

MITTHEILUNGEN

AUS DEM

MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE

IN

MÜNCHEN.

VON

J. BAUSCHINGER

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.

MÜNCHEN

THEODOR ACKERMANN

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER

1887.

- Asimont, G.**, Die Berechnung des Tragebalkens mit konzentrierter Verkehrsast. gr. 8°. Mit 22 Holz-schnitten, 2 Tab. u. 2 Hth. Taf. 1876. Preis M. 1. 80 Pf.
- Bauer, Georg**, Regeln für den Bau der Durchlässe. gr. 8°. 1871. Preis 40 Pf.
- Praktische Erläuterungen zu den „Regeln für den Bau der Durchlässe.“ Mit 7 in den Text ge-druckten Figuren. gr. 8°. 1879. Preis 40 Pf.
- v. Bauernfeind, C. M.**, Ueber die Organisation der Studien und Prüfungen an den deutschen Bau- und Ingenieur-Schulen. gr. 8°. 1876. Preis 60 Pf.
- Grundriss der Vorlesungen über Erd- und Strassenbau. Mit Illustrationen im Text. Auto-graphirt. 4°. 1875. Halbleinenband. Preis M. 9.—
- Förderreuther, Fr.**, Beschreibung der elektrischen Läutwerke auf den k. bayer. Staatsbahnhöfen. Mit 1 lithogr. Tafel. gr. 8°. Preis 80 Pf.
- Frauenholz, W.**, Bau-Konstruktions-Lehre für In-geieure. Als Leitfaden zu seinen Vorträgen be-arbeitet. Autographirt. 4°. I. Bd.: Steinkonstruktionen, 1875; II. Bd.: Holzkonstruktionen, 1876. Preis à M. 10.
- III. Bd.: Eisen- und Fundations-Konstruktionen, 1877. Preis M. 12.—
- Frauenholz, W.**, Das Wasser mit Bezug auf wirt-schaftliche Aufgaben der Gegenwart. Lex.-8°. mit 3 Textillustrationen. 1881. Preis M. 1. 60 Pf.
- Lang, C.**, Ueber natürliche Ventilation und die Porosität von Baumaterialien. Mit 1 lithogr.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315043



J.X.47/1887

MITTHEILUNGEN

AUS DEM

MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE

IN

MÜNCHEN

VON

J. BAUSCHINGER

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.

FÜNFZEHNTE HEFT,

ENTHALTEND:

MITTHEILUNG XVII: ÜBER DAS VERHALTEN GUSSEISERNER UND SCHMIEDEISERNER SÄULEN IM FEUER UND BEI RASCHER ABKÜHLUNG. (2. VERSUCHSREIHE.)

MIT 2 BLÄTTERN ABBILDUNGEN.

MITTHEILUNG XVIII: ZERKNICKUNGSVERSUCHE. (1. REIHE.)

MIT 43 GRÖßEREN TABELLEN UND 2 BLÄTTERN ABBILDUNGEN.

MÜNCHEN

THEODOR ACKERMANN

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER

1887.

100172.1.2



MITTELUNGEN

REGISTRAR-TECHNISCHER LABORATORIUM

REGISTRAR-TECHNISCHER LABORATORIUM

8.X.47/1887



nr Inw. 1856

LABORATORIUM

XVII.

Ueber das Verhalten gusseiserner und schmiedeiserner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung.

(2. Versuchsreihe).

Gegen meine ersten Versuche über das Verhalten gusseiserner und schmiedeiserner Säulen im Feuer und bei rascher Abkühlung*) sind, soviel mir bekannt geworden ist, zwei Einwürfe erhoben worden. Der eine von Herrn Möller in seinem Vortrage am 21. October 1885 im Architekten- und Ingenieur-Verein zu Hamburg**), dahin gehend, dass ich Gusseisen und Schmiedeisen nicht mit demselben Maassstab gemessen, dass das Schmiedeisen bei meinen Versuchen zu hohe Kantenbeanspruchungen erhalten habe. — Ich habe beide Arten von Säulen unter derjenigen, natürlich für den kalten Zustand bemessenen, zulässigen Belastung geprüft, die sich aus der Formel

$$P = \gamma \beta_0 F \frac{1}{1 + \alpha \frac{Fl^2}{\Theta}}$$

ergibt, welche, wenigstens bei uns in Deutschland, bisher allgemein der Berechnung der Dimensionen von Säulen, Stützen etc. zu Grunde gelegt wird. Für den Sicherheits-Coefficienten γ habe ich bei beiden Materialien den gleichen Werth, $\frac{1}{5}$, genommen (S. 4), sie also mit dem gleichen Maassstab gemessen. Die Coefficienten β_0 und α sind nach der Natur der Materialien verschieden. Für $\beta_0 = 7000 \text{ at}$ bei Gusseisen habe ich in meiner Abhandlung: „Versuche über die Elasticität und Festigkeit verschiedener Materialien“ (***) direkte Versuche zu Grunde gelegt; es wird dieser Werth auch kaum für zu niedrig gehalten werden. Bei

Schmiedeisen habe ich $\beta_0 = 4000 \text{ at}$, also $\gamma\beta_0 = 800 \text{ at}$ gesetzt; Gerber nimmt dafür 1000 at an, also noch mehr als ich; dafür setzt Gerber bei Schmiedeisen $\alpha = 0,0001$ während ich nur $0,00009$, nach Laissle und Schübler, angenommen habe; trotzdem berechnet sich die zulässige Belastung schmiedeiserner Stützen nach Gerber höher als nach meinen Annahmen, bei den Säulen Nr. 8 (3. Versuch) und Nr. 7 (6. Versuch) auf $58,5$ bzw. $54,8$ statt 50 und 45 t , mit denen ich diese Säulen belastete. Letztere Zahlen ergeben unter Berücksichtigung der übrigens nur sehr geringen Biegungen, welche die Säulen in kaltem Zustande erlitten, 541 bzw. 477 at Maximalspannung, berechnet aus der Formel

$$\sigma_{\text{mx}} = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right),$$

unter f den Biegungspfeil und unter k die Kernweite auf der entgegengesetzten (convexen) Seite verstanden. Diese Maximalspannungen reichen also noch nicht einmal bis zur Hälfte der Elasticitätsgrenze. Wenn aber freilich dann in Folge der einseitigen Erwärmung und der dadurch hervorgerufenen Durchbiegung bis 138 bzw. 110 mm (S. 8 und 11) jene Maximal- oder Kantenspannungen bis zu 2560 bzw. 2845 at anwachsen, dann würde auch bei kaltem Material die vollständige Durchbiegung erfolgen müssen, wie viel mehr also bei warmem, wenn auch auf der oberen (concaven) Seite die Temperatur der Rothgluth bei weitem noch nicht erreicht war.

Für die Gusseisensäulen habe ich, entsprechend den von mir angestellten Versuchen, $\alpha = 0,00060$ gesetzt, anstatt, wie Laissle und Schübler angeben, $0,00025$ und bin

*) S. „Mittheilungen“ Heft XII, auf welches ich mich hier immer beziehe, wenn ich blos eine Seitenzahl citire.

**) Ich kenne diesen Vortrag nur aus dem Referat in Nr. 90 (S. 449 und 450) des „Wochenblattes für Baukunde“ Jahrgang 1885.

