-Stabes, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher Bruch eintritt, für prak-

tische Bedürfnisse ausreichend genau ausgedrückt durch folgende Formelgruppen (in t à 1000 kg):

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

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

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

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

8. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des grauen Gusseisens im Betrage von:

$$\beta_a = 7,76 t \text{ pro } cm^2$$

und bei Berücksichtigung vorstehender Grundformeln liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel

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

folgende Werte des Knickungskoeffizienten η :

für $\frac{l}{k} = 10$	wird $\eta = 0,00175$;	für $\frac{l}{k} = 90$	wird $\eta = 0,00066$;
= 20 »	= 0,00098;	= 100 »	= 0,00068;
= 30 »	= 0,00075;	= 110 »	= 0,00070;
= 40 »	= 0,00065;	= 120 »	= 0,00071;
= 50 »	= 0,00061;	= 130 »	= 0,00073;
= 60 »	= 0,00060;	= 140 »	= 0,00074;
= 70 »	= 0,00060;	= 150 »	= 0,00074;
= 80 »	= 0,00063;		u. s. w.

Hieraus geht hervor, dass der Knickungskoeffizient weder konstant, noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

III. Abteilung: Schweisseisen.

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	Stablänge						absolut	Richtung der Durchbiegung	Euler	Tet- majer		
	l_0 cm	l cm	F cm^2	k cm	N t	β_k					1. Versuch	2. Versuch

I. Serie: Material der Burbacherhütte.

Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.

L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 10.

Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3,5$ t pro cm^2 ; $\lambda_z = 17,0\%$; $c = 0,60$ cm t.

1	80	103	20,00	1,98	52,0	45,00	2,25			—	2,60
2	120	143	20,00	1,98	72,2	44,13	2,21			—	2,16
3	160	183	20,00	1,98	92,4	33,50	1,68			2,25	1,83
4	240	257	20,00	1,98	129,8	22,00	1,10			1,14	—
5	320	337	20,00	1,98	170,3	13,48	0,67			0,66	—
6	400	417	20,00	1,98	210,6	8,67	0,43			0,43	—

L-Eisen; Burbacher-Profil Nr. 27.

Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3,34$ t pro cm^2 ; $\lambda_z = 17,6\%$; $c = 0,59$ cm t.

7	90	113	24,8	1,91	59,2	49,87	2,01			—	2,38
8	140	163	24,8	1,91	85,3	45,00	1,81			2,66	1,95
9	190	213	24,8	1,91	111,5	36,75	1,48			1,55	1,52
10	270	287	24,8	1,91	150,3	21,20	0,86			0,85	—
11	350	367	26,0	2,02	181,7	14,38	0,55			0,58	—
12	430	447	26,0	2,02	221,2	10,34	0,40			0,39	—

L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 14.

Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3,75$ t pro cm^2 ; $\lambda_z = 23,1\%$; $c = 0,87$ cm t.

13	80	103	20,3	1,75	58,2	50,13	2,47			—	2,39
14	120	143	20,3	1,75	81,7	43,13	2,12			—	2,01
15	160	183	20,3	1,75	114,6	33,38	1,64			1,78	1,63
16	240	257	20,3	1,75	146,9	17,22	0,86			0,89	—
17	320	337	20,3	1,75	192,5	11,63	0,57			0,52	—
18	400	417	20,3	1,75	238,2	7,65	0,39			0,34	—

Lauf. No.	Urspr. Stablänge		Wirk- same Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm				Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tet- majer β_k
			absolut Nt	t p. cm^2 β_k	1. Versuch	2. Versuch					

I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 12.

Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3,69$ t pro cm^2 ; $\lambda_2 = 22,6\%$; $c = 0,83$ cm t.

19	50	73	14,20	1,22	59,8	35,63	2,51	I ←	←	—	2,37
20	75	98	14,20	1,22	80,3	30,25	2,13	←	→	—	2,03
21	100	123	14,20	1,22	100,8	27,00	1,90	→	←	1,89	1,69
22	150	173	14,20	1,22	141,8	14,38	1,01	←	→	0,96	—
23	200	217	14,20	1,22	177,9	7,75	0,55	→	→	0,61	—
24	250	267	14,20	1,22	218,8	5,65	0,40	→	→	0,40	—

I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 17.

25	80	103	25,7	1,62	63,6	55,25	2,17	I ←	I →	—	2,30
26	120	143	25,7	1,62	88,2	48,75	1,90	→	←	—	1,90
27	160	183	25,7	1,62	113,0	36,00	1,40	←	←	1,51	1,49
28	240	257	25,7	1,66	154,8	20,07	0,78	←	→	0,80	—
29	320	337	25,7	1,66	203,0	14,00	0,54	←	→	0,47	—
30	400	417	25,7	1,66	251,2	8,32	0,33	→	←	0,31	—

II-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser: $d = 1,7$ cm; Nietteilung: $t = \text{ca. } 70$ s = 55,0 cm;
Verschwächung des Profils: $n = 11,5\%$.

31	100	123	24,4	2,47	50,0	61,13	2,51	II ←	II ←	—	2,53
32	150	173	24,4	2,47	70,1	54,37	2,23	←	←	—	2,20
33	200	223	24,4	2,47	90,3	48,88	2,00	←	→	—	1,87
34	300	317	24,4	2,47	128,3	30,50	1,25	←	→	1,17	—
35	400	417	24,4	2,47	168,8	16,45	0,67	→	←	0,68	—
36	500	517	24,4	2,47	209,3	10,72	0,44	←	→	0,44	—

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same Stablänge	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm					Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tet- majer β_k
			absolut Nt	t p. cm^2 β_k	1. Versuch	2. Versuch						

-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 6^a.

Nietdurchmesser: $d = 1,4$ cm; Nietteilung: $t = \text{ca. } 73 s = 44,0$ cm;

Verschwächung des Profils: $n = 12,3\%$.

37	100	123	27,0	2,50	49,2	69,25	2,56			—	2,54
38	150	173	27,0	2,50	69,2	57,75	2,14			—	2,21
39	200	223	27,0	2,50	89,2	42,71	1,58			2,42	1,88
40	300	317	27,0	2,50	126,8	28,00	1,04			1,20	—
41	400	417	27,0	2,50	166,8	18,53	0,69			0,69	—
42	500	517	27,0	2,50	206,8	11,92	0,44			0,45	—

-Eisen; Burbacher-Profil Nr. 16.

