

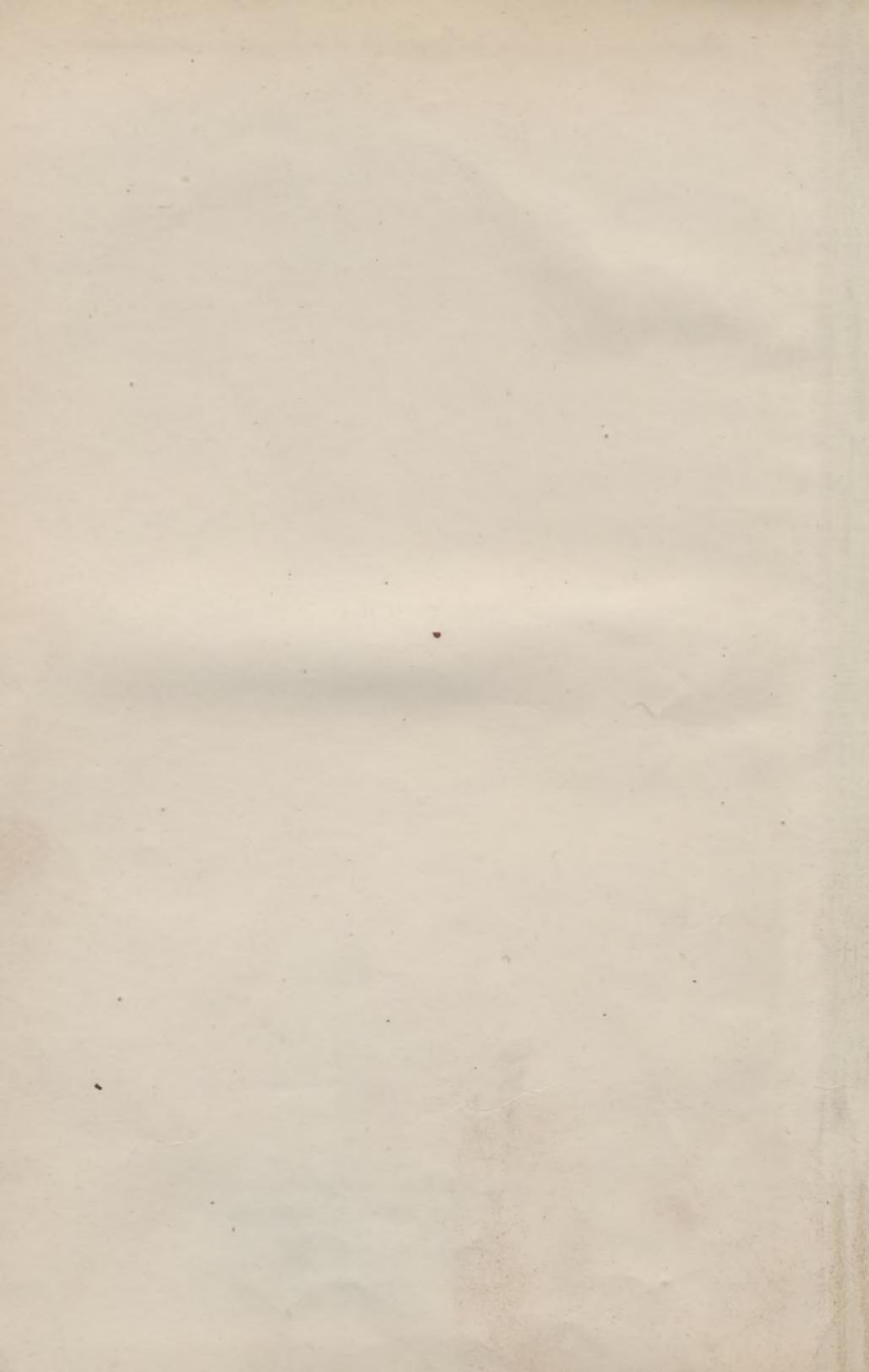


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299631

xx  
667



Mitteilungen  
der Materialprüfungs-Anstalt  
am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

VIII. Heft.

Die Gesetze der Knickungs-  
und der zusammengesetzten Druckfestigkeit  
der technisch wichtigsten Baustoffe.

Bearbeitet von

**Prof. L. Tetmajer,**  
Direktor der Materialprüfungs-Anstalt.

*F. Br. 21947*

Zweite vervollständigte Auflage.

Selbstverlag der Anstalt.



ZÜRICH

Druck von A. Markwalder, Bleicherweg 10.  
1901.

*F. Br. 21947*  
*16.*

XX  
667



117955

Akc. Nr. 524/52

## Vorwort zur ersten Auflage.

---

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 ventilirte Frage der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe abzuklären. Seit *Hodgkinson* haben sich berufene Männer der Praxis und der Wissenschaft in einer fast ununterbrochenen Kette theils experimenteller, theils mathematischer Arbeiten mit der Frage der gesetzmässigen Änderungen des Tragvermögens gedrückter Stäbe durch 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 irgend einer seiner Fachgenossen. So hat *Bauschinger* als erster auf experimentellem Wege die Richtigkeit der in Misskredit gebrachten Knickungsformel *Euler's* nachgewiesen, ohne jedoch deren Gültigkeitsgrenzen festzustellen und ohne das für das Konstruktionsfach so wichtige Gebiet der Längenverhältnisse zwischen dem reinen Druck und den Knickungsvorgängen mit vorwiegend elastischem Charakter aufzuschliessen. Dass *Bauschinger* dieses Gebiet unabgeklärt liess, lag lediglich in 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 auch im Intervalle der vorwiegend unelastischen Knickungsvorgänge abzuklären, so ist das Resultat in erster Linie dem Opfersinne einiger Materialproduzenten zu danken, die nicht scheuten, das Versuchsmaterial in den erforder-

lichen Mengen (Gusseisen ca. 13,0 t; schmiedbares Eisen ca. 16,0 t etc. etc.) zu liefern. Das Versuchsmaterial zu unseren ersten 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 Halbergerhütte der HH. *R. Böcking & Co.*, Brebach;

die Direktion der Giesserei der HH. *Gebr. Carels* in Gent;

» » der *von Roll'schen* Eisenwerke in Choindex;

» » der *Burbacher Hütte* in Burbach-Malstatt;

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

Zur Ausführung der Knickungsversuche mit gusseisernen Rohrabschnitten reichte die disponible Kraft 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, in Anspruch zu nehmen, welcher nicht müde wird zu helfen, wenn es sich um Förderung wissenschaftlicher Interessen handelt. Es erwächst uns lediglich nur die angenehme Pflicht, dem Verwalter der belgischen Staatsbahnen, Herrn Generaldirektor *Schaar*, für die kostenfreie Überlassung 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 *Schweiz. Bauzeitung* (Bd. XI, Nr. 18) veröffentlicht. Die Ergebnisse der Knickungsproben mit schmiedbarem Eisen haben wir im 4. Hefte der offiziellen Mitteilungen unserer Anstalt veröffentlicht. 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 die 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.

## Vorwort zur zweiten Auflage.

---

Zur Ergänzung unserer experimentellen Untersuchungen über das Verhalten der technisch wichtigsten Baustoffe in der erweiterten Druckprobe wurden in den Jahren 1899 und 1900 eine Reihe von Versuchen ausgeführt, welche neues Licht in das Wesen der Knickungsvorgänge bringen, wohl auch manches Interesse bezüglich der konstruktiven Durchbildung zusammengesetzter Druckstreben besitzen. Seines Umfangs wegen musste auf eine Unterbringung des gewonnenen Zahlenmaterials in einer technischen Zeitschrift von vorneherein verzichtet werden, und blieb nichts übrig, als die Resultate der neuen Versuchsreihen in Verbindung mit den ältern in einer neuen Auflage des VIII. Heftes unserer Mitteilungen vor die Öffentlichkeit zu bringen.

Das versuchsgerecht appetierte Material zu den neuen Versuchsreihen haben in dankenswerter Bereitwilligkeit kostenfrei geliefert:

- das *Eisenwerk* Kaiserslautern; Brückenbau-Abteilung;
- die *Gute-Hoffnungshütte* Oberhausen; Brückenbau-Abteilung, Sterkrade;
- » *Maschinenbau-A.-G.* Nürnberg; Brückenbau-Abteilung;

ferner

- die HH. *Bell & Co.*, Brückenbau-Anstalt, Kriens;
- » » *Buss & Co.*, Brückenbau-Anstalt, Basel;
- » » *Schröder & Co.*, Brückenbau-Anstalt, Brugg.

32 der 6 m langen, aus 4 Zehner- bzw. Zwölfer Winkeln gebildeten Druckstäbe mussten zur Ausführung der geplanten Knickversuche einer ausländischen Materialprüfungs-Anstalt ausgeliefert werden, weil die in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt befindlichen Maschinen sich abermals als nicht ausreichend kräftig erwiesen haben. Diesmal war es die k. preuss. mechan.-techn. Versuchs-Anstalt zu Charlottenburg, welche, gegen Entrichtung ermässigter Gebühren, die Ausführung dieser Versuche zu übernehmen die Güte hatte. Wir nehmen gerne diesen Anlass wahr, um der Verwaltung dieser Anstalt für die gewährte Hülfe bei

Abwicklung unserer Versuche den verbindlichsten Dank auszudrücken. Die Resultate der zu Charlottenburg ausgeführten Versuche sind als Controll-Versuche für uns aus dem Grunde von besonderer Wichtigkeit, weil sie unsere Knickformeln und die Zulässigkeit der Suppositionen bei ihrer Verwendung bestätigen.

ZÜRICH, im Januar 1901.

## I. Einleitung.

Der Endzweck der Untersuchung des Verhaltens eines Baumaterials in der erweiterten Druckprobe ist die Schaffung sicherer Grundlagen für die Dimensionenberechnung; sie sollen gestatten, die Abmessungen eines auf centrischen oder excentrischen Druck in Anspruch genommenen Organes eines Bauwerks mit bestimmter Sicherheit gegen Erreichen der Elastizität- oder aber gegen die Kohäsionsgrenze zu ermitteln. Dem Vorschlage *v. Bach's*, die fraglichen Abmessungen gedrückter Stäbe vom Standpunkte einer zulässigen Durchbiegung zu ermitteln, wird man so lange ablehnend gegenüberstehen, als das Abhängigkeitsverhältnis der Formänderung und Materialinanspruchnahme zur Bruchbelastung unabgeklärt bleibt. Allein auch wenn dies erreicht sein wird, wird die Eingrenzung der Durchbiegung bei nicht federnden Materialien, wie Stein, zu keinem brauchbaren Resultat führen; andererseits wird man auch bei federnden Materialien Fall für Fall der Mühe nicht enthoben sein, rechnerisch den Nachweis des Vorhandenseins derjenigen Sicherheit gegen Bruch beizubringen, den die Öffentlichkeit zu fordern berechtigt ist. Mit der zuletzt aufgeführten Arbeit findet jedoch die Frage überhaupt ihre Erledigung und ein mehreres scheint sodann entbehrlich.

Die Einführung eines Sicherheitsgrades gegen Elasticitätsgrenze ist der Wahl einer zulässigen Durchbiegung ziemlich gleichwertig; dieser Vorschlag scheitert an dem Umstande, dass verschiedene wertvolle Baustoffe, wie z. B. die künstlichen und natürlichen Bausteine, deren Bindemittel, das Gusseisen u. d. m. feste *Elasticitätsgrenzen* überhaupt nicht besitzen, von einer Sicherheit gegen Erreichen derselben also auch nicht gesprochen werden kann.

Auf Grund dieser Überlegungen gelange ich nach wie vor zu dem Schluss, dass es Aufgabe der experimentellen Untersuchung der Festigkeitseigenschaften der Baumaterialien sein muss, Mittel und Wege zu finden, auf welchen die Ausmittlung der Querschnittsabmessungen auf Druck beanspruchter

prismatischer Stäbe mit bestimmter Sicherheit gegen Bruch, gegen das Überschreiten der Kohäsionsgrenze durchgeführt werden kann. Ist dies geschehen, so werden sich die der normalen Dienstlast entsprechenden Spannungszustände, Grösse der Formänderungen der Konstruktion in einer gesonderten Rechnung ohne weiteres feststellen lassen.

Bei den folgenden Untersuchungen und rechnerischen Arbeiten ist das Proportionalitäts-Gesetz, sowie die Konstanz des Elasticitäts-Moduls vorausgesetzt und gesucht, sofern Rechnung und Beobachtung divergieren, und dies wird im Belastungsintervalle jenseits der Elasticitätsgrenze, insbesondere an der Kohäsionsgrenze der Fall sein müssen, durch *Einführung geeigneter Erfahrungs-Koeffizienten* die fehlende Übereinstimmung herzustellen. Fachgenossen gegenüber ist die Bemerkung überflüssig, dass die für die Kohäsionsgrenze aufgestellten Erfahrungs- oder Vermittlungskoeffizienten für andere Belastungszustände keine Gültigkeit haben. Dessenungeachtet wird auch gegenwärtig noch mannigfach die Gültigkeit der für diese Grenze hergeleiteten Koeffizienten auch auf andere Belastungsintervalle ausgedehnt. So finden wir in der s. g. *Schwarz-Rankine'schen* Knickungsformel den Koeffizienten  $\eta$  für die Grenze der Tragkraft, also für

$$\beta_k = \frac{\beta_{max}}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2} \text{ ausgemittelt und in: } \sigma_k = \frac{\sigma_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

unverändert beibehalten, worin

$\sigma_d$  die zulässige Inanspruchnahme des Materials auf Druck,  
 $\sigma_k$  diejenige auf Knickung bedeutet.

Zur Ausgleichung der Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung lässt sich zuweilen mit Erfolg auch ein veränderlicher Elasticitäts-Modul verwenden. Dieses Verfahren kann namentlich bei Baustoffen, wie bei Steinmaterialien, bei Bindemitteln und deren Abkömmlingen, bei Gusseisen und anderen Stoffen in Betracht fallen, welche dadurch gekennzeichnet sind, dass sie keine feste Elasticitäts-Grenze besitzen, dem Proportionalitäts-Gesetze nicht folgen und in den grundlegenden Festigkeitsproben mehr oder weniger stetige, doch parabolisch verlaufende Schaubilder (Diogramme) liefern. Im Gegensatz zu diesen stehen die duktilen oder zähen Baustoffe mit aus-

gesprochenen Elasticitätseigenschaften, welche dem Proportionalitätsgesetze folgen und nach Überschreiten der Proportionalitätsgrenze oft plötzlich eintretende Zustandsänderung erfahren, die sich im Schaubilde durch eine meist unermittelte Richtungsänderung der Begrenzungslinie kund gibt. Während bei Materialien der erstgenannten Art eventuell, unter Anwendung eines variablen Elasticitäts-Moduls sich das Knickungs-Gesetz durch *eine Gleichung* darstellen lässt, bleibt dies bei der zweiten Gruppe von Baustoffen ausgeschlossen. Bei Materialien dieser Kategorie wird man genötigt sein, für jeden *charakteristischen Zustand des Materials ein besonderes Gesetz* aufzustellen.

---

## II. Ursachen der Knickerscheinungen; Grundformeln.

Wird ein prismatischer Stab der Wirkung einer centrisch angreifenden Druckkraft  $N$  ausgesetzt, so erfahren dessen kleinste Teilchen Lagenänderungen, deren Inbegriff wir als Formänderung des Stabes wahrnehmen. Diese besteht in einer Verkürzung des Stabes bei gleichzeitiger Breitung in den Querrichtungen. Bei Materialien, die dem Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze 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 Belastung 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 regulativ 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 labilen Gleichgewichtszustand; sie verlieren ihr Tragvermögen durch Hinzutritt an sich geringfügiger Einwirkungen, die eine Vergrößerung der Durchbiegung herbeizuführen im Stande sind, fast plötzlich. Die Stäbe schlagen sich durch und brechen, sofern während der Verbiegung die *Bruchdehnung* des Materials in der meist gespannten Fasern erreicht wird. Diesen Vorgang nennt man »*Knickung*«; die Belastung, die eben noch Knickung hervorruft, die »*Knickungskraft*«. Die auf die Einheit der Querschnittsfläche des Stabes reduzierte Knickungskraft heisst »*Knickspannung*«; wir bezeichnen sie mit  $\beta_k$ . *Knickungsvorgänge* werden stets durch Verbiegung der Stäbe eingeleitet, welche je nach Umständen schon bei relativ geringen Belastungen beginnen, mitunter aber auch erst unmittelbar vor dem Erreichen des Grösstwertes der Tragkraft eintreten, wie dies beispielsweise die folgenden Fälle illustrieren.

**Weisstanne (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:  $i = 4,24 \text{ cm}$ ;

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

№	Belastung absolut in t		Ausweichung der Balkenmitte in cm				Knickspannung $\beta_k$ in t/cm <sup>2</sup>			Bemerkungen
			wagrecht		lotrecht		beobachtet	berechnet nach		
			absolut	Differenz	absolut	Differenz		Euler	Tetmajer	
9	0,50	9,85			15,60					Versuchsobjekt ist ziemlich stark schwindrissig und astknötig.  Für die Tragkraft an der Grenze $\beta_k = 0,063 \text{ t/cm}^2$ liefert Euler's Formel den Elasticitätsmodul zu: $\varepsilon = \frac{\beta_k \left(\frac{l}{i}\right)^2}{\pi^2} = 103 \text{ t/cm}^2$
	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				
	13,70	9,46	-0,17		14,98	-0,32				
	13,70	Grenze d. Tragvermögens					0,063	0,061	—	Balken wird intakt ausrangiert.
	0,50	9,85	0,00		15,55	-0,05				

**Schmiedeisenstab** (Flächenlagerung).

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

Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen von 10,0/10,0/1,4 cm;  
 Strebenlänge: 7,447 m; Querschnittfläche: 52,3 cm<sup>2</sup>;  
 Trägheitshalbmesser, Kleinstwert: 3,82 cm;  
 ⊥ u. || zum Anschlussblech: 4,69 cm;

№	Belastung absolut in t		Ausweichung der Stabmitte in cm				Knickspannung $\beta_k$ in t/cm <sup>2</sup>			Bemerkungen	
			wagrecht		lotrecht		beobachtet	berechnet nach			
			absolut	Differenz	absolut	Differenz		Euler	Tetmajer		
10	00,0	7,01			10,00						
	5,00	7,01			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			
		Richtung der Durchbiegung korrespondiert mit d. Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers des Teilprofils der Querschnittsfläche.							Versuchsobjekt schlägt sich fast plötzlich durch.		

Für eine wirksame Stablänge:

$l = 0,5 \times 744,7 = 372,4 \text{ cm}$   
 wird die massgebende Stablänge:

$$\frac{l}{i} = \frac{272,4}{3,82} = 97,5;$$

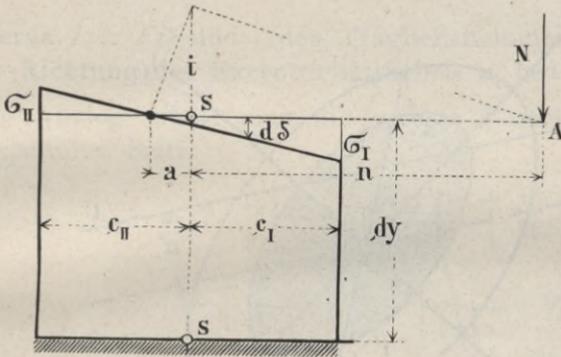
es liefert die Formel:

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

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

Auf weitere, ähnliche Fälle soll in Nachstehendem noch besonders verwiesen werden.

Die *Knickung* eines prismatischen Stabes wird, wie bereits erwähnt, durch Biegungsvorgänge eingeleitet. Messbare Verbiegungen bedingen messbare Abweichungen der Kraftrichtung und Stabaxe, somit das Auftreten messbarer *Excentricitätshebel*; die ursprünglich gleichmässige Inanspruchnahme des Stabmaterials geht verloren, die Spannungszustände werden ungleichmässig und können bei Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze folgen, bei Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenzen nach der *Navier'schen Spannungsformeln* für die zusammengesetzte *Normalfestigkeit* berechnet werden.



Bezeichnet  $N$  in  $t$  die an-  
greifende  
Kraft,  
 $F$  in  $cm^2$  den  
Querschnitts-  
inhalt des ur-  
sprünglichen,  
geraden, pris-  
mat. Stabes,  
 $ds = dy$  ein Ele-  
ment desselben,

Abb. 1.

$$\sigma_s = \frac{N}{F} = \text{die Schwerpunkts-Spannung,}$$

$\sigma_I$  u.  $\sigma_{II}$  die Kantenspannungen der äussersten, in Abständen  $c_I$  u.  $c_{II}$  vom Schwerpunkte  $s$  der Querschnittsfläche liegenden Fasern, so beträgt nach *Navier*, sofern man die Druckspannungen mit  $-$ , die Zugspannungen mit  $+$  Zeichen versieht:

$$\sigma_I = -\sigma_s - \sigma_b^I = -\left[\sigma_s + \sigma_b^I\right]$$

$$\sigma_{II} = -\sigma_s + \sigma_b^{II} = -\left[\sigma_s - \sigma_b^{II}\right] \quad \text{worin:}$$

$$\sigma_b^I = \frac{M}{J} c_I = \frac{Nn}{J} c_I,$$

$$\sigma_b^{II} = \frac{M}{J} c_{II} = \frac{Nn}{J} c_{II} \quad \text{bedeutet.}$$

Fällt  $A$ , der Angriffspunkt der Kraft  $N$ , auf eine Hauptträgheitsaxe des Endquerschnitts des Stabelementes, so ist  $J$  das Trägheitsmoment der Querschnittsfläche für die andere Hauptträgheitsaxe und  $J : c_1$  bzw.  $J : c_{II}$  wären die korrespondierenden Widerstandsmomente.

Fällt  $A$ , der Angriffspunkt der Kraft  $N$ , nicht auf eine der Hauptträgheitsachsen, so wird man die Nullaxe  $C-C$  als Antipolare des Angriffspunktes  $A$  bezüglich der Centralellipse des Querschnitts als Ordnungskurve zu ermitteln haben.

Die Schwerpunkts-Spannung beträgt:

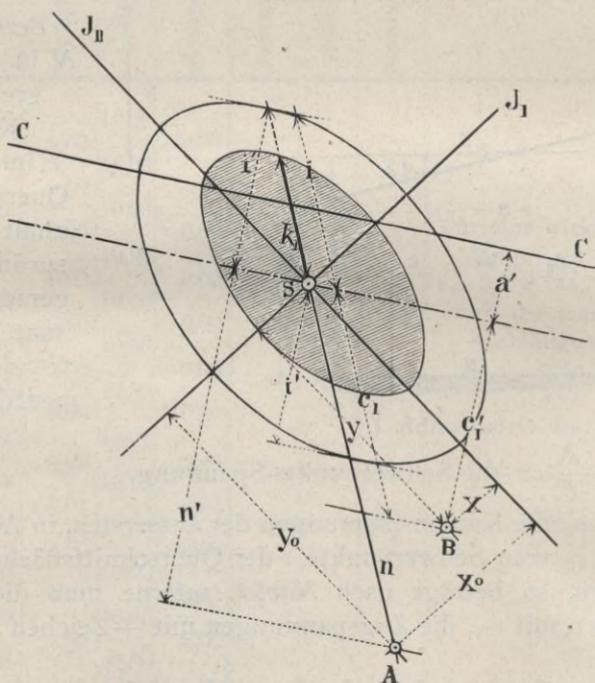


Abb. 2.

$\sigma_s = \frac{N}{F}$ ; die Kantenspannung  $\sigma_1$  eines Punktes B am Querschnittsumfange im Abstände  $c'_1$  von der zur Nullfaser parallelen Schwerpunktsaxe ist:  $\sigma_1 = \sigma_s \left[ 1 + \frac{c'_1}{a'} \right] = \sigma_s \left[ 1 + \frac{c_1}{a} \right]$ , weil

$\frac{\sigma_1}{\sigma_s} = \frac{a' + c_1'}{a'}$  und  $\frac{c_1'}{a'} = \frac{c_1}{a}$ , wenn  $c_1$  und  $a$  die Länge der Projektionen der Strecken  $c_1'$  und  $a'$  auf  $n$  bedeuten.

Nun ist:  $a' \cdot n' = i'^2$  und  $a \cdot n = i^2 = c_1 \cdot k_1$ , somit:

$\frac{c_1}{a} = \frac{n}{k_1}$  und man erhält mit Rücksicht auf den herrschenden Druck bei  $\sigma_1$

$$\begin{aligned} \sigma_1 = \sigma_s \left[ 1 + \frac{c_1'}{a'} \right] &= \sigma_s \left[ 1 + \frac{c_1}{a} \right] = \sigma_s \left[ 1 + \frac{n}{k_1} \right] = \left[ \frac{N}{F} + \frac{Nn}{Fk_1} \right] = \\ &= \left[ \frac{N}{F} + \frac{Nn \cdot c_1}{J} \right] = \left[ \sigma_s + \sigma_b^I \right] \end{aligned}$$

sofern  $J = Fi^2$  und  $i$  den Trägheitshalbmesser, gemessen in der Richtung des Excentricitätshebels  $n$ , bedeutet.

Analog erhält man die grösste Faserspannung auf der gespannten Seite:

$$\begin{aligned} \sigma_{II} = \sigma_s \left[ 1 - \frac{c_{II}}{a} \right] &= \sigma_s \left[ 1 - \frac{n}{k_{II}} \right] = \left[ \frac{N}{F} - \frac{Nn}{Fk_{II}} \right] \\ &= \left[ \frac{N}{F} - \frac{Nn \cdot c_{II}}{J} \right] = \left[ \sigma_s - \sigma_b^{II} \right] \end{aligned}$$

Ist der Kern des Querschnitts ermittelt, so wird man die Kantenspannungen am bequemsten nach der Gleichung:

$$\sigma_I = \sigma_s \left[ 1 + \frac{n}{k_I} \right] \quad \text{und} \quad \sigma_{II} = \sigma_s \left[ 1 - \frac{n}{k_{II}} \right] \quad \text{berechnen.}$$

Soll ohne Zuhülfenahme des Kerns gerechnet werden, so zerlegt man das Angriffsmoment  $Nn$  nach den Hauptträgheitsachsen und addiert die Wirkungen.

Es seien:  $x_0$  und  $y_0$  die Coordinaten des Angriffspunktes  $A$ ,  
 $x$  und  $y$  die Coordinaten des Punktes, dessen Spannung  $\sigma$  bestimmt werden soll,  
 $\sigma_b^I$ ,  $\sigma_b^{II}$  die Biegungsspannungen, welche die Komponenten des Angriffsmomentes  $Nn$  erwecken, so erhält man:

$$\sigma = \left[ \sigma_s + \sigma_b^I + \sigma_b^{II} \right], \quad \text{worin:}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_s &= \frac{N}{F}, \\ \sigma_b^I &= \frac{Nx_0}{J_{II}} x \\ \sigma_b^{II} &= \frac{Ny_0}{J_I} y \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} J_I \text{ bzw. } J_{II} \text{ die Trägheitsmomente der Quer-} \\ \text{und schnittsfläche für die Hauptachsen I und II} \\ \text{bedeuten.} \end{array}$$

Für die meist beanspruchten Fasern ( $x_1, y_1$  und  $x_{II}, y_{II}$ ) würden die Spannungsgleichungen lauten:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= - \left[ \sigma_s + \frac{Nx_0}{J_{II}} \cdot x_1 + \frac{Ny_0}{J_I} y_1 \right] \\ \sigma_{II} &= - \left[ \sigma_s - \frac{Nx_0}{J_{II}} x_{II} - \frac{Ny_0}{J_I} y_{II} \right]. \end{aligned}$$

Aus der allgemeinen Spannungsgleichung:

$$\sigma = \sigma_s \left[ 1 + \frac{n}{k} \right] \text{ geht für } n = \eta \frac{l^2}{c_1} \text{ und } k = k_1$$

die *Schwarz-Rankine'schen* Knickungsgleichungen hervor. Ein-  
gesetzt gibt:

$$\sigma = \sigma_s \left[ 1 + \eta \frac{l^2}{c_1 k_1} \right], \text{ oder da: } c_1 k_1 = i^2 \text{ ist,}$$

$$\text{wird } \sigma = \sigma_s \left[ 1 + \eta \left( \frac{l}{i} \right)^2 \right], \text{ mithin}$$

$$\sigma_s = \sigma_k = \frac{\sigma}{1 + \eta \left( \frac{l}{i} \right)^2}$$

Nach *v. Bach* bedeutet in der *Schwarz-Rankine'schen* Formel

$$\eta = \frac{\sigma_b}{\varepsilon \pi^2} \cdot m, \text{ wo}$$

$\sigma_b$  die Biegespannung, die das Moment  $Pn$  erweckt,  
 $\varepsilon$  den Elasticitätsmodul und  
 $m$  den gewählten Sicherheitsgrad bedeutet.

Nun ist aber

$$\sigma_b = \sigma_s \frac{n}{k_1} = \sigma_s \frac{n c_1}{i^2}, \text{ somit erhält man:}$$

$$\eta = m \cdot \frac{\sigma_b}{\varepsilon \pi^2} = m \cdot \frac{\sigma_s n c_1}{i^2} \cdot \frac{1}{\varepsilon \pi^2} = \frac{m}{\varepsilon \pi^2} \cdot \frac{P}{F} \cdot \frac{n c_1}{i^2}$$

$$= \frac{(mP)}{\varepsilon \pi^2} \cdot \frac{n \cdot c_1}{l^2}, \text{ oder da}$$

$mP =$  Knickkraft nach *Euler*  $= N = \varepsilon \pi^2 \cdot \frac{J}{l^2}$  ist, so wird:

$$\eta = \frac{n c_1}{l^2}.$$

Zur Ermittlung des Koeffizienten  $\eta$  der *Schwarz-Rankine*-Formel kann eine der identischen Gleichung:

$$\eta = \frac{n c_1}{l^2} \text{ oder: } \eta = \left[ \frac{\sigma}{\sigma_s} - 1 \right] \left( \frac{i}{l} \right)^2, \text{ worin } \sigma_s = \frac{P}{F}$$

bedeutet, verwendet werden.

Man sieht, dass  $\eta$  sich mit  $n$  ändern muss; von einer Konstanz dieses viel umstrittenen Faktors kann somit im allgemeinen nicht die Rede sein. Man erkennt ferner, dass die *Schwarz-Rankine*-Formel nur innerhalb der Elasticitätsgrenze gültig sein kann, weil jenseits derselben die *Navier*'sche Gleichung, welcher sie entstammt, auch ihre Gültigkeit verliert. Für Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze nicht folgen, nimmt die *Schwarz-Rankine*'sche Formel den Charakter einer *empirischen* Formel an, die überdies falsche Resultate liefern muss, wenn der für die Grenze des Tragvermögens des Materials ermittelte Erfahrungs-Koeffizient  $\eta$  unverändert auch für andere Belastungszustände verwendet wird. Wir werden im Nachstehenden Gelegenheit finden, auf diese Verhältnisse auch noch zahlenmässig zurückzukommen.

Ist die Anfangsexcentricität  $n_0 =$  Null, so wird auch solange, als aussergewöhnliche Fehler in der Homogenität des Materials, Astknoten, Gussporen, Differenzen der Dichte u. a. Umstände keine Abweichungen der Kraftrichtung von der Stabaxe erzeugen, die korrespondierende Gesamtexcentricität  $n = n_0 + \Delta n_0$ , somit auch  $\eta \approx$  Null sein. Das 2<sup>te</sup> Glied der *Navier*'schen und somit auch des Nenners der *Schwarz-Rankine*'schen Formel verschwindet und es wird

$$\sigma_1 = \sigma_{II} = \sigma_s = \sigma_k = \frac{P}{F} = \text{constant},$$

d. h. die *Kantenspannungen*  $\sigma$  sind gleich gross und der *Schwerpunktsspannung* ( $\sigma_s = \sigma_k$ ) gleich.

Knickt also ein ursprünglich centriscb axial belasteter Stab vom Querschnitte  $F$  unter einer Last  $N = F\beta_k$ , so wird bei  $m$ -facher Sicherheit die zulässige Belastung:

$$P = \frac{1}{m} N = \frac{1}{m} F\beta_k = F\sigma_k$$

eine Kantenspannung = der Schwerpunktsspannung

$$\sigma_s = \sigma_k = \frac{P}{F}$$

ergeben und bleibt der Stab gradlinig, soferne nur:

1. durch geeignete Massnahmen für das Zusammenfallen der Stabaxe und Krafrichtung vorgesorgt wird;
2. grobe Materialfehler, welche ungleichartige Stauchvorgänge und damit Abweichungen der Krafrichtung und Stabaxe erzeugen, nicht vorliegen; und
3. der Sicherheitsgrad hinreichend gross gewählt wird.

Wenn dagegen aus Gründen mangelhafter Ausführung, mangelhafter Geradheit der Stabaxe oder durch grobe Materialfehler veranlasst, Verbiegungen des prismatischen, ursprünglich centriscb belasteten Stabes auftreten, so erleidet das Stabmaterial ungleichartige Inanspruchnahmen, deren Grösse nach der *Navier'schen* Spannungsgleichung für die zusammengesetzte Normalfestigkeit erhältlich sind, soferne nur:

1. die Belastungen sich innerhalb der *Elasticitätsgrenze* bewegen;
2. Das Stabmaterial selbst den *Gesetzen der Proportionalität* folgt.

Die Benützung der auf dem Proportionalitäts-Gesetz aufgebauten Formeln jenseits der *Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze* oder die Anwendung dieser Formeln auf Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze nicht folgen, führt zu Wider-

sprüchen und Unzukömmlichkeiten. Solche Formeln nehmen in diesem Belastungsintervalle oder für Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze überhaupt nicht folgen, den Charakter empirischer Formeln an; sie leisten nicht mehr, als jede andere empirische Gleichung.

### III. Formänderungen.

Durch *Biegemomente*, welche in Ebenen durch die Stabaxe wirken, werden ursprünglich gerade Stäbe verbogen; die *Nullfasern* sind Schwerpunktsfasern, deren Gesamtheit die *Nullschicht* des deformierten Stabes bildet. Letztere stellt eine cylindrische Fläche dar, deren Leitlinie *elastische Linie* heisst und als geometrischer Ort der Schwerpunktslagen aller Querschnittsflächen definiert ist. Die Gleichung der elastischen Linie, vrgl. Abb. 3,

$$x = f(y)$$

bleibt zu ermitteln.

*Excentrische Normalkräfte* bewirken Verdrehungen der Stab-Querschnittsflächen um Nullfasern, welche als Antipolaren der Angriffspunkte dieser Kräfte bez. der Centralellipsen der Querschnittsflächen als Ordnungskurven, Schwerpunktsabstände

$$a = \frac{i^2}{n}$$

besitzen, soferne in Anschluss auf Abb. 1, Seite 13,  $n$  die Gesamtexcentricität und  $i$  den zugehörigen, massgebenden Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche bedeutet.

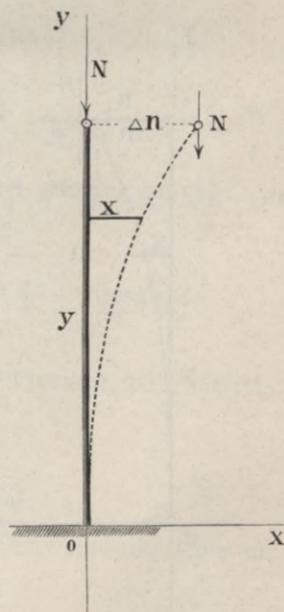


Abb. 3.

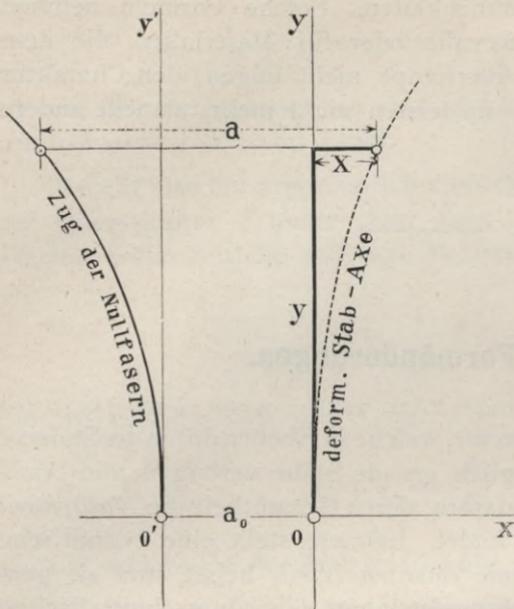


Abb. 4.

Bezogen auf das Koordinatensystem  $x, y$  wird die Gleichung der Leitlinie der spannungslosen Schicht:

$$x_0 = x - a = f(y) - a.$$

Für  $y = 0$  wird  $x_0$  ein

$$\text{Min.} = a_0 = \frac{i^2}{n_{\max}}$$

Für  $0'$  als Ursprung des Koordinatensystems erhält man:

$$x' = x_0 + a_0 = x - a + a_0.$$

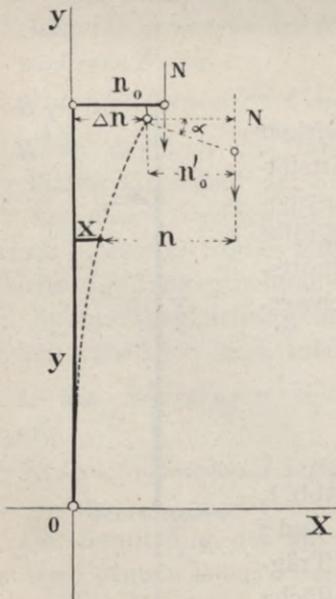


Abb. 5.

Zur Ermittlung von

$$x = f(y)$$

fällt lediglich bloß das Moment

$$M = Nn = N(n'_0 + \Delta n - x)$$

in Betracht. Weil  $a$  klein,  $\cos a$  von Null wenig verschieden ist, darf in vorstehendem Ausdrucke

$$n'_0 = n_0$$

gesetzt werden. Die Differentialgleichung der Kurve der Schwerpunktlagen wäre somit:

$$\frac{d^2 x}{dy^2} = \frac{M}{\epsilon J} = \frac{N(n_0 + \Delta n - x)}{\epsilon J}$$

oder:

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = -K^2 u \quad , \quad \text{wenn}$$

$$\frac{N}{\varepsilon J} = K^2 \quad \text{und} \quad (n_0 + \Delta n - x) = u \quad \text{gesetzt wird.}$$

Integriert giebt:

$$u = (n_0 + \Delta n - x) = C_1 \sin (Ky) + C_2 \cos (Ky).$$

Für  $y = 0$  wird  $x = 0$  d. h.  $C_2 = n_0 + \Delta n$

„  $y = 0$  muss aber auch:

$$\frac{dx}{dy} = \text{tg } \alpha = 0 \quad \text{werden} \quad , \quad \text{somit ist } C_1 = 0$$

und die vorstehende Gleichung reduziert sich auf:

$$u = n_0 + \Delta n - x = (n_0 + \Delta n) \cos (Ky), \quad \text{oder:}$$

$$x = (n_0 + \Delta n) [1 - \cos (Ky)]$$

Für  $y =$  der Stablänge  $l_0$  (angenähert, statt:  $y = l_0 \left[1 - \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]$ ,

sofern die Stabverkürzung berücksichtigt würde) beträgt die elastische Verbiegung:  $x = \Delta n$

$$\Delta n = n_0 + \Delta n - (n_0 + \Delta n) \cos (Kl_0), \quad \text{hieraus:}$$

$$\Delta n = n_0 \left[ \frac{1}{\cos (Kl_0)} - 1 \right] \quad , \quad \text{oder die Gesamtexcentricität:}$$

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{\cos (Kl_0)} .$$

Vorstehenden Wert in die Gleichung der Schwerpunktslinie ein gesetzt, giebt:

$$x = \frac{n_0}{\cos (Kl_0)} [1 - \cos (Ky)] .$$

Entwickelt man in

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{\cos(Kl_0)}$$

$\cos(Kl_0)$  in eine Reihe und ersetzt  $K$  durch:

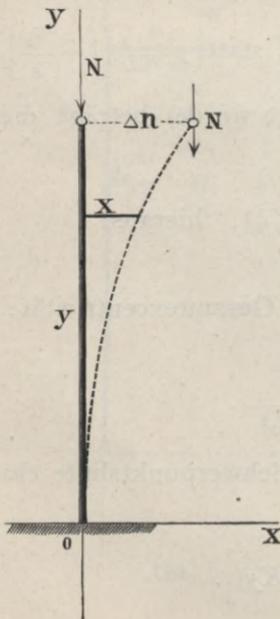
$$K = \sqrt{\frac{N}{\epsilon J}} = \frac{1}{i} \sqrt{\frac{\sigma_s}{\epsilon}},$$

so erhält man die Gesamtexcentricität  $n$  in der Form:

$$n = \frac{n_0}{1 - 0,5 \left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\epsilon} + 0,0417 \left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\epsilon}\right]^2 - 0,0014 \left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\epsilon}\right]^4}$$

Vorstehende Gleichung kann auch zur Berechnung der Anfangs-Excentricität dienen, sofern die Gesamtexcentricität bekannt ist, das Material dem Proportionalitätsgesetze folgt und die Spannungen und Formänderungen des Stabes sich innerhalb der Elasticitätsgrenze bewegen. Die Gleichung vermag nur Näherungswerte zu liefern, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind.

1. Spezialfall; Anfangsexcentricität  $n_0 = 0$ ; der gedrückte Stab ist einseitig unwandelbar eingespannt.



Für  $n_0 = 0$  wird die Gleichung der elastischen Linie

$$x = \Delta n \left[ 1 - \cos(Ky) \right].$$

Unter Annahme einer verschwindend kleinen, elastischen Verbiegung liefert diese Gleichung für

$$y = l_0; \quad x = \Delta n = \Delta n \left[ 1 - \cos(Kl_0) \right]$$

d. h.:

$$0 = \cos(Kl_0).$$

Vorstehende Gleichung wird befriedigt durch:

$$(Kl_0) = \frac{\pi}{2}, \frac{3}{2} \pi, \dots \frac{c+1}{2} \pi.$$

Abb. 6.