**) „Civilingenieur“ Bd. XXVIII. S. 561.

Bauschinger, Mittheilungen, XV.

dadurch allerdings auf viel niedrigere zulässige Belastungen gekommen, als früher berechnet wurden. Aber die Erfahrung zeigt, dass bei Gusseisensäulen, welche liegend gegossen werden, wie dies bis jetzt immer noch fast ausschliesslich geschieht, auf eine centrische Lage der Höhlung fast niemals mit Sicherheit gerechnet werden darf, und nur für eine solche habe ich jenen niedrigeren Werth für α bestätigt gefunden. Bei den von mir auf ihr Verhalten im Feuer etc. untersuchten Gusseisen-Säulen, die grösstentheils ausgeschossene Exemplare waren, lag die Höhlung meistens sehr excentrisch,*⁾ wie sich aus der, bei jeder angegebenen oft sehr ungleichen Wandstärke auf gegenüberliegenden Seiten ergibt, und deshalb durfte ich mit α gewiss nicht weiter heruntergehen, als ich unter gleichen Umständen früher gefunden hatte, und würde dringend rathen, diess für liegend gegossene Säulen auch in der Praxis zukünftig zu befolgen.

Aber die bisher in Bauten aufgestellten Gusseisensäulen sind, wenn überhaupt, mit dem kleinen Coëfficienten α berechnet und deshalb viel höher belastet, als die bei meinen Versuchen verwendeten. Daher hielt ich es für dringend geboten, neue Versuche mit solch' stärker belasteten Säulen anzustellen, die dann aber auch natürlich nicht dem Ausschusse entnommen werden durften, sondern, zwar liegend, aber sorgfältigst gegossen werden sollten. Herr Kustermann liess mir auf meine Bitte hin bereitwilligst zwei solche Säulen giessen, von denen die eine, grössere, Nr. 26 (Fig. 1 auf Blatt I), allerdings ziemlich genau centrisch war (2,66 cm Wandstärke an der beim Giessen unten liegenden, 2,90 cm an der oberen Seite), während die andere, Nr. 27 (Fig. 3 auf Blatt I), doch wieder ziemlich excentrisch ausfiel (2,20 und 2,86 cm

^{*)} Diess habe ich gemeint, wenn ich auf S. 4 sagte, dass bei gusseisernen Säulen der Excentricität Rechnung getragen werden müsse. Centrisch eingespannt, nach ihren äusseren Dimensionen, wurden die Guss- und Schmiedeisensäulen mit gleicher Sorgfalt. Dabei ist alsdann bei Schmiedeisensäulen auf eine centrische Lage der Höhlung, d. h. auf eine, an je zwei gegenüberliegenden Stellen gleiche Wandstärke fast immer, bei Gusseisensäulen aber, die liegend gegossen sind, niemals mit Sicherheit zu rechnen. Desshalb und weil ich selber Versuche mit schmiedeisernen Stützen bis dahin noch nicht angestellt hatte, musste ich den von Laissle und Schübler berechneten und in alle gebräuchlichen Handbücher übergegangenen Werth für $\alpha = 0,00009$ annehmen, selbst „geschäft“ habe ich denselben nicht. Wenn überhaupt mit den Worten des schon citirten Referates (Wochenblatt 1885 S. 450): „Bei dem Schmiedeisen setzte man gute Bearbeitung und Centrirung der Last voraus und schaffte einen sehr kleinen Coëfficienten K“ gesagt werden wollte, dass ich von vornherein darauf ausgegangen wäre, für Gusseisen möglichst günstige Resultate zu erzielen, so muss ich diese Ansicht entschieden zurückweisen. Ich habe mir bei dieser, wie bei allen meinen Arbeiten strengste Objektivität zur ersten Pflicht gemacht, und gerade, weil Herr Kustermann mir dies zutraute, ist er an mich gekommen. Denn auch ihm war es nur um Aufklärung der Sache zu thun. Sein grosses Geschäft erstreckt sich ebensowohl über Schmiedeisen als über Gusseisen.

Wandstärke auf der unteren bzw. oberen Seite). Trotzdem wurde bei der Berechnung der zulässigen Belastung bei beiden Säulen der kleinere Werth von α , nämlich 0,00025, angenommen.

Der zweite Einwurf gegen meine früheren Versuche wurde, allerdings nur mir persönlich gegenüber und mündlich, von meinem verehrten Freunde, Herrn Direktor Gerber, gemacht. Er ist dahin gerichtet, dass die von mir geprüften beiden schmiedeisernen Säulen Nr. 7 und 8 (Fig. 3 und Fig. 9 auf Blatt II des XII. Heftes meiner „Mittheilungen“), welche aus Façoneisen zusammengesetzt waren, schlecht construiert, nämlich zu wenig durch Niete (hier Schraubenbolzen) verbunden und zu mangelhaft oder, besser gesagt, gar nicht seitlich versteift gewesen seien. Dieser Vorwurf scheint durch den Umstand, dass bei beiden Säulen, nachdem die Durchbiegung eine, allerdings schon sehr bedeutende Grösse erhalten hatte, zunächst Schraubenbolzen abgeseuert wurden und darauf erst die vollständige Durchbiegung unter Herabfallen des Hebels der Wage erfolgte, vollkommen begründet zu sein, während der 12. Versuch mit dem geschweissten Schmiedeisenrohr Nr. 10, das schon nach so kurzer Zeit zusammengebogen wurde, dagegen spricht. Doch war allerdings die Wandstärke dieses Rohres nur sehr klein, so dass es auf der dem Feuer zugekehrten Seite rasch durch die ganze Wanddicke hindurch bis zum Glühen erwärmt und dadurch so wenig tragfähig gemacht wurde. Die Entscheidung hierüber konnte natürlich wieder nur durch Versuche gewonnen werden, und ich ergriff daher mit Freuden das Anerbieten Gerber's, mir zur Vornahme solcher schmiedeiserner Säulen, die gut construiert und namentlich gut seitlich versteift waren, in der Werkstätte der früheren süd-deutschen Brückenbau-Aktiengesellschaft (jetzt der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg) zu Gustavsburg herstellen zu lassen. Ich erhielt zunächst vier solcher Säulen, Nr. 28^{a u. b} und Nr. 29^{a u. b}, je zwei von gleicher Gestalt und Grösse (Fig. 5 auf Blatt I und Fig. 1 auf Blatt II), ähnlich denjenigen, wie sie in der genannten Werkstätte für die neuen Lagerhäuser in Hamburg angefertigt werden, und dann noch eine fünfte, Nr. 30 (Fig. 4 auf Blatt II). Sie bildeten mit den oben genannten beiden Gusseisensäulen das Material für die neue Versuchsreihe.

Dieselbe wurde genau in derselben Weise und unter Benützung der gleichen Hilfsmittel, Messapparate etc. durchgeführt wie die erste. Nur der beim 19. bis 27. Versuch verwendete Rauchfang blieb wieder weg, um die Vorgänge während der Versuche besser übersehen zu können. Die Messapparate befanden sich auf der linken Seite der Maschine, auch der Ständer mit dem Ende C (Fig. 6 auf Blatt I des XII. Heftes der „Mittheilungen“),

so dass die rechte Seite ganz frei und die das Feuer bedienenden und die Temperaturmessungen, sowie später das Löschen besorgenden Personen ganz ungehindert waren.

Der bei den früheren Versuchen zu Grunde gegangene eine der beiden Sandsteine, welche zwischen den Enden der Säulen und den, in Kugelgelenken beweglichen Druckplatten liegen, wurde durch einen neuen ersetzt, der nun, gleichwie der andere, während der neuen Versuche in Gebrauch blieb.