Nietdurchmesser: $d = 1,7$ cm; Nietteilung: $t = \text{ca. } 56 s = 45,0$ cm;

Verschwächung des Profils: $n = 10,2\%$.

43	100	123	25,76	2,05	60,0	54,00	2,10			—	2,36
44	150	173	25,76	2,05	84,4	44,75	1,74			—	1,96
45	200	223	25,76	2,05	108,8	40,25	1,56			1,63	1,56
46	280	297	25,76	2,05	144,9	20,40	0,79			0,92	—
47	400	417	26,60	2,12	177,8	15,13	0,59			0,61	—
48	439	456	26,60	2,12	215,1	11,29	0,42			0,42	—

-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser: $d = 1,4$ cm; Nietteilung: $t = \text{ca. } 75 s = 45,0$ cm;

Verschwächung des Profils: $n = 7,6\%$.

49	80	103	21,8	2,00	51,5	51,63	2,37			—	2,50
50	120	143	21,8	2,00	71,5	46,75	2,14			—	2,17
51	160	183	21,8	2,00	91,5	39,25	1,80			—	1,85
52	240	257	21,8	2,00	128,5	22,82	1,05			1,17	—
53	320	337	21,8	2,00	168,5	14,50	0,66			0,68	—
54	400	417	21,8	2,00	208,5	9,44	0,43			0,44	—

Lauf. No.	Urspr.	Wirk- same	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickschpannung t pro cm^2 nach	
	Stablänge		F cm^2	k cm		Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tet- majer β_k
	l_0 cm	l cm				absolut Nt	t p. cm^2 β_k	1. Versuch	2. Versuch		

2. Serie: Formeisen; Eisenwerk Kaiserslautern.

Nachstehende Zahlenwerte entsprechen je einem Versuche.

└-Eisen; Burbacher Profil Nr. 24.

55	560	579	19,9	1,80	322	3,90	0,20	└→	—	0,19	—
----	-----	-----	------	------	-----	------	------	----	---	------	---

┘-Eisen.

56	560	579	17,0	1,70	341	2,60	0,15	┘←	—	0,17	—
----	-----	-----	------	------	-----	------	------	----	---	------	---

┘└-Eisen.

57	560	579	21,0	2,14	271	5,90	0,28	┘└→	—	0,26	—
----	-----	-----	------	------	-----	------	------	-----	---	------	---

3. Serie: Rundeisen von de Wendel & Co.

Nachstehende Zahlenwerte entsprechen je einem Versuche.

58*	8,1	—	6,07	($d=2,79$)	—	45,00	c. 7,41	—	—	—	—
59	8,3	22,0	6,11	0,697	31,6	15,50	2,54	—	—	—	2,62
60	10,0	23,7	2,49	0,445	53,3	5,80	2,33	—	—	—	2,34
61	11,0	24,7	6,11	0,697	35,4	14,50	2,37	—	—	—	2,57
62	12,5	26,2	4,08	0,570	45,9	9,75	2,39	—	—	—	2,43
63	13,9	27,6	6,11	0,697	39,6	14,25	2,33	—	—	—	2,52
64	20,0	33,7	2,49	0,445	75,7	5,38	2,16	—	—	—	2,05
65*	20,0	—	8,45	($d=3,28$)	—	31,00	3,67	—	—	—	—
66	25,0	38,7	4,08	0,570	68,0	9,20	2,25	—	—	—	2,15
67	30,0	43,7	2,49	0,445	98,2	4,40	1,77	—	—	—	1,75
68	37,5	51,2	4,08	0,570	90,0	7,90	1,94	—	—	—	1,86
69	40,0	53,7	2,49	0,445	120,7	3,40	1,37	—	—	1,38	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Urspr. Stablänge		Mittlere Querschnittsfläche	Tragheitshalbmesser	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm				Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tetmajer β_k
			absolut Nt	t p. cm^2 β_k	1. Versuch	2. Versuch					
70	50,0	63,7	4,08	0,570	111,7	6,70	1,65	—	—	1,62	—
71	100,0	113,7	18,02	1,200	94,7	32,25	1,77	—	—	—	1,80
72	110,0	123,7	14,39	1,070	115,0	18,12	1,26	—	—	1,53	—
73	120,0	133,7	11,16	0,942	141,9	10,38	0,93	—	—	1,00	—
74	120,0	133,7	8,45	0,820	163,0	5,90	0,70	—	—	0,76	—
75	120,0	133,7	6,11	0,697	191,8	3,12	0,51	—	—	0,55	—

4. Serie: Formeisen von de Wendel & Co.

Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.

L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 10.

76*	100	50	15,3	1,78	28,1	43,63	2,85			—	2,66
77	100	123	20,0	1,98	62,1	45,38	2,27			—	2,22
78	150	173	20,0	1,98	87,0	38,32	1,92			—	1,90
79	200	219	20,0	1,98	111,0	29,50	1,48			1,64	—
80	300	319	20,0	1,98	161,0	14,23	0,71			0,78	—
81	400	419	20,0	1,98	212,0	10,25	0,51			0,45	—
82	500	519	20,0	1,98	262,0	6,08	0,30			0,30	—

L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 12 : 6.

83*	100	50	20,80	3,06	16,3	57,93**	2,75			—	2,82
84	100	123	17,36	1,46	84,2	36,00	2,10			—	1,94
85	150	173	17,36	1,46	118,5	22,25	1,35			1,51	—
86	200	223	17,36	1,46	153,0	16,79	0,97			0,86	—
87	300	319	17,36	1,46	218,0	7,57	0,44			0,43	—
88	400	419	17,36	1,46	288,0	4,30	0,25			0,24	—
89	500	519	17,36	1,46	355,0	2,65	0,15			0,16	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

**) Einfacher Versuch; der zweite ergab aus nicht ergründeter Ursache: 1,12 t pro cm^2 .

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same Stablänge	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickschpannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm					Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tet- majer β_k
			absolut Nt	t p. cm^2 β_k	1. Versuch	2. Versuch						

┌-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 14.

90	80	103	20,96	1,71	60,2	50,50	2,41			—	2,25
91	120	143	20,96	1,71	83,6	43,65	2,08			—	1,94
92	160	183	20,96	1,71	107,0	35,88	1,71			1,77	—
93	240	259	20,96	1,71	151,0	17,68	0,84			0,89	—
94	320	339	20,96	1,71	198,0	11,33	0,54			0,52	—
95	400	419	20,96	1,71	245,0	7,00	0,33			0,34	—

I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 18.