In unserm Falle ist

$$Kl_0 = \frac{\pi}{2} \text{ d. h. } K = \frac{\pi}{2l_0} \text{ zu setzen und}$$

man erhält:

$$x = \Delta n \left[ 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2l_0} y \right) \right].$$

$$K = \frac{\pi}{2l_0} = \sqrt{\frac{N}{\varepsilon J}} \text{ d. h. } N = \frac{1}{4} \pi^2 \cdot \varepsilon \cdot \frac{J}{l_0^2},$$

oder:

$$\frac{N}{F} = \sigma_s = \beta_k = \frac{1}{4} \pi^2 \varepsilon \cdot \left( \frac{i}{l_0} \right)^2.$$

An der Grenze des Gleichgewichts vermag der prismatische Stab von der Länge  $l_0$ , bei einem kleinsten Trägheitsmomente  $J = Fi^2$  seiner Querschnittsfläche  $F$  eine, am Stabende centrisch wirkende Last  $N$  eben noch zu tragen, d. h. der Stab knickt unter der Last  $N$  bei Hinzutritt irgend welcher äussern Einwirkung, soferne nur das untere Stabende unwandelbar fixiert, das obere dagegen ungehindert Lagenänderungen auszuführen im Stande ist.

2. *Spezialfall; Anfangsexcentricität  $n_0 = 0$ ; das untere Stabende ist unwandelbar eingespannt, das obere drehbar, doch gegen seitliche Lagenänderung gesichert.*

Die aufzubringende Kraft  $Q$  verhindert die seitliche Lagenänderung des beweglichen Stabendes. Für diesen Fall wird die Gleichung der elastischen Linie:

$$x = \frac{L^2}{K^2} (l_0 - y) + \frac{L^2}{K^3} \sin(Ky) - \frac{L^2}{K^2} l_0 \cos(Ky)$$

worin:

$$L^2 = \frac{Q}{\varepsilon J} \text{ und } K^2 = \frac{N}{\varepsilon J} \text{ bedeutet.}$$

Ferner wird:

$$N = 2 \frac{\pi^2 \cdot \varepsilon J}{l_0^2} = \pi^2 \varepsilon \frac{J}{\left( \frac{l_0}{\sqrt{2}} \right)^2} = \pi^2 \varepsilon \frac{J}{(0,707 l_0)^2}$$

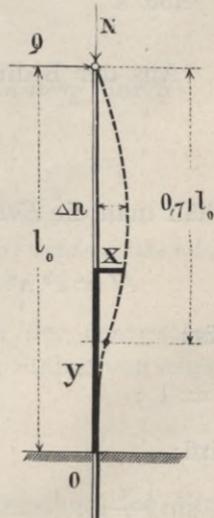
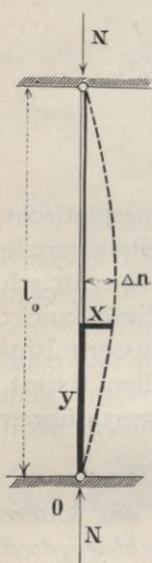


Abb. 7.

$$N = \pi^2 \varepsilon \frac{J}{(0,71 l_0)^2} \quad \text{oder} \quad \sigma_s = \sigma_k = \frac{N}{F} = \pi^2 \varepsilon \left[ \frac{J}{(0,71 l_0)^2} \right]^2 ;$$

die freie Knicklänge beträgt somit 0,71 der Stablänge  $l_0$ .

3. *Spezialfall. Anfangsexcentricität  $n_0 = 0$ ; beide Stabenden sind drehbar, doch gegen Lagenänderungen gesichert.*



Wird der Koordinaten-Ursprung in das untere, bewegliche Stabende verlegt, so nimmt die Gleichung der elastischen Linie die folgende Form an:

$$x = \Delta n \cdot \sin (Ky).$$

Für verschwindend kleine Verbiegungen darf  $J_{max} = l_0$  gesetzt werden, mithin wird für

$$y = l_0, \quad x = 0 \quad \text{d. h.} \quad (Kl) = \text{Null.}$$

Diese Bedingung wird erfüllt für:

$$Kl_0 = 0, \quad = \pi, \quad = 2\pi, \quad \dots = c\pi$$

d. h.

$$K = \frac{c \cdot \pi}{l_0};$$

demnach wird die Gleichung der Schwerpunktslinie:

$$x = \Delta n \sin \left[ \frac{c \pi}{l_0} \cdot y \right].$$

Abb. 8.

Aus der Bedingung

$$K = \frac{c \pi}{l_0} = \sqrt{\frac{N}{\varepsilon J}}$$

erhält man die *Euler'sche* Knickformel in der allgemeinen Form:

$$N = c^2 \pi^2 \frac{J}{l_0^2}, \quad \text{oder:} \quad \sigma_s = \beta_k = c^2 \pi^2 \cdot \varepsilon \left[ \frac{i}{l_0} \right]^2.$$

Für:

$$c = 1; \quad = 2; \quad = 3; \quad = 4$$

wird:

$$x = \Delta n \sin \left[ \frac{\pi}{l_0} y \right]; \quad = \Delta n \sin \left[ \frac{2\pi}{l_0} y \right]; \quad = \Delta n \sin \left[ \frac{3\pi}{l_0} y \right]; \quad = \Delta n \sin \left[ \frac{4\pi}{l_0} y \right].$$

$$N = \pi^2 \frac{J}{l_0^2}; \quad = 4\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2}; \quad = 9\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2}; \quad = 16\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2}.$$

oder:  $\sigma_s =$

$$\sigma^k = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0}\right)^2; \quad = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0:2}\right)^2; \quad = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0:3}\right)^2; \quad = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0:4}\right)^2.$$

Wird also ein prismatischer, zwischen Spitzen d. h. vollkommen beweglich eingespannter Stab in seiner Mitte, in den Dritteln oder in den Vierteln ohne Verhinderung der freien Tangenänderung an diesen Stellen festgehalten, so wird die Formänderung in derselben Weise erfolgen, die Tragkraft an der Grenze denselben Wert erhalten, als ob jedes Teilstück des Stabes für sich eingespannt und belastet wäre.

Definiert man den Abstand der Inflexionspunkte der deformierten Stabaxe, als die *massgebende, freie Knickungslänge*  $l$ , so wird für:

$$c = 1; \quad = 2; \quad = 3; \quad = 4;$$

$$l = l_0 \quad l = \frac{1}{2} l_0; \quad l = \frac{1}{3} l_0 \quad l = \frac{1}{4} l_0$$

und die *Knickkraft nach Euler* allgemein durch:

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

die Schwerpunkts- d. h. die mittlere *Knickspannung* durch:

$$\sigma_s = \beta_k = \frac{N}{F} = \varepsilon \pi^2 \cdot \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

ausgedrückt.

4. *Spezialfall; Anfangsexcentricität  $n_0 = 0$ ; beide Stabenden sind unwandelbar eingespannt.*

Vorliegender Fall entspricht demjenigen der centrischen Belastung eines in den Dritteln festgehaltenen Stabes von einer Länge

$$l' = 1,5 l_0 = \frac{3}{2} l_0,$$

wenn  $l_0$  die Länge des betrachteten Stabes zwischen den Einspannstellen bedeutet.

Die Tragfähigkeit dieses Stabes an der Grenze wäre somit:

$$N = 9 \cdot \pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2} = 9 \pi^2 \varepsilon \left( \frac{J}{\frac{3}{2} l_0} \right)^2 = \pi^2 \varepsilon \left( \frac{J}{l_0 : 2} \right)^2.$$

Der Abstand der Inflexionsstellen, d. h. die *freie Knicklänge* des eingespannten Stabes wäre seiner halben Länge  $\left( l = \frac{1}{2} l_0 \right)$  gleich; somit wird in diesem Falle die spezifische Knickspannung:

$$\sigma_s = \beta_k = \frac{N}{F} = \pi^2 \varepsilon \left[ \frac{i}{0,5 l_0} \right]^2.$$

#### IV. Zusammenstellung der Grundformeln.

*Allgemeiner Fall; Anfangsexcentricität  $n_0 \neq \text{Null}$ .*

Es beträgt die Gesamtexcentricität:

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{1 - 0,5 \left( \frac{l_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0,0417 \left( \frac{l_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}]^2 - \dots}$$

worin:

$l_0$  im Sinne von Abb. 6, die Stablänge,

$\sigma_s$  die Schwerpunktsspannung  $= P : F =$  Arbeitslast durch Querschnittsfläche und

$\varepsilon$  den Elasticitätsmodul bedeutet.

Die herrschenden Grösstwerte der *Kantenspannungen* sind aus:

$$\sigma_1 = - [\sigma_s + \sigma_b] = - \sigma_s \left[ 1 + \frac{c_1}{a} \right] = - \sigma_s \left[ 1 + \frac{n}{k_1} \right] = - \left[ \sigma_s + \frac{P x_0}{J_{II}} x_1 + \frac{P y_0}{J_I} y_1 \right]$$

$$\sigma_{II} = - [\sigma_s - \sigma_b] = - \sigma_s \left[ 1 - \frac{c_{II}}{a} \right] = - \sigma_s \left[ 1 - \frac{n}{k_{II}} \right] = - \left[ \sigma_s - \frac{P x_0}{J_{II}} x_{II} - \frac{P y_0}{J_V} y_{II} \right]$$

erhältlich, wenn  $c_1$ ,  $c_{II}$ ,  $a$ ,  $k_1$ ,  $k_{II}$ , und  $J_I$ ,  $J_{II}$  die auf Seite 14 angeführte Bedeutung haben.

Vorstehende Gleichungen gelten für *federnde* Formänderungen, also für Belastungen ( $P$ ), für welche die Kantenspannungen sich innerhalb der Elasticitätsgrenze des Materials bewegen. Bei Inanspruchnahmen jenseits der Elasticitätsgrenze, sowie für Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen, können diese Gleichungen bloß den Wert von oft nur rohen Annäherungen besitzen. Dessen ungeachtet sollen diese Gleichungen auch für Materialien, die dem *Hooke'schen* Gesetze nicht folgen und bei Inanspruchnahme im Belastungsintervalle jenseits der Elasticitätsgrenze benützt und die Divergenz zwischen Rechnung und der thatsächlich herrschenden Spannungszuständen an der Grenze durch geeignete Erfahrungskoeffizienten ausgeglichen werden.

An der Kohäsionsgrenze, bei welcher Trennung der materiellen Teile oder ein Zustand plastischer Deformabilität eintritt, sollte die Spannungsgleichung Kantenspannungen gleich der Festigkeit ( $\beta$ ) des Materials (Zug oder Druck), d. h.

$$-\sigma_s \left[ 1 \pm \frac{c}{a} \right] = -\sigma_s \left[ 1 \pm \frac{n}{k} \right] \quad \text{solte} = \beta$$

werden. Rechnung und Beobachtung können sich an der Kohäsionsgrenze nicht decken; wir stellen die Übereinstimmung durch den zu ermittelnden Erfahrungskoeffizienten  $\mu$  her, indem wir vorstehenden Ausdruck in der Form:

$$-\frac{\sigma_s}{\mu} \left[ 1 \pm \frac{c}{a} \right] = -\frac{\sigma_s}{\mu} \left[ 1 \pm \frac{n}{k} \right] = \beta$$

oder:

$$-\sigma_s \left[ 1 \pm \frac{c}{a} \right] = -\sigma_s \left[ 1 \pm \frac{n}{k} \right] = \mu \cdot \beta$$

schreiben.

Ist der Erfahrungskoeffizient  $\mu$  bestimmt, so wird man die Dimensionierung des excentrisch belasteten Stabes für  $m$ -fache Sicherheit gegen Bruch durchführen und in einer besondern Rechnung an Hand der Gleichungen auf S. 26 die Durchbiegung, Gesamtexcentricität und das Mass der extremen Kantenspannungen für die herrschende Arbeitsbelastung in besonderer Rechnung feststellen können.

*Spezialfall; Anfangsexcentricität  $n_0 = \text{Null}$ .*

Bei Formänderungen mit elastischem Charakter biegen sich ursprünglich gradlinige Stäbe nach einer Wellenlinie (Sinusoide) und wird das Tragvermögen derselben an der Grenze durch das *Euler'sche* Gesetz:

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

beziehungsweise durch:

$$\sigma_s = \beta_k = \frac{N}{F} = \pi_2 \varepsilon \left( \frac{i}{l} \right)^2$$

ausgedrückt, worin

$i$  den *kleinsten* Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche des Stabes,

$l$  seine freie *Knickungslänge* bedeutet.

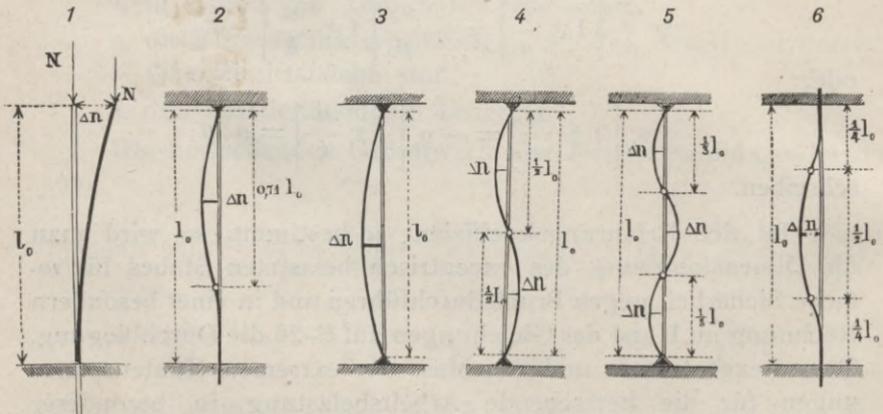
$\frac{l}{i}$  nennt man das *massgebende Längenverhältnis*.

Für Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen, sowie bei Inanspruchnahme elastischer Stäbe jenseits der Elastizitätsgrenze bleibt die Funktion

$$\sigma_s = \beta_k = f\left(\frac{l}{i}\right)$$

durch Versuche zu bestimmen übrig.

Die *freie Knickungslänge*  $l$  hängt als Abstand der Inflexionspunkte der elastischen Linie von der Befestigungsart des Stabes ab und muss Fall für Fall den obwaltenden Verhältnissen angemessen gewählt werden. Ist  $l_0$  die Stablänge,  $l$  die s. g. *freie Knickungslänge*, so hat man im Falle



$l = 2,00 l_0$     $l = 0,71 l_0$     $l = l_0$     $l = 0,50 l_0$     $l = 0,33 l_0$     $l = 0,50 l_0$ ;

auf andere spezielle Fälle soll später noch verwiesen werden.

Bei einer elastischen Verbiegung des Stabes um  $\Delta n$  würden die extremen Kantenspannungen

$$\sigma_1 = -\sigma_s \left[ 1 + \frac{c_1}{a} \right] = -\sigma_s \left[ 1 + \frac{\Delta n}{k_1} \right] = \text{etc.}$$

$$\sigma_{II} = -\sigma_s \left[ 1 - \frac{c_{II}}{a} \right] = -\sigma_s \left[ 1 - \frac{\Delta n}{k_{II}} \right] = \text{etc. betragen,}$$

wobei die Schwerpunktsspannung  $\sigma_s$  aus:

$$\sigma_s = \frac{P}{F}$$

erhältlich ist, wenn  $P$  die der Durchbiegung  $\Delta n$  entsprechende Belastung des Stabes bedeutet. Wird zufolge eines angemessenen grossen Sicherheitsgrades ( $m$ ) gegen das Erreichen der Grenzbelastung ( $N$ ), die Excentricität  $\Delta n$  verschwindend klein, so liefern vorstehende Spannungsgleichungen:

$$\sigma_1 = \sigma_{II} = \sigma_s = \sigma_k = \frac{\beta_k}{m} = \frac{P}{F} = \frac{N}{mF} = \text{const.}$$

Über die Zulässigkeit dieser Annahme kann nur eine Untersuchung der Spannungsverteilung centrisch belasteter Druckstäbe Aufschluss erteilen. Sofern jedoch erwiesen werden sollte, dass innerhalb bestimmter Grenzen der Belastung constante Materialspannung thatsächlich bestehen, wird die Frage zu beantworten sein: innerhalb welchen Grenzen sich der anzuwendende Sicherheitsgrad bewegen muss, um die Constanz der Materialspannung herbeizuführen.

## V. Resultate der experimentellen Untersuchungen.

Die zur Abklärung des Verhaltens der technisch wichtigsten Baustoffe in der erweiterten Druckprobe im schweizerischen Festigkeits-Institute unternommenen Untersuchungen beziehen sich:

1. *Auf die Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitäts- und der Navier'schen Spannungsformeln:*

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{1 - 0,50 \left( \frac{l_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0,0417 \left[ \left( \frac{l_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} \right]^2};$$

$$\sigma = - \left[ \sigma_s \pm \sigma_b \right] = - \sigma_s \left[ 1 \pm \frac{c}{a} \right] = - \left[ \sigma_s \pm \frac{P x_0}{J_{II}} x \pm \frac{P y_0}{J_I} y \right] = \dots$$

2. Auf die Untersuchung der Spannungsverteilung anfänglich centrisch belasteter Druckstäbe.

3. Auf die Untersuchung des Abhängigkeits-Verhältnisses der Schwerpunktsspannung ( $\sigma_s$ ) zum massgebenden Längen-Verhältnisse ( $l:i$ ) prismatischer Druckstäbe. Diese Untersuchung schliesst in sich die Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Euler'schen Knickungsformeln.

4. Auf die Untersuchung des Einflusses der Verbindungsart getrennter Teilstücke auf die Knickungsfestigkeit zusammengesetzter, schmiedeiserner Druckstäbe. Endlich beziehen sich unsere experimentellen Arbeiten:

5. Auf die Untersuchung des Verhaltens des schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe.

Wir beginnen mit:

### 1. Den Ergebnissen der Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitäts- und der Navier'schen Spannungsformel.

Die experimentelle Untersuchung der Frage der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitätsgleichung und der Navier'schen Spannungsformel hat auf Anregung des Berichterstatters, Herr Ingr. Valentin Meyer von der technischen Hochschule in Warschau in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt durchgeführt. Hrn. Ingr. Meyer wurden eine Anzahl, nach Abb. 9 konstruierte, sorgfältig gerade gerichtete Stäbe von ca. 6 m Länge, sowie das Messgeschirr und Hülfspersonal zur Verfügung gestellt. Die Stäbe besaßen einen Kreuzquerschnitt aus 2 Winkeleisen, welche in Abständen von beziehungsweise 75—100 cm mittelst zweinietiger Kreuzplatten, vrgl. Abb. 9, verbunden waren. Die Stabenden wurden sorgfältig  $\perp$  zur Stabaxe abgeschnitten und auf die, auf Spitzen gelagerten Druckplatten der Werder-Maschine, aufgeschliffen.

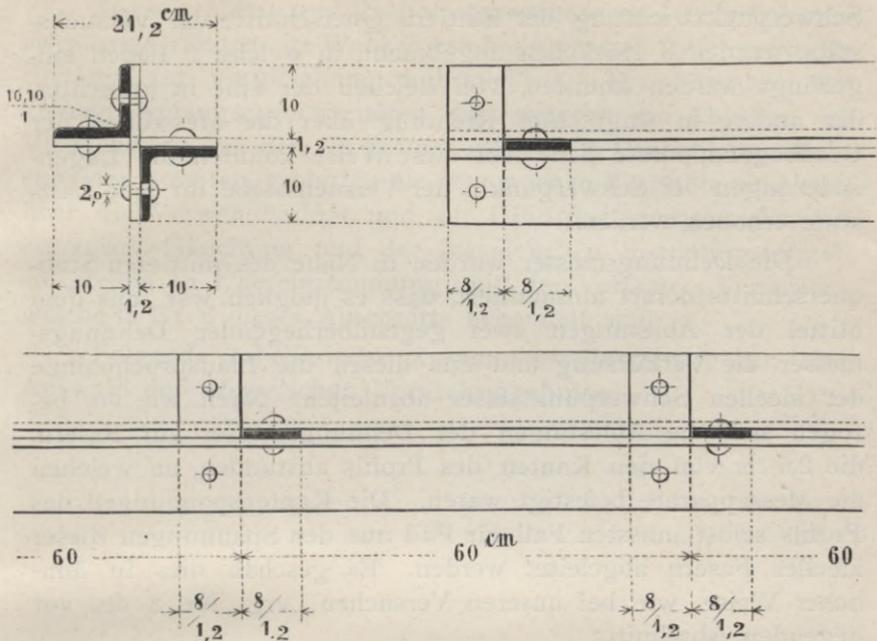


Abb. 9.

Bezüglich der Art der Einspannung und Ausbalancierung der Versuchskörper sei — Wiederholungen zu vermeiden — auf die Mitteilungen unter Nr. 2 »*Untersuchung der Spannungsverteilung anfänglich centrisch belasteter Druckstäbe*«, sowie auf die beigeheftete Tafel Nr. I verwiesen.

Herr Ingr. *Meyer* erhielt eine Anzahl Dehnungsmesser, System Rabut-Mantel, mit einem Übersetzungsverhältnis 1:1000 zugewiesen, welche zunächst an Hand eines Flachstabes mit dem *Bauschinger*'schen Spiegelapparate verglichen und von welchen diejenigen mit regelmässigem Gang und kleinster Abweichung gegenüber den Messresultaten mit dem Spiegelapparate ausgesucht und verwendet wurden, nachdem vorangehend für diese Dehnungsmesser und für die Laststufen von 0—12 t, ferner von 12—24 t die Reduktionskoeffizienten auf die Spiegelapparate besonders ermittelt waren.

Die vom Berichterstatter gewählte, direkte Messmethode der Lagenänderungen der Schwerpunkte der Versuchskörper in lotrechter und wagrechter Richtung hat Hr. Ingr. *Meyer* ersetzt durch die *Bauschinger*'sche mittelst Gradbögen. In der

Schwerpunktsrichtung der mittlern Querschnitte der Versuchsstäbe wurden 2 Häckchen angebracht, in welche 2 Fäden eingehängt werden konnten, von welchen der eine in lotrechter, der andere in wagrechter Richtung über die Messrollen der Gradbogenapparate lief. Auf diese Weise konnten die Lagenänderungen der Schwerpunkte der Versuchsstäbe für jede Laststufe erhoben werden.

Die Dehnungsmesser wurden in Nähe des mittleren Stabquerschnitts derart aufmontiert, dass es möglich war, aus dem Mittel der Ablesungen zwei gegenüberliegender Dehnungsmesser die Verkürzung und aus diesen die Inanspruchnahme der ideellen Schwerpunktsfaser abzuleiten. Nach wie vor bezogen sich die Ablesungen der Dehnungsmesser auf Fasern, die 2,5 cm von den Kanten des Profils abstunden, an welchen die Messapparate befestigt waren. Die Kantenspannungen des Profils selbst mussten Fall für Fall aus den Spannungen dieser ideellen Fasern abgeleitet werden. Es geschah dies in ähnlicher Weise, wie bei unseren Versuchen, vrgl. Nr. 2 des vorliegenden Abschnitts.

Die Ablesungen der Dehnungsmesser hatte Hr. Ingr. Meyer auf den *Bauschinger'schen* Spiegelapparat reduziert. Die Art, wie dies geschah, entspricht unserm, nicht ganz einwandfreien, Verfahren. Die Sache ist indessen belanglos, weil die Korrekturen an sich sehr klein waren, die Übersetzungsverhältnisse der ausgesuchten *Rabut-Mantel-Apparate* (1 : 1000) mit dem *Bauschinger'schen* Spiegelapparate sich befriedigend deckten.

Die Ablesungen auf den Gradbogenapparaten mussten nach *Bauschinger's* Verfahren korrigiert werden. Bezeichnet

$h$  u.  $v$  die massgebenden Fadenlängen in wagrechter und lotrechter Richtung für die Nulllast,

$x$  u.  $y$  die Ablesungen an den korrespondierenden Apparaten, so wird die Bewegung des Stabschwerpunktes in wagrechter Richtung:  $x + \Delta x$ ; in lotrechter Richtung  $y + \Delta y$  sein, worin für die gewählte Anordnung nach *Meyer's* Ermittlungen:

$$\Delta x = -\frac{1}{2} \frac{y^2}{h+x} \quad \text{und} \quad \Delta y = -\frac{1}{2} \frac{x^2}{v+y}$$

zu setzen ist.

*Meyer's* Mess- und Rechnungsergebnisse sind teilweise und zwar aus Gründen der Wahl übermäßig grossen Anfangsexcentricitäten zur Vergleichung unbrauchbar. Die Versuche mit kleinen Anfangsexcentricitäten, bei welchen ein Abheben der Versuchstäbe von den auf Spitzen gelagerten Druckplatten nicht eintreten konnten, gestatten die gewonnenen Resultate ein Urtheil über die Verwendbarkeit und die Gültigkeitsgrenzen der *Excentricitäts*-Gleichung und der *Navier's*chen Spannungsformel; sie stehen in Übereinstimmung mit des Verfassers Versuchen, welche in Nr. 2 dieses Abschnitts behandelt sind.

Folgende tabellarische Zusammenstellungen geben eine Auswahl der *Meyer's*chen Versuchsergebnisse.

*Versuch No. 7.*

Versuchstab No. 7; Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil No. 12a.

$$J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4; i_{max} = 6,05 \text{ cm}; h = 53,5 \text{ cm};$$

$$J_{min} = 1034,72 \text{ »}; i_{min} = 4,57 \text{ »}; v = 60,3 \text{ »}.$$

Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ ; wirksame Stablänge:  $634,7 \text{ cm}$ ;

Knotenabstand =  $100 \text{ cm}$ .

Wertziffern des Materials:

$$\varepsilon = 2127 \text{ t/cm}^2; \gamma = 2,30 \text{ t/cm}^2; \beta = 4,28 \text{ t/cm}^2; c = 1,13 \text{ t/cm}.$$

Be- lastung  <i>P</i>  <i>in t</i>	Beobachtete					Berechnete					Procentuales Ver- hältnis  $\frac{x}{x'} \cdot 100$	
	Anfangs- Ex- centrici- tät  <i>cm</i>	Schwerpunkts- Coordinaten des Stabes in <i>cm</i>		Max. Kanten- spannung <i>t/cm</i> <sup>2</sup>		Anfangs- Ex- centrici- tät  <i>cm</i>	Schwerpunkts- Coordinaten des Stabes in <i>cm</i>		Max. Kanten- spannung <i>t/cm</i> <sup>2</sup>			
		<i>x</i>	<i>y</i>	$\sigma_3$	$\sigma_4$		<i>x'</i>	<i>y'</i>	$\sigma'_3$	$\sigma'_4$		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,97	-0,970	0,2	0,03	0,03	—	—	—	0,03	0,03	—	
5	—	-1,067	0,188	0,13	0,14	1,166	1,093	—	0,14	0,15	97,6	
9	—	-1,181	0,184	0,26	0,28	0,934	1,226	—	0,26	0,28	96,3	
13	—	-1,321	0,173	0,30	0,39	0,948	1,352	—	0,39	0,41	97,7	
17	—	-1,492	0,168	0,53	0,53	0,931	1,524	—	0,53	0,56	97,9	
21	—	-1,704	0,162	0,69	0,67	0,951	1,738	—	0,69	0,73	98,0	
23	—	-1,828	0,158	0,79	0,78	0,950	1,865	—	0,78	0,82	98,0	
25	—	-1,969	0,153	0,89	0,87	0,960	2,010	—	0,88	0,92	98,0	
27	—	-2,129	0,151	1,00	0,98	0,950	2,175	—	0,98	1,03	98,0	
29	—	-2,312	0,148	1,11	1,10	0,948	2,366	—	1,10	1,14	97,7	
30	—	-2,413	0,144	1,18	1,15	0,947	2,473	—	1,16	1,21	97,6	
31	—	-2,522	0,142	1,24	1,21	0,945	2,589	—	1,23	1,27	97,4	
32	—	-2,640	0,139	1,31	1,29	0,943	2,715	—	1,30	1,34	97,2	
33	—	-2,770	0,137	1,38	1,38	0,942	2,852	—	1,37	1,42	97,1	
34	—	-2,910	0,134	1,45	1,44	0,966	2,921	—	1,45	1,50	99,6	
35	—	-3,066	0,131	1,55	1,53	0,939	3,168	—	1,54	1,59	96,8	
36	—	-3,242	0,131	1,65	1,63	0,939	3,351	—	1,63	1,68	96,8	
37	—	-3,437	0,125	1,76	1,72	0,938	3,553	—	1,74	1,79	96,8	
38	—	-3,765	0,131	1,89	1,84	0,966	3,779	—	1,88	1,94	99,7	
39	—	-3,942	0,126	2,04	1,96	0,948	4,033	—	1,99	2,04	97,7	
40	—	-4,281	0,131	2,19	2,12	0,963	4,311	—	2,05	2,20	99,3	
41	—	-4,832	0,157	2,46	2,28	1,088	4,648	—	2,37	2,44	104,0	
42	—	-5,365	0,192	2,76	2,49	1,036	5,023	—	2,60	2,69	106,8	
42,5	—	-5,863	0,229	2,97	2,62	1,087	5,232	—	2,80	2,90	112,1	
43	—	-6,413	0,292	3,04	2,82	1,139	5,462	—	3,00	3,13	117,4	
43,5	—	<i>Nicht mehr getragen.</i>										

Versuch No. 9.

Versuchstab No. 1; Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen;  
deutsches Normalprofil No. 8a.

$$J_{max} = 478,4 \text{ cm}^4; i_{max} = 4,41 \text{ cm}; h = 55,0 \text{ cm};$$

$$J_{min} = 234,0 \text{ »}; i_{min} = 3,09 \text{ cm}; v = 61,0 \text{ »}.$$

Querschnittsfläche:  $F = 24,56 \text{ cm}^2$ ; wirksame Stablänge:  $624,1 \text{ cm}$ ;  
Knotenabstand:  $75 \text{ cm}$ .

Wertziffern des Materials.

$$\varepsilon = 2168 \text{ t/cm}^2; \gamma = 2,35 \text{ t/cm}^2; \beta = 3,93 \text{ t/cm}^2; c = 1,10 \text{ t/cm}.$$

Be- lastung $P$  $in \ t$	Beobachtete					Berechnete					Procentuales Ver- hältnis  $\frac{x}{x'} \cdot 100$	
	Anfangs- Ex- centrici- tät  $cm$	Schwerpunkts- Coordinaten des Stabes in $cm$		Max. Kanten- spannung $t/cm^2$		Anfangs- Ex- centrici- tät  $cm$	Schwerpunkts- Coordinaten des Stabes in $cm$		Max. Kanten- spannung in $t/cm^2$			
		$x$	$y$	$\sigma_3$	$\sigma_4$		$x'$	$y'$	$\sigma'_3$	$\sigma'_4$		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,5	-1,8	-1,8	0,75	0,04	0,04	—	—	—	0,04	0,04	—	
1,5	»	-1,99	0,062	0,13	0,12	1,711	-2,094	—	0,13	0,13	95,33	
2,5	»	-2,219	0,044	0,25	0,25	1,709	-2,337	—	0,23	0,23	94,95	
3,5	»	-2,507	0,027	0,37	0,36	1,714	-2,632	—	0,35	0,35	95,25	
4,5	»	-2,868	0,013	0,53	0,51	1,722	-2,998	—	0,49	0,49	95,66	
5,5	»	-3,335	-0,007	0,72	0,69	1,767	-3,397	—	0,66	0,65	99,94	
6,5	»	-3,955	-0,029	0,95	0,94	1,749	-4,069	—	0,87	0,86	97,20	
7,5	»	-4,827	-0,056	1,27	1,25	1,776	-4,891	—	1,16	1,15	98,69	
8,5	»	-6,223	-0,064	1,76	1,64	1,847	-6,065	—	1,60	1,58	102,61	
9,0	»	-7,448	-0,056	2,11	2,16	1,954	-6,860	—	1,95	1,94	108,57	
9,25	»	-8,685	-0,037	2,34	2,56	2,131	-7,335	—	2,27	2,26	118,41	
9,5	—	<i>Nicht mehr getragen.</i>										

*Versuch No. 8.*

Versuchstab No. 3; Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil No. 8a.

$$J_{max} = 478,4 \text{ cm}^4; i_{max} = 4,41 \text{ cm}; h = 54,5 \text{ cm};$$

$$J_{min} = 234,0 \text{ »}; i_{min} = 3,09 \text{ »}; v = 61,4 \text{ »}.$$

Querschnittsfläche:  $F = 24,56 \text{ cm}^2$ ; wirksame Stablänge:  $624,1 \text{ cm}$ ;

Knotenabstand =  $100 \text{ cm}$ .

Wertziffern des Materials:

$$\varepsilon = 2168 \text{ t/cm}^2; \gamma = 2,35 \text{ t/cm}^2; \beta = 3,93 \text{ t/cm}^2; c = 1,10 \text{ t/cm}.$$

Be- lastung  $P$  $in t$	Beobachtete					Berechnete					Procen- tuelles Ver- hältnis  $\frac{x}{x'}, 100$	
	Anfangs- Ex- centrici- tät  $cm$	Schwerpunkts- Coordinaten des Stabes in $cm$		Max. Kanten- spannung $t/cm^2$		Anfangs- Ex- centrici- tät  $cm$	Schwerpunkts- Coordinaten des Stabes in $cm$		Max. Kanten- spannung $t/cm^2$			
		$x$	$y$	$\sigma_3$	$\sigma_4$		$x'$	$y'$	$\sigma'_3$	$\sigma'_4$		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,5	0,95	0,95	-0,000	0,03	0,03	—	—	—	0,03	0,03	—	
1,5	»	-1,065	-0,014	0,11	0,09	0,916	1,105	—	0,10	0,10	96,4	
2,5	»	-1,201	-0,033	0,20	0,16	0,925	1,234	—	0,17	0,17	97,3	
3,5	»	-1,371	-0,057	0,29	0,24	0,937	1,389	—	0,26	0,26	98,7	
4,5	»	-1,585	-0,078	0,40	0,35	0,951	1,583	—	0,35	0,35	100,1	
5,5	»	-1,858	-0,103	0,54	0,46	0,965	1,828	—	0,47	0,46	101,6	
6,5	»	-2,213	-0,135	0,70	0,61	0,978	2,149	—	0,60	0,60	103,0	
7,5	»	-2,695	-0,173	0,90	0,78	0,991	2,591	—	0,78	0,78	104,0	
8,5	»	-3,439	-0,228	1,20	1,06	1,019	3,205	—	1,04	1,03	107,3	
9,0	»	-4,003	-0,276	1,37	1,22	1,049	3,619	—	1,22	1,21	110,6	
9,5	»	-4,849	-0,361	1,63	1,48	1,107	4,163	—	1,47	1,47	116,5	
10,0	»	-7,060	-0,734	1,99	1,99	1,377	4,869	—	2,08	2,06	145,0	
10,25	»	<i>Nicht mehr getragen.</i>										

## 2. Resultate der Untersuchung der Spannungsverteilung in centrisch belasteten Druckstäben.

An einer Reihe ca. 6,0 m langer, andern Zwecken dienenden Druckstäben, vrgl. No. 4 des vorliegenden Abschnitts, wurden unter Anwendung der bekannten *Rabut-Mantel'schen* Dehnungsmesser, vrgl. die »Schweiz. Bauzeitung« Bd. XXXV, No. 5, 6 u. 7, Spannungsmessungen ausgeführt. Die Versuchstäbe erhielten Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen, die entweder unter Anwendung der auf Seite 31 in Abb. 9 dargestellten zweinietigen Kreuzplatten, oder durch alterierend angeordnete, viernietige Blechstreifen, vrgl. Abb. 10 verbunden waren. Die

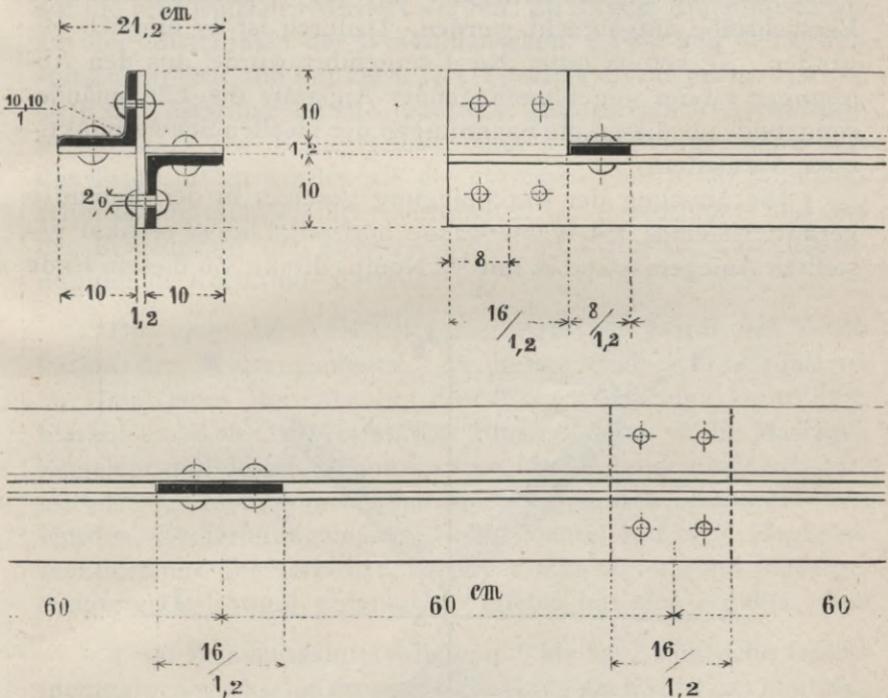


Abb. 10.

Abstände der Verbindungsstellen (Knoten) waren absichtlich verschieden gewählt; sie sind in nachstehenden Zusammenstellungen Fall für Fall angegeben. Das Material der Versuche war durchwegs Flusseisen.

Die Endflächen der Probekörper wurden  $\perp$  zur Stabaxe abgeschnitten und auf die, auf Spitzen gelagerten Druckplatten

der Werder-Maschine aufgeschliffen. Die Einlagerung der Versuchstäbe in die Maschine geschah centrisch, horizontal; das Moment des Eigengewichts haben wir durch Aufbringen von  $\frac{3}{8}$  des Stabgewichts in den Dritteln der Stablänge aufzuheben gesucht. Die gewählte Aufhängevorrichtung der Stäbe entsprach dem bisherigen Gebrauch. Taf. I giebt ein perspektivisches Bild der Lage eines Versuchsstabes in der Maschine mit den Aufhängebügeln und den Rabut-Mantel-Apparaten. Letztere wurden in der Regel in der Stabmitte aufmontiert. In jenen Fällen, wo dies durch die, die Profile verbindenden Blechstreifen oder Kreuzplatten nicht möglich war, sind die Apparate paarweise diagonal gegenüberliegend auf die Winkelflanschen der Versuchstäbe aufgebracht worden. Dadurch ist es möglich geworden, wie bereits unter No. 1 angeführt wurde, aus den Ablesungen zweier gegenüberliegender Apparate die Längenänderung und aus diesen die Spannungen der ideellen Schwerpunktsfaser abzuleiten.

Die Messung der Durchbiegung geschah in der Stabmitte vermittelt eines mit Wasserwaage horizontal bezw. vertikal gestellten Anlegemasstabes mit  $\frac{1}{10}$  Nonius direkt. Zu diesem Ende

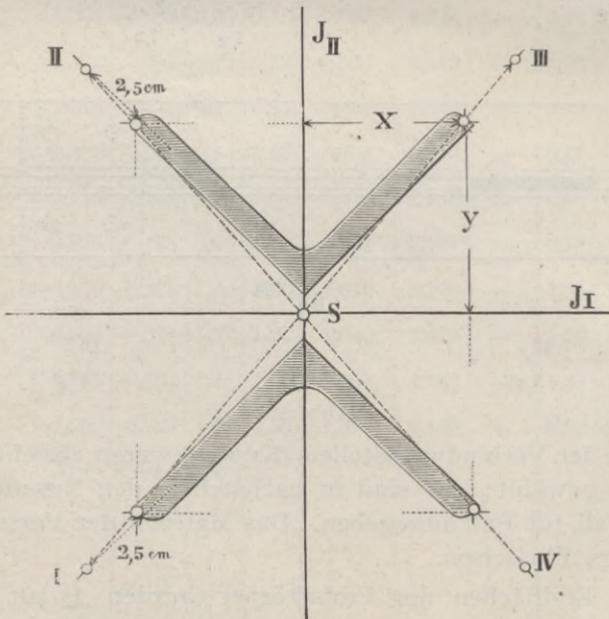


Abb. 11.

wurde auf die Bahn der Werder-Maschine ein eiserner Rahmen angeschraubt, gegen dessen, ebenfalls mittelst Wasserwaage wagrecht bzw. lotrecht gestellten Arme der Anlegemasstab angeschlagen werden konnte. Wir haben bei den ziemlich grossen Durchbiegungen der Druckstäbe die Messung der Biegungspfeile mit einer Genauigkeit von  $\frac{1}{10}$  mm als ausreichend angesehen.

Vermöge Bauart und Anlagerungsweise der benützten Dehnungsmesser wurden mittelst dieser die Längenänderungen einer ursprünglich 20,0 cm langen, 2,5 cm von den Kanten, an welchen die Instrumente befestigt waren, abstehenden, ideellen Fasern gemessen. Die gewonnenen Messresultate mussten daher auf die Profilspitzen reduziert werden. Zu diesem Ende haben wir auf den Mittellinien der Winkelflanschen, 2,5 cm von den Profilspitzen entfernt, die Punkte I, II, III und IV als die geometrischen Orte der Messinstrumente markiert und dieselben kreuzweise verbunden. Die Schnittpunkte dieser Verbindungslinien mit den Profilspitzen wurden als die extremen Fasern der Stabquerschnitte angesehen, ihre Coordinaten ( $x$ ,  $y$ ) bestimmt und bei der Berechnung der grössten bzw. der kleinsten Kantenspannungen in Rechnung gestellt.

Die erste der vorbereitenden Arbeiten betraf die Verifikation der Dehnungsmesser. Zu diesem Ende wurde zunächst an Hand eines Normalstabes die *Werder*-Maschine kontrolliert, hierauf ein  $8,99 \times 1,70$  cm starker Flusseisenstab in die Maschine eingelegt und dessen Dehnungsmass für die Lasteinheit von 1,0 t mittelst des *Bauschinger*'schen Spiegelapparates bestimmt. Nun wurden die Dehnungsmesser Rabut-Mantel auf den Flachstab montiert und ihr Verhalten bei einer allmähig bis auf 10,0 t gesteigerten Belastung untersucht. Hiebei hat sich ergeben, dass

1. im Belastungsintervalle von 0 bis 3,0 t sämtliche Instrumente einen wechselnd grossen, toten Gang nach vorwärts besitzen;
2. von 3,0 t aufwärts die Ausschläge den Belastungen proportional verlaufen;
3. das Übersetzungsverhältnis der Dehnungsmesser 1:1000 beträgt;
4. gegenüber dem *Bauschinger*'schen Spiegelapparat und im Belastungsintervalle von 3,0 bis 10,0 t

der Dehnungsmesser I: übereinstimmende,  
»                    »            II: um 3,1 ‰ zu grosse,  
«                    »            III: übereinstimmende,  
»                    »            IV: um 3,2 ‰ zu kleine Resultate

liefert.