Die Druckplatten wurden nur anfangs, bei einer kleineren Belastung von 10 oder 20 Tonnen beweglich gelassen, damit sich die Probestücke und die vor ihnen liegenden Steine gehörig einrichten konnten, dann wurden die hinter den Platten befindlichen Stellschrauben angezogen und dadurch jene festgestellt; sie blieben so, bis die ganze, der Säule zukommende Belastung aufgebracht war und weiter während des ganzen Verlaufs des Versuches. Da auf eine solche Einspannung der Säulen in der Praxis wohl immer gerechnet werden darf und die geringere Zahl der zu Gebote stehenden Versuchsstücke Modificationen in der Einspannungsweise nicht erlaubte, so wurde sie durch alle Versuche hindurch beibehalten.

Jede der Säulen wurde nach ihren äusseren Dimensionen so sorgfältig als möglich centrisch eingespannt und diese Einspannung noch corrigirt, wenn sich bei Aufbringung einer kleineren oder grösseren Belastung eine grössere Ausbiegung zeigte. Ein Einschlagen der Säulen durch ihr Eigengewicht konnte direkt nicht bemerkt werden, doch gab sich die Wirkung des letzteren dadurch zu erkennen, dass die belasteten Säulen (im kalten Zustande) immer nach unten ausbogen, allerdings nur in sehr geringem Grade; wo diese Ausbiegung beträchtlicher war, wurde durch Höherlegen der Säule nachgeholfen. Doch betrug diese Verschiebung höchstens 2 mm.

Ich schliesse die nachfolgende Beschreibung der Versuche unmittelbar an die der ersten Versuchsreihe an und bediene mich der gleichen Bezeichnungen wie dort. Insbesondere bezeichnen v und h wieder die Durchbiegungen der Mitte der Säule in der vertikalen bzw. horizontalen Ebene und werden dieselben mit dem $+$ Zeichen versehen, wenn sie vom Instrumente weg stattfinden, also nach unten, bzw. nach rechts. Die Messung von h wurde, besonders bei den schmiedeeisernen Säulen, durch das Auflegen des horizontalen Drahtes auf die Schlaudern bei grösseren Durchbiegungen nach unten bald unmöglich gemacht; doch war die Ausbiegung in horizontaler Ebene meist nur sehr gering und ohne Einfluss auf den Gang und das Resultat des Versuches; ich werde sie daher auch in der Regel ganz weglassen.

28. Versuch, am 7. April 1886.

Gusseisensäule Nr. 26 (Fig. 1 auf Blatt I), Gewicht 535 kg. Aeusserer Durchmesser in der Mitte 17,65 bis 17,85 cm, im Mittel 17,75 cm; Wandstärke ebendasselbst 2,66 bis 2,90 cm, im Mittel 2,78 cm; folglich innerer Durchmesser 12,19 cm; Länge 400,5 cm. Hiernach: Querschnitt in der Mitte $F = 130,7 \text{ qcm}$ und Trägheitsmoment desselben $\Theta = 3789 \text{ bigcm}$. Die zulässige Belastung berechnet sich also mit den oben erörterten Coëfficienten: $\gamma = 1/5$, $\beta_0 = 7000$ und $\alpha = 0,00025$ auf rund 77 Tonnen. (Mit $\alpha = 0,0006$, wie bei der ersten Versuchsreihe angenommen, würde man nur 42,4 t als zulässige Belastung erhalten haben). Die Säule wurde, mit dem Kapitell nach vorn liegend, so eingespannt, dass die dünnere Wand oben lag.

Nach möglichst sorgfältiger Centrirung auf die bereits beschriebene Weise ergaben sich folgende Werthe der Durchbiegungen bei festgestellten Stellschrauben an den Druckplatten:

Belastung	v	h
20 t	+ 0,60 mm	- 0,20 mm
30 „	+ 0,75 „	- 0,20 „
40 „	+ 1,00 „	- 0,30 „
50 „	+ 1,10 „	- 0,35 „
60 „	+ 1,15 „	- 0,45 „
70 „	+ 1,30 „	- 0,55 „
77 „	+ 1,35 „	- 0,60 „

Unter dieser letzteren Belastung wurde um 9 Uhr 59 Min. das Feuern begonnen. Schon eine $1/2$ Min. darnach fängt die Libellenblase am Wagehebel an zu steigen und muss mit dem Reguliren vorgegangen werden; die Zeiger für die Ausbiegungen machen noch keine Bewegung. Dieselbe beginnt erst $2 1/2$ Min. nach dem Anfang des Heizens, wo der Wagehebel schon sehr kräftig aufzusteigen strebt. Nach $5 1/2$ Minuten wird $v = + 4,25 \text{ mm}$ (von dem Zustande bei der Belastung Null an gerechnet) und schwankt nun hin und her bis nach $7 1/4$ Min. die Temperatur von 300° C. seitwärts in der Mitte der Säule erreicht wird. Dann wächst v rascher weiter und erreicht nach 15 Min., wo an jener Stelle die Temperatur 400° C. geworden ist, den Werth von $+ 15,65 \text{ mm}$. Die Regulirung an der Wage war während dieser Zeit leicht auszuführen. Nach $15 3/4$ Min., wo v noch auf $+ 17,65 \text{ mm}$ gestiegen war, wird mit dem Spritzen begonnen. Dadurch vergrössert sich v rasch weiter im positiven Sinne und erreicht nach ca. 19 Minuten den grössten Werth $+ 33,95 \text{ mm}$. Auch h ist währenddem rasch gewachsen, jedoch nur bis $- 6,15 \text{ mm}$, wo alsdann der Wagen am hinteren Ende der Maschine wegen mangelhafter Lage und Befestigung der Schienen nach links gedrängt wird. Hierauf nimmt die

Durchbiegung in vertikaler Ebene anfangs langsamer, dann rascher ab, bis sie nach $26\frac{1}{2}$ Min., wo das Spritzen beendigt wird, nur noch $+8,55$ mm beträgt. Während des nun folgenden Erhaltens der Säule streckt sie sich noch mehr gerade; nach 39 Min. ist v unter der Belastung von $77 t$ nur noch $+5,20$ und unter der Belastung Null $-2,33$ mm (aufwärts gerichtet).

Nach Entfernung der Messapparate wird die Säule genau besichtigt; es kann keine Verletzung und keine merkliche Krümmung derselben gefunden werden. Der Wagen wird wieder in die richtige Lage gebracht, die Schiene unter demselben gut gerichtet und befestigt und die Säule wieder sorgfältig eingerichtet. Sie ergibt bei angezogenen Stellschrauben folgende Durchbiegungen:

Belastung	v	h
20 t	+0,6 mm	-0,1 mm
40 „	+1,1 „	-0,2 „
60 „	+1,35 „	-0,45 „
77 „	+1,45 „	-0,55 „

Bei dieser letzteren Belastung wird um 2 Uhr $25\frac{1}{2}$ Min. das Heizen wieder begonnen und schon nach $\frac{3}{4}$ Min. sucht der Wagehebel aufzusteigen; die Zeiger machen noch keine Bewegung. Nach $5\frac{1}{2}$ Min., wo $v = +3,5$ mm und $h = -0,7$ mm, brennt das Feuer in der hinteren (unteren) Hälfte sehr lebhaft, vorn schwächer. Nach 8 Min. ist $v = +5,5$ mm, $h = -0,3$ mm und seitwärts in der Mitte die Temperatur 300° C. erreicht. Der Zeiger für die vertikale Durchbiegung schwankt stark hin und her, das Feuer brennt der ganzen Länge der Säule nach gut und bleibt nun auch so, während der Wagehebel lebhaft aufzusteigen sucht. Während h sich nur wenig, um einige Millimeter ändert, wächst v rasch, erreicht nach $13\frac{1}{2}$ Min., wo an jener Stelle die Temperatur 400° C. geworden ist, den Werth von $+14$ mm und schwankt unter fortwährendem aber langsamem Steigen stark hin und her. Nach $19\frac{1}{2}$ Min. ist $v = +22,7$ mm, $h = +0,8$ mm und die Temperatur seitwärts in der Mitte 500° C. Nun nimmt v ab, und ist nach $29\frac{1}{2}$ Min., wo die Temperatur von 600° C. erreicht und die Säule in der Mitte schwarzwarm und oberhalb des Wulstes glühend geworden ist, nur noch $+1,7$ mm; $h = -3,0$ mm.