96	50	25,0*	29,34	1,71	14,6	84,50	2,89			—	2,84
97	75	37,5*	29,34	1,71	21,9	78,25	2,67			—	2,75
98	100	123,0	29,34	1,71	71,9	62,88	2,14			—	2,10
99	150	173,0	29,34	1,71	101,0	46,88	1,60			—	1,72
100	200	223,0	29,34	1,71	130,0	35,50	1,21			1,20	—
101	250	269,0	29,34	1,71	157,0	23,76	0,81			0,82	—

≡-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser: $d = 1,8$ cm; Nietteilung: $t = \text{ca. } 31$ s = 25,0 cm;
Verschwächung des Profils: $n = 11,7$ %.

102	100	123	24,8	2,47	50	56,00	2,26			—	2,38
103	150	173	24,8	2,47	70	52,38	2,11			—	2,12
104	200	223	24,8	2,47	90	49,75	2,01			—	1,86
105**	300	319	—	—	—	—	—	—	—	—	—
106	400	419	24,8	2,47	170	16,69	0,67			0,70	—
107	500	519	24,8	2,47	210	11,00	0,44			0,46	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

**) Nicht ausgeführt.

Lauf. No.	Urspr. Stablänge		Wirksame Querschnittsfläche $F \text{ cm}^2$	Trägheitshalb-messer $k \text{ cm}$	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $t \text{ pro cm}^2$ nach	
	$l_0 \text{ cm}$	$l \text{ cm}$				Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tet-majer β_k
			absolut $N t$	$t \text{ p. cm}^2$ β_k	1. Versuch	2. Versuch					

 -Eisen; deutsch. Normalprofil No. 6.

Nietdurchmesser: $d = 1,5 \text{ cm}$; Nietteilung: $t = \text{ca. } 33 s = 20,0 \text{ cm}$;
Verschwächung des Profils: $n = 12,6\%$.

108	100	123	28,72	2,43	50,6	67,75	2,36			—	2,37
109	150	173	28,72	2,43	71,2	56,88	1,98			—	2,10
110	200	219	28,72	2,43	90,1	44,00	1,53			—	1,86
111	300	319	28,72	2,43	131,0	26,25	0,91			1,18	—
112	400	419	28,72	2,43	172,0	17,44	0,61			0,68	—
113	500	519	28,72	2,43	214,0	11,56	0,40			0,44	—

 -Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 9 : $4\frac{1}{2}$.

Nietdurchmesser: $d = 1,5 \text{ cm}$; Nietteilung: $t = \text{ca. } 20 s = 16,0 \text{ cm}$;
Verschwächung des Profils: $n = 11,4\%$.

114*	60	30	20,98	1,48	20,3	58,50	2,79			—	2,77
115	90	113	20,98	1,48	76,3	37,88	1,81			—	2,04
116	120	143	20,98	1,48	96,7	35,75	1,71			—	1,77
117	180	199	20,98	1,48	135,0	22,90	1,09			1,11	—
118	240	259	20,98	1,48	162,0	15,30	0,73			0,77	—
119	300	319	20,98	1,48	216,0	9,50	0,45			0,43	—

 -Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser: $d = 1,5 \text{ cm}$; Nietteilung: $t = \text{ca. } 27 s = 16,0 \text{ cm}$;
Verschwächung des Profils: $n = 8,3\%$.

120*	80	40	21,76	1,92	20,8	59,25	2,72			—	2,76
121	120	143	21,76	1,92	74,5	50,13	2,30			—	2,06
122	160	183	21,76	1,92	95,3	40,37	1,86			—	1,79
123	240	259	21,76	1,92	135,0	25,40	1,17			1,11	—
124	320	339	21,76	1,92	177,0	14,50	0,67			0,65	—
125	400	419	21,76	1,92	218,0	9,44	0,43			0,43	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

IV. Abteilung: Flusseisen.

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same Stablänge	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm					Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler	Tet- majer
			absolut	t p. cm^2	1. Versuch	2. Versuch	β_k	β_k				

5. Serie: Rundeisen von de Wendel & Co.

Nachstehende Zahlen entsprechen je einem Versuche.

126*	8,1	—	6,07	($a=2,79$)	—	39,00	c. 6,42	—	—	—	—
127	8,3	22,0	6,11	0,697	31,6	16,75	2,74	—	—	—	2,74
128	10,0	23,7	2,49	0,445	53,3	6,40	2,57	—	—	—	2,49
129	11,0	24,7	6,11	0,697	35,4	16,50	2,70	—	—	—	2,70
130	12,5	26,2	4,08	0,570	45,9	11,70	2,87	—	—	—	2,58
131	13,9	27,6	6,11	0,697	39,6	16,50	2,70	—	—	—	2,65
132	20,0	33,7	2,49	0,445	75,7	5,80	2,33	—	—	—	2,24
133*	20,0	—	8,45	($a=3,28$)	—	23,10	2,73	—	—	—	—
134	25,0	38,7	4,08	0,570	68,0	10,90	2,67	—	—	—	2,32
135	30,0	43,7	2,49	0,445	98,2	4,93	1,98	—	—	—	1,98
136	37,5	51,2	4,08	0,570	90,0	9,75	2,39	—	—	—	2,07
137	40,0	53,7	2,49	0,445	120,7	3,90	1,57	—	—	1,52	—
138	50,0	63,7	4,08	0,570	111,7	7,65	1,88	—	—	1,78	—
139	100,0	113,7	18,02	1,200	94,7	35,75	1,98	—	—	—	2,02
140	110,0	123,7	14,39	1,070	115,0	20,20	1,41	—	—	1,68	—
141	120,0	133,7	11,16	0,942	141,9	11,50	1,03	—	—	1,10	—
142	120,0	133,7	8,45	0,820	163,0	6,75	0,80	—	—	0,84	—
143	120,0	133,7	6,11	0,697	191,8	3,35	0,55	—	—	0,60	—

6. Serie: Formeisen von de Wendel & Co.

Sämtliche Zahlen sind im Mittelwerte aus 2 Versuchen.

L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 10.