Die vorstehend angeführte Apparaten - Kontrolle veranlasste nun:

- a) eine Korrektur der an den Apparaten II und IV gewonnenen Ablesungen um  $- 3,1 ‰$  bzw.  $+ 3,2 ‰$ ;
- b) eine Korrektur der Ablesungen im Belastungsintervalle 0 bis 3,0 t im Betrage der rechnungsmässigen Verkürzungen.

Die Null- oder Anfangsbelastung der Druckstäbe betrug 0,5 bzw. 1,0 t; der Nullpunkt der graphischen Darstellungen der korrigierten Ablesungen musste daher durch Interpolation ermittelt werden. Einzelne dieser graphischen Darstellungen wiesen in ihrem Verlaufe Unregelmässigkeiten auf, die ausgeglichen werden mussten. Zu diesem Ende haben wir die ersten und zweiten Differenzen der Ablesungen berechnet, graphisch dargestellt und vermittelst Abgleichungslinien die Zahlen zur Korrektur der Ablesungen abgeleitet. Diese Korrekturen waren nur in einzelnen Fällen erforderlich; die meisten Versuche fielen befriedigend aus und machten Korrekturen unnötig.

Zu den vorbereitenden Arbeiten gehört die Ermittlung der Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials. Von jeder Materialsorte wurden Zerreis-, technologische Kaltbruch- und Härtebiegeproben herausgearbeitet und den üblichen Versuchen unterworfen. Die Ermittlung der Elasticität und Druckfestigkeit war durch die Form und Wandstärke des Versuchsmaterials ausgeschlossen.

Folgende Zusammenstellungen enthalten die gewonnenen Wertziffern des Versuchsmaterials:

2. Serie.\*)

*Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 10a.*  
 Strebenlieferant: **Bell & Comp.**, Brückenbau-Anstalt, Kriens.  
 Herkunft des Materials: **Burbacher Hütte** bei Saarbrücken.  
 (Sämtliche Wertziffern sind Mittelwerte aus 2 Versuchen).

a. *Zerreissprobe.*

Elastizitätsmodul . . . . .	$\epsilon = 2110 \text{ t/cm}^2$ ;
Grenzmodul . . . . .	$\gamma = 2,51 \text{ »}$
Streckgrenze . . . . .	$\sigma = 2,82 \text{ »}$
Zugfestigkeit . . . . .	$\beta = 4,01 \text{ »}$
Contraction . . . . .	$\varphi = 64,5 \text{ ‰}$ ;
Bruchdehnung . . . . .	$\lambda = 19,7 \text{ »}$
Dehnung n. Bruch pro 20 cm: .	$\lambda_2 = 27,6 \text{ »}$
Arbeits-Koeffizient . . . . .	$c = 1,11 \text{ cm u. t.}$

b. techn. *Kaltbruchprobe.*

c. techn. *Härtebiegeprobe.*

Biegewinkel . . . . .	$a = 180^\circ$	$a = 180^\circ$
Krümmungsmass . . . . .	$x = 100$	$x = 100$
Oberflächenbeschaffenheit: vollk. intakt.    vollk. intakt.		

3. Serie.\*)

*Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 12a.*  
 Strebenlieferant: **Buss & Comp.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.  
 Herkunft des Materials: **Gebr. Röchling**, Völklingen.  
 (Sämtliche Wertziffern sind Mittelwerte aus 2 Versuchen).

a. *Zerreissprobe.*

Elastizitätsmodul . . . . .	$\epsilon = 2127 \text{ t/cm}^2$ ;
Grenzmodul . . . . .	$\gamma = 2,30 \text{ »}$
Streckgrenze . . . . .	$\sigma = 3,05 \text{ »}$
Zugfestigkeit . . . . .	$\beta = 4,28 \text{ »}$
Contraction . . . . .	$\varphi = 59,0 \text{ ‰}$ ;
Bruchdehnung . . . . .	$\lambda = 19,0 \text{ »}$
Dehnung n. Bruch pro 20 cm .	$\lambda_2 = 26,4 \text{ »}$
Arbeits-Koeffizient . . . . .	$c = 1,13 \text{ cm u. t.}$

b. techn. *Kaltbruchprobe.*

c. techn. *Härtebiegeprobe.*

Biegewinkel . . . . .	$a = 180^\circ$	$a = 180^\circ$
Krümmungsmass . . . . .	$x = 100$	$x = 100$
Oberflächenbeschaffenheit: vollk. intakt.    vollk. intakt.		

\*) Vorliegende Bezeichnungen stehen in Übereinstimmungen mit den unter No. 4 dieses Abschnittes gewählten.

Die numerische Berechnung der *Kantenspannungen* erfolgte in zweifacher Art, nämlich das eine mal unter zu Grundelegung der gemessenen Coordinaten  $x_0$  und  $y_0$  des Angriffspunktes der Kraft  $P$ , vgl. Abb. 12, nach der Momenten-Methode unter Benützung der Spannungsgleichungen:

$$\sigma_1 = -\left[\sigma_s + \frac{Px_0}{J_{II}}x + \frac{Py_0}{J_I}y\right], \quad \sigma_{II} = -\left[\sigma_s - \frac{Px_0}{J_{II}}x - \frac{Py_0}{J_I}y\right],$$

sodann unter zu Grundelegung der beobachteten Längenänderungen  $\Delta l_a$  und  $\Delta l_b$  der ideellen Fasern bei  $A$  und  $B$ . Die diesen Längenänderungen zugehörigen Spannungen betragen:

$$\sigma_a = \frac{\Delta l_a}{l} \cdot \varepsilon, \quad \sigma_b = \frac{\Delta l_b}{l} \cdot \varepsilon$$

Nach Abb. 12 ist der Unterschied der Spannungen der Profilspitzen bei  $C$  und  $D$  gegenüber der Schwerpunktsspannung  $\sigma_s$  ausgedrückt durch

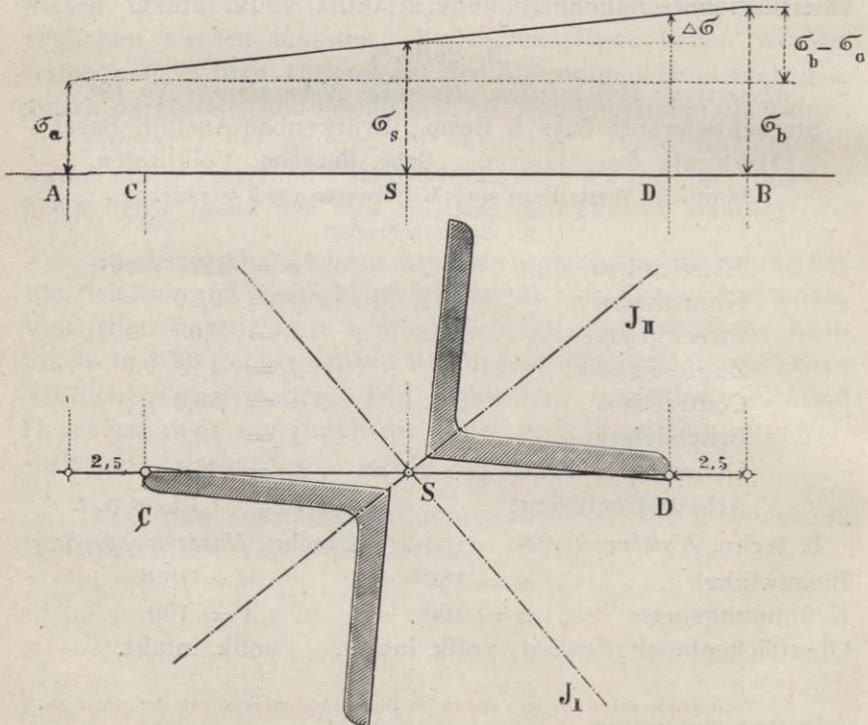


Abb. 12.

$$\Delta\sigma = \frac{\overline{SD}}{AB} (\sigma_b - \sigma_a) \text{ d. h. durch}$$

$$\Delta\sigma = \frac{\overline{DS}}{AB} \frac{(\Delta l_b - \Delta l_a)}{l} \varepsilon = \frac{\overline{SD}}{AB} \frac{\Delta(\Delta l)}{l} \varepsilon .$$

Mithin erhält man die Spannungen dieser Profilsitzen aus:

$$\sigma_{max} = - \left[ \sigma_s + \Delta\sigma \right] = - \left[ \sigma_s + a \Delta(\Delta l) \right]$$

$$\sigma_{min} = - \left[ \sigma_s - \Delta\sigma \right] = - \left[ \sigma_s - a \Delta(\Delta l) \right], \text{ worin}$$

$$a = \frac{\overline{SD}}{AB} \frac{\varepsilon}{l} \text{ ist.}$$

Dass schliesslich  $\sigma_I = \sigma_{max}$  und  $\sigma_{II} = \sigma_{min}$  werden soll, bedarf keiner Erwähnung.

Für das *Kreuzprofil* aus 2 Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 10<sup>a</sup> beträgt

$$\begin{aligned} J_I &= 1045,48 \text{ cm}^4; & J_{II} &= 579,18 \text{ cm}^4; \\ x &= 6,90 \text{ cm} & y &= 8,20 \text{ cm}, \end{aligned}$$

mithin wird:

$$\sigma_I = - \left[ \sigma_s + \frac{6,90}{579,18} \cdot P x_0 + \frac{8,20}{1045,48} P y_0 \right],$$

$$\sigma_{II} = - \left[ \sigma_s - \frac{6,90}{579,18} \cdot P x_0 - \frac{8,20}{1045,48} P y_0 \right].$$

Da nun  $\overline{SD} = 10,71 \text{ cm}$ ;  $\overline{AB} = 26,42 \text{ cm}$ ;  $l = 20,0 \text{ cm}$ ;  $\varepsilon = 2110 \text{ t/cm}^2$  beträgt, wird

$$a = 0,0427, \text{ somit:}$$

$$\sigma_{max} = - \left[ \sigma_s + 0,0427 \Delta(\Delta l) \right], \quad \sigma_{min} = - \left[ \sigma_s - 0,0427 \Delta(\Delta l) \right].$$

Für das *Kreuzprofil* aus 2 Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 12<sup>a</sup> erhält man:

$$\begin{aligned} J_I &= 1820,20 \text{ cm}^4; & J_{II} &= 1034,70 \text{ cm}^4; \\ x &= 8,20 \text{ cm} & y &= 9,55 \text{ cm}, \text{ mithin:} \end{aligned}$$

$$\sigma_1 = - \left[ \sigma_s + \frac{8,20}{1034,70} P x_0 + \frac{9,55}{1820,20} P y_0 \right],$$

$$\sigma_2 = - \left[ \sigma_s - \frac{8,20}{1034,70} P x_0 - \frac{9,55}{1820,20} P y_0 \right].$$

Für das vorliegende Profil beträgt

$$\overline{SD} = 12,58 \text{ cm}; \quad \overline{AB} = 30,17 \text{ cm}; \quad l = 20,0 \text{ cm}; \quad \varepsilon = 2127 \text{ t/cm}^2;$$

somit wird

$$a = 0,0444, \text{ also}$$

$$\sigma_{max} = - \left[ \sigma_s + 0,0444 \Delta(\Delta l) \right], \quad \sigma_{min} = - \left[ \sigma_s - 0,0444 \Delta(\Delta l) \right].$$

In vorstehenden Formelgruppen bedeutet nach wie vor:  $\sigma_s = P:F$  die der Kraft  $P$  entsprechende Schwerpunktsspannung,  $\Delta(\Delta l)$  die Differenz der Ablesungen ( $\Delta l$ ) auf den gegenüberliegenden, massgebenden Dehnungsmessern.

Nachdem die Kantenspannungen ( $\sigma$ ) der gebogenen Druckstäbe ermittelt waren, konnten nunmehr auch die Knickungskoeffizienten  $\eta$  der *Schwarz-Rankine'schen* Formeln aus:

$$\eta = \left( \frac{\sigma}{\sigma_s} - 1 \right) \left( \frac{i}{l} \right)^2$$

berechnet werden, worin

- $\sigma$  die der jeweiligen Belastung  $P$  des Stabes entsprechende, grösste Kantenspannung,
- $\sigma_s$  die Schwerpunktsspannung,
- $i$  den Trägheitshalbmesser in der Biegerichtung bedeutet.

Endlich konnte auf Grund der gemessenen Gesamtexcentricität

$$n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$$

der angreifenden Kraft  $P$  aus

$$n = (n_0 + \Delta n) = \frac{n_0}{\cos \left( l_0 \sqrt{\frac{P}{\varepsilon J}} \right)} = \frac{n_0}{1 - 0,5 \left( \frac{l_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0,0417 \left[ \left( \frac{l_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} \right]^2}$$

die theoretische Anfangsexcentricität  $n_0$  berechnet werden, welche hätte anfänglich vorhanden sein müssen, soferne das Material homogen und der Stab ursprünglich geradlinig gewesen wäre.

In nachstehenden tabellarischen Zusammenstellungen lassen wir nun das auf No. 2 des vorliegenden Abschnittes bezügliche Beobachtungs-Material und die Rechnungsergebnisse folgen:

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus 2 Winkelisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten*;  
Knoten-Abstand = 50 cm.

*Trägheitsmomente.* *Trägheitshalbmesser.* *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;  $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;  $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ . *Spitzenlagerung.*

Belastung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunktspannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P : F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,70	0,70	0,70	0,07	0,08	
6,0	1,4	1,6	1,4	1,4	1,40	1,50	1,45	0,15	0,16	
9,0	2,1	2,3	2,0	2,0	2,05	2,15	2,10	0,22	0,23	
12,0	2,8	3,1	2,8	2,6	2,70	2,95	2,83	0,30	0,31	
15,0	3,5	3,9	3,4	3,2	3,35	3,65	3,50	0,37	0,39	
18,0	4,3	4,6	4,0	3,9	4,10	4,30	4,20	0,44	0,47	
21,0	5,1	5,7	4,6	4,5	4,80	5,15	4,98	0,53	0,55	
24,0	6,0	7,0	4,7	4,9	5,45	5,85	5,65	0,60	0,62	
25,0	6,6	7,8	4,7	4,7	5,65	6,25	5,95	0,63	0,65	
26,0	7,5	8,6	4,4	4,6	6,05	6,50	6,28	0,66	0,68	
27,0	8,2	9,6	3,8	4,3	6,25	6,70	6,48	0,68	0,69	
27,0	9,3	10,9	2,6	3,3	6,30	6,75	6,58	0,69	0,70	
27,0	11,8	13,6	0,2	1,1	6,45	6,90	6,68	0,71	0,72	
27,8	<i>Knickung</i>									

\*)  $\Delta l_0 = \frac{I...IV}{4} = \frac{I+II+III+IV}{4}$

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten* ;  
Knotenabstand 50 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in tn</i>	Coordination des Angriffs- punktes		Excen- tricität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen		
				$\sigma_s = \frac{P}{F}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,00	0,00	0,000	0,08	0,08	0,08	
6,0	0,01	-0,04	0,041	0,16	0,16	0,16	
<b>9,0</b>	0,01	-0,04	0,041	0,23	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	Bei ca. <b>10,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
12,0	0,00	-0,05	0,050	0,31	0,32	0,30	
15,0	0,03	-0,06	0,067	0,39	0,40	0,38	
18,0	-0,04	-0,07	0,081	0,47	0,49	0,45	
21,0	-0,10	-0,04	0,108	0,55	0,57	0,53	
24,0	-0,23	-0,07	0,240	0,62	0,70	0,54	
25,0	-0,32	-0,07	0,327	0,65	0,75	0,55	
26,0	-0,48	-0,07	0,484	0,68	0,84	0,52	
,5	-0,66	-0,07	0,664	0,69	0,91	0,47	
27,0	-0,97	-0,07	1,194	0,70	1,03	0,37	
,5	-1,59	-0,04	1,591	0,72	1,52	-0,08	
27,8	<i>Knickung.</i>						

2. Serie ; Lieferant : Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus 2 Winkel Eisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit zweinieligen Kreuzplatten  
Knotenabstand: 50 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
 Querschnittsfläche :  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilsitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>3,0</b>	0,8	0,6	0,2	0,00	0,07	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	Bei ca. 4,5 $t$ Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
6,0	1,6	1,4	0,2	0,01	0,15	0,16	0,14	
9,0	2,3	2,0	0,3	0,01	0,22	0,23	0,21	
12,0	3,1	2,8	0,3	0,01	0,30	0,31	0,29	
15,0	3,9	3,4	0,5	0,02	0,37	0,39	0,35	
18,0	4,6	4,0	0,6	0,03	0,44	0,47	0,41	
21,0	5,7	4,6	1,1	0,05	0,53	0,58	0,48	
24,0	7,0	4,7	2,3	0,10	0,60	0,70	0,50	
25,0	7,8	4,7	3,1	0,13	0,63	0,76	0,50	
26,0	8,6	4,4	4,2	0,19	0,66	0,85	0,47	
,5	9,6	3,8	5,6	0,24	0,68	0,92	0,44	
27,0	10,9	2,6	8,3	0,35	0,69	1,04	0,34	
,5	13,6	0,2	13,4	0,57	0,71	1,28	0,14	
27,8	<i>Knickung.</i>							

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*  
Knotenabstand: 40 cm

*Trägheitsmomente.*

*Trägheitshalbmesser.*

*Stablängen.*

$$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4;$$

$$i_{max} = 5,21 \text{ cm};$$

$$l_0 = 616 \text{ cm};$$

$$J_{min} = 579,18 \text{ »};$$

$$i_{min} = 3,88 \text{ »};$$

$$l = 641 \text{ »}.$$

*Querschnittsfläche: F = 38,54 cm².*

*Spitzenlagerung.*

Bela- stung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2} \quad \frac{II+III}{2} \quad \frac{I...IV}{4}^*)$			$\frac{\varepsilon}{l} \Delta l_0$	P : F	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,75	0,75	0,75	0,08	0,08	
6,0	1,7	1,4	1,3	1,0	1,35	1,35	1,35	0,14	0,16	
9,0	2,5	2,3	2,0	1,4	2,00	2,15	2,05	0,22	0,23	
12,0	3,4	3,1	2,6	2,1	2,75	2,85	2,80	0,30	0,31	
15,0	4,2	3,9	3,3	2,4	3,30	3,60	3,45	0,36	0,39	
18,0	5,1	4,7	3,9	3,0	4,05	4,30	4,38	0,46	0,47	
21,0	6,1	5,6	4,4	3,4	4,75	5,00	4,88	0,52	0,55	
24,0	7,6	6,9	4,5	3,4	5,55	5,70	5,60	0,59	0,62	
25,0	8,2	7,7	4,5	3,2	5,70	6,10	5,93	0,63	0,65	
26,0	9,2	8,4	4,2	2,7	5,95	6,30	6,13	0,65	0,68	
,5	10,0	9,1	3,7	2,2	6,10	6,40	6,25	0,66	0,69	
27,0	11,3	10,5	2,7	1,3	6,30	6,60	6,45	0,68	0,70	
,5	13,0	12,2	1,1	0,3	6,35	6,65	6,65	0,70	0,72	
28,0	<i>Knickung</i>									

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*,  
Knotenabstand: 40 cm.

*Trägheitsmomente.*                      *Trägheitshalbmesser.*                      *Stablängen.*

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;                       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;                       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;

$J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;                       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;                       $l = 641 \text{ »}$ .

*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .                      *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ in $t$	Koordinaten des Angriffs- punktes		Excen- tricität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	-0,01	-0,01	0,014	0,08	0,08	0,08	
6,0	0,00	-0,01	0,010	0,16	0,16	0,16	
<u>9,0</u>	0,02	0,01	0,022	0,23	<u>0,23</u>	<u>0,23</u>	Bei ca. <b>10,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
12,0	-0,02	0,04	0,044	0,31	0,32	0,30	
15,0	-0,06	0,04	0,072	0,39	0,42	0,36	
18,0	-0,11	0,05	0,121	0,47	0,50	0,44	
21,0	-0,18	0,06	0,190	0,55	0,61	0,49	
24,0	-0,36	0,07	0,367	0,62	0,74	0,50	
25,0	-0,47	0,10	0,480	0,65	0,81	0,49	
26,0	-0,68	0,12	0,690	0,68	0,92	0,44	
,5	-0,86	0,13	0,870	0,69	1,01	0,37	
27,0	-1,12	0,13	1,120	0,70	1,09	0,31	
,5	-1,54	0,16	1,548	0,72	1,25	0,19	
28,0	<i>Knickung</i>						

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernichtigen Blechstreifen*,  
Knotenabstand: 40 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Belastung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,8	0,7	0,1	0,00	0,08	0,08	0,08	
<b>6,0</b>	1,4	1,3	0,1	0,00	0,14	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>	Bei ca. <b>7,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	2,3	2,0	0,3	0,01	0,22	0,23	0,20	
12,0	3,1	2,6	0,5	0,02	0,30	0,32	0,28	
15,0	3,9	3,3	0,6	0,03	0,36	0,39	0,33	
18,0	4,7	3,9	0,8	0,03	0,46	0,49	0,43	
21,0	5,6	4,4	1,2	0,05	0,52	0,57	0,47	
24,0	6,9	4,5	2,4	0,09	0,59	0,68	0,50	
25,0	7,7	4,5	3,2	0,14	0,63	0,77	0,49	
26,0	8,4	4,2	4,2	0,18	0,65	0,83	0,47	
,5	9,1	3,7	5,4	0,23	0,66	0,89	0,43	
27,0	10,5	2,7	7,8	0,33	0,68	1,01	0,35	
,5	12,2	1,1	11,1	0,47	0,70	1,17	0,23	
28,0	<i>Knickung</i>							

2. Serie; Lieferant: Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit zweinieligen Kreuzplatten;  
Knotenabstand: 60 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.

$I_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;

$I_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .

Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .

Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\varepsilon}{l} \Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,6	0,6	0,8	0,9	0,75	0,70	0,73	0,08	0,08	
6,0	1,2	1,2	1,6	1,7	1,45	1,40	1,43	0,15	0,16	
9,0	1,9	1,7	2,4	2,4	2,15	2,05	2,10	0,22	0,23	
12,0	2,6	2,3	3,3	3,3	2,95	2,80	2,88	0,30	0,31	
15,0	3,2	2,9	4,0	4,0	3,60	3,45	3,53	0,37	0,39	
18,0	3,8	3,4	4,3	5,0	4,40	3,85	4,13	0,44	0,47	
21,0	4,4	3,8	5,9	5,9	5,15	4,85	5,00	0,53	0,55	
24,0	4,5	3,8	7,3	7,4	5,95	5,55	5,75	0,61	0,62	
25,0	4,5	3,7	8,1	8,0	6,25	5,90	6,08	0,64	0,65	
26,0	4,3	3,1	9,8	8,9	6,60	6,45	6,53	0,69	0,68	
26,5	3,7	2,4	10,2	9,9	6,80	6,30	6,55	0,69	0,69	
27,0	2,4	1,1	12,0	11,4	6,90	6,55	6,73	0,71	0,70	
27,5	1,0	-2,0	15,7	15,2	8,10	6,85	7,48	0,79	0,72	
27,7	Knickung	—	—	—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweiinietigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excen- tricität <i>cm</i> $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,00	-0,01	0,010	0,08	0,08	0,08	
<b>6,0</b>	+0,02	-0,02	0,028	0,16	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	Bei ca. <b>7,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
9,0	+0,04	-0,01	0,041	0,23	0,24	0,22	
12,0	+0,06	+0,01	0,061	0,31	0,31	0,31	
15,0	+0,07	+0,01	0,071	0,39	0,40	0,38	
18,0	+0,10	+0,01	0,100	0,47	0,49	0,45	
21,0	+0,17	+0,04	0,175	0,55	0,60	0,50	
24,0	+0,34	+0,05	0,344	0,62	0,72	0,52	
25,0	+0,46	+0,08	0,467	0,65	0,80	0,50	
26,0	+0,70	+0,08	0,705	0,68	0,90	0,46	
26,5	+0,92	+0,09	0,924	0,69	1,00	0,38	
27,0	+1,32	+0,10	1,324	0,70	1,15	0,25	
27,5	+2,17	+0,13	2,174	0,72	1,46	-0,02	
27,7	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweineitigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Belastung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $l/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat I	Appa- rat IV			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	Wahrscheinlich schon bei <b>2,0 t</b> Beginn des Einflusses der Ex- centricität der Kraft- wirkung.
3,0	0,6	0,9	0,3	0,01	0,08	0,09	0,07	
6,0	1,2	1,7	0,5	0,02	0,15	0,17	0,13	
9,0	1,9	2,4	0,5	0,02	0,22	0,24	0,20	
12,0	2,6	3,3	0,7	0,03	0,30	0,33	0,27	
15,0	3,2	4,0	0,8	0,03	0,37	0,40	0,34	
18,0	3,8	5,0	1,2	0,05	0,44	0,49	0,39	
21,0	4,4	5,9	1,5	0,06	0,53	0,59	0,47	
24,0	4,5	7,4	2,9	0,12	0,61	0,73	0,49	
25,0	4,5	8,4	3,9	0,17	0,64	0,81	0,47	
26,0	4,3	8,9	4,6	0,20	0,69	0,89	0,49	
26,5	3,7	9,9	6,2	0,27	0,69	0,96	0,42	
27,0	2,4	11,4	9,0	0,38	0,71	1,09	0,33	
27,5	1,0	15,2	14,2	0,61	0,79	1,40	0,18	
27,7	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .

*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Bela- stung $P$ in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P : F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	1,0	1,1	0,4	0,6	0,80	0,75	0,78	0,08	0,08	
6,0	1,7	2,1	0,9	1,2	1,45	1,50	1,48	0,16	0,16	
9,0	2,5	3,0	1,4	1,6	2,05	2,20	2,13	0,23	0,23	
12,0	3,3	4,1	1,8	2,2	2,75	2,95	2,85	0,30	0,31	
15,0	4,2	5,3	2,1	2,8	3,50	3,70	3,60	0,38	0,39	
18,0	5,1	6,4	2,2	3,3	4,20	4,30	4,25	0,45	0,47	
21,0	6,5	8,2	2,3	3,6	5,05	5,25	5,15	0,54	0,55	
24,0	8,7	11,1	1,1	2,9	5,80	6,20	6,00	0,63	0,62	
25,0	10,2	13,0	-0,2	2,0	6,10	6,40	6,25	0,66	0,65	
25,5	11,5	14,5	-1,2	1,0	6,25	6,65	6,45	0,68	0,66	
26,0	13,2	—	-3,0	-0,7	—	—	—	—	0,68	
26,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69	
26,80	<i>Knickung</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$       *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excentri- cität <i>cm</i> $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	-0,05	-0,06	0,079	0,08	0,08	0,08	
<b>6,0</b>	-0,06	-0,11	0,125	0,16	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>	Bei ca. <b>6,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
9,0	-0,10	-0,10	0,142	0,23	0,25	0,21	
12,0	-0,13	-0,09	0,158	0,31	0,34	0,28	
15,0	-0,20	-0,11	0,228	0,39	0,43	0,35	
18,0	-0,33	-0,15	0,362	0,47	0,56	0,38	
21,0	-0,54	-0,18	0,570	0,55	0,71	0,39	
24,0	-1,01	-0,23	1,036	0,62	0,95	0,29	
25,0	-1,37	-0,26	1,394	0,65	1,11	0,19	
25,5	-1,66	-0,26	1,680	0,66	1,23	0,09	
26,0	-2,11	-0,27	2,127	0,68	1,49	-0,13	
26,5	-2,86	-0,28	2,873	0,69	1,65	-0,27	
26,8	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	
26,8	-5,84	-0,41	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilsitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
<b>0,0</b>	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	Wahrscheinlich schon bei <b>2,0 t</b> Beginn des Einflusses der Ex- centricität der Kraft- wirkung.
3,0	1,0	0,6	0,4	0,02	0,08	0,10	0,06	
6,0	1,7	1,2	0,5	0,02	0,16	0,18	0,14	
9,0	2,5	1,6	0,9	0,04	0,23	0,27	0,19	
12,0	3,3	2,2	1,1	0,05	0,30	0,35	0,25	
15,0	4,2	2,8	1,4	0,06	0,38	0,44	0,32	
18,0	5,1	3,3	1,8	0,08	0,45	0,53	0,37	
21,0	6,5	3,6	2,9	0,13	0,54	0,67	0,41	
24,0	8,7	2,9	5,8	0,26	0,63	0,89	0,37	
25,0	10,2	2,0	8,2	0,36	0,66	1,02	0,30	
25,5	11,5	1,0	10,5	0,47	0,68	1,15	0,21	
26,0	13,2	-0,7	13,9	0,62	—	—	—	
26,5	—	—	—	—	—	—	—	
26,8	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 12. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit zweineitigen Kreuzplatten;  
Knotenabstand: 75 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;

$J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .

Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .

Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P : F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,08	0,08	
6,0	1,4	1,5	1,4	1,3	1,35	1,45	1,40	0,15	0,16	
9,0	1,9	2,1	2,2	1,9	1,90	2,15	2,03	0,21	0,23	
12,0	2,9	2,8	3,1	2,8	2,85	2,95	2,90	0,31	0,31	
15,0	3,0	3,4	4,1	4,3	3,65	3,75	3,70	0,39	0,39	
18,0	3,1	3,7	5,1	5,5	4,30	4,40	4,35	0,46	0,47	
21,0	3,0	3,8	6,5	6,7	4,85	5,15	5,00	0,53	0,55	
24,0	2,2	3,0	9,0	9,0	5,60	6,00	5,80	0,61	0,62	
25,0	1,0	1,9	10,6	10,9	5,95	6,25	6,10	0,64	0,65	
25,5	0,0	0,9	12,1	11,8	5,90	6,50	6,20	0,65	0,66	
26,0	-1,4	-0,5	14,4	12,9	5,75	6,95	6,35	0,67	0,68	
26,5	-4,3	-3,5	—	—	—	—	—	—	0,69	
26,85	Knickung			—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 12. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 75 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excentri- cität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen		
				$\sigma_s = \frac{P}{F}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	-0,05	+0,01	0,051	0,08	-0,08	0,08	
6,0	+0,03	0,00	+0,030	0,16	0,16	0,16	
<b>9,0</b>	+0,06	-0,01	0,061	0,23	<b>0,24</b>	<b>0,22</b>	Bei ca. <b>9,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
12,0	+0,11	-0,02	0,112	0,31	0,33	0,29	
15,0	+0,18	-0,08	0,197	0,39	0,43	0,35	
18,0	+0,28	-0,08	0,292	0,47	0,54	0,40	
21,0	+0,48	-0,07	0,485	0,55	0,68	0,42	
24,0	+0,96	-0,08	0,964	0,62	0,91	0,33	
25,0	+1,33	-0,09	1,333	0,65	1,06	0,24	
25,5	+1,62	-0,10	1,623	0,66	1,17	0,15	
26,0	+2,03	-0,13	2,033	0,68	1,34	0,02	
26,5	+2,77	-0,14	2,773	0,69	1,59	-0,21	
26,85	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	
26,85	+5,36	-0,26	—	—	—	—	

2. Serie ; Lieferant : Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 12. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten* ;  
Knotenabstand: 75 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$  ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$  ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$  ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$  ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$  ;       $l = 641 \text{ »}$  .

*Querschnittsfläche* :  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      =      *Spitzenlagerung.*

Belastung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta (\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta (\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $l/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			in Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen		
						$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,8	0,7	0,1	0,00	0,08	0,08	0,08	
6,0	1,5	1,4	0,1	0,00	0,15	0,15	0,15	
9,0	2,1	2,2	0,1	0,00	0,21	0,21	0,21	
<b>12,0</b>	2,8	3,1	0,3	0,01	0,31	<b>0,32</b>	<b>0,30</b>	Bei ca. <b>12,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	3,4	4,1	0,7	0,03	0,39	0,42	0,36	
18,0	3,7	5,1	1,3	0,06	0,46	0,52	0,40	
21,0	3,8	6,5	2,7	0,12	0,53	0,65	0,41	
24,0	3,0	9,0	6,0	0,26	0,61	0,87	0,35	
25,0	1,9	10,6	8,7	0,37	0,64	1,01	0,27	
25,5	0,9	12,1	11,2	0,48	0,65	1,13	0,17	
26,0	-0,5	14,4	14,9	0,64	0,67	1,31	0,03	
26,5	-3,5	—	—	—	—	—	—	
26,85	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen;  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *vierniichtigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 75 cm.

Trägheitsmomente.

Trägheitshalbmesser.

Stablängen.

$$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4;$$

$$i_{max} = 5,21 \text{ cm};$$

$$l_0 = 616 \text{ cm};$$

$$J_{min} = 579,18 \text{ »};$$

$$i_{min} = 3,88 \text{ »};$$

$$l = 641 \text{ »};$$

Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .

Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P : F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,6	0,7	0,8	0,75	0,65	0,70	0,07	0,08	
6,0	1,3	1,2	1,4	1,6	1,45	1,30	1,38	0,15	0,16	
9,0	1,9	1,9	2,2	2,5	2,20	2,05	2,13	0,23	0,23	
12,0	2,4	2,7	3,0	3,6	3,00	2,85	2,93	0,31	0,31	
15,0	2,8	3,3	3,9	4,6	3,70	3,60	3,65	0,39	0,39	
18,0	3,1	3,8	4,9	5,6	4,35	4,35	4,35	0,46	0,47	
21,0	3,2	4,1	6,2	7,2	5,20	5,15	5,18	0,55	0,55	
24,0	2,8	3,8	8,3	9,2	6,00	6,05	6,03	0,64	0,62	
25,0	2,0	3,1	9,4	11,2	6,60	6,25	6,43	0,68	0,65	
26,0	0,1	1,5	11,9	14,1	7,10	6,70	6,90	0,73	0,68	
26,5	-1,6	-0,1	13,8	—	—	—	—	—	0,69	
27,0	-8,4	-6,7	—	—	—	—	—	—	0,70	
27,0	Knickung			—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 75 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche*:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excen- tricität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	+0,07	0,00	0,070	0,08	0,08	0,08	
<b>6,0</b>	+0,09	+0,01	0,091	0,16	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	Bei ca. <b>7,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
9,0	+0,11	0,00	0,110	0,23	0,24	0,22	
12,0	+0,13	+0,01	0,131	0,31	0,33	0,29	
15,0	+0,19	0,00	0,190	0,39	0,42	0,36	
18,0	+0,26	-0,03	0,261	0,47	0,53	0,41	
21,0	+0,41	-0,04	0,411	0,55	0,66	0,44	
24,0	+0,79	-0,06	0,792	0,62	0,84	0,40	
25,0	+1,04	-0,08	1,043	0,65	0,98	0,32	
26,0	+1,57	-0,09	1,573	0,68	1,19	0,17	
26,5	+2,10	-0,11	2,105	0,69	1,38	0,00	
27,0	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	
27,0	+5,60	-0,16	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus 2 Winkleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 75 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Bela- stung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilsitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,6	0,7	0,1	0,00	0,07	0,07	0,07	
<b>6,0</b>	1,2	1,4	0,2	0,01	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,14</b>	Bei ca. <b>6,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	1,9	2,2	0,3	0,01	0,23	0,24	0,21	
12,0	2,7	3,0	0,3	0,01	0,31	0,32	0,30	
15,0	3,3	3,9	0,6	0,03	0,39	0,42	0,36	
18,0	3,8	4,9	1,1	0,05	0,46	0,51	0,41	
21,0	4,1	6,2	2,1	0,09	0,55	0,64	0,46	
24,0	3,8	8,3	4,5	0,19	0,64	0,83	0,45	
25,0	3,1	9,4	6,3	0,27	0,68	0,95	0,41	
26,0	1,5	11,9	10,4	0,44	0,73	1,17	0,29	
26,5	-0,1	13,8	13,9	0,59	—	—	—	
27,0	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: *Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 10. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit zweieinigen Kreuzplatten;  
Knotenabstand: 100 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$        $i_{min} = 3,88 \text{ cm}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .

Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ $in \ t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}^*$	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,75	0,70	0,73	0,08	0,08	
6,0	1,3	1,4	1,3	1,7	1,50	1,35	1,43	0,15	0,16	
9,0	1,8	2,1	2,0	2,4	2,10	2,05	2,08	0,22	0,23	
12,0	2,3	2,8	2,6	3,3	2,80	2,70	2,75	0,29	0,31	
15,0	2,7	3,4	3,4	4,3	3,50	3,40	3,45	0,36	0,39	
18,0	3,1	4,1	4,0	5,2	4,15	4,05	4,10	0,43	0,47	
21,0	3,3	4,6	4,9	7,3	5,30	4,75	5,03	0,53	0,55	
24,0	3,3	4,8	6,2	8,7	6,00	5,50	5,75	0,61	0,62	
25,0	3,2	4,6	6,8	9,5	6,35	5,70	6,03	0,64	0,65	
26,0	2,4	4,1	8,0	10,9	6,65	6,05	6,35	0,67	0,68	
26,5	1,9	3,5	8,7	11,9	6,90	6,10	6,50	0,69	0,69	
27,0	0,7	2,5	9,9	13,5	7,10	6,20	6,65	0,70	0,70	
27,5	1,0	0,3	12,2	15,8	7,40	6,25	6,83	0,72	0,72	
28,0	7,7	7,9	—	—	—	—	—	—	0,73	
28,05	Knickung			—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 10. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit zweinieligen Kreuzplatten;  
Knotenabstand: 100 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.  
 $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 616 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 3,88 \text{ »}$ ;       $l = 641 \text{ »}$ .  
 Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Be- lastung $P$ in $t$	Koordinaten des Angriffspunktes		Excen- tricität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen	$\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$	
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,01	-0,03	0,031	0,08	0,08	0,08	
6,0	0,02	-0,07	0,073	0,16	0,16	0,16	
<b>9,0</b>	0,04	-0,07	0,081	0,23	<b>0,24</b>	<b>0,22</b>	Bei ca. <b>9,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
12,0	0,06	-0,08	0,100	0,31	0,33	0,29	
15,0	0,10	-0,09	0,135	0,39	0,42	0,36	
18,0	0,14	-0,12	0,184	0,47	0,52	0,42	
21,0	0,21	-0,17	0,270	0,55	0,64	0,46	
24,0	0,42	-0,21	0,470	0,62	0,78	0,46	
25,0	0,56	-0,22	0,602	0,65	0,86	0,44	
26,0	0,80	-0,25	0,838	0,68	0,98	0,38	
26,5	0,99	-0,27	1,026	0,69	1,06	0,32	
27,0	1,29	-0,28	1,320	0,70	1,17	0,23	
27,5	1,91	-0,29	1,932	0,72	1,41	0,03	
28,0	3,68	-0,31	3,693	0,73	2,03	-0,57	
28,05	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 10. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit zweieinigen Kreuzplatten;

Knotenstand: 100 cm.

Trägheitsmomente.

Trägheitshalbmesser.

Stablängen.

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;

$i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ .

$l_0 = 616 \text{ cm}$ ;

$J_{min} = 579,18 \text{ »}$ ;

$i_{min} = 3,88 \text{ »}$

$l = 641 \text{ »}$ .

Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .

Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ in t	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $l/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,7	0,0	0,00	0,08	0,08	0,08	
6,0	1,4	1,3	0,1	0,00	0,15	0,15	0,15	
9,0	2,1	2,0	0,1	0,00	0,22	0,22	0,22	
12,0	2,8	2,6	0,2	0,01	0,29	0,30	0,28	
15,0	3,4	3,4	0,0	0,00	0,36	0,36	0,36	
<b>18,0</b>	4,1	4,0	0,1	0,00	0,43	<b>0,44</b>	<b>0,43</b>	Bei ca. <b>18,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
21,0	4,6	4,9	0,3	0,01	0,53	0,54	0,52	
24,0	4,8	6,2	1,4	0,06	0,61	0,67	0,55	
25,0	4,6	6,8	2,2	0,09	0,64	0,74	0,54	
26,0	4,1	8,0	3,9	0,17	0,67	0,84	0,50	
26,5	3,5	8,7	5,2	0,22	0,69	0,91	0,47	
27,0	2,5	9,9	7,4	0,32	0,70	1,02	0,38	
27,5	0,3	12,2	11,9	0,51	0,72	1,23	0,21	
28,0	-7,9	—	—	—	—	—	—	
28,05	Knickung.		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit zweiniichtigen Kreuzplatten;  
Knotenabstand: 50 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.

$J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .

Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      =      Spitzenlagerung.