Nach $30\frac{1}{2}$ Min. ist $v = -0,8$ und $h = -3,6$ mm und wird mit dem Spritzen begonnen. Während desselben biegt sich die Säule wieder nach abwärts und nach $35\frac{1}{2}$ Minuten ist $v = +18,7$, $h = -10,4$ mm. Von da an wird v wieder kleiner, anfangs langsamer, dann rascher; nach ca. 39 Min. ist die Säule gerade geworden und biegt sich nun nach oben so rasch aus, dass nach ca. 41 Min. $v = -24,3$ mm geworden ist und aus Besorgniss, dass die Säule nach oben herausspringen möchte, welche Besorgniss sich aber beim weiteren Verlauf des Versuches

als unbegründet erwies, der Lufthahn der hydraulischen Presse geöffnet und dadurch die Belastung erniedrigt und endlich ganz auf Null gebracht und das Spritzen beendigt wurde. Trotzdem stieg die Durchbiegung nach oben weiter und erreichte nach einer Stunde und $2\frac{1}{2}$ Min., wo die Säule fast kalt geworden war, die Grösse von $v = -43,5$ mm. Die Kopf- und Fussplatten der Säule standen dabei unten um ca. 10 mm von den, vor den Steinen liegenden Gussplatten ab.

In diesem Zustande und bei unveränderter Einspannung wurde nun die Säule auf's Neue belastet, wobei die Durchbiegung anfangs geringer wurde, bei $40-50 t$ das Minimum von $-36,7$ mm erreichte und dann wieder stieg, bei $77 t$ auf $v = -40,4$ mm. Dann wurde, um 4 Uhr 2 Min., das Heizen wieder begonnen. Nach $\frac{3}{4}$ Min. fing der Wagehebel wieder an zu steigen und musste mit dem Reguliren vorgegangen werden. Die Ausbiegung nach oben geht anfangs sehr langsam, dann aber, bei lebhafter brennendem Feuer, rascher retour und sinkt nach 11 Min., wo seitwärts in der Mitte der Säule die Temperatur von 300° C. erreicht wurde, auf $v = -28,3$ mm herunter. Unmittelbar vorher war ein Krach und Stoss gehört worden. Während der nächsten 20 Min. bleibt v fast constant auf jener Höhe stehen. Die Temperatur war an jener Stelle der Säule mittlerweile nach 15 Min. auf 400 , nach 20 Min. (vom Anfang des Heizens an) auf 500 und nach 24 Min. auf 600° C. gestiegen. Nach 26 Min. beginnt das Glühen oberhalb des Wulstes, nach 31 Min. auch oberhalb der Mitte und sogleich darauf glüht der Schaft der Säule seiner ganzen Länge nach und nimmt v langsam wieder zu. Nach 33 Min., wo $v = -31,8$ mm geworden ist, wird mit dem Spritzen begonnen. Dabei wird der Strahl zwar meist neben der Säule vorbei in das Feuer gerichtet, aber derselbe wechselt sehr rasch; er ist bald breit, so dass er den ganzen Raum zwischen den Wänden der Heizkörbe ausfüllt, bald geschlossen. Vom Beginn des Spritzens an vermindert sich die Ausbiegung nach oben wieder, anfangs langsam, dann rasch, und sinkt nach $39\frac{1}{2}$ Min. auf $v = -16,7$ mm herab. Das Feuer ist nun nahezu gelöscht. Bei fortwährendem Spritzen bleibt nun v fast constant, nach 41 Min. wird ein Krach gehört, nach 43 Min. leises Knacken; nach 45 Min. wird nur noch das Feuer vollständig abgelöscht, ohne mit dem Strahl die Säule mehr zu berühren und nach 46 Min., wo v wieder auf $-24,1$ mm gestiegen ist, das Spritzen ganz beendet. Während der ganzen Zeit des Spritzens konnte ganz gut verfolgt werden, wie jedesmal, wenn die Säule vom Wasserstrahl getroffen wurde, rasch nachgepumpt werden musste, um die Belastung an der Wage zu halten, und die Ausbiegung nach oben sich rasch vergrösserte.

Nach Beendigung des Spritzens, wo die Säule noch ziemlich warm, in der Mitte mehr als handwarm war, wuchs nun, während die Wage sich ganz ruhig verhielt, die Ausbiegung der Säule nach oben rasch fort. Es wurde

nach 47 ¹ / ₂ Min.	$v = -29,3 \text{ mm}$
„ 49	„ „ = -33,5 „
„ 50 ¹ / ₂	„ „ = -36,7 „
„ 52	„ „ = -40,0 „
„ 54	„ „ = -43,8 „
„ 56	„ „ = -46,4 „
„ 58	„ „ = -48,5 „
„ 60	„ „ = -50,3 „
„ 62	„ „ = -51,45 „

Von da an wurde die Säule, um sie rascher abzukühlen, zeitweise mit Wasser aus einer Giesskanne übergossen. Während des Uebergiessens musste allemal rascher gepumpt werden, um die Belastung zu halten, die Durchbiegung aber blieb dabei fast constant, nahm aber immer wieder etwas zu, wenn das Uebergiessen unterbrochen wurde. Auf diese Weise wächst nach 1 Stunde und 17 Minuten, wo die Säule nur oben noch handwarm ist, v auf $-54,9 \text{ mm}$, geht bei der nun vorgenommenen Entlastung der Säule zuerst auf $-51,8 \text{ mm}$ zurück, um bei vollständiger Entlastung wieder auf $-57,5 \text{ mm}$ zu steigen. Kopf- und Bodenplatte der Säule stehen dabei unten wieder um ca. 10 mm von den Gussplatten vor den Steinen ab.

Die aus der Maschine genommene Säule zeigt nach sorgfältigster Untersuchung keine Verletzung irgend welcher Art; ihre Durchbiegung, bei der Lage während des Versuches nach oben gerichtet, beträgt auf die Länge des glatten Schaftes 22 mm .

Fig. 2 auf Blatt I zeigt die Gestalt der Säule nach der Probe.

29. Versuch, am 8. April 1886.

Gusseisensäule Nr. 27 (Fig. 3 auf Blatt I), Gewicht 424 kg . Aeusserer Durchmesser in der Mitte $15,4$ bis $15,8$, im Mittel $15,6 \text{ cm}$. Wandstärke $2,20$ bis $2,86$, im Mittel $2,53 \text{ cm}$; demnach innerer Durchmesser $10,54 \text{ cm}$, Querschnitt $F = 103,9 \text{ qcm}$ und Trägheitsmoment desselben $\Theta = 2301 \text{ biqcm}$. Die Länge beträgt $400,3 \text{ cm}$. Die zulässige Belastung berechnet sich demnach mit denselben Coefficienten wie vorhin zu 52 Tonnen, während sie nach der Berechnungsweise bei der ersten Versuchsreihe nur $27,2 \text{ t}$ betragen hätte. Die Säule ist, wie obige Zahlen zeigen, nicht bloß ziemlich excentrisch, sondern auch sonst nicht gut gegossen, sie zeigt Gusslöcher und Kaltgussstellen. Nachdem sie mit der dünneren Wand wieder nach oben möglichst sorgfältig eingespannt worden war, ergab bei festgestellten Druckplatten die Belastung von

52 t eine Durchbiegung in vertikaler Ebene von $v = +0,70 \text{ mm}$ (also nach unten) und in horizontaler Ebene $h = -0,1 \text{ mm}$.