144*	100	50	15,3	1,78	28,1	46,00	3,00			—	—
145*	100	50	14,9	1,72	29,1	43,00	2,85			—	—
146	100	123	19,2	1,98	62,1	50,63	2,64			—	2,39
147	150	173	19,2	1,98	87,0	43,13	2,15			—	2,11

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Urspr.		Wirk-same Stablänge	Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg- heits- halb- messer	Beobachtete				Berechnete Knickspannung <i>t</i> pro <i>cm</i> ² nach	
	<i>l</i> ₀ <i>cm</i>	<i>l</i> <i>cm</i>				<i>F</i> <i>cm</i> ²	<i>k</i> <i>cm</i>	$\frac{l}{k}$	Knickkraft		Richtung der Durchbiegung
			absolut <i>N t</i>	<i>t p. cm</i> ² β_k	1. Versuch				2. Versuch		
148	200	219	19,2	1,98	111	33,00	1,72	→	←	1,80	—
149	300	319	19,2	1,98	161	15,85	0,83	←	←	0,86	—
150	400	419	19,2	1,98	212	10,25	0,53	←	→	0,49	—
151	500	519	19,2	1,98	262	6,38	0,33	←	←	0,32	—

I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 12 : 6.

152*	100	50*	20,90	3,06	16,3	61,50	2,94	→	←	—	2,91
153	100	123	17,30	1,46	84,2	37,88	2,19	→	←	—	2,14
154	150	173	17,30	1,46	118,0	25,64	1,48	→	→	1,58	—
155	200	223	17,30	1,46	153,0	18,88	1,09	←	←	0,95	—
156	300	319	17,30	1,46	218,0	7,44	0,43	→	→	0,47	—
157	400	419	17,30	1,46	288,0	4,82	0,29	←	←	0,27	—
158	500	519	17,30	1,46	355,0	3,75	0,22	←	←	0,18	—

C-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 14.

159	80	103	20,91	1,70	60,6	51,75	2,48	←	→	—	2,41
160	120	143	20,91	1,70	84,1	47,95	2,29	→	→	—	2,14
161	160	183	20,91	1,70	108,0	37,80	1,81	←	→	1,90	—
162	240	259	20,91	1,70	152,0	20,25	0,97	→	→	0,96	—
163	320	339	20,91	1,70	199,0	11,60	0,56	←	←	0,56	—
164	400	419	20,91	1,70	246,0	7,75	0,38	←	←	0,37	—

I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 18.

165*	50	25	29,46	1,71	14,6	80,00	2,72	→	→	—	2,93
166*	75	37,5	29,46	1,71	21,9	80,00	2,72	→	←	—	2,85
167	100	123,0	29,46	1,71	71,9	65,00	2,21	→	←	—	2,28
168	150	173,0	29,46	1,71	101,0	52,25	1,77	←	←	—	1,95
169	200	223,0	29,46	1,71	130,0	37,50	1,27	←	→	1,31	—
170	250	269,0	29,46	1,71	157,0	27,25	0,92	←	←	0,90	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same Stablänge	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm					Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler β_k	Tet- majer β_k
			absolut Nt	t p. cm^2 β_k	1. Versuch	2. Versuch						

-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser: $d = 1,8$ cm; Nietteilung: $t = 31$ s = 25,0 cm;
Verschwächung des Profils: $n = 11,9$ %.

171	100	123	24,2	2,47	50	58,50	2,42			—	2,53
172	150	173	24,2	2,47	70	49,75	2,06			—	2,30
173	200	223	24,2	2,47	90	46,00	1,90			—	2,07
174	300	319	24,2	2,47	129	29,55	1,22			1,33	—
175	400	419	24,2	2,47	170	16,57	0,68			0,77	—
176	500	519	24,2	2,47	210	11,56	0,48			0,50	—

-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 6.

Nietdurchmesser: $d = 1,5$ cm; Nietteilung: $t = 33$ s = 20,0 cm;
Verschwächung des Profils: $n = 13,1$ %.

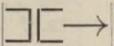
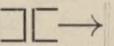
177	100	123	27,58	2,40	51,2	62,12	2,25			—	2,52
178	150	173	27,58	2,40	72,1	56,00	2,03			—	2,28
179	200	219	27,58	2,40	92,2	43,50	1,58			—	2,05
180	300	319	27,58	2,40	132,0	27,88	1,01			1,27	—
181	400	419	27,58	2,40	175,0	16,50	0,60			0,73	—
182	500	519	27,58	2,40	216,0	10,60	0,38			0,48	—

-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 9 : 4 1/2.

Nietdurchmesser: $d = 1,5$ cm; Nietteilung: $t = 20$ s = 16,0 cm;
Verschwächung des Profils: $n = 11,8$ %.

183*	60	30	20,28	1,51	19,9	61,25	3,02			—	2,87
184	90	113	20,28	1,51	74,8	39,75	1,96			—	2,25
185	120	143	20,28	1,51	94,7	37,36	1,84			—	2,02
186	180	199	20,28	1,51	132,0	25,88	1,28			1,27	—
187	240	259	20,28	1,51	172,0	15,25	0,75			0,76	—
188	300	319	20,28	1,51	211,0	11,27	0,56			0,50	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same Stablänge	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{k}$	Beobachtete			Berechnete Knickspannung t pro cm^2 nach	
	l_0 cm	l cm					Knickkraft		Richtung der Durchbiegung		Euler
			Nt	βk	1. Versuch	2. Versuch	βk	βk			
 -Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1,5$ cm; Nietteilung: $t = 30$ s = 16,0 cm; Verschwächung des Profils: $n = 8,2\%$.											
189*	80	40	21,86	1,94	20,6	62,00	2,84			—	2,86
190	120	143	21,86	1,94	73,7	50,88	2,33			—	2,26
191	160	183	21,86	1,94	94,3	47,05	2,15			—	2,02
192	240	259	21,86	1,94	134,0	26,75	1,22			1,24	—
193	320	339	21,86	1,94	175,0	16,70	0,76			0,73	—
194	400	419	21,86	1,94	216,0	10,19	0,47			0,48	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Die Ergebnisse der in Abteilung III und IV zusammen-
gestellten Resultate der Knickungsversuche ausgeführt an Stäben
in *Schweiss-* und weichem *Flusseisen*, führen zu folgenden
Schlussfolgerungen:

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

b. *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 Krafrichtung gegen die Stab-
axe u. d. m.*

c. *Einflüsse der Form der Versuchsstäbe auf die Knickungs-
festigkeit des schmiedbaren Konstruktionseisen werden wahr-
scheinlich bestehen. Vorliegende Versuchsreihen geben indessen
zur Beurteilung derselben keine Anhaltspunkte.*

d. 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 unsern 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 u. 17), lehren, dass 4 nietige Verstiefungsbänder mit paarweise gegenüberliegenden Nieten bei einem Abstände gleich der 80-fachen Winkeldicke, die Teilprofile zu einem Profil zu vereinigen nicht vermochten. In der Druckprobe haben diese Stäbe entsprechend den Trägheitsmomenten der Einzelwinkel und nicht mit demjenigen des ganzen Kreuzprofils gearbeitet;