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I..IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	P: F	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,11	0,10	
10,0	1,9	1,8	2,0	1,8	1,85	1,90	1,88	0,20	0,20	
15,0	2,7	2,5	3,0	3,0	2,85	2,75	2,80	0,30	0,30	
20,0	3,5	3,3	4,0	4,1	3,80	3,65	3,73	0,40	0,40	
25,0	4,4	4,0	5,1	5,2	4,80	4,55	4,68	0,50	0,51	
30,0	5,1	4,6	6,1	6,4	5,75	5,35	5,55	0,59	0,61	
34,0	5,6	5,0	7,1	7,2	6,40	6,05	6,23	0,66	0,69	
38,0	6,1	5,3	8,3	8,5	7,30	6,80	7,05	0,75	0,77	
42,0	6,4	5,4	9,4	10,0	8,20	7,40	7,80	0,83	0,85	
46,0	6,3	5,1	11,3	12,0	8,15	8,20	8,18	0,87	0,93	
47,0	6,0	4,8	12,0	12,9	8,45	8,40	8,43	0,89	0,95	
48,0	5,6	4,3	13,0	13,8	9,70	8,65	9,18	0,97	0,97	
49,0	4,7	3,2	14,3	14,9	9,80	8,75	9,28	0,99	0,99	
50,0	3,0	1,3	—	—	—	—	—	—	1,01	
50,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,12	Knickung				—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweineitigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 50 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ in $t$	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excentri- cität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	<i>Spur</i>	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,03	0,00	0,03	0,20	0,20	0,20	
<b>15,0</b>	0,04	0,00	0,04	0,30	<b>0,31</b>	<b>0,29</b>	Bei ca. <b>17,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excent- ricität der Kraftwir- kung.
20,0	0,06	0,00	0,06	0,40	0,41	0,39	
25,0	0,08	0,01	0,08	0,51	0,53	0,49	
30,0	0,12	0,02	0,12	0,61	0,64	0,58	
34,0	0,15	0,02	0,15	0,69	0,71	0,67	
38,0	0,21	0,03	0,21	0,77	0,84	0,70	
42,0	0,32	0,05	0,32	0,85	0,97	0,73	
46,0	0,59	0,07	0,59	0,93	1,18	0,68	
47,0	0,69	0,08	0,69	0,95	1,23	0,67	
48,0	0,93	0,08	0,93	0,97	1,34	0,60	
49,0	1,10	0,08	1,10	0,99	1,44	0,54	
50,0	1,52	0,08	1,52	1,01	1,63	0,39	
50,5	1,89	0,08	1,89	1,02	1,79	0,25	
51,0	2,73	0,07	2,73	1,03	2,15	-0,09	
51,12	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 50 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Belastung $P$ in t	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Differenz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	1,0	1,0	0,0	0,00	0,11	0,11	0,11	
<b>10,0</b>	1,8	2,0	0,2	0,01	0,20	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>	Bei ca. <b>10,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	2,5	3,0	0,5	0,02	0,30	0,32	0,28	
20,0	3,3	4,0	0,7	0,03	0,40	0,43	0,37	
25,0	4,0	5,1	1,1	0,05	0,50	0,55	0,45	
30,0	4,6	6,1	1,5	0,07	0,59	0,66	0,52	
34,0	5,0	7,1	2,1	0,09	0,66	0,75	0,57	
38,0	5,3	8,3	3,0	0,13	0,75	0,88	0,62	
42,0	5,4	9,4	4,0	0,18	0,83	1,01	0,65	
46,0	5,1	11,3	6,2	0,28	0,87	1,15	0,59	
47,0	4,8	12,0	7,2	0,32	0,89	1,21	0,57	
48,0	4,3	13,0	8,7	0,39	0,97	1,36	0,58	
49,0	3,2	14,3	11,1	0,49	0,99	1,48	0,50	
50,0	1,3	—	—	—	—	—	—	
51,12	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co., Brückenbau-Anstalt, Basel.**

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus 2 Winkelisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 50 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Bela- stung $P$ in $t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,00	1,00	1,00	0,11	0,10	*) Apparat III hat stellenweise versagt; die eingestellten Ab- lesungen sind von der 34 $t$ -Belastung ab rechnerisch ermittelt.
10,0	1,7	1,9	1,9	2,0	1,85	1,90	1,88	0,20	0,20	
15,0	2,5	3,1	2,7	3,0	2,75	2,90	2,83	0,30	0,30	
20,0	3,3	4,2	3,4	4,3	3,80	3,80	3,80	0,40	0,40	
25,0	4,0	5,4	4,0	5,5	4,75	4,70	4,73	0,50	0,51	
30,0	4,7	6,5	4,6	6,6	5,65	5,55	5,60	0,59	0,61	
34,0	5,3	7,6	5,2	7,6	6,45	6,40	6,43	0,68	0,69	
38,0	5,7	8,7	5,8	8,6	7,15	7,25	7,20	0,76	0,77	
42,0	6,1	9,9	6,2	9,9	8,00	8,05	8,03	0,85	0,85	
46,0	6,6	10,9	6,6	10,9	8,75	8,75	8,75	0,93	0,93	
47,0	6,8	11,5	6,6	11,2	9,00	9,05	9,03	0,96	0,95	
48,0	7,1	12,3	6,5	11,4	9,25	9,60	9,43	1,00	0,97	
49,0	7,6	12,8	6,3	11,4	9,50	9,50	9,50	1,01	0,99	
50,0	8,2	13,9	5,6	11,2	9,70	9,75	9,73	1,03	1,01	
51,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,7	<i>Knickung</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 50 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$       *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excentri- cität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,00	-0,02	0,02	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,00	-0,06	0,06	0,20	0,20	0,20	
<b>15,0</b>	0,00	-0,10	0,10	0,30	<b>0,31</b>	<b>0,29</b>	Bei ca. <b>15,0 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
20,0	-0,01	-0,13	0,13	0,40	0,42	0,38	
25,0	-0,02	-0,18	0,18	0,51	0,54	0,48	
30,0	-0,02	-0,23	0,23	0,61	0,65	0,57	
34,0	-0,02	-0,32	0,32	0,69	0,75	0,63	
38,0	-0,06	-0,37	0,37	0,77	0,86	0,68	
42,0	-0,08	-0,46	0,47	0,85	0,98	0,72	
46,0	-0,15	-0,55	0,57	0,93	1,12	0,74	
47,0	-0,19	-0,60	0,63	0,95	1,17	0,73	
48,0	-0,27	-0,65	0,70	0,97	1,24	0,70	
49,0	-0,35	-0,66	0,75	0,99	1,29	0,69	
50,0	-0,52	-0,70	0,87	1,01	1,40	0,62	
51,7	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 50 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Bela- stung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen		
						$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00		
<b>5,0</b>	0,9	1,1	0,2	0,01	0,11	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung unsicher; liegt bei ca. <b>5,0 t.</b>
10,0	1,7	2,0	0,3	0,01	0,20	0,21	0,19	
15,0	2,5	3,0	0,5	0,02	0,30	0,32	0,28	
20,0	3,3	4,3	1,0	0,04	0,40	0,44	0,36	
25,0	4,0	5,5	1,5	0,07	0,50	0,57	0,43	
30,0	4,7	6,6	1,9	0,08	0,59	0,67	0,51	
34,0	5,3	7,6	2,3	0,10	0,68	0,78	0,58	
38,0	5,7	8,6	2,9	0,13	0,76	0,89	0,64	
42,0	6,1	9,9	3,8	0,17	0,85	1,02	0,68	
46,0	6,6	10,9	4,3	0,19	0,93	1,12	0,74	
47,0	6,8	11,2	4,4	0,20	0,96	1,16	0,76	
48,0	7,1	11,4	4,3	0,19	1,00	1,19	0,81	
49,0	7,6	11,4	3,8	0,17	1,01	1,18	0,84	
50,0	8,0	11,2	3,2	0,13	1,03	1,16	0,90	
51,7	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co., Brückenbau-Anstalt, Basel.**

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweiniefigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 60 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
 Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Belastung $P$ in $t$	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunktspannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P : F$	
0,0	0,0	*) 0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*) Apparat II unsicher; zeigt Störungen in den beobachteten Zahlenreihen im Belastungsintervalle 20 t aufwärts.
5,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,95	0,90	0,93	0,10	0,10	
10,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,95	1,90	1,93	0,21	0,20	
15,0	3,0	2,7	3,0	2,8	2,90	2,85	2,88	0,31	0,30	
20,0	4,1	3,4	4,2	3,6	3,85	3,80	3,83	0,41	0,40	
25,0	5,1	4,0	5,5	4,3	4,70	4,75	4,73	0,51	0,51	
30,0	6,2	4,4	6,8	5,1	5,65	5,60	5,63	0,60	0,61	
34,0	7,0	4,7	8,1	5,9	6,45	6,40	6,43	0,68	0,69	
38,0	7,9	4,8	9,4	6,5	7,20	7,10	7,15	0,77	0,77	
42,0	8,7	4,7	11,2	7,4	8,05	7,95	8,00	0,85	0,85	
46,0	9,2	4,0	13,4	8,2	8,70	8,60	8,65	0,92	0,93	
47,0	9,2	3,7	14,1	8,6	8,90	8,90	8,90	0,94	0,95	
48,0	9,2	3,1	15,0	9,2	9,20	9,05	9,13	0,97	0,97	
52,5	Knickung		—	—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.* *Trägheitshalbmesser.* *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;  $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;  $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;  $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ . *Spitzenlagerung.*

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Coordina- ten des Angriffs- punktes		Excen- tricität $cm$ $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,03	0,00	0,03	0,10	0,10	0,10	
<b>10,0</b>	0,04	0,00	0,04	0,20	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	Bei ca. <b>12,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
15,0	0,05	0,08	0,09	0,30	0,31	0,29	
20,0	0,09	0,09	0,13	0,40	0,42	0,38	
25,0	0,09	0,18	0,20	0,51	0,55	0,47	
30,0	0,14	0,26	0,30	0,61	0,68	0,54	
34,0	0,18	0,32	0,37	0,69	0,80	0,58	
38,0	0,22	0,42	0,47	0,77	0,92	0,62	
42,0	0,33	0,53	0,62	0,85	1,08	0,62	
46,0	0,52	0,67	0,85	0,93	1,28	0,58	
47,0	0,56	0,72	0,91	0,95	1,34	0,56	
48,0	0,68	0,77	1,03	0,97	1,42	0,52	
49,0	0,82	0,82	1,16	0,99	1,52	0,46	
50,0	1,06	0,92	1,40	1,01	1,67	0,35	
51,0	1,64	1,03	1,94	1,03	1,97	0,09	
52,5	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweieitigen Kreuzplatten*;  
Knotenabstand: 60 cm.

*Trägheitsmomente.*      *Trägheitshalbmesser.*      *Stablängen.*  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
*Querschnittsfläche:*  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      *Spitzenlagerung.*

Belastung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat II	Appa- rat III			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,8	1,0	0,2	0,01	0,10	0,11	0,09	
<b>10,0</b>	1,9	1,9	0,0	0,00	0,21	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>	Bei ca. <b>12,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	2,7	3,0	0,3	0,01	0,31	0,32	0,30	
20,0	3,4	4,2	0,8	0,04	0,41	0,45	0,37	
25,0	4,0	5,5	1,5	0,07	0,51	0,58	0,44	
30,0	4,4	6,8	2,4	0,11	0,60	0,71	0,49	
34,0	4,7	8,1	3,4	0,15	0,68	0,83	0,53	
38,0	4,8	9,4	4,6	0,20	0,77	0,97	0,57	
42,0	4,7	11,2	6,5	0,29	0,85	1,14	0,56	
46,0	4,0	13,4	9,4	0,42	0,92	1,34	0,50	
47,0	3,7	14,1	10,4	0,46	0,94	1,40	0,48	
48,0	3,1	15,0	11,9	0,53	0,97	1,50	0,44	
52,5	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 60 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
 Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Belastung $P$ <i>in t</i>	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000} \text{ cm}$			Schwerpunkt- spannung $\sigma_s \text{ t/cm}^2$ berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\epsilon}{l} \Delta l_0$	$P : F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,90	0,90	0,90	0,10	0,10	
10,0	1,7	1,8	1,9	1,8	1,75	1,85	1,80	0,19	0,20	
15,0	2,5	2,7	3,0	3,2	2,85	2,85	2,85	0,30	0,30	
20,0	3,5	3,5	4,1	4,2	3,85	3,80	3,83	0,41	0,40	
25,0	4,3	4,4	5,2	5,5	4,90	4,80	4,85	0,52	0,51	
30,0	5,1	4,9	6,4	6,5	5,80	5,65	5,73	0,61	0,61	
34,0	5,6	5,4	7,4	7,5	6,55	6,40	6,48	0,69	0,69	
38,0	5,9	6,1	8,3	8,3	7,10	7,20	7,15	0,76	0,77	
42,0	6,4	5,6	10,2	9,5	7,95	7,90	7,93	0,84	0,85	
46,0	6,3	5,0	12,4	11,2	8,75	8,70	8,73	0,93	0,93	
47,0	6,0	4,5	13,3	12,2	9,10	8,90	9,00	0,96	0,95	
48,0	5,4	3,9	14,5	13,2	9,30	9,20	9,25	0,98	0,97	
49,0	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—	
50,0	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	
50,2	<i>Knickung</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	

\*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenabstand: 60 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.

$J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .

Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Be- lastung $P$ <i>in t</i>	Koordinaten des Angriffs- punktes		Excen- tricität <i>cm</i> $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung $t/cm^2$			Bemerkungen
	$x_0 \text{ cm}$	$y_0 \text{ cm}$		im Schwer- punkte $\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen		
				$\sigma_s$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,01	0,00	0,01	0,20	0,20	0,20	
<b>15,0</b>	0,03	0,00	0,03	0,30	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	Bei ca. <b>15 t</b> Beginn des Einflusses der Excen- tricität der Kraftwir- kung.
20,0	0,03	0,02	0,03	0,40	0,41	0,39	
25,0	0,07	0,01	0,07	0,51	0,53	0,49	
30,0	0,12	0,06	0,13	0,61	0,65	0,57	
34,0	0,13	0,04	0,14	0,69	0,73	0,65	
38,0	0,21	0,09	0,23	0,77	0,85	0,69	
42,0	0,32	0,13	0,35	0,85	0,99	0,71	
46,0	0,61	0,15	0,63	0,93	1,19	0,67	
47,0	0,73	0,14	0,74	0,95	1,26	0,64	
48,0	0,94	0,17	0,96	0,97	1,37	0,57	
49,0	1,29	0,16	1,30	0,99	1,53	0,45	
50,0	2,29	0,19	2,30	1,01	1,97	0,05	
50,2	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen,  
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*;  
Knotenstand: 60 cm.

Trägheitsmomente.      Trägheitshalbmesser.      Stablängen.  
 $J_{max} = 1810,20 \text{ cm}^4$ ;       $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;       $l_0 = 610 \text{ cm}$ ;  
 $J_{min} = 1034,70 \text{ »}$ ;       $i_{min} = 4,57 \text{ »}$ ;       $l = 635 \text{ »}$ .  
 Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .      Spitzenlagerung.

Belastung $P$ in t	Beobachtete Faser- verkürzung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$		Diffe- renz $\Delta(\Delta l)$	Ent- sprechende Faser- spannung $\sigma = \eta \Delta(\Delta l)$	Aus den Längen- änderungen berechnete Faserspannungen $t/\text{cm}^2$			Bemerkungen
	Appa- rat I	Appa- rat IV			im Schwer- punkte $\sigma_s$	in den Profilspitzen $\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	0,9	0,0	0,00	0,10	0,10	0,10	
<b>10,0</b>	1,7	1,8	0,1	0,00	0,19	<b>0,19</b>	<b>0,19</b>	Bei ca. <b>12,5 t</b> Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	2,5	3,2	0,7	0,03	0,30	0,33	0,27	
20,0	3,5	4,2	0,7	0,03	0,41	0,44	0,38	
25,0	4,3	5,5	1,2	0,05	0,52	0,57	0,47	
30,0	5,1	6,5	1,4	0,06	0,61	0,67	0,55	
34,0	5,6	7,5	1,9	0,08	0,69	0,77	0,61	
38,0	5,9	8,3	2,4	0,11	0,76	0,87	0,65	
42,0	6,4	9,5	3,1	0,14	0,84	0,98	0,70	
46,0	6,3	11,2	4,9	0,22	0,93	1,15	0,71	
47,0	6,0	12,2	6,2	0,29	0,96	1,25	0,67	
48,0	5,4	13,2	7,8	0,34	0,98	1,32	0,64	
49,0	4,1	—	—	—	—	—	—	
50,0	0,6	—	—	—	—	—	—	
50,2	<i>Knickung</i>		—	—	—	—	—	

Die unter No. 1 und 2 des vorliegenden Abschnitts mitgeteilten Versuchsergebnisse führen zu folgenden Schlüssen:

a. *In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Meyer'schen Versuche (No. 1) geht aus unseren Versuchen die Verwendbarkeit der Excentricitätsgleichung und die Richtigkeit der Navier'schen Spannungsformel bei Inanspruchnahmen des Materials innerhalb der Elasticitätsgrenze hervor.*

Bei Inanspruchnahmen jenseits der Elasticitätsgrenze oder bei Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen, wird die Divergenz zwischen Rechnung und Beobachtung durch Erfahrungs-Koeffizienten auszugleichen sein.

b. *Die Verbiegungen anfänglich centrisch belasteter Druckstäbe beginnen regellos.*

c. *In Übereinstimmung mit älteren Versuchen (vrgl. auch die auf Seite 11 mitgeteilten Fälle) geht aus vorstehenden Versuchsergebnissen hervor, dass das Material centrisch belasteter Druckstäbe sich anfänglich in einem gleichmässigen Spannungszustande befindet; die Kantenspannungen ( $\sigma_1, \sigma_{II}$ ) sind den Schwerpunktspannungen ( $\sigma_s$ ) gleich.* Bezüglich des Eintritts ungleichmässiger Spannungszustände in unserm Versuchsmaterial giebt folgende Zusammenstellung nähere Aufschlüsse:

Serie No.	Ver- such No.	Beginn der ungleichmässigen Materialinanspruchnahme						Mittel der Ver- hältnis- zahlen	Bemerkungen
		Berechnet aus der gemessenen Excentricität		Ver- hältnis zur Knick- kraft	Berechnet aus den gemessenen Kantenspannungen		Ver- hältnis zur Knick- kraft		
		t absolut	t/cm <sup>2</sup>		t absolut	t/cm <sup>2</sup>			
2	16	10,5	0,27	2,65	4,5	0,11	6,20	4,43	
	15	10,5	0,27	2,66	7,5	0,20	3,74	3,20	
	14	7,5	0,20	3,70	(2,0)	(0,05)	(13,85)	—	Unsicher.
	13	6,0	0,16	4,47	(2,0)	(0,05)	(13,85)	—	Unsicher.
	12	9,0	0,21	2,98	12,0	0,31	2,24	2,61	
	11	7,5	0,20	3,60	6,0	0,16	4,50	4,05	
	10	9,0	0,21	3,12	18,0	0,43	1,56	2,34	
3	16	17,5	0,35	2,93	10,0	0,20	5,11	4,02	
	15	15,0	0,30	3,45	(5,0)	(0,12)	(10,34)	—	Unsicher.
	14	12,5	0,25	4,20	12,5	0,25	4,20	4,20	
	13	15,0	0,30	3,34	12,5	0,25	4,01	3,68	
	Summa	120,0	2,72	37,10	(92,0)	(2,13)	(69,60)	28,53	
	Mittel	10,9	0,25	3,37	(8,4)	(0,19)	(6,33)	3,56	

Aus vorstehenden Versuchsergebnissen geht weiter hervor, dass

d. *das Verhältnis der Knickkraft zur Belastung, bei welchem die ungleichmässige Materialinanspruchnahme beginnt, je nach der angewandten Methode, und den Hilfsmitteln der Messung verschieden angetroffen wurde.*

Bei der direkten Messung der Excentricität mit  $\frac{1}{10}$  mm Genauigkeit bewegt sich das fragliche Verhältnis zwischen 2,65 und 4,47 und beträgt im Mittel 3,37. Nach den Ergebnissen der Spannungsmessungen fällt der Beginn der ungleichmässigen Materialinanspruchnahme bei 3 Versuchen schon in die ersten Belastungsphasen, während bei den übrigen 8 Versuchen das fragliche Kraftverhältnis zwischen die weit auseinander liegenden Grenzwerte von 1,56 und 6,20 fällt.

e. *Unter Zugrundelegung der Resultate der direkten Messung der Excentricität würde selbst bei Stäben mit einem Längenverhältnis von:*

$$\frac{l}{i_{\min}} = \frac{641}{3,88} = 166$$

*eine 4,5fache Sicherheit gegen Knickung genügen, um das Stabmaterial innerhalb einer gleichmässigen Materialinanspruchnahme zu erhalten, während die Resultate der Spannungsmessung, soferne man von den 3 Ausnahmefällen absieht, die Anordnung einer 6-fachen Sicherheit zur Erreichung dieses Zustandes fordern.*

*Unsere Versuchsergebnisse sind zu wenig zahlreich, um die Frage des zu verwendenden Sicherheitsgrades endgültig auszutragen. Vorläufig dürfte indessen für das schmiedbare Constructionseisen (Flusseisen) eine 4,0-fache Sicherheit schon aus dem Grunde ausreichen, weil die Unterschiede in der Grösse der Kanten-  
spannungen bei einer mässigen Überschreitung der Grenze der gleichmässigen Materialinanspruchnahme belanglos sind.*

f. *Werden unter Benützung der Excentricitätsformel für die gemessenen Excentricitäten  $n$  die zugehörigen theoretischen An-  
fangs-Excentricitäten  $n_0$  berechnet, so erhält man*

für die Belastung:  $N = \underline{6,0 t}; \underline{12,0 t}; \underline{18,0 t}; \underline{24,0 t}; \underline{26,0 t}; \underline{27,0 t};$   
aus Serie 2;

Versuch No. 16:	$n_0 = 0,003$	0,073	0,040	0,045	0,028	0,080	cm
» » 15:	» = 0,009	0,029	0,043	0,061	0,044	0,034	»
» » 14:	» = 0,022	0,029	0,039	0,184	0,376	0,708	»
» » 13:	» = 0,102	0,130	0,153	0,167	0,341	—	»
» » 12:	» = 0,023	0,045	0,118	0,154	0,293	—	»
» » 11:	» = 0,067	0,066	0,086	0,125	0,179	—	»
» » 10:	» = 0,061	0,075	0,096	0,091	0,082	0,057	»

für die Belastung:  $N = \underline{10,0 t}; \underline{20,0 t}; \underline{30,0 t}; \underline{38,0 t}; \underline{46,0 t}; \underline{48,0 t}; \underline{50,0 t};$   
aus Serie 3;

Versuch No. 16:	$n_0 = 0,025$	0,033	0,049	0,055	0,097	0,112	0,122	cm
» » 15:	» = 0,053	0,102	0,134	0,185	0,217	0,242	0,219	»
» » 14:	» = 0,032	0,099	0,155	0,224	0,259	0,309	0,250	»
» » 13:	» = 0,008	0,017	0,051	0,053	0,100	0,140	—	»
» » 12:	» = 0,032	0,069	0,089	0,115	0,187	0,178	—	»

Aus vorstehenden Versuchsergebnissen geht hervor, dass von einer constanten, vom Trägheitshalbmesser des Stabquerschnitts abhängigen Anfangsexcentricität geradliniger Druckstäbe, die deren schliessliche Verbiegung erklären würde, schlechterdings keine Rede sein kann. Irrtümlich ist daher auch der Befund des Hrn. Baurat *J. Kübler*, vrgl. die *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, von Dr. *R. Mehmke* und Dr. *M. Cantor*, 1900, S. 313, welcher lautet:

*»Aus dem Ausdrucke  $f = i\sqrt{2} \cdot \text{tg } \psi$  geht hervor, dass zur Erklärung des Vorgangs bei der Knickung nicht nötig ist, willkürlich eine kleine Excentricität für die Druckkraft  $P$  anzunehmen, wie dies seither mit richtigem Gefühl als Notbehelf geschehen ist, sondern dass diese Excentricität stets von vorneherein schon vorhanden ist und selbst bei der sorgsamsten Fernhaltung aller Zufälligkeiten und Ungenauigkeiten den ganz bestimmten Wert von  $i\sqrt{2}$  hat. Diese Excentricität tritt übrigens in der Stabmitte auf und nicht an den Stabenden.«*

Unsere Beobachtungen weisen unzweifelhaft darauf, dass die während der Belastung sich bildenden Excentricitäten völlig regelloser, zufälliger Natur sind, und dass durch Annahme einer bestimmten Anfangs-Excentricität eine Übereinstimmung der Rechnung und des thatsächlichen Verhaltens des prismatischen

Stabes in der Druckprobe sich im Allgemeinen nicht erzielen lässt.

g. Wird unter Benützung der Spannungsmessungen der Knickungskoeffizient der Schwarz-Rankine'schen Formel berechnet, so erhält man:

für die Belastung:

	$N = 6,0 t;$	$12,0 t;$	$18,0 t;$	$24,0 t;$	$26,0 t;$	$27,0 t.$
aus Serie 2; Versuch						
No. 16: $\eta = 0,000001$	0,000002	0,000002	0,000005	0,000009	0,000017	
» 15: » = » 0	» 1	» 3	» 7	» 13	» 16	
» 14: » = » 1	» 0	» 2	» 6	» 12	» 24	
» 13: » = » 3	» 4	» 6	» 20	» 44	» —	
» 12: » = » 0	» 2	» 9	» 17	» 24	» —	
» 11: » = » 1	» 2	» 5	» 13	» 25	» —	
» 10: » = » 2	» 3	» 4	» 10	» 17	» 25	

für die Belastung:

	$N = 10,0 t;$	$20,0 t;$	$30,0 t;$	$38,0 t;$	$46,0 t;$	$48,0 t;$	$50,0 t.$
aus Serie 3; Versuch							
No. 16: $\eta = 0,000001$	0,000001	0,000003	0,000005	0,000014	0,000020	0,000032	
» 15: » = » 1	» 3	» 6	» 9	» 16	» 21	» 26	
» 14: » = » 1	» 1	» 2	» 14	» 25	» 32	» 39	
» 13: » = » 0	» 1	» 3	» 5	» 15	» 21	» 40	
» 12: » = » 1	» 2	» 5	» 9	» 21	» 29	» —	

Vorstehende Resultate bestätigen unseren früheren Befund, wonach von einer Konstanz des Knickungskoeffizienten keine Rede seinkann. Sie weisen des bestimmtesten darauf, dass die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel mit einem, etwa der Grenze der Tragkraft angepassten Knickungskoeffizienten für andere Belastungszustände die herrschenden Kantenspannungen auszudrücken, ausser Stande ist. Die bisherige Verwendungsart der Schwarz-Rankine'schen Formel ist somit eine irrtümliche.

### 3. Resultate der Untersuchung des Abhängigkeitsverhältnisses der Schwerpunktsspannung ( $\sigma_s = \beta_k$ ) zum massgebenden Längenverhältnis prismatischer Druckstäbe.

#### a. Beschreibung des Versuchsmaterials.

##### a. Bauholz.

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

Den Knickungsproben lagen folgende 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 so viel als möglich blos der Wunsch geltend gemacht worden, möglichst astreines Holz zu erlangen.

Für den Bezug des Versuchsmaterials zu unseren 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 Abb. 13 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 ein 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. «

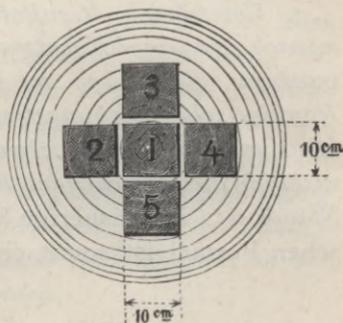


Abb. 13.

Das Material unserer Knickungsproben aus den Jahren 1888, teilweise auch 1894 und 1895 ist aus dem Handel genommen.

Die Balken erhielten ca.  $16 \times 16$  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,  $16 \times 16$  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 grad- und scharfkantig behobelt, die Endflächen senkrecht zur Balkenaxe abgeschnitten und ebenflächig abgerichtet einzuliefern «.

### β. Gusseisen.

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

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

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 Rohrabchnitte 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.

*γ. Schmiedbares Eisen.*

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

1. Rundeisen.

Geliefert wurden 20 Stück Schweiss- und 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.

## 2. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 10<sup>a</sup> mit  
14,8 *kg* Gewicht 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.

⌋ Doppel-Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 8<sup>a</sup> mit  
9,5 *kg* Gewicht pro *l. m.*

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.

⊕ Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen; deutsches Normal-Profil  
No. 6<sup>a</sup> mit 5,3 *kg* Gewicht 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.

## 3. T-Eisen.

Breitfüßiges T-Eisen; deutsches Normal-Profil No. 12:6  
mit 13,8 *kg* Gewicht 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.

⊕ Kreuzprofil aus 2 T-Eisen; deutsches Normal-Profil  
No. 9:4<sup>1/2</sup> mit 7,9 *kg* Gewicht 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.

## 4. U-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 14 mit 15,9 *kg* Gewicht 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.

□□ Doppel-U-Eisen; deutsches Normal-Profil No. 8 mit  
8,6 *kg* Gewicht 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.

Total: 48 Einzelversuche.

### 5. I-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 18 mit 21,9 *kg* Gewicht  
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.

Total: 24 Einzelversuche.

**Material-Lieferant: Burbacher-Hütte bei Malstatt.**

### 1. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 10.  
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von  
80 bis einschl. 400 *cm.*

└└ Doppel-Winkeleisen; zusammengenietet aus deutschen  
Normal-Profilen No. 8.

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

⊕ Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen; zusammengenietet aus  
deutschen Normal-Profilen No. 6<sup>a</sup>.

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

### 2. T-Eisen.

Breitfüßiges T-Eisen; Burbacher Profil No. 27.

Geliefert wurden 11 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von  
90 bis einschl. 430 *cm.*

⊕ Kreuzprofil aus 2 T-Eisen; zusammengenietet aus  
Burbacher Profilen No. 16.

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

### 3. U-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 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 Normal-Profile No. 8.

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

### 4. I-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 12.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von  
50 bis einschl. 250 *cm.*

Deutsches Normal-Profil No. 17.

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

**Material-Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern.**

Breitfüssiges T-Eisen; Burbacher Profil No. 24; Schweisseisen,  
1 Stab von 560 *cm* Länge.

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

⌋⌋ Doppel-Winkeleisen; 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.

## b. 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 Schmiedeeisenplatten 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 steigend solange Druck ausgeübt 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 besondern Fällen die Richtung der Durchbiegung bezw. 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 entweder freie Beweglichkeit der Balkenenden oder sie konnten vermittelst 4 kräftigen Stellschrauben fixiert werden, so dass eine

Tangentenänderung der Axe der Balkenenden während der Versuchsausführung ausgeschlossen blieb.

Abb. 14 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

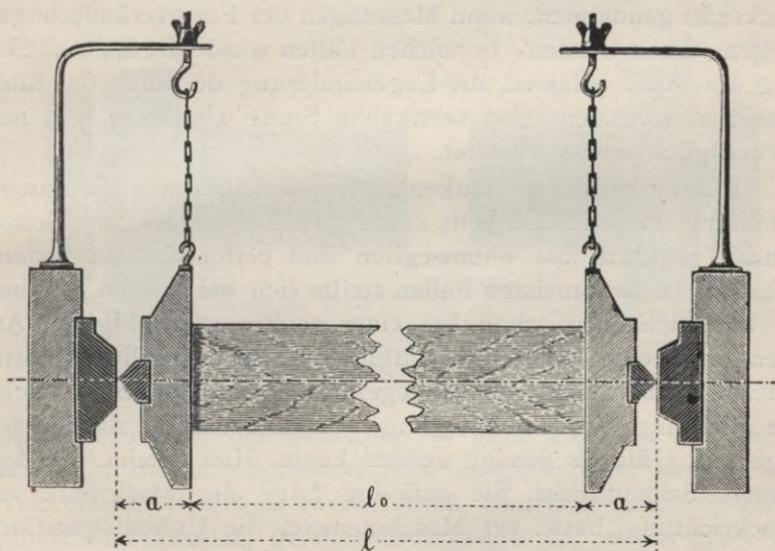


Abb. 14.

Balken von unter 2,0 m Länge in der Mitte aufgehängt und mit ca.  $\frac{3}{4}$  des Balkengewichtes 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, welche 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.

*β. 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.

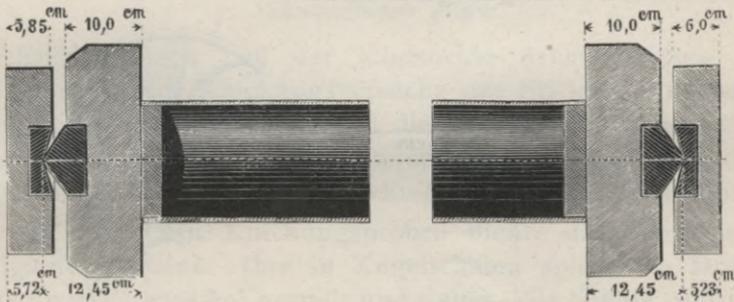


Abb. 15.

Die Konstruktion der Druckplatten geht aus Abb. 15 hervor. Man sieht die mit Spitzenkörnern ausgerüsteten, beweglichen Druckplatten trugen auswechselbare, centrisch 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 Abb. 16, Gradbogen montiert, welche vermittelst gut gespannter Schnüre die Bewegungen der Rohrmitte zu verfolgen gestatteten.

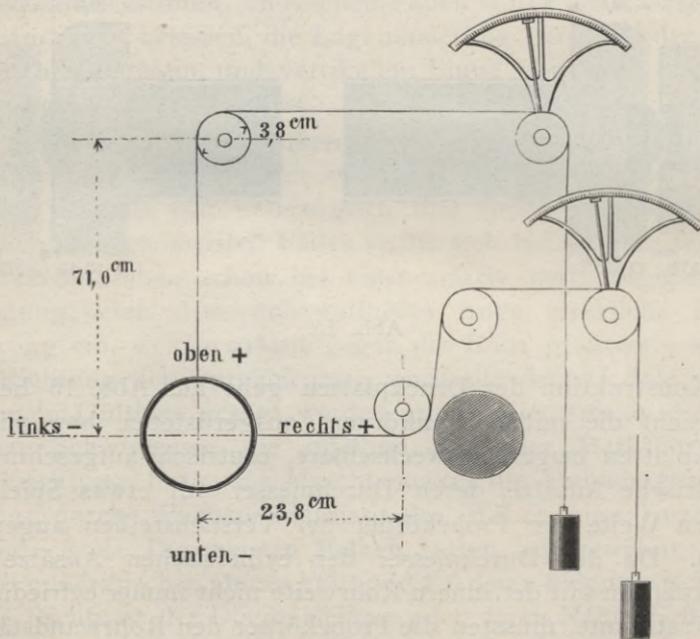


Abb. 16.

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.

#### *γ. Schmiedbares Eisen.*

Einrichtungen und der allgemeine Arbeitsvorgang bei Durchführung der Knickungsversuche mit Stäben in schmiedbarem Eisen entsprechen 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 centrisc befestigt, gusseiserne Platten, in deren Mitte den in Abb. 15 dargestellten ähnliche, gehärtete, stählerne, napfartig gehöhlte Cylinder eingelassen 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 centrisc 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 *t* abgemindert. Belastet wurde so oft die Libelle des Werder'schen Wagebalkens einspielte. Eine bestimmte Dauer der Krafterwirkung konnte nicht eingehalten werden. Die in nachstehenden Zusammenstellungen eingetragenen Biegungrichtungen entsprechen den Erhebungen durch Visur längs den geknickten Stäben.

## c. Resultate der Knickungsproben.

### a. Bauholz.

Lauf. No.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge						$F$	$i$		0/0	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$F$	$i$	0/0	$N t$		$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	
cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm	0/0									
<b>Knickungsversuche aus dem Jahre 1883.</b>															
<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	»	156,1	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.		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl.	Beobachtete		Berechnete	
		Balkenlänge				$F$	$i$		Feuch- tigkeit	Knickspannung		Knickspannung	
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$cm^2$	$cm$	$\%$	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer	
		$cm$	$cm$	$cm$	$cm$				$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$
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.	Holz- gattung	Urspr.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch- tigkeit  %	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge		$b$ cm	$s$ cm	$F$ cm <sup>2</sup>	$i$ cm	absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$			Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$		
		$l_0$ 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	14,4	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	36,3	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.		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl.	Beobachtete		Berechnete	
		Balkenlänge							Feuch- tigkeit	Knicksungs- kraft		Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$F$	$i$		0/0	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
		cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm			N t	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$
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	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge				$b$	$s$	$F$	$i$		0/0	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$cm^2$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$
<b>Knickungsversuche aus dem Jahre 1888.</b>															
1. Serie: <i>Spitzenlagerung.</i>															
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.	Holzgattung	Urspr.		Wirk-same		Querschnitts-abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch-tigkeit	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$F$	$i$	0/0	absolut		$t/cm^2$	Euler	Tet-majer		
		cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm		$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$			
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-	Querschnitts-		Mittlere	Träg-	$\frac{l}{i}$	Mittl.	Beobachtete		Berechnete	
		Balkenlänge		abmessungen in der Balkenmitte		Quer-	heits-		Feuch-	Knickungs-		Knickspannung	
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$F$	$i$		tigkeit	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
		cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm	o/o	N t	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	
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	—	0,123
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		
162	Rot- tanne	620,0	310,0	14,80	14,35	212,4	4,15	74,7	15,0	29,25	0,138	—	0,148
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		
164	Rot- tanne	520,0	260,0	14,77	14,30	211,2	4,13	63,0	15,0	37,50	0,178	—	0,172
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		
166	Weiss- tanne	725,0	362,5	14,20	13,85	196,7	4,00	90,6	15,0	19,25	0,098	—	0,113
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		
168	Weiss- tanne	620,0	310,0	14,65	13,83	202,6	4,00	77,5	15,0	25,50	0,126	—	0,141
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		
170	Weiss- tanne	520,0	260,0	14,55	13,70	199,3	3,96	65,7	15,0	34,00	0,171	—	0,165
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		

3. Serie: Bestimmung der Elastizitätskoeffizienten  
und der Druckfestigkeit des Versuchsmaterials.

									$Nt$	$\beta_d$	$\gamma_d$	$\varepsilon_d$	
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.	Holzgattung	Urspr.	Wirk-	Querschnitts-		Mittlere	Träg-	$\frac{l}{i}$	Mittl.	Beobachtete		Berechnete	
		Balkenlänge		abmessungen		Querschnitts-	heits-		Feuch-	Knickungs-		Werte des	
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	fläche	halb-			tigkeit	absolut	$t/cm^2$	Grenz-
		cm	cm	cm	cm	$F$	$i$	0/0	$N t$		$\beta_d$	$t/cm^2$	$\gamma_d$
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-	25,0	—	—	—	201,1	—	—	15,0**	61,90	0,308	—	—
179	tanne	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-	25,0	—	—	—	182,1	—	—	15,0**	61,35	0,337	—	—
183	tanne	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.*

										$N$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$
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.		Wirk- same		Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge						$F$	$i$		0/0	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
		$l_0$	$l$	$b$	$s$	$F$	$i$				$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	
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	—	0,203		
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.	Holz- gattung	Urspr.	Wirk- same	Querschnitts- abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge		$b$ cm	$s$ cm	$F$ cm <sup>2</sup>	$i$ cm		0/0	absolut N t	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$
		$l_0$	$l$										
		cm	cm										
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	0,226	—	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- abmessungen in der Balkenmitte	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch- tigkeit	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach		
		Balkenlänge							absolut	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler	Tet- majer $\beta_k$	
		$l_0$ cm	$l$ cm	$b$ cm	$s$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	0/0					$N t$
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	»	470,0	489,2	15,02	15,00	225,3	4,34	112,7	13,3	15,20	0,067	0,078	—
255	»	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 eingeliferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr.	Wirksame	Querschnitts-abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Querschnitts-fläche	Trägheits-halbmesser	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuch-tigkeit	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge		$b$	$s$	$F$	$i$		0/0	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer
		$l_0$	$l$	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm		$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	
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-	Querschnitts-		Mittlere	Träg-	$\frac{l}{i}$	Mittl.	Beobachtete		Berechnete	
		Balkenlänge	same	abmessungen						Quer-	heits-	Feuch-	Knickungs-
		$l_0$ cm	$l$ cm	$b$ cm	$s$ cm	schnitts-	halb-	tigkeit	absolut	$t/cm^2$	Euler		Tet-
						fläche	messer		0/0	$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	majer
						$F$ cm <sup>2</sup>	$i$ cm						$\beta_k$
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 eingelierten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr.	Wirksame	Querschnitts-abmessungen in der Balkenmitte		Mittlere Querschnitts-fläche	Trägheits-halb-messer	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtig-keit	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
		Balkenlänge		$b$	$s$	$F$	$i$		0/0	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer
		$l_0$	$l$	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm		N t	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$
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 II enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Als Abscissen des orthogonalen Coordinatensystems sind die massgebenden Längenverhältnisse ( $l:i =$  freie Knicklänge: kleinster Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche), als Ordinaten in  $t/cm^2$  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  $l$ , vrgl. Abb. 14, bei Flächenlagerung auf unwandelbaren Druckflächen die halbe Balkenlänge in Rechnung gestellt.

In Tafel II wurden eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche* der tabellarischen Zusammenstellungen auf Seite 95—108;
2. bei gleichartigen Versuchen, welche in den Zusammenstellungen auf Seite 95 bis 108 das Ziehen eines Mittelwerts gestatteten, *das massgebende Mittel, sowie der Grösst- und Kleinstwert* der Einzelversuchsgruppen;
3. für die Nadelholzsorten: Föhre, Lärche, Weisstanne und Rottanne *die Werte der Gruppenmittel* für die massgebenden Längenverhältnisse:

$\frac{l}{i} =$	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 nachstehenden Folgerungen:

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

b. *Centrischem Drucke unterworfenen Balken mit Längenverhältnissen  $l:i < \text{ca. } 100$  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 ( $l:i > \text{ca. } 100$ ) 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 Gefüge-Zerstörungen, das bekannte Ineinanderschieben der Fasern, nur ausnahmsweise auf.*

d. *Bei Balken mit vorwiegend unelastischem Charakter ( $l:i < \text{ca. } 100$ ) 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, dem Ineinanderpressen der Fasern, welches stets an Astknoten beginnt, 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  $l:i > 150$  ist derselbe bereits verschwindend klein, wenn die Astknoten verteilt, gut verwachsen und nicht aussergewöhnlich zahlreich sind.*

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

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

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

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

*gruppiert. Werden die Constanten  $a$  und  $b$  derart bestimmt,*

dass die Gerade zur Schwerlinie der Versuchsergebnisse wird, so findet man:

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

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

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

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

schreiben dürfen, welche Gleichung für  $\frac{l}{i} = 100$  den nämlichen Wert liefert, als vorstehende empirische Knickungsformel.

*Für alle Fälle der Anwendung hinreichend genau wird somit für lufttrockenes Bauholz, welches dem schmiedbaren Eisen ähnlich, dem Proportionalitätsgesetze folgt und in astreinem Zustande meist scharf ausgeprägte Elasticitätsgrenze besitzt, die Knickspannung durch folgende Formelgruppen ausgedrückt:*

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

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

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

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

Bezeichnet  $F$  in  $\text{cm}^2$  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  $\frac{l}{i} = 1,8$  bis 100 durch:

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

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

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

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

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

$$\beta_d = 0,293 \text{ t/cm}^2$$

und unter Berücksichtigung der Grundformeln:

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

liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel:

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

folgende Werte des Knickungskoeffizienten  $\eta$ :

für $\frac{l}{i} = 10$ :	$\eta = 0,000693$ ;	für $\frac{l}{i} = 90$ :	$\eta = 0,000183$ ;
= 20:	» 385;	= 100:	» 196;
= 30:	» 274;	= 120:	» 225;
= 40:	» 224;	= 140:	» 248;
= 50:	» 194;	= 160:	» 254;
= 60:	» 182;	= 180:	» 261;
= 70:	» 177;	= 200:	» 268.
= 80:	» 176;		

Hierans geht hervor, dass der Knickungskoeffizient weder constant, noch durch *eine* Funktion von  $\frac{l}{i}$  sich ausdrücken lässt.

\*) Sofern man die Würfestigkeit eines Materials als dessen Druckfestigkeit definiert, so ist 0,293 nicht die eigentliche Druckfestigkeit des Nadelholzes, denn diese Zahl ist aus der Gleichung

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

für  $\frac{l}{i} = 0$  hervorgegangen. Sie ist der Druckfestigkeit des Nadelholzes verwandt und kann zu Vergleichszwecken recht wohl als »eine Art von Druckfestigkeit« angesehen und verwendet werden.