Um 10 Uhr wird das Heizen begonnen und eine halbe Minute darauf fängt der Hebel der Wage wieder an zu steigen. Der Zeiger für die vertikale Ausbiegung bleibt, abgesehen von kleinen Schwankungen, längere Zeit, während welcher das Feuer besonders in der Mitte zu lebhaftem Brennen gebracht wird, auf derselben Stelle stehen. Nach 11 Minuten wird in der Mitte der Säule, seitwärts, die Temperatur von 300° C . erreicht, der Zeiger für v schwankt stark hin und her und beginnt endlich im positiven Sinne von v etwas vorzugehen. Nach 18 Minuten ist $v = +7,2$ und $h = -6,4 \text{ mm}$ und die Temperatur an jener Stelle der Säule 400° C . Der Wagen am hinteren Ende der Maschine zeigt sich auf der rechten Seite etwas, um etwa 5 mm gehoben und mag dadurch die Abwärtsbiegung der Säule unter der Wirkung des Feuers verdeckt worden sein. Diese Hebung des Wagens wird im weiteren Verlauf des Versuches nicht merklich grösser. — Nach 21 Min. wird $v = +7,7 \text{ mm}$ und geht nun zurück. Nach 23 Min. ist $v = +2,7 \text{ mm}$ und die Temperatur seitwärts in der Mitte der Säule 500° C . Nach 26 Min. ist $v = -1,8 \text{ mm}$ und die Temperatur 600° C . geworden. Nach 27 Min. glüht die Säule zwischen dem oberen Wulst und der Mitte ringsum und wächst nun die Ausbiegung nach oben rasch an. Nach 33 Min. ist $v = -19,8 \text{ mm}$; das Glühen erstreckt sich auf die ganze Länge des glatten Schaftes und wird mit dem Spritzen begonnen. Dabei nimmt v anfangs nur wenig ab, obwohl der Strahl gut ist und die Säule stark angespritzt wird. Nach 35 Min. ist $v = -18,8 \text{ mm}$ und muss an der Wage nachgepumpt werden, doch ist die Belastung leicht zu halten; hierauf ein Krach; der Strahl bleibt fortwährend gut geschlossen und wird damit die Säule stark angespritzt. Nach 36 Min. ist v noch $-17,1 \text{ mm}$, aber nach 37 Min. $-12,1 \text{ mm}$, das Feuer fast gelöscht; es muss stark nachgepumpt werden; nach 38 Min. ein neuer Krach, die Wage wird ruhiger. Nach 40 Min. erreicht v den Minimalwerth von $-4,3$ und wird nun wieder grösser: rascher, wenn der Strahl die Säule nicht trifft und weniger rasch, wenn er voll auf dieselbe gerichtet wird, wo dann an der Pumpe rascher gearbeitet werden muss. Nach 52 Min. ist $v = -35,2 \text{ mm}$ und das Feuer ganz gelöscht, so dass nach einer weiteren halben Minute das Spritzen beendigt wird. Trotzdem wächst v im negativen Sinne (nach aufwärts) fort, während die Wage fast ganz ruhig bleibt und die Säule allmählich erkaltet. Nach 53 Min. ist $v = -36,1 \text{ mm}$ und die Säule nur noch handwarm. Nach 60 Min. ist $v = -38,6$ und die Säule nahezu zur Ruhe gekommen. Sie wird nun entlastet, wodurch die Ausbiegung in vertikaler Ebene nach oben auf $v = -45,6 \text{ mm}$ steigt.

Die aus der Maschine genommene Säule zeigt nach sorgfältiger Untersuchung keinerlei Sprünge und sonstige Beschädigungen. Ihre Ausbiegung wird auf die Länge des glatten Schaftes zu 13 mm gemessen. Fig. 4 auf Blatt I zeigt die Gestalt der Säule nach der Probe.

Beide Gusseisensäulen haben also auch die, dem Coefficienten $\alpha = 0,00025$ entsprechende grössere Belastung (fast doppelt so gross als bei der ersten Versuchsreihe) sowohl im Feuer in Rothgluth als während des Anspritzens getragen, ohne zu brechen oder auch nur Sprünge zu erhalten. Die entstandene Krümmung von im Maximum 55 mm Pfeil (bei Säule Nr. 26) veranlasst eine Verkürzung von ca. 2 mm (im kalten Zustande), welche den Bestand der auf einer solchen Säule ruhenden Bautheile (Mauerwerk u. dergl.) wohl kaum gefährden dürfte.

Der Gang der Versuche war im Wesentlichen der gleiche wie bei den Gusseisensäulen in der ersten Versuchsreihe. Die energischere Durchbiegung nach oben darf wohl der grösseren Belastung zugeschrieben werden.

30. Versuch am 8. April 1886.

Schmiedeisensäule Nr. 29^a aus U- und Flacheisen (Fig. 1 auf Blatt II), die mit Nieten verbunden und durch Winkeleisen versteift sind. Gewicht 360 kg. Querschnittsfläche, mit Weglassung der Nieten und Versteifungen, = 74,24 qcm; kleinstes Trägheitsmoment (bezüglich der zu den Stegen der U-Eisen parallelen, durch den Schwerpunkt gehenden Axe) $\Theta = 2816 \text{ biqcm}$; Länge = 584,3 cm. Damit und mit den Coefficienten $\gamma = 1/5$, $\beta_0 = 4000$ und $\alpha = 0,00009$ berechnet sich die zulässige Belastung zu rund 33 t. Die Gerber'schen Coefficienten $\gamma\beta_0 = 1000$ und $\alpha = 0,0001$ würden 39 t ergeben. Die Säule wurde mit jener kleineren Belastung möglichst centrisch eingespannt und zwar so, dass die Stege der U-Eisen horizontal zu

liegen kamen:  Sie ergab im kalten Zustande folgende, nur sehr geringfügige Ausbiegungen:

Belastung t	v mm	h mm	
0	0	0	bei losen Stellschrauben die Stellschrauben an- gezogen
10	+ 0,25	+ 0,5	
10	+ 0,35	+ 0,55	
0	+ 0,05	- 0,15	
10	+ 0,2	+ 0,4	
20	+ 0,3	+ 0,6	
30	+ 0,35	+ 0,6	
40	+ 0,35	+ 0,55	
50	+ 0,35	+ 0,55	
60	+ 0,35	+ 0,55	
70	+ 0,3	+ 0,55	
80	+ 0,3	+ 0,55	
0	+ 0,15	- 0,10	
33	+ 0,3	+ 0,5	