β. die Nieten die Nietlöcher satt ausfüllen;

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

e. Hinsichtlich der Einflüsse der Nietung, insbesondere der Verschwächung des Stabquerschnitts durch Nietlöcher, sowie der Lage der Nietlöcher im Querschnitt ist das Flusseisen im allgemeinen empfindlicher als das Schweisseisen.

f. Die Durchbiegung der Druckstäbe mit Längenverhältnissen $l : k > \text{ca. } 100$ erfolgt in der Regel allmähig und sind die Formänderungen vorwiegend elastischer Art. Stäbe mit Längenverhältnissen $l : k < \text{ca. } 100$ verbiegen sich meist plötzlich, oft erst an der Grenze des Tragvermögens; die Formänderungen tragen sodann der Hauptsache nach den Charakter unelastischer Körper.

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

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

beim Schweisseisen:

$$\frac{l}{k} \leq \text{ca. } 112$$

beim Flusseisen:

(mit einer Zugfestigkeit $\leq 4,0 t \text{ pro cm}^2$):

$$\frac{l}{k} \leq \text{ca. } 105$$

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

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

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

Den Konstanten vorstehender Formeln entspricht ein *Elastizitätsmodul* von:

$$\varepsilon = 2000 t \text{ pro } cm^2; \quad \varepsilon = 2150 t \text{ pro } cm^2.$$

i. Stäbe mit Längenverhältnissen

beim *Schweisseisen*: beim *Flusseisen*
 (mit einer Zugfestigkeit $\leq 4,0 t \text{ pro } cm^2$):

$$\frac{l}{k} = \text{ca. } 10 \text{ bis ca. } 112 \quad \frac{l}{k} = \text{ca. } 10 \text{ bis ca. } 105$$

folgen dem Euler'schen Gesetze nicht (vergl. Taf. III u. IV) und bestätigen unsere Versuche, dass in diesem für das Konstruktionsfach besonders wichtigem Intervalle das Tragvermögen der Stäbe in Schweiss- und Flusseisen mit abnehmenden Längenverhältnissen angenähert proportional wächst und die Knickspannungen und Knickungskräfte durch folgende Formeln ausgedrückt werden können:

$$\beta_k = 3,03 - 0,0129 \frac{l}{k} t \text{ pro } cm^2; \quad \beta_k = 3,10 - 0,0114 \frac{l}{k} t \text{ pro } cm^2;$$

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

k. Für härtere Flusseisensorte (für solche mit mehr als 40 t Zugfestigkeit) darf der *Elastizitätsmodul* zu:

$$\varepsilon = \text{ca. } 2240 t \text{ pro } cm^2$$

angenommen werden. Für solches Eisen sind Knickspannungen und Knickungskräfte nach folgenden Formelgruppen zu berechnen:

bei Stäben mit Längenverhältnissen

$$\frac{l}{k} \geq \text{ca. } 105 \quad \frac{l}{k} = \text{ca. } 10 \text{ bis } 105$$

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

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

l. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Schweiss- und Flusseisens von beziehungsweise 3,03 und 3,10 t pro cm² und unter Benützung der unter lit. g und i angeführten Grundformeln, liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel:

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

folgende Werte des Knickungskoeffizienten:

<i>Schweisseisen;</i>		<i>Flusseisen.</i>	
für $\frac{l}{k} = 10$	wird: $\eta = 0,000448$;	für $\frac{l}{k} = 10$	wird: $\eta = 0,000370$;
= 20 »	= 0,000235;	= 20 »	= 0,000200;
= 30 »	= 0,000164;	= 30 »	= 0,000133;
= 40 »	= 0,000129;	= 40 »	= 0,000109;
= 50 »	= 0,000109;	= 50 »	= 0,000088;
= 60 »	= 0,000096;	= 60 »	= 0,000078;
= 70 »	= 0,000088;	= 70 »	= 0,000071;
= 80 »	= 0,000082;	= 80 »	= 0,000065;
= 90 »	= 0,000078;	= 90 »	= 0,000061;
= 100 »	= 0,000075;	= 100 »	= 0,000058;
= 110 »	= 0,000074;	= 110 »	= 0,000064;
= 120 »	= 0,000084;	= 120 »	= 0,000077;
= 130 »	= 0,000094;	= 130 »	= 0,000086;
= 140 »	= 0,000102;	= 140 »	= 0,000095;
= 160 »	= 0,000115;	= 160 »	= 0,000107;
= 180 »	= 0,000122;	= 180 »	= 0,000116;
= 200 »	= 0,000130;	= 200 »	= 0,000122;
= 220 »	= 0,000132;	= 220 »	= 0,000125;
= 240 »	= 0,000134;	= 240 »	= 0,000128;
= 250 »	= 0,000136;	= 250 »	= 0,000130.

Aus vorstehenden Zahlenreihen geht hervor, dass der Knickungskoeffizient η der Schwarz-Rankine'schen Formel weder konstant ist noch durch eine Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