## II. Abteilung: Gusseisen.

Lauf. No.	Urspr.	Wirksame	Mittl. äusserer	Mittlere	Mittlere	Trägheits-	$\frac{l}{i}$	Beobachtete		Berechnete	
	Rohrlänge		Durchmesser	Wandstärke	Querschnittsfläche	halbmesser		Knickungskraft		Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$		absolut	$t/cm^2$	Euler	Tetmajer
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm		$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$
<b>Stehender Hochofenguss von Choindez; Spitzenlagerung.</b>											
<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	5,85	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	Mittl. äusserer Durch- messer	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge								absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$	$N t$	$\beta_k$				
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm						
2. Serie:												
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.		Wirk- same	Mittl. äusserer Durch- messer	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge								absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet- majer
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$	$Nt$					
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm						
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		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halbmesser	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$					
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm					

**Carels, frères, Constructeurs à Gand (Belgique).**

*1. Serie:*

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	

*2. Serie:*

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. Wirk-same		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wand-stärke	Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$	$N t$				
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm					
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		
					Mittel	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-same		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halbmesser	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickspannungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut $Nt$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler $\beta_k$	Tet-majer $\beta_k$
	$l_0$ cm	$l$ cm	$d$ cm	$s$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm					
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	4,37	—	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	13,1	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. Wirk-same		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halbmesser	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$	$N t$				
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm					
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. Wirk-same		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheits-halbmesser	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut	$t/cm^2$	Euler	Tetmajer
	$l_0$	$l$									
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm					
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

2. Serie: Röhrenguss.

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.		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheitshalbmesser	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut	$t/cm^2$	Euler	Tetmajer
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$	$N t$				
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-	Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheitshalb-messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach		
	Rohrlänge							absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer	
	$l_0$	$l$	$d$	$s$	$F$	$i$	$N t$					$\beta_k$
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	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	—		5,39
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.		Wirksame Rohrlänge	Mittl. äußerer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheitshalbmesser	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	$l_0$	$l$						absolut	$t/cm^2$	Euler	Tetmajer
	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm	$\frac{l}{i}$	N t	$\beta_k$	$\beta_k$
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		Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheitshalb-messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler $\beta_k$	Tet-majer $\beta_k$
	$l_0$ cm	$l$ cm	$d$ cm	$s$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ 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		
114	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. Rohrlänge		Wirk-same Durchmesser	Mittlere Wand-stärke	Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	$l_0$	$l$						absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler $\beta_k$	Tet-majer $\beta_k$
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	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		
					Mittel	4,57	60,2	90,38	2,63	—	2,46

Lauf. No.	Urspr.	Wirk-	Mittl. äusserer Durchmesser	Mittlere Wandstärke	Mittlere Querschnittsfläche	Trägheitshalbmesser	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge							absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler $\beta_k$	Tetmajer $\beta_k$
	$l_0$ cm	$l$ cm	$d$ cm	$s$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ 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
545	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.		Wirk- same	Mittl. äusserer Durch- messer	Mittlere Wand- stärke	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs- kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Rohrlänge								absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$
	$l_0$ <i>cm</i>	$l$ <i>cm</i>	$d$ <i>cm</i>	$s$ <i>cm</i>	$F$ <i>cm^2</i>	$i$ <i>cm</i>						
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	
959	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 in der Stabmitte		Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer		Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Stablänge		$b$	$s$	$F$	$i$	$\frac{l}{i}$	absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer
	$l_0$	$l$						$N t$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$
	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm					
Diener & Co., Zürich.											
1. Serie: Gewöhnlicher Guss*).											
Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0×3,0 cm Querschnitt; Spitzlagerung.											
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	0,76	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 Worder'schen Maschine in Zürich.

Lauf. No.	Urspr. Wirk-same		Querschnitts-abmessungen in der Stabmitte		Mittlere Quer-schnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungs-kraft		Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach						
	Stablänge		$b$	$s$	$F$	$i$		absolut	$t/cm^2$	Euler	Tet-majer					
	$l_0$	$l$										$\beta_k$	$\beta_k$			
cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm	N t	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$	$\beta_k$						
<i>2. Serie: Gewöhnlicher Guss.</i>																
Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0×3,0 cm Querschnitt; <i>Flächenlagerung.</i>																
Nachstehende Zahlenwerte sind berechnet für eine freie Knicklänge :																
$l = \frac{1}{1,9} l_0$																
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 III enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Nach wie vor sind als Abscissen des orthogonalen Coordinatensystems die massgebenden Längenverhältnisse ( $l:i$ ), als Ordinaten in  $t/cm^2$  diejenigen mittleren, spezifischen Pressungen eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist. Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge, wurde der Körnerabstand, vgl. Fig. 14 bzw. 15, somit

$$l = l_0 + 2a$$

in Rechnung gestellt.

In Tafel III 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 Herren Diener & Co. in Zürich.

3. *Die Gruppenmittel* für die Längenverhältnisse

$\frac{l}{i} = 0$	bis einschliesslich	9;	$\frac{l}{i} = 46$	bis einschliesslich	50;		
= 9	»	»	10;	= 50	»	»	60;
= 10	»	»	12;	= 60	»	»	65;
= 12	»	»	15;	= 65	»	»	69;
= 15	»	»	17;	= 69	»	»	75;
= 17	»	»	20;	= 75	»	»	80;
= 20	»	»	25;	= 80	»	»	90;
= 25	»	»	30;	= 90	»	»	95;
= 30	»	»	35;	= 95	»	»	100;
= 35	»	»	44;	= 100	»	»	115.
= 44	»	»	46;				

Die Ergebnisse unserer Versuche lassen sich nun folgendermassen zusammenfassen:

1. *Das Material unserer Knickungsproben mit gussisernen 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 ‰;	0,781 ‰;	0,346 ‰;	1,334 ‰;	1,470 ‰;	0,058 ‰.
Marke S (Säulenguss)					
2,678 »	0,910 »	0,601 »	1,691 »	1,103 »	0,077 »
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,536 »	0,758 »	0,364 »	2,418 »	1,717 »	0,052 »
Für <i>Carels-frères-Eisen</i> :					
2,600 »	0,600 »	0,437 »	2,394 »	1,725 »	0,035 »
Für <i>Choindez-Eisen</i> :					
2,503 »	1,128 »	0,373 »	1,640 »	1,096 »	0,065 »

3. Die Gütebiege- und Zerreißproben, ausgeführt an vor-schriftsgemäss 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/cm <sup>2</sup> ;	1,78 t/cm <sup>2</sup> ;	8,09 t/cm <sup>2</sup> .
Marke S (Säulenguss)				
0,46 »	1,60 »	2,70 »	1,77 »	8,39 »
Marke RL (gewöhnlicher Guss)				
0,38 »	1,40 »	2,54 »	1,77 »	8,22 »
Für <i>Choindez-Eisen</i> : (Mittel aus 4 Versuchen).				
0,51 »	1,94 »	2,33 »	1,43 »	6,20 »
Für <i>Gusseisen von Diener &amp; Co.</i> :				
0,62 »	1,83 »	2,75 »	1,64 »	7,88 »

*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 ‰;	0,820 ‰;	0,433 ‰;	1,504 ‰;	1,364 ‰;	0,080 ‰.
Marke S (Säulenguss)					
2,679 »	1,002 »	0,546 »	1,455 »	0,978 »	0,082 »
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,605 »	0,660 »	0,355 »	2,307 »	1,712 »	0,052 »
Für <i>Choindez-Eisen</i> :					
2,996 »	0,999 »	0,275 »	1,239 »	0,744 »	0,043 »
Für <i>Gusseisen von Diener &amp; Co.</i> :					
2,890 »	0,680 »	0,459 »	1,961 »	0,653 »	0,100 »

4. Die Beobachtung lehrt und bestätigt die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse (vergl. Tafel III) 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. Der Verlauf des Linienzuges, welcher die Gruppenmittel verbindet, ist ein parabolischer; eine Wendetangente, die die Verwendung einer Funktion, ähnlich der Schwarz-Rankine'schen Formel motivieren würde, liegt nicht vor und ist an und für sich unwahrscheinlich. Das beobachtete Verhalten des Gusseisens in der Druckprobe ist Folgewirkung der Gefügebeschaffenheit. Je graphitreicher das Eisen, je gröber und dünkler das Korn, je grösser unter gleichen Verhältnissen die bleibenden Formänderungen. Eine bestimmte Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze besitzt das Gusseisen nicht, und da dasselbe dem Proportionalitätsgesetze auch nicht folgt, können die auf dem Proportionalitäts-Gesetze fussenden Formeln für das Gusseisen auch nicht stimmen; sie werden die herrschenden Spannungszustände nur näherungsweise zum Ausdrucke bringen.

5. Gusseisen-Stäbe mit einem Längenverhältnis 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 Gusseisens herrührenden Abweichungen vom Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze des schiedbaren Eisens, so dass für Gusseisen-Stäbe von  $l:i > \text{ca. } 80$  an die Euler'sche Knickungsformel auch für das mittel- und feinkörnige, graue Gusseisen benützt und die spezifische Knickspannung näherungsweise durch:

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

ausgedrückt werden darf.

6. Für Gusseisen-Stäbe mit Längenverhältnissen  $l:i < \text{ca. } 80$  passt die Euler'sche Formel nicht; die Mittelwerte der spezifischen Knickspannungen liegen, wie oben bereits angeführt wurde, um eine parabolische Kurve gruppiert, welche hinlänglich genau durch die Gleichung:

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

in  $t/\text{cm}^2$  ausgedrückt wird.

7. Ist  $F$  in  $cm^2$  der Querschnittsinhalt eines centrisch axial belasteten Gusseisen-Stabes, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher Bruch eintritt, ausreichend genau durch folgende Formelgruppen ausgedrückt:

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

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

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

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

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

$$\beta_d = 7,76 \text{ t/cm}^2*$$

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

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

folgende Werte des Knickungskoeffizienten  $\eta$ :

für $\frac{l}{i} = 10$	wird $\eta = 0,00175$ ;	für $\frac{l}{i} = 90$	wird $\eta = 0,00066$ ;
= 20	» = » 098;	= 100	» = » 68;
= 30	» = » 075;	= 110	» = » 70;
= 40	» = » 065;	= 120	» = » 71;
= 50	» = » 061;	= 130	» = » 73;
= 60	» = » 060;	= 140	» = » 74;
= 70	» = » 060;	= 150	» = » 74;
= 80	» = » 063;		u. s. w.

\*) Mit Bezug auf den Zahlenwert: 7,76 vergleiche die auch hier zutreffende Fussbemerkung auf Seite 112. Diese ist keine Würfel- festigkeit und hervorgegangen aus der Gleichung:

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

für  $\frac{l}{i} = 0$ .

Aus vorstehenden Zahlenreihen geht hervor, dass der Koeffizient  $\eta$  der *Schwarz-Rankine'schen* Formel selbst für das, dem Proportionalitätsgesetze nicht folgende *Gusseisen* nicht *constant* sei. Für Längenverhältnisse  $\frac{l}{i} > 30$  ist indessen die Abweichung der Werte von  $\eta$  belanglos; dies der Grund, dass die Rechnungs-Resultate nach *Schwarz-Rankine* (für  $\sigma_a = 7,76 \text{ t/cm}^2$  und  $\eta = 0,00068$ ) und unseren vorstehenden Formeln befriedigend übereinstimmen; vrgl. nachstehende Zahlenwerte:

Für $\frac{l}{i} =$	Knickspannungen nach der		Für $\frac{l}{i} =$	Knickspannungen nach der	
	Parabel-Gleichung $\beta_k \text{ t/cm}^2$	Schwarz-Rankine $\beta_k \text{ t/cm}^2$		Euler'schen Formel $\beta_k \text{ t/cm}^2$	Schwarz-Rankine $\beta_k \text{ t/cm}^2$
30	4,84	4,81	100	0,99	0,99
40	3,81	3,72	110	0,82	0,84
50	3,09	2,87	120	0,69	0,72
60	2,47	2,25	130	0,58	0,62
70	1,96	1,79	140	0,54	0,54
80	1,55	1,45	160	0,39	0,42

Für das *Gusseisen*, für welches bei  $\frac{l}{i} > 30$  die *Schwarz-Rankine'sche* Formel an der Grenze eine befriedigende Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen zeigt, kann diese Formel nur den Wert einer empirischen Formel beanspruchen, die im Vergleiche mit unserer Parabel selbst der äussern Form nach keinen Vorzug besitzt. *Wir empfehlen indessen die Anwendung der Schwarz-Rankine'schen Formel aus dem Grunde nicht, weil für abweichende Werte des Zähler's ( $\beta_a$ ) sich auch  $\eta$  ändert und der für die Grenze ( $\beta_a = 7,76$ ) ermittelte Durchschnittswert von  $\eta$  für andere Werte von  $\beta_a$  keine Gültigkeit besitzen kann.*

### III. Abteilung: Schweisseisen.

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

#### 1. Serie: Material der Burbacherhütte.

Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.

#### L-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 10.

Qualitätsverhältnisse:  $\beta_z = 3,5 t/cm^2$ ;  $\lambda_2 = 17,0 \%$ ;  $c = 0,60 cm t$ .

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:  $\beta_z = 3,34 t/cm^2$ ;  $\lambda_2 = 17,6 \%$ ;  $c = 0,59 cm t$ .

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	—

#### C-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 14.

Qualitätsverhältnisse:  $\beta_z = 3,75 t/cm^2$ ;  $\lambda_2 = 23,1 \%$ ;  $c = 0,87 cm t$ .

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.		Wirk- same	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Stablänge						Knickkraft absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Richtung der Durchbiegung		Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	1. Versuch	2. Versuch						

**I-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 12.**

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

19	50	73	14,20	1,22	59,8	35,63	2,51	<b>I</b> ←	←	—	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; deutsches Normalprofil Nr. 17.**

25	80	103	25,7	1,62	63,6	55,25	2,17	<b>I</b> ←	<b>I</b> →	—	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	—

**└┐-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8.**

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

31	100	123	24,4	2,47	50,0	61,13	2,51	<b>└┐</b> ←	<b>└┐</b> ←	—	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	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete	
	Stablänge						Knickkraft	Richtung der Durchbiegung		Knickspannung $t/cm^2$ nach		
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	absolut $Nt$	$t/cm^2$ $\beta_k$		1. Versuch	2. Versuch	Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$	

**⊕**-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 6a.

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; deutsches 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	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete	
	Stablänge						Knickkraft absolut	Richtung der Durchbiegung	Knickspannung		nach	
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ cm <sup>2</sup>	$i$ cm	$Nt$	$t/cm^2$ $\beta_k$			1. Versuch	2. Versuch	Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$

### 2. Serie: Formeisen vom 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., Hayange.

Nachstehende Zahlenwerte entsprechen je einem Versuche.

58*	8,1	—	6,07	( $\alpha=2,79$ )	—	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	( $\alpha=3,28$ )	—	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.		Wirk- same	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickschpannung $t/cm^2$ nach	
	Stablänge						Knickkraft absolut $Nt$	Richtung der Durchbiegung		Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$	
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	$t/cm^2$ $\beta_k$	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., Hayange.

Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.

#### └-Eisen; deutsches 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	—

#### └-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 12 : 6.

83*	100	50	20,80	3,06	16,3	57,03	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  $t/cm^2$ .

Lauf. No.	Urspr.		Wirk- same	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete	
	Stablänge						Knickkraft absolut $N t$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Richtung der Durchbiegung		Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	1. Versuch	2. Versuch			Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$		
<b>C</b> -Eisen; deutsches 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; deutsches 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	—

**F**-Eisen; deutsches 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.		Wirk- same	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $\frac{t}{cm^2}$ nach	
	Stablänge						absolut	$t/cm^2$ $\beta_k$	Richtung der Durchbiegung		Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ cm <sup>2</sup>	$i$ cm	$Nt$	$\beta_k$			1. Versuch	2. Versuch		

**⊕**-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 6.

Nietdurchmesser:  $d = 1,5 \text{ cm}$ ; Nietteilung:  $t = \text{ca. } 33 \text{ s} = 20,0 \text{ cm}$ ;  
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; deutsches Normalprofil Nr. 9 : 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>.

Nietdurchmesser:  $d = 1,5 \text{ cm}$ ; Nietteilung:  $t = \text{ca. } 20 \text{ s} = 16,0 \text{ cm}$ ;  
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; deutsches Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser:  $d = 1,5 \text{ cm}$ ; Nietteilung:  $t = \text{ca. } 27 \text{ s} = 16,0 \text{ cm}$ ;  
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.		Wirksame Stablänge	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	$l_0$	$l$					absolut	$t/cm^2$	Richtung der Durchbiegung		Euler	Tet- majer
	cm	cm	$F$	$i$	1. Versuch	2. Versuch			$\beta_k$	$\beta_k$		
							$Nt$	$\beta_k$				

**5. Serie: Rundeisen von de Wendel & Co., Hayange.**

Nachstehende Zahlen entsprechen je einem Versuche.

126*	8,1	—	6,07	( $d=2,79$ )	—	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	( $d=3,28$ )	—	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., Hayange.**

Sämtliche Zahlen sind im Mittelwerte aus 2 Versuchen.

**L-Eisen; deutsches 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	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Stablänge						Knickkraft absolut $Nt$	$t/cm^2$ $\beta_k$	Richtung der Durchbiegung		Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	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	—	

**L**-Eisen; deutsches 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; deutsches 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; deutsches 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	Mittlere Quer- schnitts- fläche	Träg- heits- halb- messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Stablänge						Knickkraft absolut $N t$	Richtung der Durchbiegung		Euler $\beta_k$	Tet- majer $\beta_k$	
	$l_0$ cm	$l$ cm	$F$ $cm^2$	$i$ cm	$t/cm^2$ $\beta_k$	1. Versuch		2. Versuch				

**┌**-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8.

Nietdurchmesser:  $d = 1,8 \text{ cm}$ ; Nietteilung:  $t = 31 \text{ s} = 25,0 \text{ cm}$ ;  
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; deutsches Normalprofil Nr. 6.

Nietdurchmesser:  $d = 1,5 \text{ cm}$ ; Nietteilung:  $t = 33 \text{ s} = 20,0 \text{ cm}$ ;  
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; deutsches Normalprofil Nr. 9:  $4\frac{1}{2}$ .

Nietdurchmesser:  $d = 1,5 \text{ cm}$ ; Nietteilung:  $t = 20 \text{ s} = 16,0 \text{ cm}$ ;  
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	Mittlere Querschnitts-fläche	Träg-heits-halb-messer	$\frac{l}{i}$	Beobachtete				Berechnete Knickspannung $t/cm^2$ nach	
	Stablänge						Knickkraft	Richtung der Durchbiegung		Euler	Tet-majer	
	$l_0$	$l$	absolut	$t/cm^2$	1. Versuch			2. Versuch	$\beta_k$			$\beta_k$
	cm	cm	$F$	$i$		$N t$	$\beta_k$					
<b>CC-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8.</b>												
Nietdurchmesser: $d = 1,5 \text{ cm}$ ; Nietteilung: $t = 30 s = 16,0 \text{ cm}$ ;												
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 zusammengestellten 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, Querschnittsänderungen, Materialfehler u. d. m. 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 Stabaxe u. d. m.*

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

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

a. die Nietabstände (Teilung) die 70-fache Dicke der gefassten Flanschen nicht überschreiten. Die Grenze der noch zulässigen Nietabstände lässt sich aus unsern Versuchen nicht ableiten;

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

g. Die Durchbiegung der Druckstäbe mit Längenverhältnissen  $l : i > \text{ca. } 112$  beim Schweisseisen, und 105 beim Flusseisen erfolgt in der Regel allmähig und sind die Formänderungen vorwiegend elastischer Art. Stäbe mit kleinern Längenverhältnissen verbiegen sich meist plötzlich, oft erst an der Grenze des Tragvermögens; die Formänderungen tragen sodann der Hauptsache nach den Charakter unelastischer Körper.

h. Das Tragvermögen prismatischer Druckstäbe an der Grenze hängt von deren Längenverhältnisse ab. Bei einem Längenverhältnisse  $\frac{l}{i}$  von ca. 112 beim Schweisseisen und ca. 105 beim Flusseisen erreicht die Schwerpunkts-Spannung ( $\sigma_s = \beta_k = N : F$ ) die Elasticitätsgrenze. An dieser Grenze hört das Proportionalitätsgesetz auf und naturgemäss tritt hier eine Aenderung im gesetzmässigen Verlaufe der Schwerpunkts-Spannungen (Knickspannungen) auf, die die Möglichkeit einer, das gesamte Intervall der Längenverhältnisse umfassenden Knickformel ausschliesst.

Stäbe mit Längenverhältnissen von

$$\frac{l}{i} < \text{ca. } 112 \quad \text{beim Schweisseisen und}$$

$$\frac{l}{i} < \text{ca. } 105 \quad \text{beim Flusseisen (mit einer Zugfestigkeit von } \leq 4,5 \text{ t/cm}^2\text{).}$$

folgen dem Euler'schen Gesetze nicht (vergl. Taf. IV und V) und bestätigen unsere Versuche, dass in diesem für das Konstruktionsfach besonders wichtigen 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 durch

beim Schweisseisen:

beim Flusseisen:

(mit einer Zugfestigkeit  $\leq 4,5 \text{ t/cm}^2$ )

$$\text{für } \frac{l}{i} = \text{ca. } 10 \text{ bis ca. } 112$$

$$\frac{l}{i} = \text{ca. } 10 \text{ bis ca. } 105$$

$$\beta_k = 3,03 - 0,0129 \frac{l}{i} \text{ t/cm}^2;$$

$$\beta_k = 3,10 - 0,0114 \frac{l}{i} \text{ t/cm}^2;$$

$$N = \left[ 3,03 - 0,0129 \frac{l}{i} \right] F;$$

$$N = \left[ 3,10 - 0,0114 \frac{l}{i} \right] F \text{ in } t.$$

Stäbe mit Längenverhältnissen  $\frac{l}{i} > 112$  bzw. 105

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

beim Schweisseisen:

beim Flusseisen:

$$\beta_k = 19740 \left( \frac{i}{l} \right)^2 \text{ t/cm}^2;$$

$$\beta_k = 21220 \left( \frac{i}{l} \right)^2 \text{ t/cm}^2;$$

$$N = F \beta_k = 19740 F \left( \frac{i}{l} \right)^2 t;$$

$$N = F \beta_k = 21220 F \left( \frac{i}{l} \right)^2 t.$$

Den Constanten vorstehender Formeln entspricht ein Elasticitätsmodul von:

$$\varepsilon = 2000 \text{ t/cm}^2;$$

$$\varepsilon = 2150 \text{ t/cm}^2;$$

i. Für stahlartige Flusseisensorten darf der Elasticitätsmodul zu:

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

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

bei Stäben mit Längenverhältnissen

$$\frac{l}{i} = \text{ca. } 10 \text{ bis } 105$$

$$\frac{l}{i} \geq \text{ca. } 105$$

$$\beta_k = 3,21 - 0,0116 \frac{l}{i} \text{ t/cm}^2;$$

$$\beta_k = 22200 \left( \frac{i}{l} \right)^2 \text{ t/cm}^2;$$

$$N = \left[ 3,21 - 0,0116 \frac{l}{i} \right] F \text{ in } t.$$

$$N = 22200 F \left( \frac{l}{i} \right)^2 \text{ in } t;$$

k. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Schweiss- und Flusseisens von beziehungsweise 3,03 und 3,10 t/cm<sup>2</sup>\*) und unter Benützung der unter lit. h angeführten Formeln für die Knickspannung  $\beta_k$ , liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel:

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

folgende Werte des Knickungskoeffizienten:

<i>Schweisseisen:</i>			<i>Flusseisen.</i>		
für $\frac{l}{i} = 10$	wird: $\eta = 0,000448$ ;		für $\frac{l}{i} = 10$	wird: $\eta = 0,000370$ ;	
= 20	» = » 235;		= 20	» = » 200;	
= 30	» = » 164;		= 30	» = » 133;	
= 40	» = » 129;		= 40	» = » 109;	
= 50	» = » 109;		= 50	» = » 088;	
= 60	» = » 096;		= 60	» = » 078;	
= 70	» = » 088;		= 70	» = » 071;	
= 80	» = » 082;		= 80	» = » 065;	
= 90	» = » 078;		= 90	» = » 061;	
= 100	» = » 075;		= 100	» = » 058;	
= 110	» = » 074;		= 110	» = » 064;	
= 120	» = » 084;		= 120	» = » 077;	
= 130	» = » 094;		= 130	» = » 086;	
= 140	» = » 102;		= 140	» = » 095;	
= 160	» = » 115;		= 160	» = » 107;	
= 180	» = » 122;		= 180	» = » 116;	
= 200	» = » 130;		= 200	» = » 122;	
= 220	» = » 132;		= 220	» = » 125;	
= 240	» = » 134;		= 240	» = » 128;	
= 250	» = » 136;		= 250	» = » 130.	

Vorstehende Zahlenreihen bestätigen die einleitenden Bemerkungen in lit. h und weisen darauf, dass der Knickungskoeffizient  $\eta$  der Schwarz-Rankine'schen Formel weder konstant ist, noch durch eine Funktion von  $\frac{l}{i}$  dargestellt werden kann.

\*) Bezüglich der Zahlenwerte 3,03 u. 3,10 vrgl. die Fussbemerkung auf Seite 112. Es sind keine s. g. Würfelstärken. Für den Grenzwert  $\frac{l}{i} = 0$  hervorgegangen aus den Gleichungen:

$$\begin{aligned} \beta_k &= 3,03 - 0,0129 \left(\frac{l}{i}\right) \\ &= 3,10 - 0,0114 \left(\frac{l}{i}\right) \end{aligned}$$

sind sie den Würfelstärken nahe verwandt und dürfen bei Vergleichen als eine Art von Druckfestigkeit behandelt werden.

#### 4. Resultate der Untersuchung des Einflusses der Verbindungsart von Formeisen auf die Knickfestigkeit zusammengesetzter, schmiedeiserner Druckstäbe.

##### a. Schweisseisen-Stäbe (aus dem Jahre 1892).

##### a. Allgemeines.

Zur Gewinnung eines Urteils bezüglich des Einflusses der Verbindungsart einzelner Profile auf die Knickfestigkeit zusammengesetzter Druckstäbe wurden in der schweizerischen Materialprüfungs-Anstalt zu verschiedenen Zeiten Versuche ausgeführt, welche ungeachtet ihres Umfangs zu keinem endgültigen Abschlusse führten, weil man in Ermangelung der erforderlichen Kraft der Maschinen diese Versuche auf Stäbe mit relativ grossen Längenverhältnissen ( $l:i$ ) beschränken musste.

Den ersten Anlass zur Ausführung dieser Druckversuche gab die *Mönchensteiner*-Brückenkatastrophe (14. Juni 1891) und beziehen sich die Versuche der I. Serie auf Stäbe, welche den mittleren Streben der eingestürzten *Mönchensteiner* Brücke nachgebildet waren. Zu diesem Ende wurden aus der *Burbacher-Hütte* 24 Stück 750 cm lange Winkeleisen, in Schweisseisen, Konstruktionsqualität, bezogen und in der Brückenbau-Anstalt von *Th. Bell & Co.* in Kriens zu

6 Stück Streben mit Kreuzprofil aus 2 Winkeln  $8 \times 8 \times 1,1$  cm und  
 6 » » » » » » 2 »  $10 \times 10 \times 1,4$  cm

vergl. Abb. 17, unter Einhaltung der konstruktiven Anordnungen, wie sie die Strebe der Birsbrücke besaßen, verarbeitet. Zunächst wurden 24 Stück 40,0 cm lange Gurtstücke, bestehend aus Steg ( $40 \times 1,0$ ), zwei Winkeleisen ( $9 \times 9 \times 1,0$ ) und zwei Gurtlamellen (zu etwa  $40 \times 1,0$ ), erzeugt und auf diese sechs nach Anleitung der Abb. 17 abgebundene Winkelstreben derart aufgenietet,

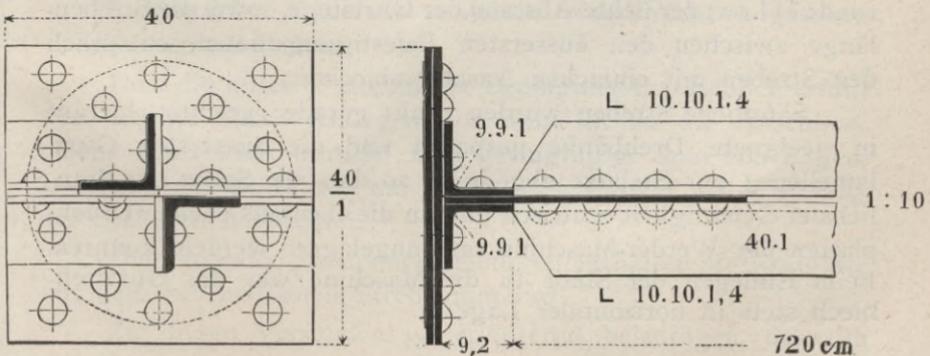


Abb. 17.

dass die Winkel mit etwa 2 mm Spielraum an die Gurtwinkel stiessen (vergl. Abb. 17). Die Länge der Winkel dieser Streben betrug rund 720 cm; der lichte Abstand der Anschlussbleche 659 cm; die Stablänge zwischen den äussersten Befestigungsnieten 667 cm. Jede Strebe besass fünf im rechten Winkel versetzte viernietige Verbindungsplatten (vergl. Abb. 19), von welchen eine in die Stabmitte fiel und  $\perp$  zur Ebene des Anschlussbleches angeordnet war.

Auf diese Weise wurden drei Streben mit  $8 \times 8 \times 1,1$ , drei weitere mit  $10 \times 10 \times 1,4$  starken Winkeln angefertigt. Wir wollen diese Streben, zum Unterschiede von den übrigen, in der Folge als *«Streben mit einfachen Anschlussblechen»* bezeichnen.

Bei den übrigen sechs Streben wurden die Winkel (vergl. Abb. 18) über die Gurtwinkel gekröpft und mittelst Winkel und

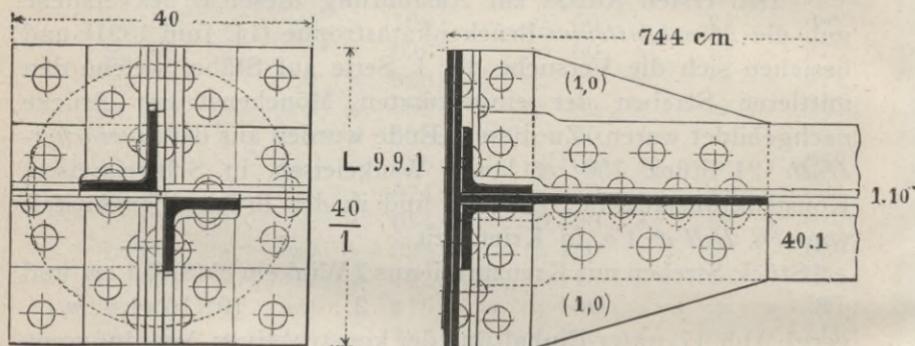


Abb. 18.

Kreuzplatten derart abgesteift, dass eine Tangentenänderung der Stabende von vornherein nahezu vollkommen ausgeschlossen war. Diese Probekörper sollen in der Folge als *«Streben mit Kreuzplatten»* angeführt werden. Ihre totale Länge betrug rund: 744 cm; der lichte Abstand der Gurtstege, sowie die Strebenlänge zwischen den äussersten Befestigungsnieten, entsprach den Streben mit einfachen Anschlussblechen.

Sämtliche Streben wurden exakt gerade gerichtet, hierauf in geeignete Drehbänke gespannt und die äussersten Gurtlamellen  $\perp$  zur Stabaxe abgedreht, so dass die Stäbe mit thunlichster Genauigkeit centrisch und an die ebenfalls ebenen Druckplatten der Werder-Maschine satt angelagert werden konnten. Beim Einlegen der Stäbe in die Maschine war das Gurtstehblech stets in horizontaler Lage.

Verbiegungen der Stäbe beim Transport, sowie beim Auf- und Abladen zu verhindern, wurden dieselben in der Werkstätte der Herren Th. Bell & Co. in Kriens an angemessen starke Holzbalken gebunden und in diesem Zustande in die eidgen. Materialprüfungs-Anstalt eingeliefert.

Die Einspannung dieser Streben in die Werder'sche Festigkeitsmaschine erfolgte unter Berücksichtigung der gebotenen Vorsichtsmassregeln. Um das Moment des Eigengewichts der Stäbe zu parallisieren, wurden dieselben bei den ersten vier Versuchen in den Dritteln, bei den übrigen symmetrisch zur Mitte in Abständen von etwa 1,45 *cm* von dieser, mittelst Seilchen gefasst, die über Rollen liefen und an deren Ende Gegengewichte von zusammen 0,8 bezw. 0,7 der Stabgewichte angebracht wurden.

Nachdem die Stäbe wie beschrieben ausgerüstet, centrisch in der Maschine lagen, wurde die Geradheit derselben mittelst Libellen geprüft. Sämtliche Stäbe erwiesen sich hierbei als nahezu vollkommen gerade. Nun wurde ein Druck von 5,0 *t* ausgeübt und hierauf die Arretierschrauben der Druckplatten allmählich gleichmässig fest angezogen, so dass diese und somit auch die dagegen befindlichen Gurtlamellen der Probestäbe keinerlei Bewegung zu vollführen im stande waren.

Aus der Art der Einspannung der Stäbe geht hervor, dass

1. die Stäbe mit Kreuzplatten als starr, unbeweglich eingespannt,
2. die Stäbe mit einfachen Anschlussblechen als nicht völlig beweglich, jedoch um die Kanten der Gurtwinkel mehr oder weniger drehbar gelagert,
3. sämtliche Stäbe als centrisch eingespannt angesehen werden dürften.

Dass die unter 1. angeführte Bedingung thatsächlich erfüllt war, konnte durch Auflegen von Libellen an die Anschlussbleche kontrolliert werden. Eine geringfügige Spur von Lagenänderung der Luftblase war bloss *nach Eintritt der Knickung* der Stäbe zu beobachten.

Die folgenden Zusammenstellungen enthalten die Resultate mit dem beschriebenen Strebenmaterial.

Zu diesen Versuchen ist erläuternd beizufügen, dass im

Gegensatz zu den übrigen Versuchsstäben, die Streben No. 4\* und 10\*, vergl. die Zusammenstellungen, die Versuchsergebnisse, mit fünf-, jedoch zweinietigen Verbindungsplatten versehen waren und zwar dies aus dem Grunde, um die Wirkung dieser Verbindungsbänder gegenüber den in Abb. 19 dargestellten, vier-nietigen kennen zu lernen.

*β. Resultate der Untersuchung der Festigkeits-Verhältnisse des Versuchsmaterials.*

Das von der *Burbacher-Hütte* gelieferte Versuchsmaterial hatte folgende Beschaffenheit:

Resultate der Zerreißprobe.

Im Mittel aus 4 Versuchen.

	Winkel 8/8/1,1 cm.	Winkel 10/10/1,4 cm.
Elastizitätsmodul . . . . .	2080 $t/cm^2$ ;	2091 $t/cm^2$
Grenzmodul . . . . .	1,50 »	1,48 »
Streckgrenze . . . . .	2,22 »	2,11 »
Zugfestigkeit . . . . .	3,49 »	3,45 »
Kontraktion . . . . .	26,8 %	25,9 %
Bruchdehnung . . . . .	21,3 »	20,3 »
Dehnung nach Bruch		
auf 10 cm Messlänge . . . . .	26,1 »	23,5 »
» 20 » » . . . . .	23,7 »	21,9 »
Qualitätskoeffizient . . . . .	0,87	0,76

Gefüge der Bruchfläche: sehnig geschichtet, mit Spuren von Schweissnähten.

Resultate der Kaltbruchprobe.

Im Mittel aus 2 Versuchen.

Stabdimensionen . . . . .	5,10×1,11 cm;	4,88×1,40 cm.
Biegungswinkel . . . . .	$\alpha = 167^\circ$ ;	$= 112^\circ$ .
Mittlerer Krümmungsradius . . . . .	$\rho = 1,74$ cm;	$= 2,38$ cm.
Krümmungskoeffizient . . . . .	$\kappa = 31,9$	$= 29,4$ .

Resultate der Rotbruchprobe.

Im Mittel aus 2 Versuchen.

Stabdimensionen . . . . .	5,10×1,11 cm;	4,88×1,40 cm.
Biegungswinkel . . . . .	$\alpha = 180^\circ$ ;	$= 180^\circ$ .
Mittlerer Krümmungsradius . . . . .	$\rho = 0,99$ cm;	$= 0,75$ cm.
Krümmungskoeffizient . . . . .	$\kappa = 56,1$ ;	$= 93,3$ .

Lauf.	No.	Querschnittsfläche ohne Nietabzug $cm^2$	Trägheitshalbmesser in $cm$ 1 u. 11 zur Ebene des Anschlussbleches	Stablängen in $cm$		Knick-Kräfte		Bemerkungen		
				total $l_0$	zwischen den äussersten Nieten $l$	beobachtet absolut $t$	berechnet nach Tetmajer mit $0,5 l_1$ absolut $t$			
1		33,0	3,08	743	667	17,30	0,52	13,9	0,42	Bei etwa 11 $t$ Beginn d. Steigens, Bewegungsrichtung vorwiegend aufwärts; schliessl. Knickrichtung angenähert in der Richtung d. grössten Trägheitshalbmessers, vertikal: — 5,0 $cm$ , horizontal: etwa 2,0 $cm$ .
2		33,0	3,08	743	667	17,50	0,53	13,9	0,42	Beginn des Steigens bei etwa 10 $t$ ; Bewegungs- und Knickrichtung fast vertikal; vertikal: — 7,4 $cm$ , horizontal: etwa 0,6 $cm$ .
3		33,0	3,08	743	667	18,88	0,57	13,9	0,42	Aehnlich wie vorher, schliessliche Verbiegung vertikal: — 7,2 $cm$ , horizontal: Spur.
				Im Mittel:		17,89	0,54	13,9	0,42	
<b>2. Kreuzstreben aus 2 Winkelseisen 10/10/1,4 <math>cm</math>.</b>										
4*		52,3	3,82	743	667	37,20*	0,71	34,0	0,65	Bei etwa 20 $t$ Spur von Sinken; ziemlich plötzliche Knickung angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers; ziemlich deutl. ausgeprägte Sinusoide, schliessliche Verbieg., vertikal: 5,8 $cm$ , horiz.: 2,0 $cm$ .
5		52,3	3,82	743	667	34,25	0,66	34,0	0,65	Bei etwa 18 $t$ Beginn des Steigens; Stab verliert ziemlich allmählich sein Tragvermögen. Schliessliche Knickrichtung vorwiegend aufwärts. Verbiegung beträgt vertikal: — 6,6 $cm$ , horizontal: 1,0 $cm$ .
6		52,3	3,82	743	667	38,50	0,74	34,0	0,65	Bei etwa 20 $t$ Beginn. d. Bewegung. Schliessl. Verbiegung vertikal: 5,4 $cm$ , horiz.: 0,8 $cm$ .
				Im Mittel aus 11 und 12:		36,38	0,70	34,0	0,65	

Lauf- No.	Quer- schnitts- fläche ohne Niet- abzug $cm^2$	Trägheitshalb- messer in $cm$  Klein- wert $\frac{1}{2}$ min.	1 u. II zur Ebene des Anschluss- bleches	Stablangen in $cm$  total $l_0$	Knick-Kräfte		berechnet nach Tetraeder mit $0,5 t_1$  absolut $\frac{t}{cm^2}$	Bemerkungen
					zwischen den Innereisen Nieten $l$	beobachtet  absolut $\frac{t}{cm^2}$		

1. Kreuzstreben aus Winkelisen 8/8,1,1  $cm$ .

7	33,1	3,08	3,74	744	667	37,75	1,14	53,6	1,62	Ausgeprägte Sinusoide; Biegungrichtung vorerst vorwiegend vertikal, dann angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers; Verbiegung schliesslich: vertikal: — 4,7 $cm$ , horizontal: 7,7 $cm$ .
8	33,5	3,08	3,74	745	667	38,75	1,16	53,6	1,62	Wie vorher; schliessliche Verbiegung vertikal: 7,0 $cm$ , horizontal: 4,9 $cm$ .
9	33,1	3,08	3,74	745	667	32,50	0,98	53,6	1,62	Wie oben; schliessliche Verbiegung vertikal: 3,3 $cm$ , horizontal: 3,2 $cm$ .
		Im Mittel:				36,33	1,09	53,6	1,62	

2. Kreuzstreben aus 2 Winkelisen 10/10,1,4  $cm$ .

10*	52,4	3,82	4,69	744	667	46,30*	0,88*	99,6	1,90	Ziemlich plötzliche Knickung. Ausgeprägte Sinusoide, Biegungrichtung angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers. Schliessliche Verbiegung vertikal: 6,5 $cm$ , horizontal: 4,0 $cm$ .
11	52,3	3,82	4,69	745	667	56,00	1,07	99,6	1,90	Bei 20 $t$ Spur von Bewegung. Stab bleibt sodann fast unverändert. Alles andere wie vorher. Schliessliche Verbiegung vertikal: — 4,5 $cm$ , horizontale: 4,2 $cm$ .
12	52,3	3,82	4,69	745	667	72,50	1,39	99,6	1,90	Wie bei No. 4*, Stab bis nahe an der Knickgrenze, fast unbeweglich, schliessliche Verbiegung vertikal: 10,9 $cm$ , horizontal: 8,8 $cm$ .
		Im Mittel aus 5 und 6:				64,25	1,23	99,6	1,90	

Güte der Schweissung.

Die Güte der Schweissung war bei dem gesamten Versuchsmaterial normal.

Fassen wir die gewonnenen Resultate zusammen, so ergibt sich:

1. Die anfängliche Richtung der Verbiegungen sämtlicher Stäbe war vorwiegend vertikal, d. h. senkrecht zur Ebene der Anschlussbleche.

2. Die schliessliche Ausknickung erfolgt selbst bei den Streben mit Kreuzplatten, entgegen der Theorie und den bisherigen Erfahrungen in einzelnen Fällen senkrecht zur Ebene der Anschlussbleche, der Mehrzahl nach angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers des Kreuzprofils, also in der Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers der Einzelwinkel.

3. Die Knickkräfte der Streben mit Kreuzplatten (feste Einspannung) liegen im Mittel um 47,5 bezw. um 55,0 % unter denjenigen Werten, welche für die Richtung des kleinsten Knickungswiderstandes unter zu Grundelegung der für Schweisseisen und Längenverhältnisse der Stäbe  $l:i < 110$  gewonnenen Knickformeln, vrgl. Seite 147, berechnet wurden.