Um 5 Uhr 11 Min. wird mit dem Heizen begonnen; der Hebel der Wage sucht sofort aufzusteigen und muss daher mit dem Reguliren am Lufthahn der hydraulischen Presse angefangen werden. Auch die Zeiger der Messapparate setzen sich, bevor noch 1 Min. verflossen ist, in Bewegung. Nach 4 Min. wird die Wage ruhiger, $v = + 6,6 \text{ mm}$; v wird rasch grösser im Sinne der Durchbiegung nach unten. Nach 9 Min. ist $v = + 36,1 \text{ mm}$ und die Temperatur seitwärts in der Mitte 300°C . Nach 11 Min. $v = + 57,1 \text{ mm}$ und die Temperatur 400°C ; nach 13 Min. $v = + 76,1 \text{ mm}$ und die Temperatur an jener Stelle 500°C . Dabei sucht der Hebel der Wage fortwährend aufzusteigen. Nach 14 Min. hat v den Maximalwerth von $+ 82,1 \text{ mm}$ erreicht und wird nun kleiner; nach $15\frac{1}{2}$ Min. ist die Temperatur in der Mitte 600°C . und $v = + 80,6 \text{ mm}$. Nach $16\frac{1}{2}$ Min. gibt die Wage nach, es muss nachgepumpt werden; in der vorderen Hälfte und in der Mitte glühen die unteren Kanten der Säule, nach $18\frac{1}{2}$ Min. auch in der hinteren Hälfte. Nach 20 Minuten ist v nur noch $+ 32,1 \text{ mm}$; die Wage hält gut; es wird mit dem Spritzen begonnen. Dadurch gibt die Wage wieder stärker nach, es muss nachgepumpt werden, besonders wenn die Säule angespritzt wird; v wird rasch wieder grösser und erreicht nach 24 Min. den Maximalwerth von $+ 62,1 \text{ mm}$. Von da an nimmt nun die Durchbiegung nach unten unter fortwährendem Nachpumpen rasch ab; die Säule wird mehr und mehr gerade und biegt sich dann nach oben aus. Es ist nach

25	Min. v = + 60,1 mm
26	„ „ = + 58,1 „
27 $\frac{1}{2}$	„ „ = + 43,6 „
29	„ „ = + 33,6 „
30 $\frac{1}{2}$	„ „ = + 14,1 „
31	„ „ = + 6,1 „
31 $\frac{1}{2}$	„ „ = - 4,4 „
32	„ „ = - 15,4 „
32 $\frac{1}{2}$	„ „ = - 30,9 „
33	„ „ = - 40,4 „
34	„ „ = - 49,4 „

Die Wage wird nun ruhiger, aber die Ausbiegung nach oben wächst fort; nach 35 Min. ist $v = - 54,4 \text{ mm}$, nach 36 Min. $v = - 58,4 \text{ mm}$ und nach 37 Min. wird bei $v = - 59,4 \text{ mm}$ und ziemlich ruhiger Wage das Spritzen beendigt; v wächst langsam weiter, während die Wage sich mehr und mehr beruhigt; nach 46 Min. ist $v = - 71,0 \text{ mm}$ und die Säule fast ganz kalt geworden. Die Unterkanten der Stirnflächen stehen vorn ca. 10, hinten 5 mm von den Gussplatten vor den Steinen ab. Bei der nun vorgenommenen Entlastung steigt die Ausbiegung nach oben auf $- 75,8 \text{ mm}$.

Die nun aus der Prüfungsmaschine genommene Säule

zeigt keinerlei Verletzung, aber die immerhin ziemlich beträchtliche Verkrümmung, wie sie in Fig. 2 auf Blatt II dargestellt ist.

31. Versuch am 9. April 1886.

Schmiedeisensäule Nr. 29^b aus U- und Flacheisen von derselben Gestalt und beinahe den gleichen Dimensionen wie die vorige (Fig. 1 auf Blatt II), nur ist der Steg des einen der beiden U-Eisen 8 mm, statt nur 7,3 mm, dick. Sie wird so eingespannt, dass die Flacheisen horizontal

liegen:  Mit 33 t belastet zeigt sie keine mess-

bare Ausbiegung, weder in der Vertikal- noch in der Horizontalebene.

Um 9 Uhr 22 Min. wird das Heizen begonnen, unmittelbar darauf sucht der Hebel der Wage aufzusteigen. Die Zeiger der Messinstrumente setzen sich erst nach 1 Minute in Bewegung, der für die vertikale Ausbiegung wieder im Sinne der Bewegung der Mitte nach unten. Nach 11 Minuten brennt das Feuer der ganzen Länge der Säule nach lebhaft, der Hebel der Wage sucht fortwährend stark aufzusteigen, v ist schon $= + 38,7 \text{ mm}$ geworden und in der Mitte unten die Temperatur von 300° C . erreicht. v wächst rasch weiter; nach 16 Min. ist es gleich $+ 69,6 \text{ mm}$ und nach $16\frac{1}{2}$ Min. die Temperatur in der Mitte unten 400° . Die Ausbiegung nach unten nimmt nun ab, die Wage wird ruhiger. Nach 19 Min. ist $v = + 52,4 \text{ mm}$ und wird rasch geringer, die Temperatur 500° C . Es muss nun nachgepumpt werden, um die Belastung zu halten, wobei v rapid abnimmt; nach 20 Min. ist v nur noch $+ 23,8 \text{ mm}$ und zeigt der vordere Theil der Säule schon eine Krümmung nach aufwärts, die Wage wird wieder fest, ja der Hebel derselben fängt wieder an zu steigen, während v nach 22 Min. bis $+ 14,4 \text{ mm}$ herab gegangen ist. Nun muss wieder nachgepumpt werden; nach 23 Min. ist unter fortwährendem Nachpumpen $v = + 11,4 \text{ mm}$ geworden und die Temperatur von 600° C . erreicht. v geht nach 24 Min. auf $+ 6,4 \text{ mm}$ herab und schwankt nun um ca. 6 mm herum während der nächsten 4 Minuten, in denen erst langsamer, dann immer lebhafter nachgepumpt werden muss. Mittlerweile hat nach 25 Min. das Glühen in der vorderen Hälfte und in der Mitte auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Säule begonnen und sich nach 26 Min. auch über die hintere Hälfte verbreitet. Nach 28 Min. ist $v = + 6,9 \text{ mm}$ und nach $28\frac{1}{2}$ Min. wird mit dem Spritzen begonnen. Dadurch nimmt die Biegung nach unten wieder zu und muss rascher und lebhafter nachgepumpt werden, um die Belastung zu halten, namentlich wenn der Wasserstrahl die Säule trifft. Nach 31 Min. ist $v = + 19,7 \text{ mm}$ und glüht die Säule auf ihrer unteren Seite noch der ganzen Länge nach. Nach $32\frac{1}{2}$

Min. hat v wieder einen Maximalwerth, $+ 31,9 \text{ mm}$, erreicht und wird kleiner; die Mitte der Säule geht anfangs langsamer, dann rascher in die Höhe, wobei die Wage immer ruhiger und zuletzt ganz ruhig wird. Es ist

nach $33\frac{1}{2}$ Min.	$v = + 29,4 \text{ mm}$
„ 35	„ „ $= + 25,7$ „
„ 36	„ „ $= + 23,4$ „
„ 37	„ „ $= + 9,9$ „
„ 38	„ „ $= - 7,1$ „
„ 39	„ „ $= - 33,6$ „
„ 40	„ „ $= - 58,6$ „
„ 41	„ „ $= - 66,1$ „

Das Feuer ist nun gelöscht und wird nur noch zur Abkühlung der Säule auf diese gespritzt. Dadurch wird

nach 42 Min.	$v = - 70,5 \text{ mm}$
„ $42\frac{1}{2}$	„ „ $= - 69,4$ „
„ 43	„ „ $= - 68,1$ „
„ $43\frac{1}{2}$	„ „ $= - 65,8$ „

Die Säule ist nun oben ganz kalt, unten noch handwarm und v wird wieder grösser, nach 44 Min. gleich $- 66,4 \text{ mm}$, nach 45 Min. gleich $- 68,9 \text{ mm}$; nach $45\frac{1}{2}$ Min. wird bei $v = - 68,5 \text{ mm}$ das Spritzen beendigt. Die Ausbiegung wird nun wieder etwas grösser und der Hebel der Wage sucht etwas zu steigen, beides wohl in Folge der Abkühlung der Schlaudern, welche den Wagen am hinteren Ende der Maschine mit der hydraulischen Presse verbinden. Nach 50 Minuten ist v unter der Belastung von 33 t gleich $- 70,2 \text{ mm}$ und wächst durch das nun vorgenommene Entlasten auf $- 71,15 \text{ mm}$. Die Unterkanten der Stirnflächen stehen vorn ca. 10, hinten 7 mm von den Platten vor den Steinen ab.