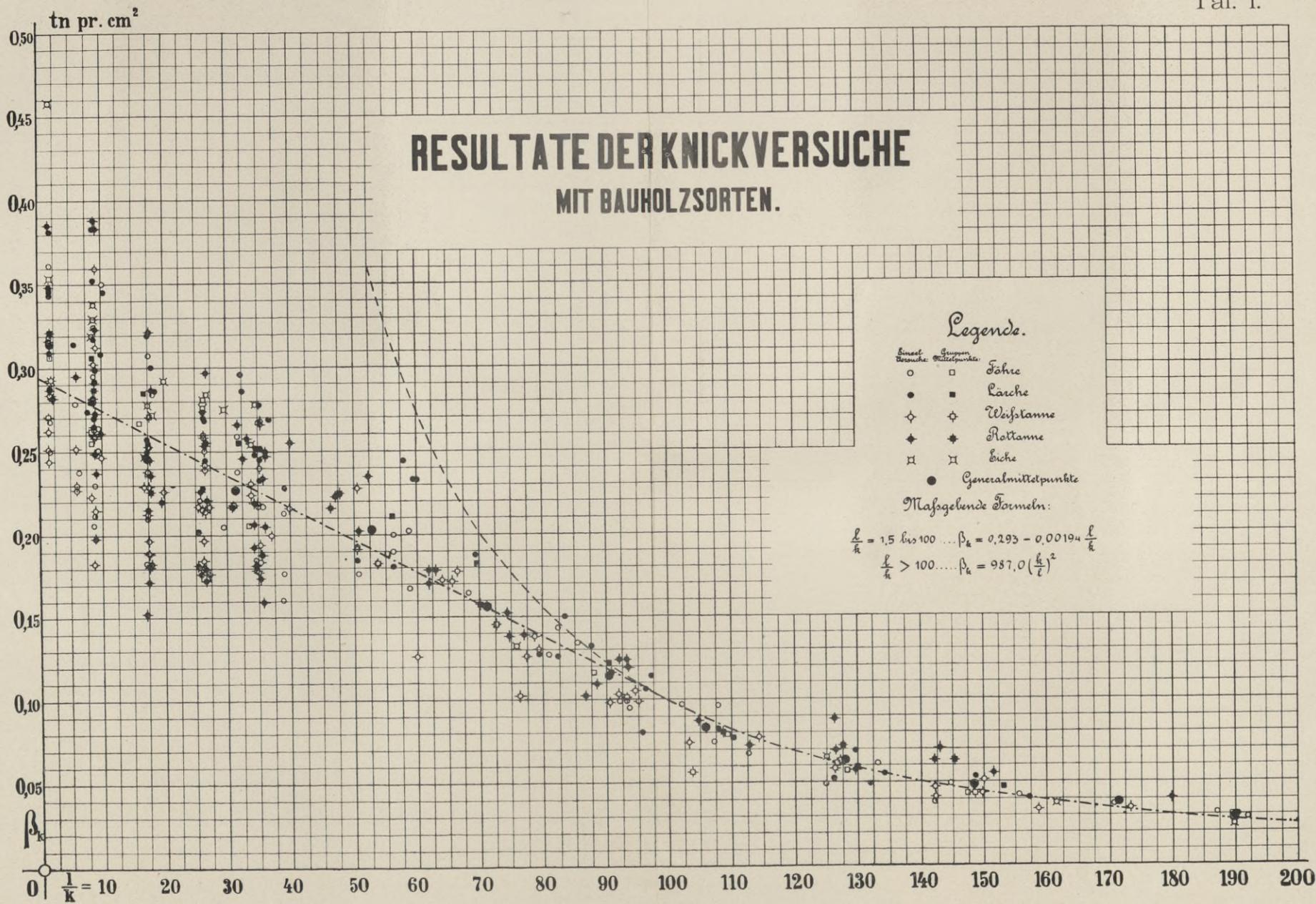


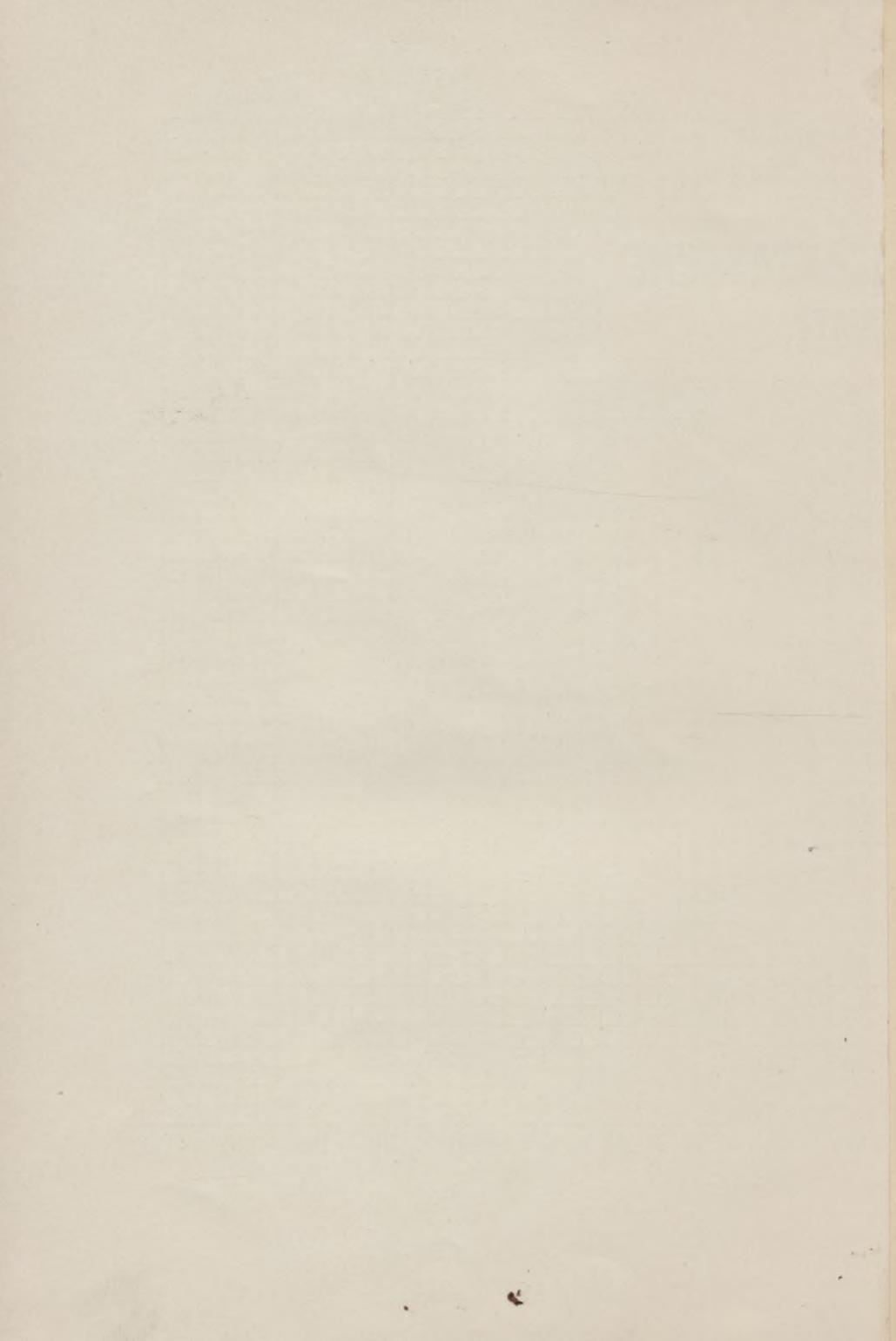
Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
1. Ursachen der Knickerscheinungen, Grundformeln.	5
2. Über die Auswahl, Form und Bearbeitung des Versuchsmaterials.	
a) Bauholz	14
b) Gusseisen	16
c) Schmiedbares Eisen	17
3. Einspannung der Probekörper und Art der Versuchsausführung.	
a) Bauholz	20
b) Gusseisen	23
c) Schmiedbares Eisen	26
4. Resultate der Knickungsproben.	
I. Abteilung: Bauholz	26
Zusammensetzung der Resultate; Knickungsformeln	41
II. Abteilung: Gusseisen	45
Zusammenstellung der Resultate; Knickungsformeln	62
III. Abteilung: Schweisseisen	66
IV. Abteilung: Flusseisen	73
Zusammenstellung der Resultate; Knickungsformeln	76