4. Die Biegungsrichtung der Probestreben mit einfachen Anschlussblechen war der Hauptsache nach durch ihre Biegefähigkeit längs der Gurtwinkelkanten bestimmt. Es mussten daher die beobachteten Knickkräfte etwas grösser als diejenigen ausfallen, welche für die Richtung des kleinsten Widerstands unter Annahme von Spitzenlagerung und einer Stablänge von 667 cm vorausberechnet wurden.

Auf Grund der unter 1, 2, 3 und 4 angeführten Versuchsergebnisse darf geschlossen werden, dass die viernietigen Verbindungsplatten bei der Anordnung, wie sie die Mönchensteiner Birsbrücke besass, bei welcher das Verhältnis von Abstand der Verbindungsstellen zum kleinsten Trägheitshalbmesser der Einzelwinkel

$$\frac{l}{i} = \frac{110}{1,545} = 71; \text{ bezw. } = \frac{110}{1,940} = 57$$

betrug, beim Schweisseisen zur Vereinigung der Winkel zu einem, mit dem vollen Trägheitsmomente des Kreuzquerschnitts arbeitenden Stabes nicht ausreichten.

b. Flusseisen (aus den Jahren 1899—1900).

a. Allgemeines.

In vorliegenden Versuchsreihen gelangen Stäbe serienweise mit constantem Längenverhältnisse ( $l : i$ ) und kreuzförmigem Querschnitt bestehend aus 2 bzw. 4 Winkeleisen zur Anwendung. Sämtliche Versuchs-Serien sollten zwischen Spitzenkörpern, also möglichst vollkommen beweglich gelagert, den Knickversuchen unterworfen werden. Für die 4 winkligen Stäbe mit Zehner- und Zwölfer-Winkeln, reichte die verfügbare Kraft der Maschinen der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt nicht mehr aus und wir sahen uns genötigt, die Druckversuche mit diesen Stäben in den

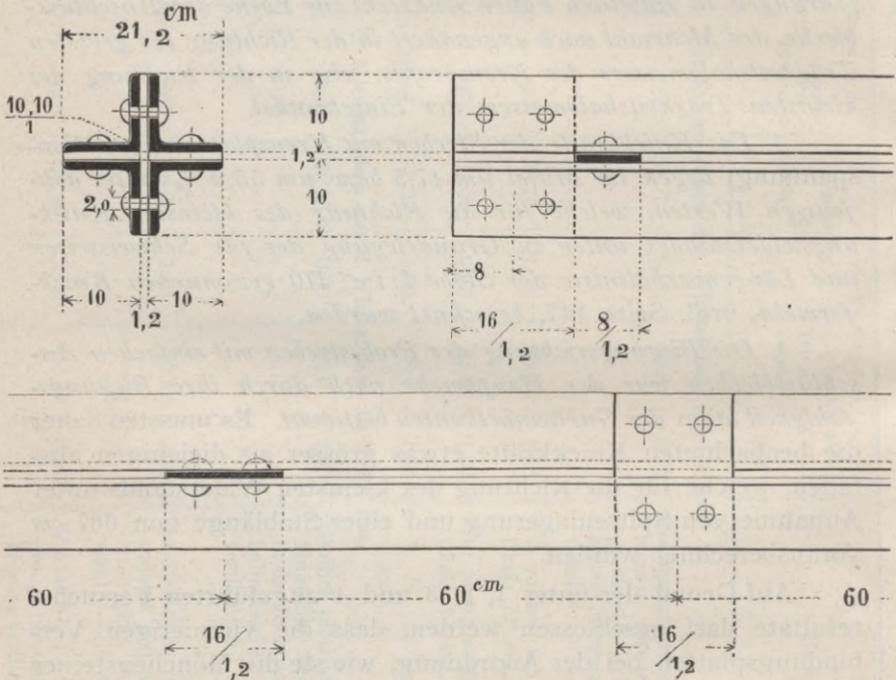


Abb. 19.

vgl. preuss. mechanisch-technischen Versuchsanstalten in Charlottenburg ausführen zu lassen (vgl. das Vorwort zur 2. Aufl.). Nach vergeblichen Bemühungen, für diese Versuche passende Druckplatten mit Spitzenlagerung zu erstellen, musste der Arbeitsplan für die nach Charlottenburg versandten Druckstäben geändert, die Versuche mit fester Flächenlagerung ausgeführt werden.

Das gesamte Versuchsmaterial bestand somit

für *Spitzenlagerung* aus:

16 Stück Druckstäben, Kreuzprofil aus 2 Achter-Winkeln; Längenverhältnis $\frac{l}{i} = 202$
16 » » » » 2 Zehner- » » » = 165
16 » » » » 2 Zwölfer- » » » = 139
16 » » » » 4 Achter- » » » = 172

für *Flächenlagerung* aus:

16 Stück Druckstäben, Kreuzprofil aus 4 Zehner-Winkeln; Längenverhältnis $\frac{l^*)}{i} = 66,8$
16 » » » » 4 Zwölfer- » » » = 56,8

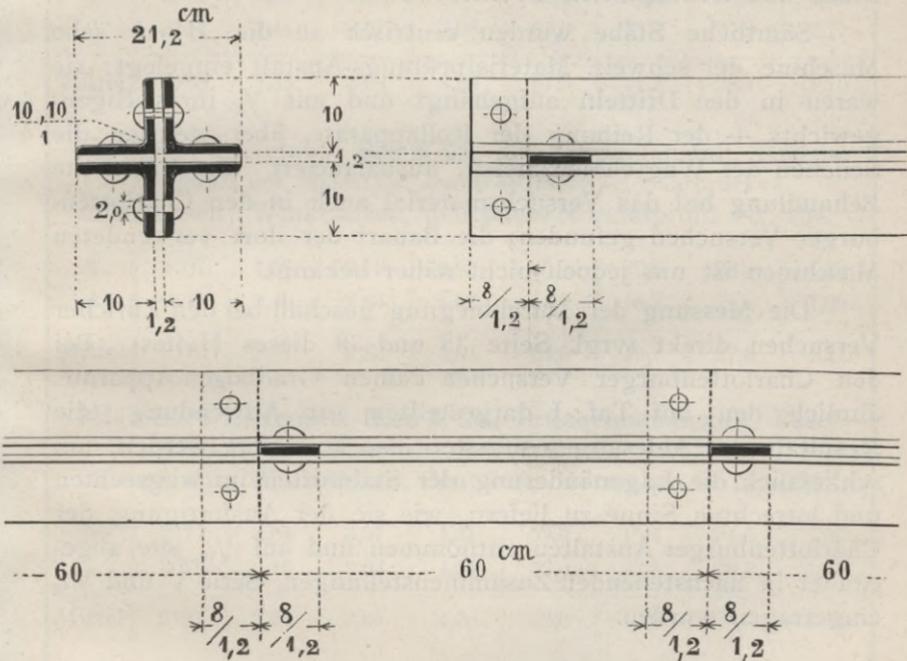


Abb. 20.

In jeder dieser Versuchsreihen lagen 8 Druckstäbe, konstruiert nach Anleitung von Abb. 19 mit alterierend versetzten, *vier-nietigen* Blechstreifen vor; die übrigen 8 Druckstäbe erhielten nach *Gerber's* Manier zweinietige Kreuzplatten, vgl. Abb. 20 (vgl. auch Abb. 9). Bezüglich der Konstruktion der Stabenden

\*) Die freie *Knicklänge*  $l$  ist hier gleich 0,5 der Stablänge gesetzt; wir kehren auf die Zuverlässigkeit dieser Annahme nochmals zurück.

geben die Abb. 9 und 10, sowie 19 und 20 näheren Aufschluss. Die Länge der Stäbe betrug ca. 616 *cm*; sie waren in Abständen (Knotenentfernung in nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellungen) von bezw.

300      200      150      120      100      75      60 und 50 *cm*

durch die vorstehend angeführten und in den Abb. 9, 10 und 19, 20 dargestellten Blechstreifen, bezw. Kreuzplatten abgebunden.

Sämtliche *Druckstäbe* wurden gerade gerichtet,  $\perp$  zur Stabaxe abgeschnitten, die Endfläche zunächst mittelst *Feile*, sodann mittelst *Schaber* auf die Druckplatten aufgepasst, endlich abgeschliffen, sodass eine möglichst vollkommene Berührung der Stäbe und Druckplatten erreicht war.

Sämtliche Stäbe wurden centrisc in die *Werder'sche* Maschine der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt eingelegt; sie waren in den Dritteln aufgehängt und mit  $\frac{3}{4}$  ihres Eigengewichts + der Reibung der Rollapparate, über welchen die Seilchen der Wagschalen liefen, ausbalanciert. Eine ähnliche Behandlung hat das Versuchsmaterial auch in den Charlottenburger Versuchen gefunden; die Bauart der dort verwendeten Maschinen ist uns jedoch nicht näher bekannt.

Die Messung der Durchbiegung geschah bei den Züricher Versuchen direkt (vrgl. Seite 38 und 39 dieses Heftes). Bei den Charlottenburger Versuchen kamen Gradbogen-Apparate, ähnlich den auf Taf. I dargestellten zur Anwendung; die Resultate der Ablesungen mussten also korrigiert werden, um schliesslich die Lagenänderung der Stabmitten im wagrechten und lotrechten Sinne zu liefern, wie sie der Ausfertigung der Charlottenburger Anstalten entnommen und auf  $\frac{1}{10}$  *mm* abgerundet in nachstehenden Zusammenstellungen, Serie V und VI, eingetragen wurden.

*β. Resultate der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse  
des Versuchsmaterials.*

*1. Resultate der Zerreiβversuche.*

Lauf.	Elastic.- Modul	Grenz- Modul	Streck- Grenze	Zug- festigkeit	Con- traktion	Bruch- dehnung	Dehnung n. Bruch	Arbeits- Koeff.
No.	$\varepsilon$ <i>t/cm<sup>2</sup></i>	$\gamma$ <i>t/cm<sup>2</sup></i>	$\sigma$ <i>t/cm<sup>2</sup></i>	$\beta$ <i>t/cm<sup>2</sup></i>	$\varphi$ %/o	$\lambda$ %/o	$\lambda_2$ %/o	<i>c</i> <i>t/cm</i>
I. Serie; Lieferant: <b>Schröder &amp; Co.</b> , Brückenbauanstalt, Brugg. Herkunft des Materials: <i>de Wendel &amp; Co.</i> Hayange. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 8a.								
1	2158	2,26	2,98	3,87	68,0	21,2	28,2	1,09
2	2177	2,44	2,97	3,98	67,0	21,4	27,9	1,11
Mittel	2168	2,35	2,98	3,93	67,5	21,3	28,1	1,10
II. Serie; Lieferant: <b>Bell &amp; Co.</b> , Brückenbauanstalt, Kriens. Herkunft des Materials: <i>Burbacher-Hütte</i> bei Saarbrücken. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.								
3	2107	2,53	2,79	3,99	65,0	20,6	28,2	1,13
4	2113	2,49	2,84	4,02	64,0	18,7	27,0	1,09
Mittel	2110	2,51	2,82	4,01	64,5	19,7	27,6	1,11
III. Serie; Lieferant: <b>Buss &amp; Co.</b> , Brückenbauanstalt, Basel. Herkunft des Materials: <i>Gebr. Röchling</i> , Völklingen. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.								
5	2177	2,54	3,07	4,31	59,0	15,4	24,6	1,06
6	2076	2,16	3,03	4,24	59,0	22,5	28,1	1,19
Mittel	2127	2,30	3,05	4,28	59,0	19,0	26,4	1,13
IV. Serie; Lieferant: <b>Eisenwerk Kaiserslautern</b> , (Abt. Brückenbau). Herkunft des Materials: <i>Gebr. Stumm</i> , Neunkirchen. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 8a.								
7	2109	2,52	3,18	4,27	64,5	21,3	26,4	1,13
8	2150	2,74	2,96	4,03	64,0	24,5	29,2	1,18
Mittel	2130	2,63	3,07	4,15	64,3	22,9	27,8	1,16

Lauf.	Elastic.- Modul	Grenz- Modul	Streck- Grenze	Zug- festigkeit	Con- traktion	Bruch- dehnung	Dehnung n. Bruch	Arbeits- Koeff.
No.	$\varepsilon$ $t/cm^2$	$\gamma$ $t/cm^2$	$\sigma$ $t/cm^2$	$\beta$ $t/cm^2$	$\varphi$ o/o	$\lambda$ o/o	$\lambda_2$ o/o	$c$ $t/cm$
V. Serie;								
Lieferant: <b>Gutehoffnungshütte</b> , Brückenbauanstalt, Sterkrade.								
Herkunft des Materials: <i>Eigenes Fabrikat.</i>								
Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.								
9	2183	2,41	2,73	3,93	64,0	20,3	26,8	1,05
10	2099	2,43	2,91	4,04	65,5	12,8	20,4	0,82
Mittel	2141	2,42	2,82	3,97	64,8	16,6	23,6	0,94
VI. Serie;								
Lieferant: <b>Maschinenbaugesellschaft Nürnberg</b> , Abt. Brückenbau.								
Herkunft des Materials: <i>de Wendel &amp; Co., Hayange.</i>								
Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.								
11	2131	2,37	2,82	3,76	71,0	20,0	29,9	1,12
12	2163	2,51	2,77	3,72	69,0	20,6	28,9	1,08
Mittel	2147	2,44	2,80	3,74	70,0	20,3	29,4	1,10

2. Resultate der Kaltbruchproben.

Das *Material sämtlicher Versuchsreihen* hat die üblichen Kaltbruchproben vollkommen bestanden. Es betrug bei sämtlichen Proben:

der *Biegewinkel*:  $\alpha = 180^\circ$

der *Krümmungskoeffizient*:  $x = 100$  (das erreichbare Maximum).

3. Resultate der Härtebiegeproben.

Das *Material sämtlicher Versuchsreihen* besass keinen stahlartigen Charakter; es hat die üblichen Härtebiegeproben vollkommen bestanden. Es betrug bei sämtlichen Proben:

der *Biegewinkel*:  $\alpha = 180^\circ$

der *Krümmungskoeffizient*:  $x = 100$  (das erreichbare Maximum).

Resultate der Knickungsproben der I. Serie.

Lieferant: *Schröder & Co., Brugg.* Kreuzprofil aus 2 Achter Winkeln 8/8/0,8.

Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*

$J_{max} = 478,4 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 234,0 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 4,41 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,09 \text{ cm}$ ;

Querschnitts-Inhalt im Mittel:  $F = 24,56 \text{ cm}^2$ .

Lauf. Nr.	Urspr. Wirk-same		Konstruktion des Stabes	Knoten-formung $l=na$	Knickrichtung	Beobachtete Knickkraft		Berechnete Knickkraft	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
	Stablänge	$\frac{l}{i}$				Art der Knoten-bildung	ab-solut $N=t$			
	$l_0$	$l$			$X: Y$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft					
1	600	625	202	viernietige Blechstreifen	300	— : —	10,75	0,44		
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	— : —	9,25	0,38		
3	600	625	202	viernietige Blechstreifen	200	3,67 : 0,07	12,50	0,51		für $\varepsilon$ 2168 wird nach
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	0,69 : 6,04	10,30	0,42		$\beta_k = \varepsilon \pi^2 \frac{1}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$
5	600	625	202	viernietige Blechstreifen	150	4,37 : 1,51	11,90	0,48		$\beta_k = 0,524 t/cm^2$
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	1,38 : 5,43	10,40	0,42		oder
7	600	625	202	viernietige Blechstreifen	120	6,40 : 0,34	11,25	0,46		$N = 12,87 t$
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	0,23 : 4,95	14,00	0,57		
9	600	625	202	viernietige Blechstreifen	100	0,72 : 4,13	12,20	0,50		
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	0,57 : 4,59	12,05	0,49		Viernietige Blechstreifen :
11	600	625	202	viernietige Blechstreifen	75	4,02 : 0,32	12,10	0,49		besser in 5 Fällen im Mittel um 12,8 %.
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	3,54 : 0,84	13,55	0,55		
13	600	625	202	viernietige Blechstreifen	60	3,68 : 0,83	13,15	0,54		
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	5,89 : 0,29	12,10	0,49		Zweinietige Kreuzplatten :
15	600	625	202	viernietige Blechstreifen	50	6,41 : 0,48	11,60	0,47		besser in 2 Fällen im Mittel um 18,0 %.
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	6,93 : 0,26	11,50	0,47		

*γ. Resultate der Druckproben.*

I. Serie; Lieferant: **Schröder & Co., Brückenbauanstalt, Brugg.**

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 478,4 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 234,0 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 4,41 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,09 \text{ cm}$ .

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren										
	Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm	Null-Last										
				0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
			lotrecht	0,00	0,00	-0,03	-0,05	-0,15	-0,21	-0,30	-0,44	-0,64	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	
			lotrecht	0,00	0,02	0,04	0,08	0,14	0,25	0,40	0,65	1,13	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,03	-0,02	-0,07	-0,09	-0,13	
			lotrecht	0,00	-0,02	-0,03	-0,04	-0,03	-0,04	-0,05	-0,04	-0,03	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	0,02	0,03	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,22	
			lotrecht	0,00	0,04	0,09	0,13	0,19	0,27	0,38	0,56	0,80	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,14	0,15	0,19	
			lotrecht	0,00	0,00	-0,05	-0,13	-0,16	-0,22	-0,30	-0,39	-0,47	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	-0,01	-0,03	-0,06	-0,08	-0,12	-0,18	-0,23	-0,33	
			lotrecht	0,00	-0,02	-0,08	-0,15	-0,23	-0,35	-0,49	-0,65	-0,93	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	-0,01	-0,08	-0,15	-0,20	-0,26	-0,36	-0,47	-0,64	
			lotrecht	0,00	0,01	0,00	-0,02	-0,03	-0,04	-0,08	-0,08	-0,10	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,08	0,08	0,13	

Kreuzprofil aus 2 Winkelcisen, deutsches Normalprofil Nr. 8a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 600 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 24,56 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 625 \text{ »}$ ; Spitzenlagerung.

Stabquerschnittes in $\overline{7,400} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .														Knickkraft $Nt$	Richtung der Knickung
9,0	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung					
0,04	0,03	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,75	↓
-1,50	-2,50	-3,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,25	↑
0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-0,18	-0,26	-	-0,38	-	-0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,67	←
-0,04	-0,03	-	-0,01	-	-0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,07	←
0,30	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69	↑
1,19	2,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,04	↑
0,26	0,37	-	0,56	0,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,37	↘
-0,60	-0,74	-	-0,95	-1,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,51	↘
-0,50	-0,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,38	↓
-1,39	-2,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,43	↓
-0,97	-1,64	-2,30	-3,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6,40	←
-0,12	-0,17	-0,20	-0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,34	←
0,04	0,05	-	0,05	-	0,07	-	0,10	-	-	-	-	-	-	0,23	↑
0,15	0,20	-	0,28	-	0,37	-	0,55	-	-	-	-	-	-	4,95	↑



II. Serie; Lieferant: **Bell & Co.,** Brückenbauanstalt, Kriens.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 579,18 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,88 \text{ cm}$ ;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren									
	Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l \text{ cm}$	Null-Last									
				1,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	19,0	20,0
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	-0,01	-0,04	-0,04	-0,06	-0,13	-0,13	-0,16
			lotrecht	0,00	0,00	-0,05	-0,12	-0,22	-0,41	-0,76	-0,94	-1,22
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,13	0,16	0,18
			lotrecht	0,00	0,00	-0,04	-0,06	-0,10	-0,17	-0,28	-0,34	-0,40
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,01	-0,01	-0,04	-0,07	-0,13	-0,20	—	-0,28
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,09	0,07	—	0,14
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	-0,01	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	—	0,11
			lotrecht	0,00	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	0,00	—	0,02
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	-0,03	-0,04	-0,08	-0,13	-0,19	-0,31	—	—
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,02	-0,05	-0,07	-0,09	-0,14	—	—
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,08	0,12	0,17	0,25	—	—
			lotrecht	0,00	-0,03	-0,04	-0,06	-0,11	-0,14	-0,19	—	—
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,02	0,02	0,01	-0,02	-0,02	-0,05	—	—
			lotrecht	0,00	0,00	-0,01	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	—	—
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,02	0,04	0,07	0,13	0,21	0,29	—	—
			lotrecht	0,00	0,00	-0,04	-0,07	-0,08	-0,13	0,18	—	—

Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 641 \text{ cm}$ ; Spitzenlagerung.

Stabquerschnittes in $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $Nt$	Richtung der Knickung
21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	27,5	28,0	28,5	28,5			
-0,18	-0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,21	22,20	↓
-1,79	-3,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-5,77		
0,21	0,25	0,27	—	—	—	—	—	—	—	—	0,39	23,20	↓
-0,53	-0,79	-1,69	—	—	—	—	—	—	—	—	-4,84		
—	-0,39	—	-0,55	-0,67	-0,87	-1,16	-1,40	-1,81	—	—	-4,60	28,50	←
—	0,16	—	0,22	0,26	0,33	0,37	0,45	0,47	—	—	0,97		
—	0,17	—	0,21	0,30	0,38	0,50	—	0,77	1,00	2,37	—	29,20	↗
—	0,03	—	0,07	0,09	0,10	0,14	—	0,18	0,20	9,33			
-0,50	—	-0,78	-1,00	-1,40	-2,20	—	—	—	—	—	-5,72	26,60	←
-0,18	—	-0,22	-0,25	-0,28	-0,30	—	—	—	—	—	-0,57		
0,40	—	0,61	0,76	1,00	1,43	2,30	—	—	—	—	5,60	27,60	→
-0,28	—	-0,33	-0,38	-0,43	-0,47	-0,55	—	—	—	—	-1,33		
-0,06	—	-0,12	-0,18	-0,23	-0,34	-0,61	-0,86	-1,41	—	—	-4,44	28,35	←
-0,09	—	-0,11	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14	-0,14	-0,15	—	—	-0,18		
0,52	—	0,77	1,06	1,51	2,58	—	—	—	—	—	5,18	26,50	→
-0,24	—	-0,30	-0,38	-0,47	-0,56	—	—	—	—	—	-0,83		

II. Serie; Lieferant: **Bell & Co.**, Brückenbauanstalt, Kriens.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 579,18 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,88 \text{ cm}$ ;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren									
	Art der Knotenbildung	Knotenfernung $l \text{ cm}$	Null-Last									
			1,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	19,0	20,0	
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	0,02	0,03	0,05	0,11	0,09	0,15	--	--
			lotrecht	0,00	0,00	-0,01	0,03	0,07	0,14	0,21	--	--
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,14	--	--
			lotrecht	0,00	-0,02	-0,06	-0,06	-0,07	-0,08	-0,11	--	--
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	0,05	0,07	0,09	0,11	0,17	0,24	--	--
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,03	--	--
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	-0,03	0,05	-0,08	0,13	0,20	0,30	--	--
			lotrecht	0,00	0,01	0,00	-0,01	-0,02	-0,08	-0,03	--	--
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	-0,03	-0,04	-0,08	-0,11	-0,18	-0,31	--	--
			lotrecht	0,00	-0,04	-0,09	-0,08	-0,07	-0,09	-0,13	--	--
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,00	0,02	0,04	0,06	0,07	0,10	--	--
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,02	+0,01	+0,01	0,01	0,01	--	--
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	-0,01	0,00	0,02	-0,02	-0,06	-0,11	--	--
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	--	--
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,03	-0,04	--	--
			lotrecht	0,00	0,00	-0,04	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	--	--

Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 641 \text{ »}$ ; Spitzenlagerung.

Stabquerschnittes in $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $N t$	Richtung der Knickung
21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	27,5	28,0	28,5	28,5			
0,25	--	0,37	0,48	0,65	1,11	2,54	--	--	--	4,93	27,10	→	
0,27	--	0,32	0,38	0,45	0,46	0,55	--	--	--	0,69			
0,21	--	0,33	0,42	0,55	0,80	1,29	1,91	3,68	--	5,19	28,05	→	
-0,16	--	-0,18	-0,20	-0,21	-0,24	-0,27	-0,28	-0,30	--	-0,37			
0,39	--	--	0,77	1,02	1,55	--	--	--	--	5,58	27,00	→	
-0,04	--	--	-0,06	-0,08	-0,09	--	--	--	--	-0,16			
0,50	--	--	0,98	1,35	2,05	--	--	--	--	5,38	26,85	→	
-0,07	--	--	-0,08	-0,09	-0,13	--	--	--	--	-0,26			
-0,52	--	--	-0,99	1,35	-2,09	--	--	--	--	-5,82	26,80	←	
-0,16	--	--	-0,21	-0,24	-0,25	--	--	--	--	-0,39			
0,17	--	--	0,34	0,46	0,70	1,32	2,17	--	--	4,54	27,70	→	
0,04	--	--	0,05	0,08	0,08	0,10	0,13	--	--	0,14			
-0,18	--	--	-0,36	-0,07	-0,68	1,12	-1,54	-3,13	--	-5,03	28,00	←	
0,06	--	--	0,07	0,10	0,12	0,13	0,16	0,17	--	0,18			
-0,10	--	--	-0,23	-0,32	-0,48	-0,97	-1,59	--	--	-4,38	27,80	←	
-0,04	--	--	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,04	--	--	-0,08			

**Resultate der Knickungsproben der II. Serie.**

Lieferant: **Bell & Co., Kriens.** Kreuzprofil aus 2 Zehner-Winkeln 10/10/1,0.

Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*

$J_{max} = 1045,48 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 579,18 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 5,21 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,88 \text{ cm}$ ;

*Querschnitts-Inhalt im Mittel:  $F = 38,54 \text{ cm}^2$ .*

Lauf. Nr.	Urpr. Wirk-same		$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes		Knickrichtung	Knickrichtung		Beobachtete Knickkraft		Berechnete Knickkraft	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
	Stablänge			Art der Knoten-bildung	Knoten-fernung $l=nl$		$X:Y$ unmittel-bar nach Erreichen der Knickkraft	ab-solut $N=t$	spezif. $\beta_k$ $t/cm^2$	$\beta_k$ $t/cm^2$			
	$l_0$ cm	$l$ cm											
1	616	641	165	viernietige Blechstreifen	300		0,21 : 5,77	22,20	0,58				
2	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		0,39 : 4,84	23,20	0,60				
3	616	641	165	viernietige Blechstreifen	200		4,60 : 0,97	28,50	0,74				
4	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		2,37 : 9,33	29,20	0,76				
5	616	641	165	viernietige Blechstreifen	150		5,72 : 0,57	26,60	0,69				
6	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		5,60 : 1,33	27,60	0,72				
7	616	641	165	viernietige Blechstreifen	120		4,44 : 0,18	28,35	0,74				
8	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		5,18 : 0,83	26,50	0,69				
9	616	641	165	viernietige Blechstreifen	100		4,93 : 0,69	27,10	0,70				
10	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		5,37 : 0,37	28,05	0,73				
11	616	641	165	viernietige Blechstreifen	75		5,58 : 0,16	27,00	0,70				
12	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		5,38 : 0,26	26,85	0,70				
13	616	641	165	viernietige Blechstreifen	60		5,82 : 0,39	26,80	0,70				
14	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		4,54 : 0,14	27,70	0,72				
15	616	641	165	viernietige Blechstreifen	50		5,03 : 0,18	28,00	0,73				
16	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		4,38 : 0,08	27,80	0,72				

für  $\epsilon = 2110 t/cm^2$  wird aus:  
 $\beta_k = \epsilon \pi^2 \frac{1}{(i)^2}$   
 $\beta_k = 0,76 t/cm^2$   
 oder  
 $N = 20,19 t$

*Viernietige Blechstreifen:*  
 besser in 2 Fällen im Mittel um 4,3 %.

*Zweinetige Kreuzplatten:*  
 besser in 5 Fällen im Mittel um 3,6 %.

Resultate der Knickungsproben der III. Serie.

Lieferant: *Buss & Co., Basel.* Kreuzprofil aus 2 Zwölfer-Winkeln 12/12/1,1.

Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*

$J_{max} = 1810,2 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 1034,7 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 4,57 \text{ cm}$ ;

Querschnitts-Inhalt im Mittel:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ .

Lauf. Nr.	Ursr. Wirk-same		$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes		Knickrichtung	Beobachtete Knickkraft		Berechnete Knickkraft $\beta_k$	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
	Stablänge $l_0$ cm	cm		Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l=m$		absolut $N=t$	spezif. $\beta_k$ $t/\text{cm}^2$			
1	610	635	139	viernietige Blechstreifen	300		1,95 : 5,54	37,50	0,76		
2	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		0,14 : 5,55	38,75	0,78		
3	610	635	139	viernietige Blechstreifen	200		3,63 : 4,43	49,25	0,99		
4	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		0,37 : 10,28	46,12	0,93		
5	610	635	139	viernietige Blechstreifen	150		6,36 : 0,83	51,00	1,03		
6	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		0,54 : 5,58	42,75	0,87		
7	610	635	139	viernietige Blechstreifen	120		4,71 : 4,67	49,50	1,00		
8	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		1,71 : 7,27	45,90	0,93		
9	610	635	139	viernietige Blechstreifen	100		4,63 : 2,55	47,88	0,97		
10	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		5,80 : 0,03	48,75	0,99		
11	610	635	139	viernietige Blechstreifen	75		5,24 : 1,30	50,60	1,02		
12	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		4,44 : 7,66	49,50	1,00		
13	610	635	139	viernietige Blechstreifen	60		4,92 : 0,19	50,20	1,01		
14	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		5,12 : 2,60	52,50	1,06		
15	610	635	139	viernietige Blechstreifen	50		5,41 : 1,32	51,70	1,04		
16	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		6,16 : 0,17	51,12	1,03		

für  $\frac{l}{i} = 139$  liefert  
Euler's Formel  
für  $\varepsilon = 2127 \text{ t/cm}^2$   
 $\beta_k = \frac{1}{\pi^2 \varepsilon} \left( \frac{l}{i} \right)^2$   
 $= 1,09 \text{ t/cm}^2$   
oder  
 $N = 53,96 \text{ t}$ .

Viernietige Blechstreifen :  
besser in 5 Fällen im Mittel um 6,3 %.

Zweinetige Kreuzplatten :  
besser in 3 Fällen im Mittel um 3,2 %.



III. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, Brückenbauanstalt, Basel.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 1810,2 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 1034,7 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 6,05 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 4,57 \text{ cm}$ ;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren									
	Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l \text{ cm}$	Null-Last									
			1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	32,0	34,0	
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	0,01	-0,03	-0,08	-0,10	-0,18	-0,26	—	-0,39
			lotrecht	0,00	0,02	0,07	0,11	0,17	0,27	0,37	—	0,47
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	0,04	0,08	0,14	0,22	0,32	0,47	—	0,64
			lotrecht	0,00	-0,06	-0,04	-0,06	-0,09	-0,10	-0,11	—	-0,13
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,05	0,10	0,11	0,18	—	0,24
			lotrecht	0,00	-0,02	-0,02	-0,07	-0,14	-0,16	-0,24	—	-0,33
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,11	—	0,14
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	-0,04	-0,08	-0,09	-0,13	—	-0,17
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	-0,01	0,01	0,03	0,03	0,07	0,12	—	0,13
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,06	—	0,04
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,05	0,09	0,09	0,14	—	0,18
			lotrecht	0,00	0,03	0,03	0,08	0,09	0,18	0,26	—	0,32
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,02	—	-0,02
			lotrecht	0,00	-0,03	-0,06	-0,10	-0,13	-0,18	-0,23	—	-0,32
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,08	0,12	—	0,15
			lotrecht	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	—	0,01

Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 610 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 49,50 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 635 \text{ cm}$ ; Spitzenerlagerung.

Stabquerschnittes in $\tau_{100} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											Knickkraft $N t$	Richtung der Knickung
38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	47,0	48,0	49,0	50,0	51,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
-0,55	-0,68	-0,87	-1,16	-1,65	-2,11	—	—	—	—	-4,63	47,88	←
0,61	0,68	0,77	0,92	1,12	1,28	—	—	—	—	2,55		
0,90	1,09	1,32	1,69	2,23	2,60	3,25	—	—	—	5,80	48,75	→
-0,13	-0,15	-0,17	-0,17	-0,25	-0,25	-0,21	—	—	—	0,03		
0,33	0,40	0,50	0,62	0,83	0,99	1,21	1,54	2,09	—	5,24	50,6	↘
-0,40	-0,44	-0,49	-0,56	-0,61	-0,63	-0,68	-0,72	0,79	—	-1,30		
0,20	0,26	0,33	0,42	0,64	0,79	1,01	1,49	—	—	4,44	49,5	↓
-0,23	-0,25	-0,29	-0,34	-0,41	-0,46	-0,52	-0,59	—	—	-7,66		
0,21	0,25	0,32	0,42	0,61	0,73	0,94	1,29	2,29	—	4,92	50,20	→
0,09	0,09	0,13	0,11	0,15	0,14	0,17	0,16	0,19	—	0,19		
0,22	0,26	0,33	0,41	0,52	0,56	0,68	0,82	1,06	1,41	5,12	52,50	↗
0,42	0,43	0,53	0,58	0,67	0,72	0,77	0,82	0,92	0,98	2,60		
-0,06	-0,06	-0,08	-0,11	-0,15	-0,19	-0,27	-0,35	-0,52	-0,88	-5,41	51,70	←
-0,27	-0,43	-0,46	-0,53	-0,55	-0,60	-0,65	-0,66	-0,70	-0,77	-1,31		
0,21	0,26	0,32	0,42	0,59	0,69	0,83	1,11	1,52	2,73	6,16	51,12	→
0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	-0,17		

IV. Serie; Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern, Brückenbauanstalt.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 662,6 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 662,6 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 3,72 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,72 \text{ cm}$ .

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren										
	Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l \text{ cm}$		Null-Last									
				1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	22,0	24,0	25,0	26,0	
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,09	0,27	0,60	1,51	2,71	—	—	—	
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,07	-0,06	-0,15	-0,25	—	—	—	
2	zweinielige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	-0,05	-0,15	-0,34	-0,91	-1,45	—	—	—	
			lotrecht	0,00	-0,02	0,00	0,02	0,12	0,19	—	—	—	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,00	-0,04	-0,10	-0,22	-0,33	-0,53	-0,67	-0,97	
			lotrecht	0,00	0,00	0,05	0,21	0,50	0,70	1,04	1,43	2,08	
4	zweinielige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	-0,03	-0,13	-0,34	-0,75	-1,08	-1,78	-2,48	—	
			lotrecht	0,00	-0,04	-0,03	-0,03	-0,09	-0,14	-0,21	-0,30	—	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	0,01	0,01	-0,01	-0,04	-0,04	-0,09	-0,09	-0,07	
			lotrecht	0,00	0,02	0,08	0,14	0,37	0,47	0,71	0,89	1,15	
6	zweinielige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,10	0,21	0,30	0,39	0,48	0,71	
			lotrecht	0,00	-0,05	-0,05	-0,09	-0,13	-0,18	-0,23	-0,28	-0,37	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,06	0,13	0,26	0,52	0,73	0,94	1,16	1,47	
			lotrecht	0,00	0,01	0,00	-0,03	-0,07	-0,09	-0,12	-0,15	-0,20	
8	zweinielige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	-0,01	-0,02	-0,04	-0,08	-0,12	-0,17	-0,22	—	
			lotrecht	0,00	0,00	-0,04	-0,06	-0,10	-0,11	-0,13	-0,15	—	

Kreuzprofil aus 4 Winkelisen, deutsches Normalprofil Nr. 8a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 47,84 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 640 \text{ »}$ ; Spitzlagerung.

Stabquerschnitte in $\frac{1}{4} l_{100} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $N t$	Richtung der Knickung
27,0	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	—	—	—	—	—			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,13	22,80	→
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,36		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-4,84	23,80	←
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,95		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-2,55	26,65	↖
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,64		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-5,68	25,85	←
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,97		
-0,02	0,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,14	28,20	↗
1,56	2,61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,67		
0,93	1,52	3,43	—	—	—	—	—	—	—	—	5,44	28,50	→
-0,42	-0,59	-0,81	—	—	—	—	—	—	—	—	-2,19		
1,89	2,71	4,14	—	—	—	—	—	—	—	—	5,91	28,62	→
-0,23	-0,33	-0,47	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,79		
-0,36	—	—	-0,98	-1,13	-3,00	—	—	—	—	—	-4,51	30,05	←
-0,21	—	—	-0,31	-0,35	-0,47	—	—	—	—	—	-0,53		

IV. Serie; Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern, Brückenbauanstalt.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 662,6 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 662,6 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 3,72 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,72 \text{ cm}$ ;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren									
	Art der Knotenbildung	Knotenfernung $l \text{ cm}$	Null-Last									
				1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	22,0	24,0	25,0	26,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	0,11	0,23	0,42	0,79	1,03	1,43	1,67	2,07
			lotrecht	0,00	-0,04	-0,12	-0,24	-0,39	-0,54	-0,74	-0,83	-1,02
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	0,06	0,17	0,33	0,63	0,91	1,20	1,51	1,93
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01
			lotrecht	0,00	-0,05	-0,12	-0,18	-0,33	-0,45	-0,57	-0,70	-0,73
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	0,00	0,13	0,30	0,60	0,85	1,10	1,36	-
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,07	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,07	-
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	-0,02	-0,04	-0,04	-0,08	-0,10	-0,12	-0,14	0,15
			lotrecht	0,00	-0,03	-0,14	-0,33	-0,67	-0,91	-1,16	-1,41	-1,73
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,09	0,17	0,25	0,33	0,41	0,47
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,09	-0,16	-0,33	-0,44	-0,55	-0,66	-0,82
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	-0,01	-0,03	-0,09	-0,22	-0,30	-0,38	-0,46	-0,57
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,05	-0,05	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,16
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,07	0,15	0,16	0,22	0,26	0,32
			lotrecht	0,00	0,03	0,00	0,02	0,07	0,10	0,13	0,17	0,18

Kreuzprofil aus 2 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 47,84 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame  $l = 640$ ; Spitzenlagerung.

Stabquerschnittes in $\frac{t}{400} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $N t$	Richtung der Knickung
27,0	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	-	-	-			
2,72	4,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,32	28,05	↓
-1,32	-2,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,24		
2,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,64	27,50	↗
0,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,13		
0,03	0,03	-	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-0,77	30,50	←
-0,97	-1,18	-	-1,58	-1,88	-2,33	-	-	-	-	-	-5,75		
2,12	3,03	4,50	-	-	-	-	-	-	-	-	6,28	28,70	→
-0,09	-0,12	-0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,54		
-0,17	-0,22	-0,22	-0,31	-	-	-	-	-	-	-	-1,35	29,50	↓
-2,04	-2,64	-3,10	-3,87	-	-	-	-	-	-	-	-6,83		
0,53	0,82	-	1,19	-	-	-	-	-	-	-	3,78	29,50	↗
-0,98	-1,27	-	-1,79	-	-	-	-	-	-	-	-4,22		
-0,69	-0,84	-	-1,10	-1,29	-1,56	-2,02	-3,17	-	-	-	-5,64	31,20	←
-0,17	-0,22	-	-0,25	-0,28	-0,34	-0,34	-0,36	-	-	-	-0,64		
0,39	0,48	-	0,66	-	0,96	-	1,64	-	-	-	4,40	31,50	↗
0,19	0,25	-	0,29	-	0,37	-	0,57	-	-	-	1,04		

Resultate der Knickungsproben der IV. Serie.

Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern. Kreuzprofil aus 4 Winkelisen, deutsch.

Normalprofil Nr. 8a. Art der Einspannung: Spitzenlagerung.

$J_{max} = 662,6 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 662,6 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 3,72 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 3,72 \text{ cm}$ ;

Querschnitts-Inhalt im Mittel:  $F = 47,84 \text{ cm}^2$ .

Lauf. Nr.	Urspr.	Wirk-same Stablänge $l_0$ cm	$l$ cm	$\frac{l}{i}$ min	Konstruktion des Stabes		Knickrichtung 	Beobachtete Knickkraft		Berechnete Knickkraft $\beta_k$ t/cm <sup>2</sup>	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
					Art der Knoten- bildung	Knoten- fernung $l = m$		ab- solut $N = t$	spezif. $\beta_k$ t/cm <sup>2</sup>			
1	616	640	172		viernietige Blechstreifen	300	→	6,13 : 0,36	2,28	0,48		
2	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	←	4,84 : 0,95	2,38	0,50		
3	616	640	172		viernietige Blechstreifen	200	↖	2,55 : 4,64	26,65	0,56		
4	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	←	5,68 : 0,97	25,85	0,54		
5	616	640	172		viernietige Blechstreifen	150	↗	2,14 : 4,67	28,20	0,59		
6	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	↘	5,44 : 2,19	28,50	0,60		
7	616	640	172		viernietige Blechstreifen	120	→	5,91 : 0,79	28,62	0,60		
8	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	←	4,51 : 0,53	30,05	0,63		
9	616	640	172		viernietige Blechstreifen	100	↘	5,32 : 3,24	28,05	0,59		
10	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	↗	5,64 : 2,13	27,50	0,57		
11	616	640	172		viernietige Blechstreifen	75	↓	0,77 : 5,75	28,70	0,60		
12	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	→	6,28 : 0,54	28,70	0,60		
13	616	640	172		viernietige Blechstreifen	60	↘	1,35 : 6,83	29,50	0,62		
14	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	↗	3,78 : 4,22	29,50	0,62		
15	616	640	172		viernietige Blechstreifen	50	←	5,64 : 0,64	31,20	0,65		
16	»	»	»		zweinetige Kreuzplatten	»	→	4,40 : 1,04	31,50	0,66		

für  $\frac{l}{i} = 172$  soll

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

$$= 0,71 \text{ t/cm}^2$$

oder

$$N = 34,0 \text{ t.}$$

Viernietige  
Blechstreifen:  
besser in  
2 Fällen im  
Mittel um  
3,6 %.

Zweinetige  
Kreuzplatten:  
besser in  
4 Fällen im  
Mittel um  
3,1 %.

Resultate der Knickungsproben der V. Serie.

Lieferant: *Gute-Hoffungs-Hütte, Brückenbauanstalt; Sterkrade.*

Kreuzprofil aus 4 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Art der Einspannung: *Flächenlagerung.*

$J_{max} = 1602,16 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 1602,16 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 4,601 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 4,601 \text{ cm}$ ;

Querschnitts-Inhalt im Mittel:  $F = 75,74 \text{ cm}^2$ .