Die aus der Maschine genommene Säule zeigt ausser ihrer Krümmung keinerlei Verletzung. Ihre Gestalt ist in Fig. 3 auf Blatt II dargestellt.

32. Versuch, am 9. April 1886.

Schmiedeisensäule Nr. 28^a, aus Winkeleisen hergestellt und mittelst Winkel- und Flacheisen versteift (Fig. 5 auf Blatt I). Gewicht $402,5 \text{ kg}$. Aus den in der Figur angegebenen Dimensionen berechnet sich mit Weglassung der Nieten und Verstärkungen die Querschnittsfläche zu $74,36 \text{ qcm}$ und das Trägheits-Moment für jede durch den Schwerpunkt gehende Axe zu 2771 bicqcm . Die Länge beträgt $584,0 \text{ cm}$. Hienach ist mit denselben Coëfficienten, wie bei den vorigen beiden Säulen, die zulässige Belastung rund 33 t, wie dort (die Gerber'schen Coëfficienten würden, ebenfalls wie dort, 39 t ergeben). Mit jener kleineren Belastung wird die Säule so eingespannt, dass die Schenkel

der Winkeleisen horizontal und vertikal liegen: 

Nach sorgfältigem Einspannen und mehrmaligem

Richten ergeben sich bei festgestellten Druckplatten im kalten Zustande folgende Durchbiegungen:

Belastung	v	h
t	mm	mm
0	0	0
10	0,0	+ 0,15
20	+ 0,25	+ 0,25
30	+ 0,45	+ 0,35
40	+ 0,65	+ 0,35
60	+ 1,0	+ 0,5
80	+ 1,5	+ 0,65
0	+ 0,1	- 0,1
33	+ 0,7	+ 0,25

Bei dieser letzteren Belastung wird nun um 2 Uhr 45 Min. das Feuer angezündet und sofort sucht wieder der Hebel der Wage aufzusteigen und muss das Regulieren begonnen werden. Wieder biegt sich die Säule zuerst langsam, dann rascher nach unten durch; die seitliche Biegung ist nur gering, namentlich wenn das Feuer zu beiden Seiten gleich stark brennt.

Nach 6 Min. ist v nur erst noch $+ 3,3$ mm, aber schon nach 10 Min., wo in der Mitte die Temperatur von 300°C . erreicht ist und das Feuer durchweg lebhaft brennt, ist $v = + 30,2$ mm geworden. Nach 12 Min. wird $v = + 58,7$ mm und die Temperatur in der Mitte der Säule 400°C . Dieselbe steigt nach 14 Min. auf 500°C unter fortwährend starkem Aufwärtsstreben des Wagehebels; die Ausbiegung nach unten erreicht zu derselben Zeit ihr Maximum, $+ 67,2$ mm. Die Biegung wird nun geringer, wobei sich die Wage mehr und mehr beruhigt und endlich ganz ruhig wird. Nach 16 Min. ist v nur noch $+ 44,2$ mm und die Temperatur in der Säulenmitte 600°C . Gleich darauf beginnt das Glühen auf der unteren Seite in der vordern Hälfte und verbreitet sich unter fortwährender Abnahme der Biegung und unter Aufwärtsstreben des Wagehebels auch über die hintere Hälfte, namentlich auch auf einen daselbst befindlichen Verbindungswinkel. Nach 18 Min. ist $v = + 33,7$ mm und schwankt um diesen Werth in der nächsten halben Minute hin und her, dann auf einmal wächst v wieder, nach 19 Min. ist es $+ 43,7$ mm und dann läuft der Zeiger für die vertikale Durchbiegung so rasch fort, dass nicht mehr abgelesen werden kann. Gleichzeitig mit dem Wachsen von v gibt die Wage nach und fällt die Wagschale bald ganz herab; sie trägt nur noch ca. $20 t$. Unter dieser Belastung wird nach $20\frac{1}{2}$ Min. mit dem Spritzen begonnen, wodurch die Wage wieder nachgibt und auch durch das angestrengteste Pumpen nicht mehr ins Gleichgewicht gebracht werden kann. Die Wagschale trägt nur noch $15 t$. Nach $36\frac{1}{2}$ Min. wird das Spritzen beendigt. Die kalt gewordene Säule trägt dann noch $27 t$, $28 t$ aber nicht mehr.

Ihre Gestalt nach der Probe zeigt die Fig. 6 auf Blatt I. Niete wurden nicht abgescheert. Auch sonstige Brüche konnten nicht constatirt werden.

33. Versuch, am 10. April 1886.

Schmiedeisensäule Nr. 28^b von genau derselben Form und denselben Dimensionen wie die vorige (Fig. 5 auf Blatt I). Sie wird unter der Belastung von $33 t$ so eingespannt, dass die Schenkel der Winkeleisen unter einen Winkel von 45° gegen die horizontale und vertikale Ebene

geneigt sind:  Nach sorgfältigem Richten zeigt sie bei festgestellten Druckplatten im kalten Zustande folgende Ausbiegungen:

Belastung	v	h
t	mm	mm
0	0	0
10	- 0,15	+ 0,05
20	- 0,15	+ 0,2
40	+ 0,4	+ 0,35
60	+ 0,45	+ 0,5
80	+ 3,75	+ 0,6
0	0,00	- 0,2
33	+ 0,4	+ 0,05

Unter dieser letzteren Belastung wird um 9 Uhr 58 Min. das Heizen begonnen, und gleich darauf sucht der Wagehebel wieder zu steigen und muss am Luftbahn der hydraulischen Presse regulirt werden. Die Zeiger der Messinstrumente setzen sich erst nach 1 Minute in Bewegung. Diesmal ist auch die Ausbiegung in horizontaler Ebene beträchtlicher, doch übersteigt sie 11 mm nicht und bewegt sich die Mitte der Säule bald nach rechts, bald nach links, je nachdem das Feuer auf der rechten Seite oder auf der linken lebhafter brennt, hauptsächlich aber nach rechts, weil dort die Heizer stehen und das Feuer daselbst bequemer unterhalten können. Die Ausbiegung in vertikaler Ebene nach unten hin wird unter lebhaftem Aufwärtsstreben des Wagehebels nach