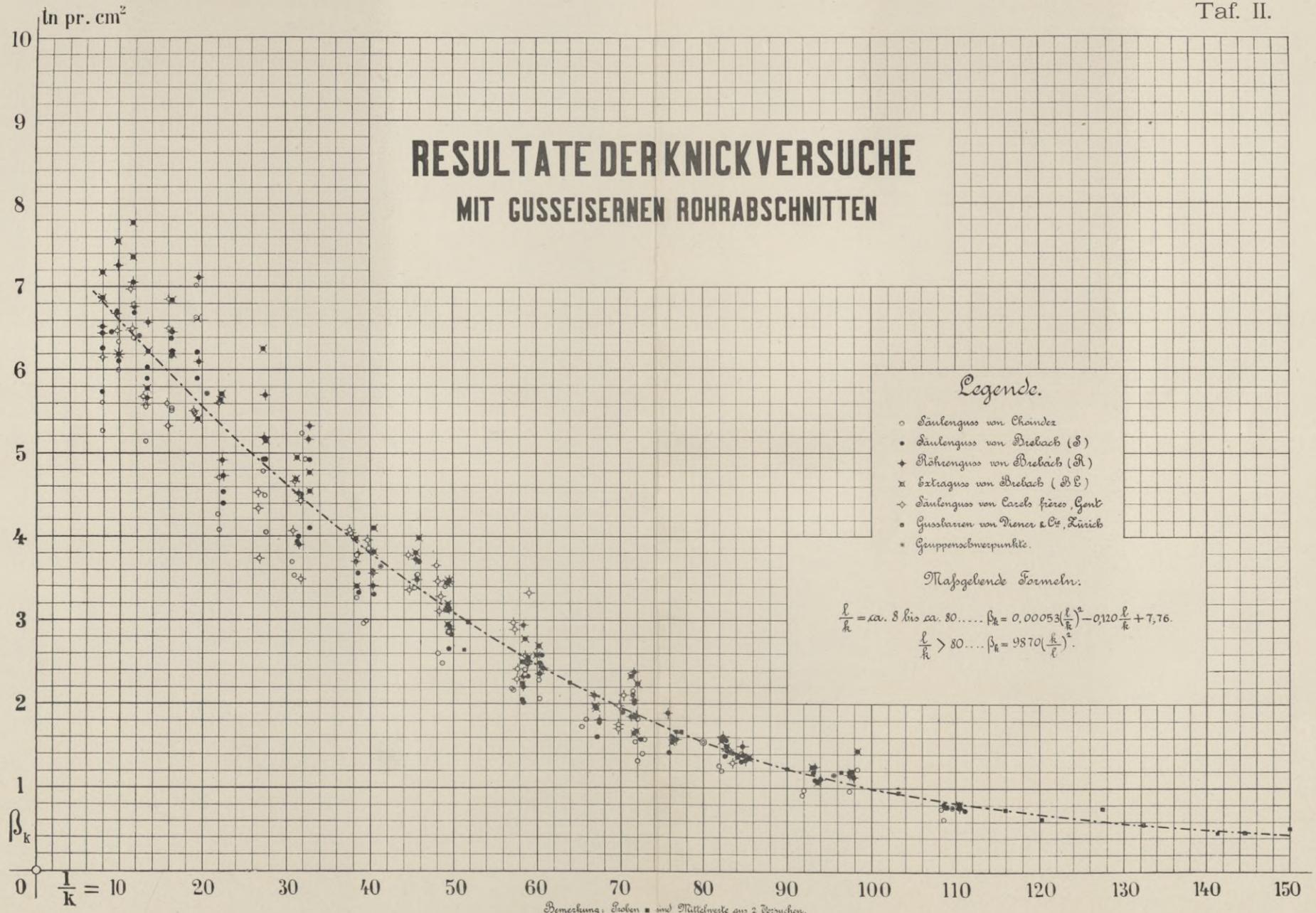
Im Anhange:

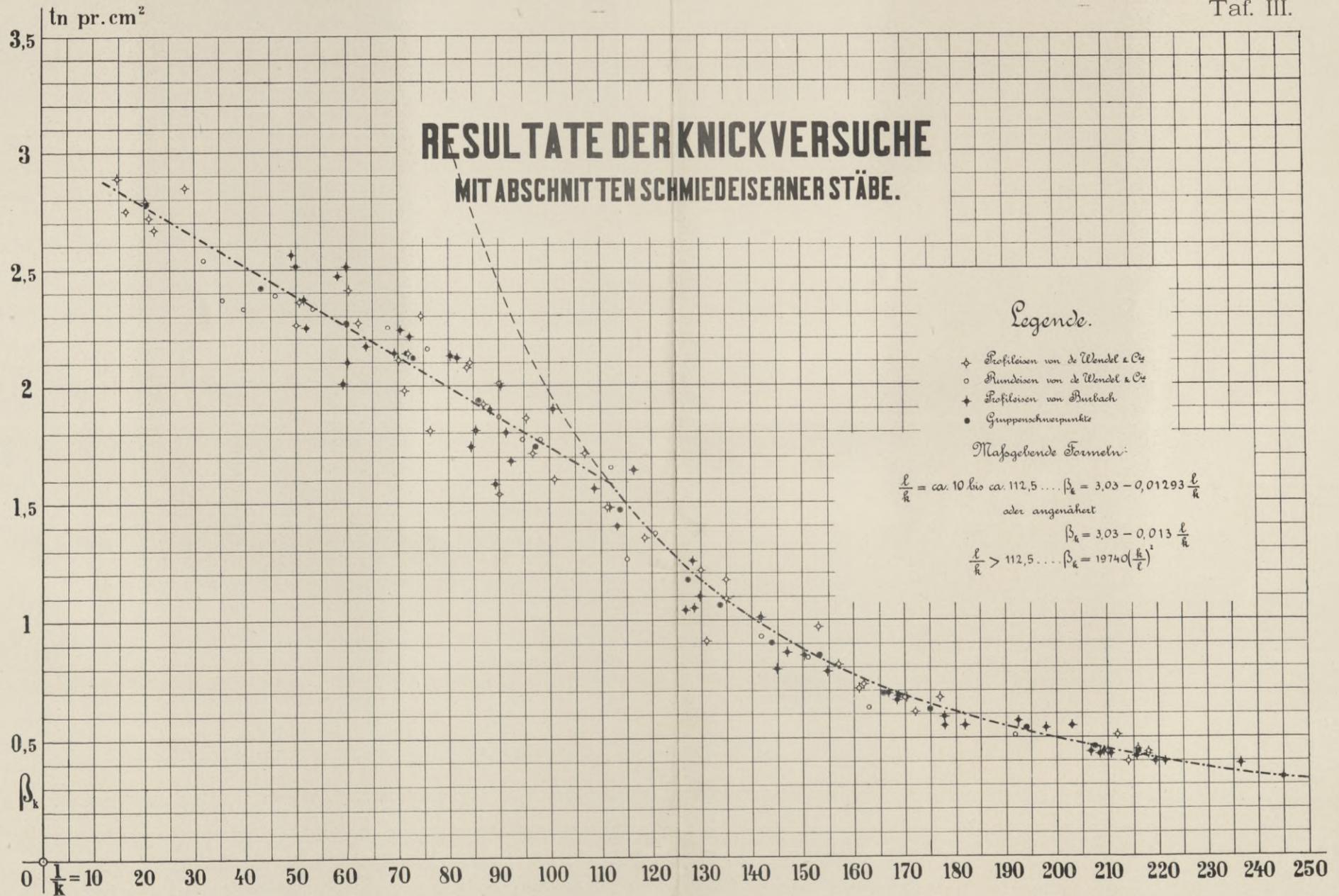
4 Tafeln mit graphischen Darstellungen der Versuchsergebnisse.

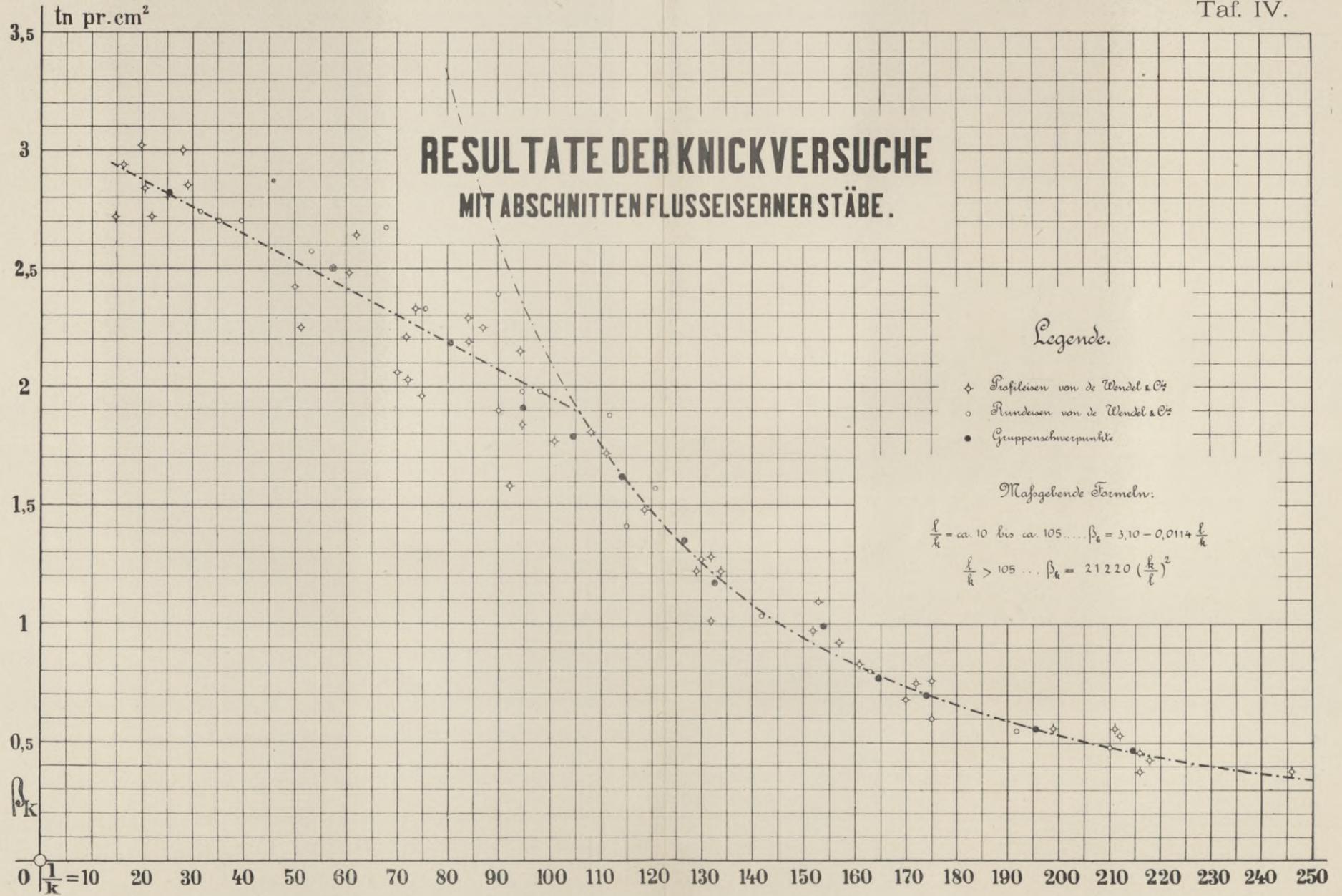












S. 61

S - 96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349843

POLITECHNIKA KRA
BIBLIOTEKA GE



L. inw.

5212

Rdn. 524. 13. IX. 54

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000309066

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294698