Lauf. Nr.	Urpr.		Wirk-same $\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes		Knickrichtung 	X: Y unmittel-bar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft		Berechnete Knickkraft $\beta_k$ $t/\text{cm}^2$	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
	Stablänge $l_0$ cm	l cm		Art der Knotenbildung	Knottentfernung $l = m$			absolut $N=t$	spezif. $\beta_k$			
1	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	300		*)	123	1,62			
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	134	1,77			
							—	Mittel	1,70	2,34	-37,6	Nach: $\beta_k = 3,1 - 0,0114 \frac{l}{k}$
3	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	200		—	141	1,86			für $\frac{l}{k} = 66,08$
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	141	1,86			wird $\beta_k = 2,34 t/\text{cm}^2$
							—	Mittel	1,86	2,34	-25,8	somit $N = 177 \text{ t.}$
5	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	150		—	145	1,91			
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	157	2,07			
							—	Mittel	1,99	2,34	-17,6	
7	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	120		—	150	1,98			
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	167	2,20			
							—	Mittel	2,09	2,34	-12,0	<i>Viernietige Blechstreifen:</i> besser in 1 Falle im Mittel um 1,9 %.
9	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	100		—	153	2,02			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	160	2,11			
							—	Mittel	2,07	2,34	-13,0	<i>Zweinietige Kreuzplatten:</i> besser in 5 Fällen im Mittel um 6,9 %.
11	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	75		—	167	2,20			
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	169	2,23			
							—	Mittel	2,22	2,34	-5,4	
13	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	60		—	157	2,07			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	?	?			
							—	Mittel	2,07	2,34	-13,0	
15	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	50		—	163	2,15			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	160	2,11			
							—	Mittel	2,13	2,34	-9,8	

\*) Nicht gemessen.

V. Serie; Lieferant: Gute Hoffnungshütte, Brückenbauanstalt, Sterkrade.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 1602,2 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 1602,2 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 4,60 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 4,60 \text{ cm}$ .

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren										
	Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l \text{ cm}$	Null-Last										
				10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,02	-0,05	-0,08	-0,10	-0,11	
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,05	-0,09	-0,13	-0,20	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	-0,01	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08	-0,08	-0,10	-0,14	
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,02	-0,05	-0,08	-0,12	-0,16	
			lotrecht	0,00	0,04	0,07	0,09	0,13	0,14	0,16	0,18	0,22	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08	-0,08	-0,09	-0,11	
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,09	-0,11	-0,14	-0,19	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,07	-0,10	-0,12	-0,16	
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,06	-0,09	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,05	-0,09	-0,09	
			lotrecht	0,00	0,00	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,01	-0,03	-0,07	-0,08	-0,09	-0,15	-0,17	-0,24	
			lotrecht	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	(-0,01)	(-0,01)	(-0,03)	(-0,03)	(-0,02)	(-0,06)	(-0,07)	(-0,08)	
			lotrecht	0,00	(0,02)	(0,04)	(0,05)	(0,07)	(0,08)	(0,02)	(0,03)	(0,02)	

Anmerkung: die in ( ) gesetzten Werthe sind unzuverlässig.

Kreuzprofil aus 4 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 75,74 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 308 \text{ »}$ ; = Flächenlagerung.

Stabquerschnittes in $\frac{1}{1000} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $N/t$	Richtung der Knickung
100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	—	—				
-0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*)	123	↓
-0,31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	134	←
-0,17	-0,25	-0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141	↑
-0,04	-0,04	-0,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141	↓
-0,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	145	↘
0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	157	↘
-0,14	-0,16	-0,20	-0,24	—	—	—	—	—	—	—	—	150	←
-0,21	-0,29	-0,36	-0,55	—	—	—	—	—	—	—	—	167	←
-0,18	-0,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
-0,14	-0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
-0,09	-0,09	-0,10	-0,14	-0,17	—	—	—	—	—	—	—		
-0,15	-0,18	-0,21	-0,30	-0,39	—	—	—	—	—	—	—		
-0,30	-0,37	-0,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
0,04	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
-0,09	-0,09	-0,12	-0,15	-0,17	—	—	—	—	—	—	—		
0,01	0,00	-0,02	-0,06	-0,08	—	—	—	—	—	—	—		

\*) Nicht gemessen.

V. Serie; Lieferant: Gute Hoffnungs-Hütte, Brückenbauanstalt, Sterkrade.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 1602,2 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 1602,2 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 4,60 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 4,60 \text{ cm}$ ;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren									
	Art der Kno- enbildung	Knoten- fernung $l_{cm}$	Null- Last									
			10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	
9	vierniege Blechstreifen	100	wag- recht	0,00	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,10	-0,15	-0,18	-0,22
			lot- recht	0,00	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	-0,03	-0,01	-0,02
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wag- recht	0,00	0,00	-0,02	-0,05	-0,06	-0,08	-0,10	-0,12	-0,16
			lot- recht	0,00	0,01	0,01	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
11	viernietige Blechstreifen	75	wag- recht	0,00	-0,04	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08	-0,09	-0,12	-0,13
			lot- recht	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wag- recht	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07
			lot- recht	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
13	viernietige Blechstreifen	60	wag- recht	0,00	-0,03	-0,05	-0,09	-0,11	-0,11	-0,15	-0,18	-0,20
			lot- recht	0,00	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wag- recht	0,00	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
			lot- recht	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
15	viernietige Blechstreifen	50	wag- recht	0,00	-0,04	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08	-0,08	-0,10	-0,12
			lot- recht	0,00	0,05	0,08	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,20
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wag- recht	0,00	0,01	-0,01	-0,08	-0,09	-0,09	-0,14	-0,16	-0,17
			lot- recht	0,00	0,00	0,00	-0,05	-0,06	-0,06	-0,07	-0,08	-0,08

\*) Der Stab war mit 185  $t$  belastet. Er hatte sich hiebei so weit nach unten durchgebogen, dass er zur Auflage gekommen war. Nach Entfernung der Unterlagen trat das Ausknicken bei nochmaligem Belasten unter 146  $t$  ein.

Kreuzprofil aus 4 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $75,74 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 308 \text{ »}$ ; Flächenlagerung.

Stabquerschnittes in $\frac{1}{100} \text{ cm}$ bei einer Belastung in $t$ .										unmittel- bar nach Erreichen der Knick- kraft	Knickkraft $N t$	Richtung der Knickung
100,0	140,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	—	—			
-0,29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*)	153	←
-0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	160	←
-0,19	-0,24	-0,29	-0,38	—	—	—	—	—	—	—	167	←
-0,03	-0,03	-0,04	-0,07	—	—	—	—	—	—	—	169	←
-0,15	-0,19	-0,24	—	—	—	—	—	—	—	—	157	←
0,02	0,02	0,00	—	—	—	—	—	—	—	—	(?)*	↘
-0,08	-0,11	-0,14	-0,18	-0,24	—	—	—	—	—	—	163	↗
-0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	—	—	—	—	—	—	160	←
-0,26	-0,28	-0,35	—	—	—	—	—	—	—	—		
0,08	0,10	0,11	—	—	—	—	—	—	—	—		
-0,04	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	—	—	—	—	—	—		
0,02	-0,11	-0,14	-0,18	-0,22	—	—	—	—	—	—		
-0,14	$\frac{109}{-0,14}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
0,22	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
-0,24	-0,27	-0,33	—	—	—	—	—	—	—	—		
-0,09	-0,11	-0,11	—	—	—	—	—	—	—	—		

\*) Nicht gemessen.

VI. Serie; Lieferant: **Maschinenbau-A.-G.**, Brückenbauanstalt, Nürnberg.

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 2938,8 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 2938,8 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 5,42 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 5,42 \text{ cm}$ .

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren											
	Art der Knotenbildung	Knotenformung $l \text{ cm}$	Null-Last											
				10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0		
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,05	-0,06	-0,06		
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03		
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03		
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05		
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02		
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01		
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01		
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05		
			lotrecht	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04		
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01		
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,01		
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06		
			lotrecht	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02		
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		
			lotrecht	0,00	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07		

Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 100,04 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame  $l = 308$ ; Flächenlagerung.

Stabquerschnittes in $\text{cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $N/t$	Richtung der Knickung
100,0	110,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0	220,0	240,0	260,0	260,0			
0,00	0,01	0,02	0,06	0,12	—	—	—	—	—	—	*)	203	
-0,07	-0,08	-0,09	-0,14	-0,23	—	—	—	—	—	—	—		
-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—	220	
-0,04	-0,05	-0,05	-0,08	-0,14	-0,23	—	—	—	—	—	—		
-0,07	-0,08	-0,09	-0,12	-0,17	-0,26	—	—	—	—	—	—	226	
0,01	0,01	0,01	-0,02	-0,05	-0,07	—	—	—	—	—	—		
0,01	0,02	0,03	0,06	0,11	0,17	0,26	—	—	—	—	—	236	
0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	—	—	—	—	—		
-0,06	-0,07	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08	0,07	—	—	—	—	—	243	
0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,20	—	—	—	—	—		
0,00	0,01	0,01	0,03	0,07	0,10	0,18	—	—	—	—	—	248	
-0,01	-0,02	-0,01	-0,04	-0,07	-0,07	-0,16	—	—	—	—	—		
0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,14	0,19	0,26	—	—	—	266	
0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,07	0,10	0,13	0,18	—	—	—		
0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	—	—	—	—	266	
0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,16	0,22	—	—	—	—		

\*) Nicht gemessen.

VI. Serie; Lieferant: **Maschinenbau A.-G., Brückenbauanstalt, Nürnberg.**

Trägheitsmomente:  $J_{max} = 2938,8 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 2938,8 \text{ cm}^4$ ;

Trägheitshalbmesser:  $i_{max} = 5,42 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 5,42 \text{ cm}$ ;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren										
	Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l \text{ cm}$	Null-Last										
				10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,06	-0,07	-0,08	-0,08	
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,04	-0,04	-0,05	
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	-0,01	-0,04	-0,05	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,07	
			lotrecht	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,07	
			lotrecht	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08	0,09	
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Kreuzprofil aus 4 Winkelleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge:  $l_0 = 616 \text{ cm}$ ; Querschnittsfläche:  $F = 100,04 \text{ cm}^2$ ;

Wirksame »  $l = 308 \text{ »}$ ; Flächenlagerung.

Stabquerschnittes in $\text{cm}$ bei einer Belastung in $t$ .											unmittelbar nach Eintritt der Knickung	Knickkraft $N \text{ t}$	Richtung der Knickung
100,0	110,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0	220,0	240,0	260,0				
-0,08	-0,08	-0,09	-0,10	-0,12	-0,14	-0,17	-0,21	—	—	*)	266	↑	
0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,07	0,10	0,13	—	—	—			
-0,01	-0,01	0,01	0,05	0,09	0,12	0,18	—	—	—	—	256	↘	
-0,07	-0,06	-0,07	-0,08	-0,13	-0,16	-0,23	—	—	—	—			
-0,10	-0,11	-0,12	-0,14	-0,17	-0,21	-0,25	-0,31	—	—	—	266	←	
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,05	—	—	—			
-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,02	0,03	0,07	—	—	—	—	252	↓	
-0,04	-0,05	-0,06	-0,08	-0,10	-0,14	-0,18	—	—	—	—			
0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	—	—	—	275	↓	
-0,03	-0,04	-0,04	-0,06	-0,06	-0,09	-0,12	-0,17	—	—	—			
0,09	0,09	0,10	0,12	0,17	0,21	0,28	0,40	—	—	—	253	→	
0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	-0,04	—	—	—			
-0,09	-0,08	-0,08	-0,12	-0,13	-0,15	-0,22	-0,32	—	—	—	245	←	
0,01	0,01	0,01	0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,06	—	—	—			
-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	—	—	283	↑	
0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	—	—			

\*) Nicht gemessen.

Resultate der Knickungsproben der VI. Serie.

Lieferant: *Maschinenbau-A.-G., Nürnberg.* Kreuzprofil aus 4 Winkelisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a. Art der Einspannung: *Flächenlagerung.*  
 $J_{max} = 2938,8 \text{ cm}^4$ ;  $J_{min} = 2938,8 \text{ cm}^4$ ;  $i_{max} = 5,42 \text{ cm}$ ;  $i_{min} = 5,42 \text{ cm}$ ;  
*Querschnitts-Inhalt im Mittel: F = 100,04 cm².*

Lauf. Nr.	Urspr. Wirk-same		Konstruktion des Stabes		Knoten- formung $l/m$		Knickrichtung $X: Y$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft		Berechnete Knickkraft $\beta_k$	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
	Stablänge $l_0$ cm	Stablänge $l$ cm	$l/i$	Art der Knoten-bildung				absolut $N=t$	spezif. $\beta_k$ $t/cm^2$			
1	616	308	568	viernietige Blechstreifen	300		*)	203	2,03			
2	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	220	2,20			
3	616	308	568	viernietige Blechstreifen	200		—	Mittel 226	2,26	2,45	-15,6	Nach: $\beta_k = 3,10 - 0,0114 \frac{l}{i}$ für $\frac{l}{i} = 56,8$ berechnet wird $\beta_k = 2,45 t/cm^2$
4	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 236	2,36	2,45	-6,1	— somit $N = 246 \text{ t.}$
5	616	308	568	viernietige Blechstreifen	150		—	243	2,43			
6	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 248	2,48	2,45	+0,4	
7	616	308	568	viernietige Blechstreifen	120		—	Mittel 266	2,66	2,45	+7,9	<i>Viernietige Blechstreifen:</i> besser in 3 Fällen im Mittel um 6,0 %.
8	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 266	2,66	2,45	+7,9	
9	616	308	568	viernietige Blechstreifen	100		—	Mittel 266	2,66	2,45	+6,1	<i>Zweinetige Kreuzplatten:</i> besser in 4 Fällen im Mittel um 7,6 %.
10	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 256	2,56	2,45	+6,1	
11	616	308	568	viernietige Blechstreifen	75		—	Mittel 266	2,66	2,45	+6,1	
12	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 252	2,52	2,45	+5,4	
13	616	308	568	viernietige Blechstreifen	60		—	Mittel 275	2,75	2,45	+5,4	
14	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 253	2,53	2,45	+7,2	
15	616	308	568	viernietige Blechstreifen	50		—	Mittel 245	2,45	2,45	+7,2	
16	»	»	»	zweinetige Kreuzplatten	»		—	Mittel 283	2,83	2,45	+7,2	

\*) Nicht gemessen.

## Schlussfolgerungen.

1. Die an Druckstäben mit Kreuzprofil aus 4 Winkelleisen in Charlottenburg ausgeführten Knickversuche bestätigen unsere Knickungsformel für das Flusseisen:

$$\beta_k = 3,10 - 0,0114 \left( \frac{l}{i} \right)$$

und die Zulässigkeit bei unwandelbarer Flächenlagerung der Druckstäbe selbst bei Längenverhältnissen, die kleiner sind, als zur Erzeugung vorwiegend elastischer Formänderung nötig, die Knicklänge  $l = 0,5 l_0$  d. h. = der halben Stablänge zu wählen und in Rechnung zu stellen.

Aus Gründen der Verschiedenheit der Materialqualität, mehr noch aus Gründen der Einflüsse der Anarbeitung des Materials, war eine genaue Übereinstimmung der Resultate der Vorausberechnungen und der Versuchsergebnisse ausgeschlossen. Die Charlottenburger Versuche geben denn auch im Vergleiche zur Rechnung in einer der Versuchsreihen etwas zu hohe, in den anderen etwas zu niedrige Zahlenwerte.

So finden wir die *Knickspannung* aus der :

	Beobachtung ; <i>t/cm<sup>2</sup></i>	Berechnung ; <i>t/cm<sup>2</sup></i>	Differenz %
in der V. Serie, im günstigsten Fall:	2,22	2,34	-5,4
» » VI. » » » :	2,66	2,45	+7,9

2. Im Grossen und Ganzen erscheint die Verbindungsart der Winkelleisen in Druckstäben mit Kreuzquerschnitt durch **viernietige Blechstreifen den zweinietigen Kreuzplatten gleichwertig**. Unsere Versuche sprechen dafür, dass:

bei den *Druckstäben mit Kreuzquerschnitt* aus 2 Winkelleisen die **viernietigen Blechstreifen** den **zweinietigen Kreuzplatten**, während

bei den **vierwinkligen Druckstäben mit Kreuzquerschnitt** die **zweinietigen Kreuzplatten** den **viernietigen Blechstreifen** etwas überlegen sind; die Unterschiede sind indessen unwesentlich, und möglicherweise durch die Verschiedenheit der Anarbeitung hervorgebracht; vrgl. die folgende Zusammenstellung.

4-nietige Blechstreifen.

2-nietige Kreuzplatten.

2-winklige Druckstäbe.

<i>Serie 1</i>	besser in 5 Fällen um	12,8 ‰;	besser in 2 Fällen um	18,0 ‰;	
» 2	» » 2 » »	4,3 » ;	» » 5 » »	3,6 » ;	
» 3	» » 5 » »	6,3 » ;	» » 3 » »	3,2 » ;	
Zusammen: 12 Fälle um		8,7 ‰*);	Zusammen: 10 Fälle um		6,4 ‰*);

4-winklige Druckstäbe.

<i>Serie 4</i>	besser in 2 Fällen um	3,6 ‰;	besser in 4 Fällen um	3,1 ‰;	
» 5	» » 1 Falle »	1,9 » ;	» » 5 » »	6,9 » ;	
» 6	» » 3 Fällen »	6,0 » ;	» » 4 » »	7,6 » ;	
Zusammen: 6 Fälle um		4,5 ‰*);	Zusammen: 13 Fälle um		5,9 ‰*);

3. Die vorliegenden Versuchsreihen sind zur endgültigen Austragung der Frage nach den zulässigen Abständen der Verbindungsstellen getrennter Winkeleisen in kreuzförmigen Druckstreben unzulänglich. Die Entfernung der Verbindungsstellen, bei welcher die Knickfestigkeit constant wird, ihren Grösstwert erreicht und die Stäbe in der Richtung des kleinsten Biegewiderstandes knicken, schwankt in unseren Versuchen zwischen weit auseinander liegenden Grenzen, deren Festsetzung an und für sich nicht ganz einwandfrei ist. Unsere Versuche ergaben für Flusseisen:

in der 1 <sup>ten</sup> Serie einen Knotenabstand von	$a =$	ca.	57 $i$
» » 2 <sup>ten</sup> » » » »	$=$	»	67 $i$
» » 3 <sup>ten</sup> » » » »	$=$	»	29 $i$
» » 4 <sup>ten</sup> » » » »	$=$	»	35 $i$
» » 5 <sup>ten</sup> » » » »	$=$	»	45 $i$
» » 6 <sup>ten</sup> » » » »	$=$	»	75 $i$

Durchschnittlich  $a =$  ca. 50  $i$

wo  $i$  den kleinsten Trägheitshalbmesser des Einzelwinkels bedeutet.

4. Für Stäbe in Schweisseisen wird sich bis auf weiteres empfehlen, den Abstand der Verbindungsstellen getrennter Winkel (oder anderer Formeisensorten) von dem für das Flusseisen ermittelten Mittelwerte unter Berücksichtigung der Verschiedenheit der Elasticitätsgrenzen dieser Metalle abzuleiten.

\*) Massgebender und nicht arithmetischer Durchschnitt.

Für das Schweisseisen in Stäben liegt die Elasticitätsgrenze bei ca.  $1,6 \text{ t/cm}^2$ , für das Flusseisen bei ca.  $2,2 \text{ t/cm}^2$ . Demnach wird man den Abstand der fraglichen Verbindungsstellen

bei *Schweisseisen-Stäben* zu:

$$a = 50 \cdot \frac{1,6}{2,2} \cdot i = 36 i$$

zu wählen haben, wenn nach wie vor *i* den kleinsten Trägheitshalbmesser des Teilprofils des Druckstabes bedeutet.

## 5. Resultate der Untersuchung des Verhaltens des schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe.

### a. Allgemeines.

Die experimentelle Untersuchung des Verhaltens des schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe ist älteren Datums (1888—1889); sie wurde gleichzeitig mit der Untersuchung des Abhängigkeitsverhältnisses der Schwerpunktsspannungen zum massgebenden Längenverhältnis centrisch beanspruchter Druckstäbe in schmiedbarem Eisen durchgeführt und sind die gewonnenen Resultate gleichzeitig mit letztern im IV. Hefte der offiziellen Mitteilungen der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum (1890) veröffentlicht worden. Seither und namentlich durch die neuern, in vorliegender Arbeit besprochenen Versuche, haben sich die Anschauungen abgeklärt und veranlassten eine vollständige Umarbeitung der Resultate, die neues Licht in den Sachverhalt und ein Zahlenmaterial lieferte, durch welches das Verfahren der Dimensionierung auf excentrischen Druck beanspruchte prismatische Eisenstäbe in eine neue Bahn geleitet ist.

Taf. VII enthält die Zeichnungen des Versuchsmaterials, soweit sich dies auf die Formeisen und deren Herrichtung zu den excentrischen Druckproben bezieht. Die Ausführung der Versuche geschah in jeder Hinsicht ähnlich denjenigen der centrischen Druckproben und haben wir den Mitteilungen auf Seite 93 nichts beizufügen. Sämtliche Versuche wurden also horizontal, zwischen Spitzenkörper, so vollkommen beweglich als möglich, in die *Werder*-Maschine eingelegt, wo nötig ausbalanciert, um das Moment vom Selbstgewichte der Stäbe angenähert aufzuheben. Die Versuchstäbe wurden nun allmählich wachsenden, bis zur Grenze des Tragvermögens gesteigerten Druckkräften ausgesetzt. Spannungsmessungen waren damals nicht beabsichtigt und auch die Messung der Durchbiegungen der Stäbe musste in Ermanglung brauchbarer Hilfsmittel aufgegeben werden.

Nachstehende Zusammenstellungen enthalten die gewonnenen Resultate. Zu ihrer Berechnung diente die theoretische *Excentricitätsformel* sowie die *Navier'sche Spannungsgleichung*,

nachdem deren Richtigkeit für Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze inzwischen auch experimentell untersucht und für Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze folgen, ausser Zweifel gestellt war. Zur Herstellung der Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch für die Kohäsions-Grenze wurde der Vermittlungskoeffizient  $\mu$  eingestellt, von welchem auf Seite 26 die Sprache ist.

*β. Resultate der ex-*

Lauf. No.	Durch- messer <i>d, cm</i>	Quer- schnitts- fläche des Stabes <i>F, cm<sup>2</sup></i>	Wirk- same Stab- länge <i>l, cm</i>	Träg- heits- halb- messer <i>i, cm</i>	Kern- weite <i>w, cm</i>	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	An- fangs- Excentricität	
								<i>n<sub>0</sub></i>	<i>n</i>
<b>1. Serie: Rundeisen von Schweiss-</b>									
<i>ε = 2000 t/cm<sup>2</sup>; σ = 2,04 t/cm<sup>2</sup>; β<sub>s</sub> = 3,68 t/cm<sup>2</sup>;</i>									
1	4,61	16,7	52,3	1,15	0,574	45,5	2070	4,0	4,20
2	4,61	16,7	52,3	1,15	0,574	45,5	2070	4,0	4,20
Mittel	4,61	16,7	52,3	1,15	0,574	45,5	2070	4,0	4,20
3	4,59	16,5	75,3	1,15	0,574	65,5	4290	4,0	4,42
4	4,59	16,5	75,3	1,15	0,574	65,5	4290	4,0	4,42
Mittel	4,59	16,5	75,3	1,15	0,574	65,5	4290	4,0	4,42
5	4,68	17,2	118,7	1,17	0,585	101,5	10302	4,0	4,92
6	4,68	17,2	118,7	1,17	0,585	101,5	10302	4,0	4,92
Mittel	4,68	17,2	118,7	1,17	0,585	101,5	10302	4,0	4,92
7	4,68	17,2	168,5	1,17	0,585	144,1	20765	4,0	6,08
8	4,68	17,2	168,5	1,17	0,585	144,1	20765	4,0	6,08
Mittel	4,68	17,2	168,5	1,17	0,585	144,1	20765	4,0	6,08
9	4,68	17,2	213,0	1,17	0,585	182,0	33124	4,0	6,91
10	4,68	17,2	213,0	1,17	0,585	182,0	33124	4,0	6,91
Mittel	4,68	17,2	213,0	1,17	0,585	182,0	33124	4,0	6,91

*centrischen Druckproben.*

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
	<i>t, absol.</i> <i>B</i>	<i>t/cm<sup>2</sup></i> <i>σ<sub>s</sub></i>	Kantenspannung <i>t/cm<sup>2</sup></i> <i>σ<sub>1</sub>    σ<sub>2</sub></i>		Knick- spannung <i>t/cm<sup>2</sup></i> <i>β<sub>k</sub></i>	
<b>Gerlafingen (1888–1889). -eisen.</b>						
<i>φ = 49,8 ‰; λ<sub>2</sub> = 23,7 ‰; c = 0,87; sehnig normal.</i>						
7,32	5,84	0,350	3,120	— 2,370	2,438	<p style="text-align: center;"><i>Benützte Formeln.</i></p> <p>Zur Berechnung der Ge- samtexcentricität:</p> $n = \frac{n_0}{1 - 0,50 \left[ \frac{\sigma_s}{\epsilon} \left( \frac{l}{i} \right)^2 \right]}$ <p>worin <i>l<sub>0</sub> = 0,5 l</i> bedeutet.</p> <p>Zur Berechnung der Knick- spannungen:</p> $\beta_k = 3,03 - 0,013 \left( \frac{l}{i} \right),$ <p>beziehungsweise:</p> $\beta_k = 19740 \left( \frac{i}{l} \right)^2$ <p>_____</p> <p><i>σ<sub>s</sub></i> bedeutet die Schwer- punkts-Spannung.</p>
7,32	6,68	0,400	3,120	— 2,370	2,438	
7,32	6,26	0,375	3,120	— 2,370	2,438	
7,70	6,24	0,378	3,089	— 2,379	2,178	
7,70	5,48	0,332	3,089	— 2,379	2,178	
7,70	5,86	0,355	3,089	— 2,379	2,178	
8,41	5,30	0,308	2,861	— 2,253	1,710	
8,41	5,16	0,300	2,861	— 2,253	1,710	
8,41	5,23	0,304	2,861	— 2,253	1,710	
10,39	4,83	0,281	3,189	— 2,629	1,370	
10,39	4,80	0,279	3,189	— 2,629	1,370	
10,39	4,82	0,280	3,189	— 2,629	1,370	
11,81	3,84	0,223	2,857	— 2,411	1,085	
11,81	3,84	0,223	2,857	— 2,411	1,085	
11,81	3,84	0,223	2,857	— 2,411	1,085	
<i>Durchschnitt:</i>			3,039	— 2,408	—	

Lauf- No.	Durch- messer <i>d</i> , cm	Quer- schnitts- fläche des Stabes <i>F</i> , cm <sup>2</sup>	Wirk- same Stab- länge <i>l</i> , cm	Träg- heits- halb- messer <i>i</i> , cm	Kern- weite <i>w</i> , cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	An- fangs- Excentricität in cm	
								<i>n</i> <sub>0</sub>	<i>n</i>
<b>2. Serie: Rundeisen von Schweisseisen;</b>									
11	4,61	16,7	52,0	1,15	0,574	45,2	2043	8,0	8,23
12	4,61	16,7	52,0	1,15	0,574	45,2	2043	8,0	8,23
Mittel	4,61	16,7	52,0	1,15	0,574	45,2	2043	8,0	8,23
13	4,60	16,6	75,0	1,15	0,574	65,2	4251	8,0	8,44
14	4,60	16,6	75,0	1,15	0,574	65,2	4251	8,0	8,44
Mittel	4,60	16,6	75,0	1,15	0,574	65,2	4251	8,0	8,44
15	4,66	17,0	118,5	1,17	0,585	101,3	10262	8,0	9,03
16	4,66	17,0	118,5	1,17	0,585	101,3	10262	8,0	9,03
Mittel	4,66	17,0	118,5	1,17	0,585	101,3	10262	8,0	9,03
17	4,68	17,2	168,4	1,17	0,585	143,9	20707	8,0	10,00
18	4,68	17,2	168,4	1,17	0,585	143,9	20707	8,0	10,00
Mittel	4,68	17,2	168,4	1,17	0,585	143,9	20707	8,0	10,00
19	4,68	17,2	213,9	1,17	0,585	182,8	33416	8,0	11,68
20	4,68	17,2	213,9	1,17	0,585	182,8	33416	8,0	11,68
Mittel	4,68	17,2	213,9	1,17	0,585	182,8	33416	8,0	11,68

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen	
	<i>t</i> , absol. <i>B</i>	<i>t</i> /cm <sup>2</sup> $\sigma_s$	Kantenspannung		Knick- spannung		
			$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\frac{t}{cm^2}$ $\beta_k$		
<b>Gerlafingen (1888–1889).</b>							
Qualitäts-Zahlen vrgl. die 1. Serie.							
14,34	3,51	0,210	3,221	— 2,801	2,442	$\sigma_s$ bedeutet die Schwerpunktsspannung.	
14,34	3,51	0,210	3,221	— 2,801	2,442		
Mittel	14,34	3,51	0,210	3,221	— 2,801		2,442
14,70	3,25	0,196	3,077	— 2,685	2,182		
14,70	3,25	0,196	3,077	— 2,685	2,182		
Mittel	14,70	3,25	0,196	3,077	— 2,685		2,182
15,44	3,23	0,190	3,074	— 2,700	1,713		
15,44	3,13	0,184	3,074	— 2,700	1,713		
Mittel	15,44	3,18	0,187	3,074	— 2,700		1,713
17,09	2,72	0,158	2,858	— 2,542	1,371		
17,09	2,71	0,157	2,858	— 2,542	1,371		
Mittel	17,09	2,72	0,158	2,858	— 2,542		1,371
19,97	2,67	0,155	3,146	— 2,846	1,080		
19,97	2,49	0,145	3,146	— 2,846	1,080		
Mittel	19,97	2,58	0,150	3,146	— 2,846		1,080
Durchschnitt:			3,075	— 2,715	—		

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes $F, cm^2$	Wirksame Stablänge $l, cm$	Trägheitshalbmesser $i, cm$	Kernweite $w, cm$	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität	
							in $cm$ $n_0$	$n$

3. Serie: Material-Lieferant:  
**T**-Eisen; deutsches Normal-Schweiss-

$\varepsilon = 2000 t/cm^2$ ;  $\sigma = 2,43 t/cm^2$ ;  $\beta_s = 3,63 t/cm^2$ ;

21—22*)	19,9	358	1,80	$\left\{ \begin{matrix} w_1=2,07 \\ w_2=0,59 \end{matrix} \right.$	199	39601	0,53	6,80
23—24*)	19,9	358	»	»	199	39601	2,57	7,80
25—26*)	19,9	362	»	»	201	40401	3,67	8,89
27	19,9	579	»	»	322	103684	2,57	12,66
28	19,9	579	»	»	322	103684	0,00	—

Einspannung zwischen festen Druckplatten; Appretur des

29—30*)	19,9	$l_0=540^{**})$	1,80	$\left\{ \begin{matrix} w_1=2,07 \\ w_2=0,59 \end{matrix} \right.$	243^{***})	—	2,16	9,27
---------	------	-----------------	------	--	------------	---	------	------

\*) Mittel aus 2 Versuchen.

\*\*\*)  $l_0 = 540 cm$  entspricht der Formeisenlänge.

\*\*\*\*)  $l = 0,9 l_0 = 486$ ;  $\frac{l}{i} = 486 : 1,8 = 243$  .

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
	$t, \text{ absol.}$ $B$	$t/cm^2$ $\sigma_s$	Kantenspannung $t/cm^2$ $\sigma_1$   $\sigma_2$		Knickspannung $t/cm^2$ $\beta_k$	

Eisenwerk Kaiserslautern.  
Profil No. 14:7:1 (nominell)  
-eisen.

$\varphi = 20,6 \%$ ;  $\lambda_2 = 18,5 \%$ ;  $c = 0,67 cm t$ .

$\left\{ \begin{matrix} 3,29 \\ 11,52 \end{matrix} \right.$	8,20	0,412	1,767	4,334	0,498	$\sigma_s$ bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
$\left\{ \begin{matrix} 3,78 \\ 13,22 \end{matrix} \right.$	6,16	0,310	1,482	3,789	0,498	
$\left\{ \begin{matrix} 4,30 \\ 15,07 \end{matrix} \right.$	5,19	0,261	1,383	3,672	0,449	
$\left\{ \begin{matrix} 6,14 \\ 21,46 \end{matrix} \right.$	2,90	0,146	1,042	2,987	0,190	
—	3,90	0,196	—	—	0,190	
Summa aus 2, 3 u. 4			3,907	10,448	—	
Mittel . . . . .			1,302	3,483	—	

Versuchskörpers: vid. Abb. 2, Serie III der Zeichnung.

$\left\{ \begin{matrix} 4,48 \\ 15,71 \end{matrix} \right.$	$4,86^{1/2}$	0,245	1,343	3,604	—
---	--------------	-------	-------	-------	---

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes $F, cm^2$	Wirksame Stablänge $l, cm$	Trägheitshalbmesser $i, cm$	Kernweite $w, cm$	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität	
							in $cm$ $n_0$	$n$

4. Serie. Material-Lieferant:  
T-Profil aus 2 Winkeleisen, deutsches  
Schweisseisen; *Qualitäts-*

31—32*)	21,3	358	2,11	$\begin{cases} w_1=2,22 \\ w_2=0,89 \end{cases}$	170	28900	1,24	4,80
33—34*)	21,3	358	»	»	170	28900	3,10	7,75
35—36*)	21,3	362	»	»	172	29584	5,25	10,40
37	21,3	579	»	»	274	75076	3,10	16,94
38	21,3	579	»	»	274	75076	0,00	—

Einspannung zwischen festen Druckplatten; Appretur der

39—40*)	21,3	$\begin{cases} l_0 = 540^{**}) \\ l = 0,85 l_0 \end{cases}$	2,11	$\begin{cases} w_1=2,22 \\ w_2=0,89 \end{cases}$	218	—	2,60	10,79
---------	------	---	------	--	-----	---	------	-------

\*) Mittel aus 2 Versuchen.

\*\*)  $l_0 = 540$  entspricht der Länge des Formeisens.  
 $l$  ist die wirksame Stablänge.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
	$t, \text{ absol.}$ $B$	$t/cm^2$ $\sigma_s$	Kantenspannung $t/cm^2$ $\sigma_1$   $\sigma_2$		Knickspannung $t/cm^2$ $\beta_k$	

Eisenwerk Kaiserslautern.  
Normal-Profil No. 7a (nominell).  
zahlen; vrgl. die 3. Serie.

$\begin{cases} 2,16 \\ 5,39 \end{cases}$	10,20	0,479	1,514	2,103	0,683	$\sigma_s$ bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
$\begin{cases} 3,49 \\ 8,71 \end{cases}$	7,97	0,374	1,679	2,884	0,683	
$\begin{cases} 4,73 \\ 11,68 \end{cases}$	6,27	0,294	1,685	3,140	0,667	
$\begin{cases} 7,63 \\ 19,03 \end{cases}$	4,40	0,207	1,786	3,732	0,263	
—	5,90	0,277	—	—	0,263	
Summa aus 2, 3 u. 4			5,150	9,756	—	
Mittel . . . . .			1,717	3,252	—	

Probekörper, vid. Fig. 1, Serie III der Zeichnung.

$\begin{cases} 4,86 \\ 12,12 \end{cases}$	6,90	0,324	1,899	3,603	—	
---	------	-------	-------	-------	---	--

Lauf- No.	Quer- schnitts- fläche des Stabes $F, cm^2$	Wirk- same Stab- länge $l, cm$	Träg- heits- halb- messer $i, cm$	Kern- weite $w, cm$	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	An- fangs- Excentricität	
							in $cm$ $n_0$	$n$

5. Serie: Material-Lieferant:  
-Eisen, deutsches Normal-  
 Schweißeisen; Qualitäts-

41—42*)	17,0	358	1,59	$\begin{cases} w_1 = 1,59 \\ w_2 = 0,65 \end{cases}$	226	51076	0,74	6,22
43—44*)	17,0	358	» <sup>†</sup>	»	226	51076	2,60	9,12
45—46*)	17,0	362	»	»	228	51984	4,76	12,21
47	17,0	579	»	»	364	132496	2,56	18,55
48	17,0	579	»	»	364	132496	0,00	—

Einspannung zwischen festen Druckplatten; Appretur

49—50*)	17,0	$l_0 = 540^{**}$	1,59	$\begin{cases} w_1 = 1,59 \\ w_2 = 0,65 \end{cases}$	115†)	—	2,19	9,91
---------	------	------------------	------	--	-------	---	------	------

\*) Mittel aus 2 Versuchen.

\*\*)  $l_0$  entspricht der Formeisen-Länge. Die wirksame Stablänge liegt bei  $l_0 = 0,675 l_0$ , besser bei  $0,670 l_0$ .

†) für  $l = 0,675 l_0$ .

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
	$t, \text{ absol.}$ $B$	$t/cm^2$ $\sigma_s$	Kantenspannung		Knick- spannung $t/cm^2$ $\beta_k$	
			$t/cm^2$ $\sigma_1$	$\sigma_2$		

Eisenwerk Kaiserslautern.  
 Profil No. 12 (12 : 5,5 : 0,7 cm).  
 Zahlen; vrgl. die 3. Serie.

$\begin{cases} 3,91 \\ 9,57 \end{cases}$	5,70	0,335	1,645	-2,870	0,386	$\sigma_s$ bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
$\begin{cases} 5,73 \\ 14,03 \end{cases}$	4,40	0,259	1,743	-3,375	0,386	
$\begin{cases} 7,68 \\ 18,79 \end{cases}$	3,58	0,211	1,831	-3,754	0,380	
$\begin{cases} 11,67 \\ 28,54 \end{cases}$	2,15	0,126	1,596	-3,470	0,149	
	Summa		6,815	-13,469	—	
	Mittel		1,704	-3,362	—	
—	2,60	0,153	—	—	0,149	

des Versuchskörpers, vrgl. Fig. 3, Serie III der Zeichnung.

$\begin{cases} 6,23 \\ 15,22 \end{cases}$	4,70	0,277	2,003	3,939	—	
---	------	-------	-------	-------	---	--

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes $F, cm^2$	Wirksame Stablänge $l, cm$	Trägheitshalbmesser $i, cm$	Kernweite $w, cm$	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität	
							in $cm$ $n_0$	$n$

6. Serie. Material-Lieferant:  
**T**-Profil aus 2 Winkeleisen, deutsches  
**Schweiss-**  
 $\epsilon = 2000 t/cm^2$ ;  $\sigma = 2,34 t/cm^2$ ;  $\beta_z = 3,45 t/cm^2$ ;

51—52*)	31,8	120	2,75	$\begin{cases} w_1 = 2,98 \\ w_2 = 1,17 \end{cases}$	43,6	1901	3,65	4,22
53—54*)	31,8	220	»	»	80,0	6400	3,65	5,48
55—56	31,8	320	»	»	116	13456	3,65	7,17
57—58	31,8	420	»	»	153	23409	3,65	9,24
59—60	31,8	520	»	»	189	35721	3,65	11,27

\*) Mittelwerte aus 2 Versuchen.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
	$t, \text{absol.}$ $B$	$t/cm^2$ $\sigma_s$	Kantenspannung $t/cm^2$ $\sigma_1$   $\sigma_2$		Knickspannung $t/cm^2$ $\beta_k$	

de Wendel & Co., Hayange.  
 Normal-Profil No. 9.  
**-eisen.**

$\varphi = 12,6 \%$ ;  $\lambda_2 = 10,7 \%$ ;  $c = 0,42 cm t$ .

{	1,42	37,12	1,167	2,824	3,046	2,464	$\sigma_s$ bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
	3,61						
{	1,84	28,37	0,892	2,533	3,283	1,990	
	4,68						
{	2,41	20,37	0,641	2,186	3,288	1,467	
	6,13						
{	3,10	14,82	0,466	1,911	3,211	0,843	
	7,89						
{	3,78	11,02	0,347	1,659	2,995	0,553	
	9,63						
	Summa	11,113	15,823	—			
	Mittel	2,223	3,165	—			

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes $F, cm^2$	Wirksame Stablänge $l, cm$	Trägheitshalbmesser $i, cm$	Kernweite $w, cm$	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität	
							in $cm$ $n_0$	$n$

7. Serie: Material-Lieferant:

**T**-Profil aus 2 Winkeleisen,

**Fluss-**

$\varepsilon = 2140 t/cm^2$ ;  $\sigma = 2,76 t/cm^2$ ;  $\beta_z = 4,21 t/cm^2$ ;

61—62**)	30,0	120	2,76	$\left\{ \begin{matrix} w_1=2,98 \\ w_2=1,18 \end{matrix} \right.$	43,5	1892	3,56	4,15
63—64	30,0	220	»	»	79,7	6352	3,52	5,50
65—66	30,0	320	»	»	116	13456	3,56	7,12
67—68	30,0	420	»	»	152	23104	3,50	8,86
69—70	30,0	520	»	»	188	35344	3,52	10,70

\*\* ) Mittelwerte aus 2 Versuchen.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
	$t, \text{absol.}$ $B$	$t/cm^2$ $\sigma_s$	Kantenspannung $t/cm^2$ $\sigma_1$ $\sigma_2$		Knickspannung $t/cm^2$ $\beta_k$	

de Wendel & Co., Hayange.

deutsches Normal-Profil Nr. 9a.

**-eisen.**

$\varphi = 62,9 \%$ ;  $\lambda_2 = 27,9 \%$ ;  $c = 1,16 cm t$ .

{	1,39	39,75	1,325	3,167	3,339	2,604	*) In der Knickformel entsprechend auf $2150 t/cm^2$ aufgerundet.
	3,52						
{	1,85	31,37	1,046	2,981	3,828	2,191	
	4,66						
{	2,39	20,79	0,693	2,349	3,493	1,576	
	6,04						
{	2,97	15,24	0,508	2,017	3,307	0,918	
	7,51						
{	3,59	11,25	0,375	1,721	3,030	0,600	
	9,08						
	Summa	12,235	16,997	—			
	Mittel	2,447	3,400	—			

### Schlussfolgerungen.

Aus vorstehenden Versuchsreihen geht hervor, dass

1. *excentrischen Druckkräften ausgesetzte, prismatische Druckstäbe beim Eintritt der Bruchdehnung bezw. der Bruchstauchung der meist gespannten Fasern ihr Tragvermögen verlieren*; dass

2. *die Anwendung der auf dem Proportionalitäts-Gesetze fussenden Formel der Mechanik an der Grenze des Tragvermögens der Stäbe, Spannungswerte der äussersten Fasern liefert, die sich sowohl mit dem Materiale, als auch mit der Querschnittsform der Stäbe ändern.*

3. *Rund-Schweisseisen mit Längenverhältnissen  $l:i = 45$  bis 182 ergaben für das Verhältnis ( $\mu$ ) der Zugfestigkeit des Materials ( $\beta_z$ ) zur grössten, rechnungsmässigen Kantenspannung ( $\sigma_m$ ) folgende Werte:*

$l:i$	$n$	$\sigma_{max}$	$\mu = \beta_z : \sigma_{max}$
45,5	4,0 cm	3,12 t/cm <sup>2</sup>	1,18
65,5	»	3,09 »	1,19
101,5	»	2,86 »	1,29
144,1	»	3,19 »	1,16
182,0	»	2,86 »	1,29
45,2	8,0 cm	3,22 t/cm <sup>2</sup>	1,14
65,2	»	3,08 »	1,19
101,3	»	3,07 »	1,20
143,9	»	2,86 »	1,28
182,8	»	3,15 »	1,17

Zusammen: 12,09

Im Mittel: 1,21

*Für Rund-Schweisseisen ist also  $\mu$  weder vom massgebenden Längenverhältnisse noch von der Grösse der Anfangs-Excentricität ( $n$ ) abhängig. Ob für andere concentrierte Querschnittsformen die Verhältnisse ähnlich liegen, bleibt festzustellen weiteren Versuchen vorbehalten. Bis auf weiteres darf angenommen werden, dass für ungeteilte Druckstäbe mit concentrirter Querschnittsform in Schweisseisen der Vermittlungskoeffizient rund*

$$\mu = 1,20$$

*beträgt.*

4. *Druckstäbe in Schweisseisen mit gespreizten Querschnittsformen, gleichviel ob dieselben einteilig oder durch Nietung zu-*

sammengesetzt waren, ergaben Werte des Vermittlungskoeffizienten  $\mu$ , die selbst für ein und dasselbe Profil nicht unerhebliche Schwankungen aufwiesen. Die Differenzen der Zahlenwerte des Vermittlungskoeffizienten scheinen zufälliger Natur zu sein, denn sie weisen weder in Hinsicht auf das massgebende Längenverhältnis noch auf die Grösse der Anfangsexcentricität eine Gesetzmässigkeit auf. Die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen liegen in relativ engen Grenzen, so dass man berechtigt ist, die Durchschnittswerte der Gruppenmittel bis auf weiteres als den massgebenden Wert des Vermittlungskoeffizienten für gespreizte Querschnittsformen anzusehen (im Gegensatz zu den concentrierten); vrgl. die folgenden Zusammenstellungen:

$l : i$                        $n$                        $\sigma_{max}$                        $\mu = \beta_z : \sigma_{max}$

**T**-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 14/7.

199,0	0,53 cm	4,33 t/cm <sup>2</sup>	0,84
199,0	2,57 »	3,79 »	0,96
201,0	3,67 »	3,67 »	0,99
322,0	2,57 »	2,99 »	1,22
Zusammen:			4,01
Im Mittel:			1,00

**T**-Profil aus 2 Winkeleisen; deutsches Normalprofil Nr. 7a.

170,0	1,24 cm	2,10 t/cm <sup>2</sup>	(?)
170,0	3,10 »	2,88 »	1,26
172,0	5,25 »	3,14 »	1,16
274,0	3,10 »	3,73 »	0,98
Zusammen:			3,40
Im Mittel:			1,13

**T**-Profil aus 2 Winkeleisen; deutsches Normalprofil Nr. 9a.

43,6	3,65 cm	3,05 t/cm <sup>2</sup>	1,13
80,0	3,65 »	3,28 »	1,05
116,0	3,65 »	3,29 »	1,05
153,0	3,65 »	3,21 »	1,07
189,0	3,65 »	3,00 »	1,15
Zusammen:			5,45
Im Mittel:			1,09

**C**-Eisen; deutsches Normal-Profil Nr. 12.

226	0,74 cm	2,87 t/cm <sup>2</sup>	1,26
226	2,60 »	3,38 »	1,08
228	4,76 »	3,75 »	0,97
364	2,56 »	3,47 »	1,05
Zusammen:			4,36
Im Mittel:			1,09

Der Durchschnittswert der Gruppenmittel beträgt: 1,08; mithin wird man für Formeisen und aus diesen hervorgegangenen, gespreizten Querschnitts-Formen den Vermittlungs-Koeffizienten der zusammengesetzten Druckfestigkeit für Schweisseisen bis auf Weiteres zu:

$$\mu_s = \frac{\beta_z}{\sigma_{max}} = 1,08$$

annehmen und in Rechnung stellen dürfen.

5. Bei Druckstäben mit nahezu kongruenten Querschnitten sind die Kantenspannungen an der Grenze des Tragvermögens beim Flusseisen grösser als beim Schweisseisen.

<i>l:i</i>	<i>n</i>	$\sigma_{max}$	Verhältnis der $\sigma_{max}$
------------	----------	----------------	----------------------------------

**T**-Profil aus 2 Winkeleisen; deutsches Normalprofil Nr. 9a.

Schweisseisen	43,6	3,65 cm	3,05 t/cm <sup>2</sup>	} . . . . . 1,09
Flusseisen	43,5	3,56 »	3,34 »	
Schweisseisen	80,0	3,65 cm	3,28 t/cm <sup>2</sup>	} . . . . . 1,17
Flusseisen	79,7	3,52 »	3,83 »	
Schweisseisen	116,0	3,65 cm	3,29 t/cm <sup>2</sup>	} . . . . . 1,06
Flusseisen	116,0	3,56 »	3,49 »	
Schweisseisen	153,0	3,65 cm	3,21 t/cm <sup>2</sup>	} . . . . . 1,03
Flusseisen	152,0	3,50 »	3,31 »	
Schweisseisen	189,0	3,65 cm	3,00 t/cm <sup>2</sup>	} . . . . . 1,01
Flusseisen	188,0	3,52 »	3,03 »	
Zusammen:			5,36	
Im Mittel:			1,07	

Unter angenähert gleichen Verhältnissen sind somit die rechnermässigen Kantenspannungen an der Grenze flusseiserner Druckstäbe ca. 1,07 mal grösser, als die der schweisseisernen.

Da nun das Verhältnis der Zugfestigkeiten ( $\beta_2$ ) der in diesen Versuchsreihen verwendeten Winkeleisen

$$\frac{\text{Flusseisen}}{\text{Schweisseisen}} = \frac{4,21}{3,45} = 1,22$$

beträgt, wird der *Vermittlungskoeffizient für Druckstäbe in Flusseisen*:

$$\mu_f = \frac{1,22}{1,07} \mu_s = 1,14 \mu_s$$

betragen, wenn  $\mu_s$  den Vermittlungskoeffizient für das Schweisseisen bedeutet.

Unter Berücksichtigung der Werte von  $\mu$  erhält man schliesslich die in folgender Tabelle zusammengestellten *Vermittlungskoeffizienten*;

	Schweisseisen :	Flusseisen :
bei concentrierten Querschnittsformen:	$\mu_s = 1,20$ ;	$\mu_f = 1,37$ ;
» gespreizten	» : » = 1,08;	» = 1,23.

## 6. Anwendungen.

Vorstehende *Vermittlungskoeffizienten* gestatten die Dimensionierung eines, auf zusammengesetzter Druckfestigkeit beanspruchten, prismatischen Stabes unter zu Grundelegung einer gewählten,  $m$ -fachen Sicherheit gegen Bruch, bzw. gegen das Erreichen der Grenze des Tragvermögens seines Materials durchzuführen. Der Rechnungsweg kann folgender sein:

Gegeben sind: die wirksame *Stablänge*  $l$ ; *Grösse der Anfangsexcentricität*  $n_0$ ; *Grösse der Arbeitsbelastung*  $P$  in  $t$ , sowie die *Elasticitäts-* ( $\epsilon$ ) und *Festigkeitsverhältnisse* ( $\beta$ ) des Materials.

Die *Bruchbelastung* des Stabes wäre:  $N = m P$ ; für diese wird die grösste *Kantenspannung*  $\sigma_{max} = \frac{1}{\mu} \beta_2$  betragen. Mit hin hat man:

$$\sigma_{max} = \frac{1}{\mu} \beta_2 = - \sigma_s \left[ 1 + \frac{c}{a} \right], \text{ wo:}$$

$$a = \frac{l^2}{n'} \text{ u. } n' = \frac{n_0}{1 - 0,50 \left( \frac{l}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\epsilon} + 0,0417 \left[ \left( \frac{l}{i} \right)^2 \frac{\sigma_s}{\epsilon} \right]^2}$$

bedeutet.

Man wählt  $\sigma_s$ , berechnet aus:

$$F = \frac{N}{\sigma_s} = \frac{mP}{\sigma_s}$$

die Grösse des erforderlichen Stabquerschnitts, wählt seine Form, bestimmt deren Querschnittsgrössen und ermittelt an Hand dieser die grösste Kantenspannung  $\sigma'_{max}$ . Die Ermittlung der Querschnitts-Abmessungen darf als befriedigend angesehen werden, sofern angeähert

$$\sigma'_{max} = \sigma_{max}$$

wird; im andern Falle wäre  $\sigma_s$  d. h. die gewählten Abmessungen zu ändern. Ist ein *Stab* in der vorstehend angeführten Weise mit  $m$ -facher Sicherheit gegen Bruch dimensioniert, so hat in gesonderter Rechnung die Ermittlung der Grösstwerte der Kantenspannungen  $\sigma_I, \sigma_{II}$  für die einfache Arbeitsbelastung  $P$  des Stabes zu erfolgen. Hierzu dienen nach wie vor die Formeln:

$$\sigma_s = \frac{P}{F}; \quad a = \frac{i^2}{n}; \quad \sigma_I = -\sigma_s \left[ 1 + \frac{c_I}{a} \right]; \quad \sigma_{II} = -\sigma_s \left[ 1 - \frac{c_{II}}{a} \right]$$

u. s. w.

Am Schlusse vorliegender Arbeit sei noch gestattet, an einigen Beispielen den Wert der neuen Methode der Querschnittsermittlung gedruckter Stäbe zu illustrieren.

#### Annahmen.

*Stützenlänge:*  $l = 890 \text{ cm}$ ;     *Stützenlagerung:* beweglich  
(zwischen Spitzen).

*Arbeitsbelastung:*  $P = 36,0 \text{ t}$ ;

*Sicherheitsgrad:*  $m = 4$ .

*Material:* Schweisseisen mit einer Zug- bzw. Druckfestigkeit von  $\beta = 3,6 \text{ t/cm}^2$ .     *Elastizitätsmodul:*  $\epsilon = 2000 \text{ t/cm}^2$ .

*Querschnittsform der Stütze:* Einfachheitswillen kreisförmiger Ring-Querschnitt.

1. Fall: *Centrischer Kraftangriff.*

Für das durch Probieren ermittelte Längenverhältnis  $l:i=127$  erhält man nach *Tetmajer*:

die zulässige Materialanspruchnahme  $\sigma_k = 0,33 \text{ t/cm}^2$ ;  
die erforderliche Querschnittsfläche beträgt somit

$$F = \frac{36,0}{0,33} = 109 \text{ cm}^2.$$

Wir wählen eine kreisförmige Ringfläche mit folgenden Abmessungen:

äusserer Durchmesser  $d = 21,0 \text{ cm}$

innerer »  $d_0 = 17,4 \text{ »}$

Wandstärke »  $s = 1,8 \text{ »}$ .

Für diese Abmessungen beträgt:

der Querschnittsinhalt  $F = 108,6 \text{ cm}^2$ ,

der Trägheitshalbmesser  $i = 6,82 \text{ cm}$ ,

das massgebende Längenverhältnis  $l:i = 130,5 \text{ cm}$ .

Die *Bruchkraft der Säule* mit diesem Querschnitte ist ausgedrückt durch:

$$N = \left[ 3,03 - 0,013 \frac{l}{i} \right] F = 1,33 \cdot 108,6 = 144,4 \text{ t};$$

ihr Sicherheitsgrad gegen Bruch somit

$$m = \frac{N}{P} = \frac{144,4}{36,0} = 4,1.$$

2. Fall: *Excentrischer Kraftangriff.*

Anfangs-Excentricität der Säule  $n = 3,55 \text{ cm}$ .

*Altes Rechnungsverfahren.*

Die grösste Kantenspannung der Säule soll bei  $m = 4$ -facher Sicherheit

$$\sigma_z = \frac{\beta}{m} = \frac{3,6}{4} = 0,90 \text{ t/cm}^2 \text{ nicht überschreiten.}$$

Durch Probieren erhält man eine zulässige *Schwerpunkts-Spannung*:

$$\sigma_s = 0,358 \text{ t/cm}^2;$$

dieser entspricht ein Säulenquerschnitt:

$$F = \frac{P}{\sigma_s} = \frac{36,0}{0,358} = 100,6 \text{ cm}^2.$$

Bei 1,8 cm Wandstärke wird:

der äussere Durchmesser  $d = 19,6 \text{ cm}$

» innere »  $d_0 = 16,0 \text{ »}$

» Trägheitshalbmesser  $i = 6,25 \text{ »}$

das massgebende Längenverhältnis  $l_0:i = 445:6,25 = 71,20$ ,  
somit die Gesamtexcentricität:

$$n = \frac{n_0}{1 - 0,5 \left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0,0417 \left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^2} = \frac{3,55}{1 - 0,456 + 0,035} = 6,13 \text{ cm.}$$

Der Pfeil der elastischen Verbiegung wäre somit:

$$\Delta n = n - n_0 = 6,13 - 3,55 = 2,58 \text{ cm}$$

und die grösste Kantenspannung:

$$\sigma_1 = \sigma_s \left[1 + \frac{c}{a}\right] = 0,358 \left[1 + \frac{9,80}{6,37}\right] = 0,91 \text{ t/cm}^2,$$

da in vorstehender Spannungsformel

$$c = \frac{d}{2} = \frac{19,6}{2} = 9,8 \text{ cm}$$

und

$$a = \frac{i^2}{n} = \frac{39,06}{6,13} = 6,37 \text{ ist.}$$

Die grösste Kantenspannung  $\sigma_1 = 0,91 \text{ t/cm}^2$  entspricht näherungsweise der zulässigen  $\sigma_s = 0,90 \text{ t/cm}^2$ ; wir gelangen somit zu dem interessanten Resultat, dass unter sonst gleichen Umständen die *excentrisch* belastete Säule schwächere Querschnittsabmessungen zu erhalten hätte, als die *centrische*.

*Neues Rechnungsverfahren.*

Für die Bruchbelastung:

$$N = mP = 4 \cdot 36,0 = 144,0 \text{ t}$$

und die unter Zuhilfenahme des Vermittlungskoeffizienten für gespreizte Querschnittsformen

$$\mu = 1,08$$

abgeleitete Bruchspannung der äussersten Fasern

$$\beta_b = \frac{1}{\mu} \beta_z = \frac{1}{1,08} 3,6 = 3,33 \text{ t/cm}^2,$$

erhält man durch Probieren eine Schwerpunkts-Spannung:

$$\sigma_s = 1,10 \text{ t/cm}^2;$$

sie liefert einen Querschnitts-Inhalt

$$F = \frac{144}{1,10} = 131,2 \text{ t/cm}^2,$$

also einen kreisförmigen Querschnitt mit

einem äussern Durchmesser  $d = 25,0 \text{ cm}$

» innern »  $d_0 = 21,4 \text{ »}$ , also

einer Wandstärke . . . .  $s = 1,8 \text{ »}$

einem Trägheitshalbmesser  $i = 8,23 \text{ »}$ .

Das massgebende Längenverhältnis der Säule wird:

$$l_0 : i = 445 : 8,23 = 54,07, \text{ somit}$$

die Gesamtexcentricität

$$n = \frac{3,55}{1 - 0,50 \left( 54,07 \right)^2 + 0,0417 \left[ \left( 54,07 \right)^2 \right]^2} = \frac{3,55}{0,304} = 11,67.$$

Nun ist:  $c = \frac{d}{2} = 12,5 \text{ cm}$ ,  $a = \frac{i^2}{n} = \frac{8,23^2}{11,67} = 5,80 \text{ cm}$ ;

für diesen Belastungszustand wird die grösste Kantenspannung:

$$\sigma = \sigma_s \left[ 1 + \frac{c}{a} \right] = 1,10 \left[ 1 + \frac{12,5}{5,8} \right] = 3,46 \text{ t/cm}^2;$$

die Übereinstimmung mit der angenäherten Bruchspannung von

$$\beta_b = 3,33 \text{ t/cm}^2.$$

ist somit hinlänglich; den Forderungen der Dimensionierung ist entsprochen.

Unter der Arbeitslast  $P = 36,0 \text{ t}$  dieser mit  $m = 4$ -fachen Sicherheit berechneten Säule, wird die Schwerpunktsspannung

$$\sigma_s = \frac{36,0}{131,2} = 0,27,$$

somit die Gesamtdurchbiegung:

$$n = \frac{3,55}{1 - 0,50 \left( \frac{445}{8,23} \right)^2 \frac{0,27}{2000} - 0,0417 \left[ \left( \frac{445}{8,23} \right)^2 \frac{0,27}{2000} \right]^2} = \frac{3,55}{0,809} = 4,38 \text{ cm}$$

betragen, d. h. die Säule wird eine elastische Verbiegung von bloß

$$\Delta n = 4,38 - 3,55 = 0,83 \text{ cm}$$

erfahren. Da nun  $a = \frac{i^2}{n} = \frac{67,73}{4,38} = 15,46 \text{ cm}$  ist, so wird die grösste

Kantenspannung:

$$\sigma = \sigma_s \left( 1 + \frac{c}{a} \right) = 0,27 \left( 1 + \frac{12,5}{15,46} \right) = 0,49 \text{ t/cm}^2$$

betragen.

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort . . . . .	3
I. Einleitung . . . . .	7
II. Ursachen der Knickererscheinungen; Grundformeln	9
III. Formänderungen prismatischer Stäbe in der Druck- probe . . . . .	19
IV. Zusammenstellung der Grundformeln . . . . .	26
V. Resultate der experimentellen Untersuchungen .	29
1. Ergebnisse der Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitäts- und der Na- vier'schen Spannungsformel . . . . .	30
2. Resultate der Untersuchung der Spannungsverteilung in centrisch belasteten Druckstäben . . . . .	37
3. Resultate der Untersuchung des Abhängigkeitsver- hältnisses der Schwerpunktsspannung ( $\sigma_s = \beta_k$ ) zum massgebenden Längenverhältnis prismatischer Druck- stäbe . . . . .	82
a. Beschreibung des Versuchsmaterials . . . . .	82
a. <i>Bauholz</i> . . . . .	82
b. <i>Gusseisen</i> . . . . .	83
c. <i>Schmiedbares Eisen</i> . . . . .	84
b. Spannung der Probekörper und Art der Ver- suchsausführung . . . . .	87
a. <i>Bauholz</i> . . . . .	87
b. <i>Gusseisen</i> . . . . .	91
c. <i>Schmiedbares Eisen</i> . . . . .	93
c. Resultate der Knickungsproben . . . . .	95
I. Abteilung: <i>Bauholz</i> . . . . .	95
II.    »    : <i>Gusseisen</i> . . . . .	113
III.   »    : <i>Schweisseisen</i> . . . . .	135
IV.    »    : <i>Flusseisen</i> . . . . .	142

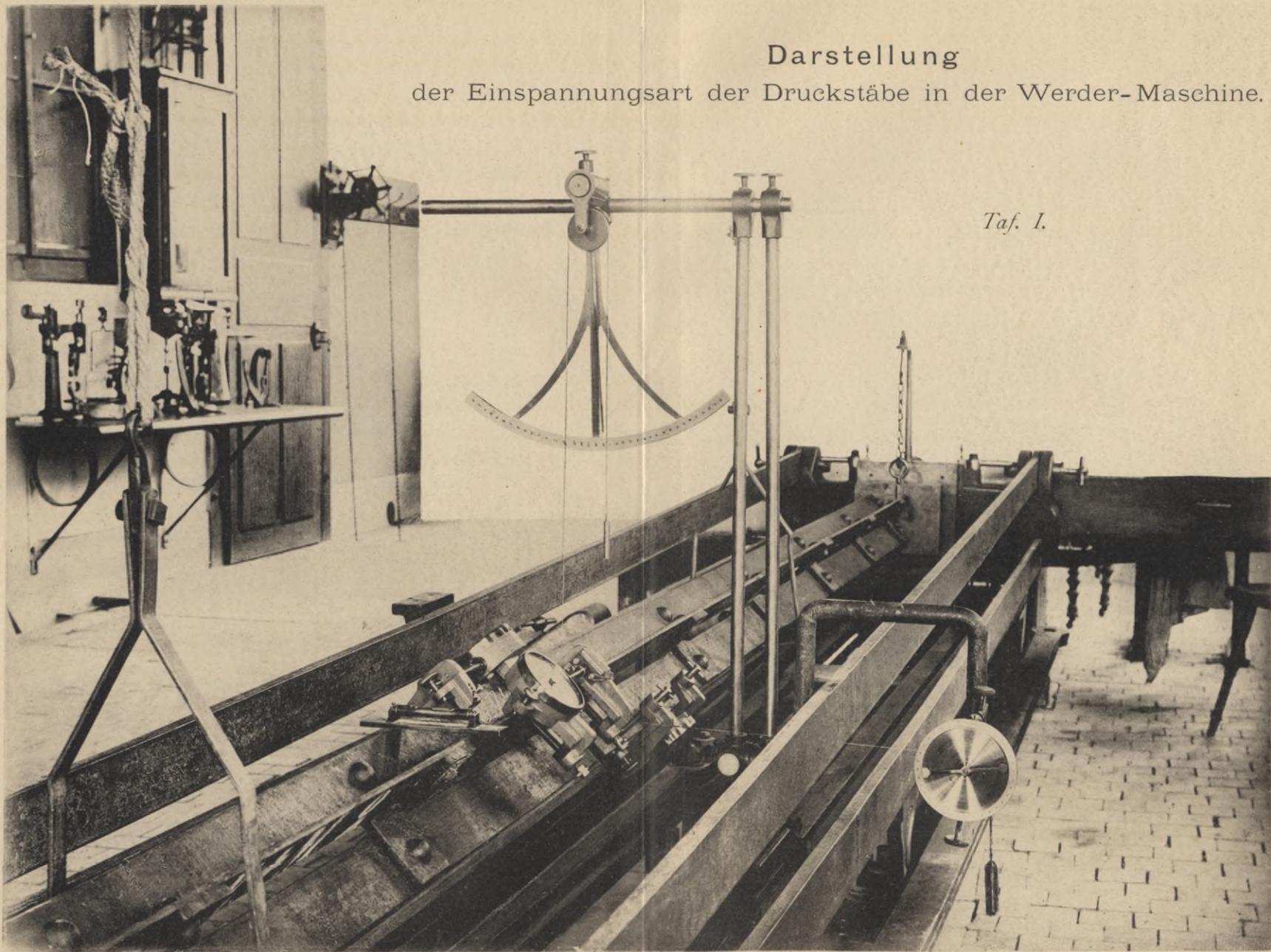
	Seite
4. Resultate der Untersuchung des Einflusses der Verbindungsart von Formeisen auf die Knickungsfestigkeit zusammengesetzter, schmiedeiserner Druckstäbe	149
a. Schweisseisen-Stäbe (aus dem Jahre 1892)	149
a. <i>Allgemeines</i>	149
β. <i>Resultate der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials</i>	152
γ. <i>Resultate der Knickungsproben</i>	153
b. Flusseisen-Stäbe (aus den Jahren 1899-1900)	156
a. <i>Allgemeines</i>	156
β. <i>Resultate der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials</i>	159
γ. <i>Resultate der Druckproben</i>	162
Schlussfolgerungen	191
5. Resultate der Untersuchung d. Verhaltens d. schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe	194
a. <i>Allgemeines</i>	194
β. <i>Resultate der excentrischen Druckproben</i>	196
Schlussfolgerungen	210
6. Anwendungen	213





Darstellung  
der Einspannungsart der Druckstäbe in der Werder-Maschine.

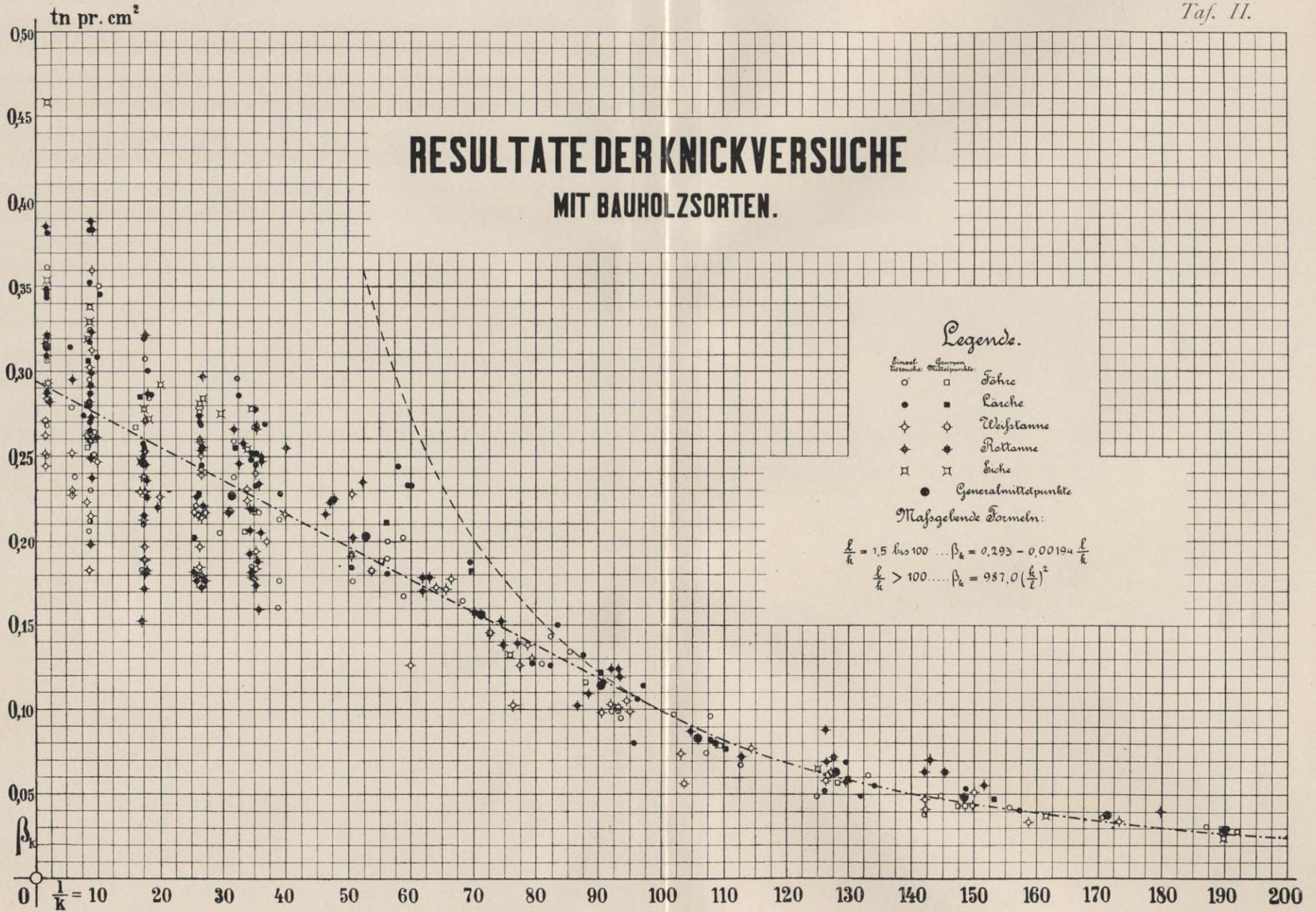
*Taf. I.*





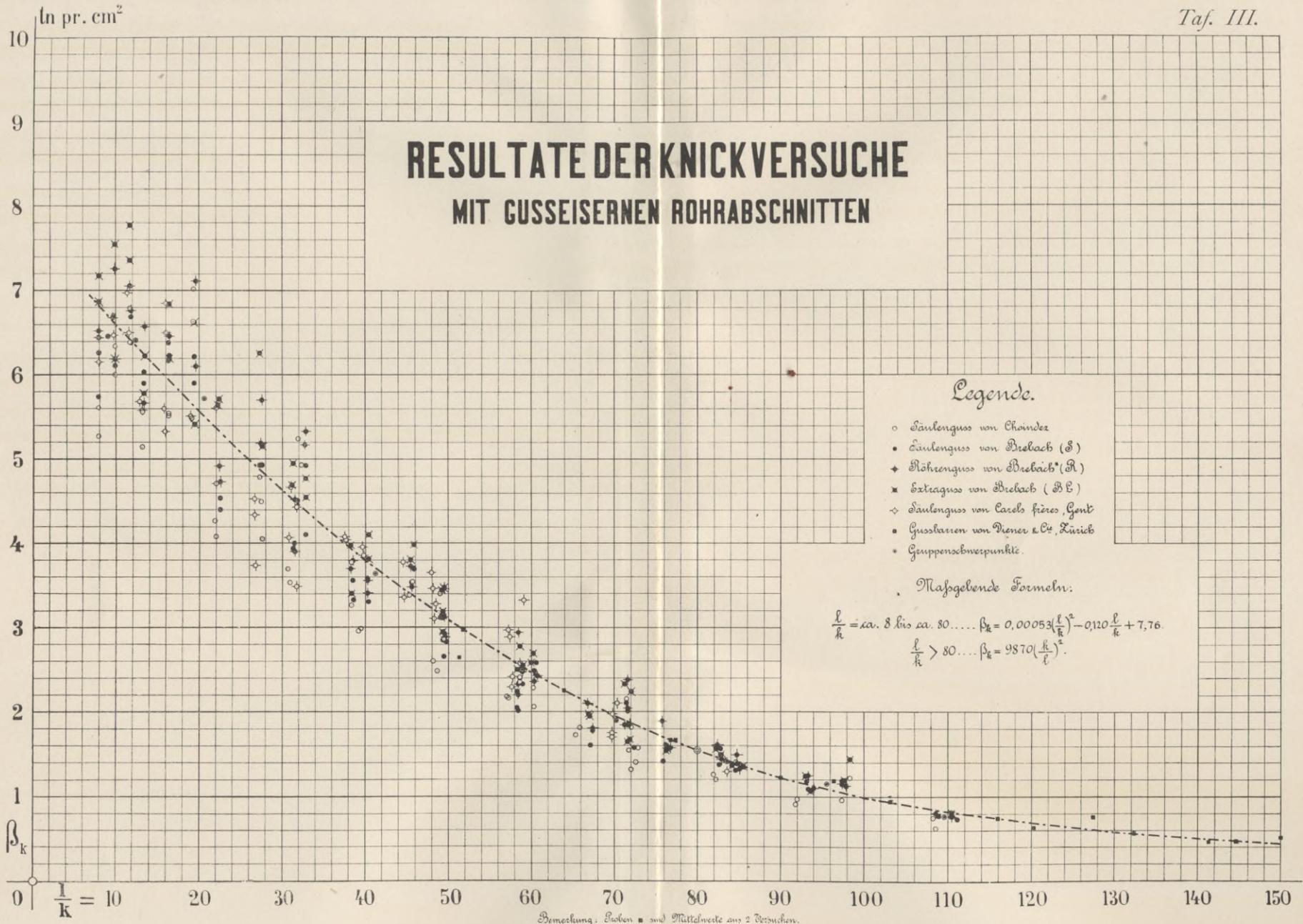


# RESULTATE DER KNICKVERSUCHE MIT BAUHOLZSORTEN.



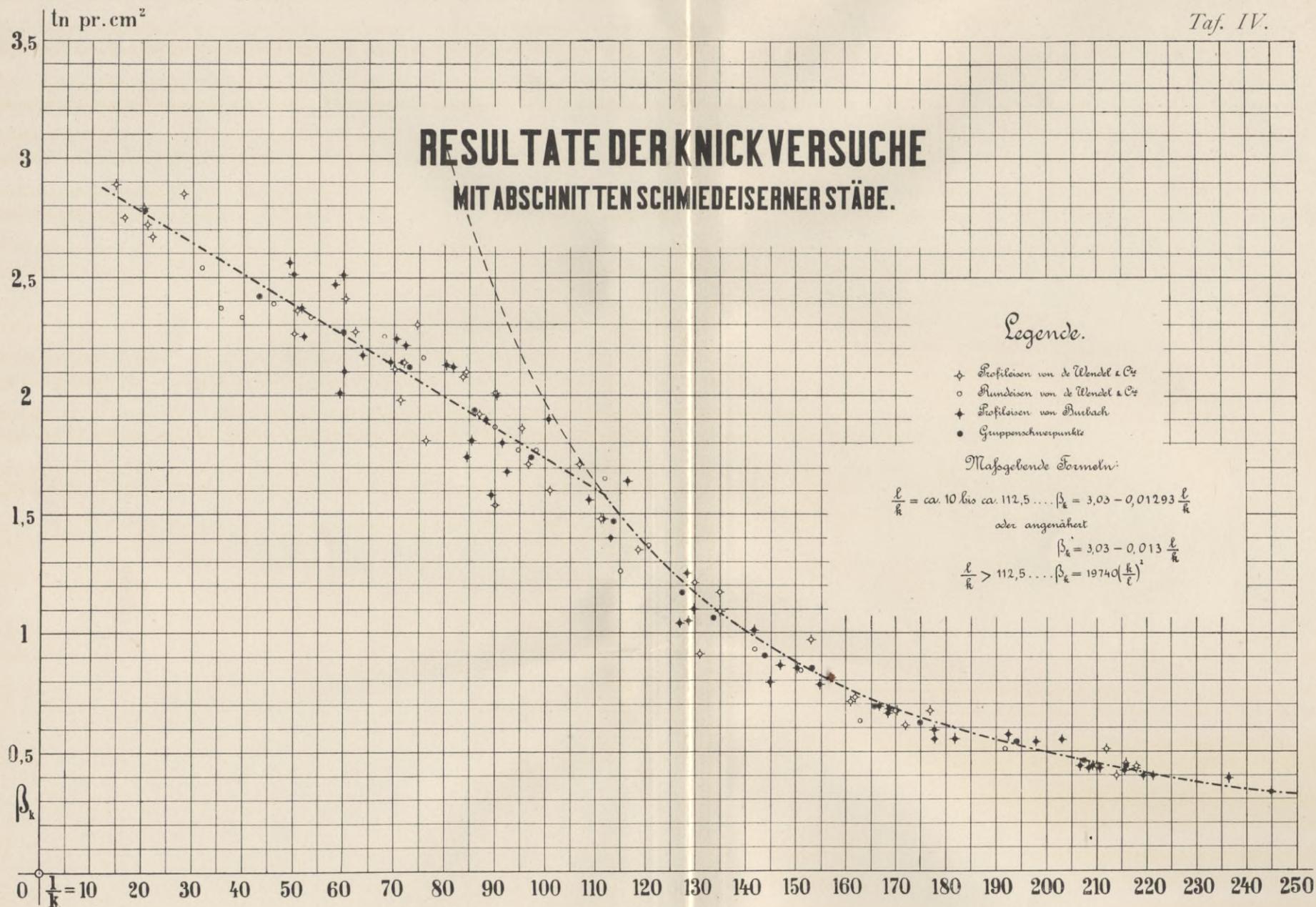








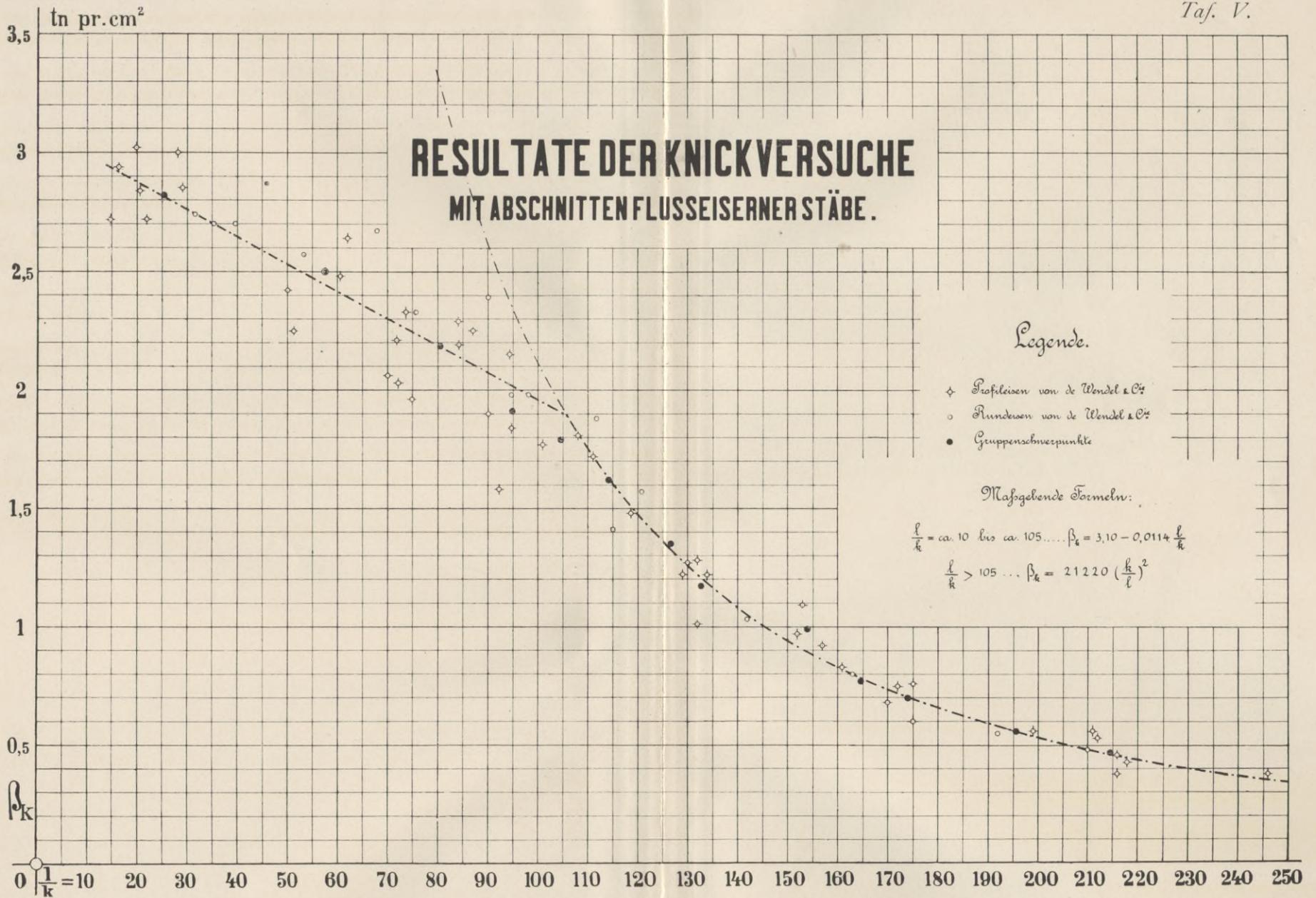








# RESULTATE DER KNICKVERSUCHE MIT ABSCHNITTEN FLUSSEISERNER STÄBE.

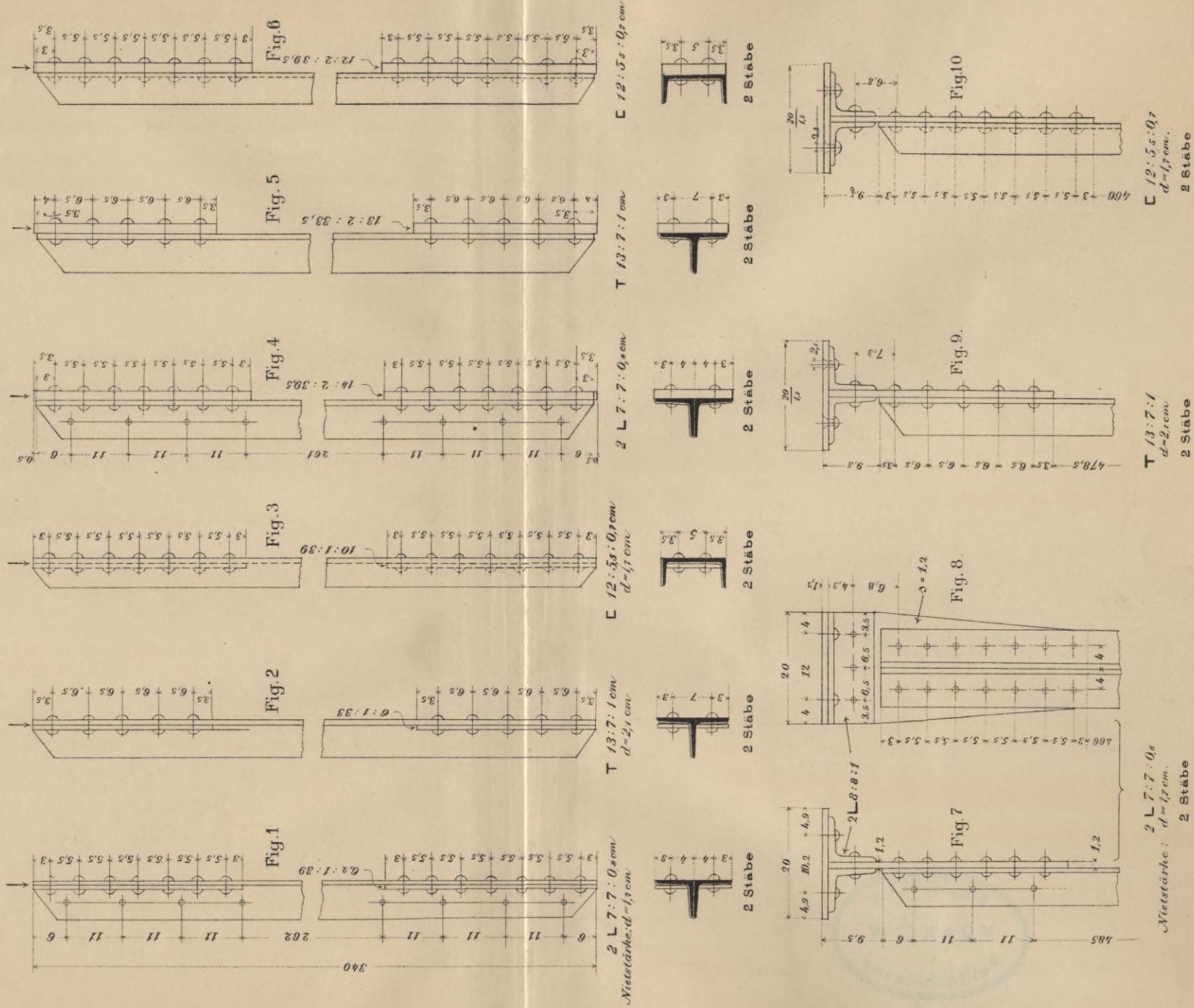






PROBESTÄBE

zur Untersuchung des Einflusses des exzentrischen Druckes



Maßstab = 1:10.



S. 61







WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II 7955  
L. inw. ....

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299631