5 Min.	+ 7,5 mm
6 „	+ 12,2 „
7 „	+ 20,5 „
8 „	+ 36,0 „
9 „	+ 51,0 „
10 „	+ 65,0 „

und damit wird in der Mitte der Säule, unten, die Temperatur 300°C . erreicht. Nach $11\frac{1}{2}$ Min. wird bei $v = + 80,5$ mm der Zeiger für die vertikale Durchbiegung etwas ruhiger, steigt aber unter Hin- und Herschwanken noch langsam fort. Nach $12\frac{3}{4}$ Min. ist $v = + 85,0$ und die Temperatur der unteren Seite der Säulenmitte 400° ; die Wage sucht immer noch sehr stark

aufzusteigen. Nach $14\frac{1}{2}$ Min. ist $v = +90,5 \text{ mm}$ und die Temperatur 500° C . erreicht. Der Zeiger für die vertikale Durchbiegung bleibt nun fast stehen, die Wage wird ruhiger, aber nach $15\frac{1}{2}$ Minuten gibt die Wage plötzlich nach und fällt gleich darauf die Wagschale trotz angestrengten Nachpumpens ganz herunter; gleichzeitig wächst v wieder rascher auf $+95,0 \text{ mm}$ nach 15, auf $+102,0 \text{ mm}$ nach $15\frac{1}{2}$, auf $+130,0 \text{ mm}$ nach 16 Minuten, und dann läuft der Zeiger im Sinne der weiteren Durchbiegung nach unten so rasch fort, dass nicht mehr abgelesen werden kann. Zu derselben Zeit, nach 16 Min. ist in der Mitte der Säule erst die Temperatur von 600° C . erreicht, aber die Wagschale trägt nur noch $23 t$, nach $16\frac{1}{2}$ Min, wo die Säule in der vorderen Hälfte zu glühen beginnt, nur noch $21 t$ und nach 17 Min. nur noch $20 t$. Nach $17\frac{3}{4}$ Min. wird das Spritzen begonnen, obwohl die Säule nur erst theilweise, noch nicht ihrer ganzen Länge nach glüht. In Folge davon sinkt die Wagschale wieder ganz herab und kann die Belastung nur durch sehr starkes Nachpumpen auf $19 t$ gehalten werden. Nach 19 Min. ein starker Krach, die Säule biegt sich in der Mitte ganz durch, die Wagschale fällt ganz herab, trägt nur noch ca. $4 t$. Nach $20\frac{1}{2}$ Min. ein neuer Krach und Ruck an der Säule, dieselbe ist zwischen den Druckplatten herabgefallen. Nach 30 Min. wird, nachdem das Feuer längst gelöscht ist, das Spritzen beendet. Die Säule ist noch nicht ganz kalt, aber doch nur noch handwarm.

Die Gestalt der Säule nach dieser Probe zeigt Fig. 7 auf Blatt I. Auch bei ihr kamen Abscheerungen von Nieten oder sonstige Brüche nicht vor; doch müssen an den Stellen a und b die Nietlöcher stark gestaucht sein.

34. Versuch, am 21. April 1886.

Schmiedeisensäule Nr. 30 (Fig. 4 auf Blatt II), Gewicht 380 kg , ebenfalls aus Winkeleisen hergestellt, wie die beiden vorigen. Die Winkeleisen haben ein etwas schwächeres Profil, sind aber an mehr Stellen wie dort, an sieben statt dort nur an vieren, und nicht durch Flacheisen und Winkeleisen, sondern nur durch Flacheisen mit beigelegten Futter, miteinander verbunden. Aus den in der Figur angegebenen Dimensionen berechnet sich mit Weglassung der Nieten und Versteifungen die Querschnittsfläche auf $60,00 \text{ qcm}$ und das Trägheitsmoment für jede durch den Schwerpunkt gehende Axe zu 1398 bigcm . Die Länge beträgt $580,0 \text{ cm}$. Die zulässige Belastung ist also, mit den Coëfficienten $\gamma = \frac{1}{5}$, $\beta_0 = 4000 \text{ at}$ und $\alpha = 0,00009$ berechnet, rund 21 Tonnen. (Die Gerber'schen Coëfficienten würden $24,5$ Tonnen ergeben). Unter jener Belastung wird die Säule in der gleichen Lage wie die vorige, also so, dass die Schenkel der Winkeleisen 45° mit der Hori-

zontalen und Vertikalen bilden:  geprüft. Nach sorgfältigster Einspannung und wiederholtem Richten ergaben sich bei festgestellten Druckplatten im kalten Zustande folgende Durchbiegungen:

Belastung <i>t</i>	<i>v</i> <i>mm</i>	<i>h</i> <i>mm</i>
0	0	0
10	+ 0,25	+ 0,10
20	+ 0,65	+ 0,4
30	+ 0,7	+ 0,7
40	+ 0,75	+ 0,85
50	+ 1,3	+ 1,0
0	+ 0,3	+ 0,25
21	+ 0,95	+ 0,6

Bei dieser letzteren Belastung wird um 3 Uhr 29 Min. das Feuer angezündet; nach einer halben Minute sucht der Hebel der Wage aufzusteigen und wird mit dem Reguliren begonnen. Nach einer Minute setzt sich der Zeiger für die vertikale Durchbiegung in Bewegung, der für die horizontale erst nach 2 Minuten. Letzterer zeigt zuerst, während das Feuer auf der rechten Seite, wo die Heizer stehen, lebhafter brennt, eine Ausbiegung nach dieser Seite hin an, die nach 7 Min. das Maximum von $12,6 \text{ mm}$ erreicht und dann, nach gleichmässigerer Vertheilung des Feuers auf beide Seiten, wieder zurückgeht. Die vertikale Ausbiegung nach unten nimmt sehr rasch zu. Sie ist nach 8 Min., wo in der Mitte, unten, die Temperatur von 300° C . erreicht ist, schon gleich $+56,75 \text{ mm}$, nach 9 Minuten gleich $+76,25 \text{ mm}$. Nach $9\frac{1}{2}$ Minuten ist die Temperatur an jener Stelle 400° C . geworden und nach 10 Min. $v = +85,95 \text{ mm}$, nach 11 Min. $v = +90,25 \text{ mm}$ und die Temperatur 500° C . Um jenen Werth schwankt v einige Minuten lang stark hin und her und geht dann zurück, nach 15 Minuten auf $+84,75 \text{ mm}$; die Wage, welche bis jetzt fortwährend aufzusteigen suchte, wird ruhiger und gibt nach 16 Minuten nach; es muss nachgepumpt werden, wobei die Biegung immer noch geringer wird. Nach 17 Minuten, wo die Temperatur der Säule in der Mitte auf 600° C . gestiegen ist, geht die Biegung bis auf $v = +69,0 \text{ mm}$ zurück und dann wieder vorwärts im Sinne der nun wieder wachsenden Durchbiegung nach unten. Nach 18 Minuten ist v noch gleich $+87,25 \text{ mm}$, dann aber fängt der Zeiger für Messung dieser Durchbiegung, während die Säule zuerst in der vorderen, dann auch in der hinteren Hälfte auf der unteren Seite zu glühen beginnt, so rasch zu laufen an, dass nicht mehr abgelesen werden kann; die Säule biegt sich unter Sinken der Wage, die nur noch 9 Tonnen trägt, in der Mitte nach unten, in der hinteren Hälfte

nach oben, also S-förmig durch. Trotzdem wird, um das Feuer zu löschen und die Säule abzukühlen, mit dem Spritzen begonnen. Dabei gibt die Wage noch stärker nach und muss kräftig gepumpt werden, um die 9 Tonnen Belastung zu halten. Die vordere Stirnfläche der Säule, die, wie jetzt deutlich zu sehen ist, nur stellenweise glüht, steht oben um ca. 20 mm von der Druckplatte ab, die hintere liegt an. Nach 23 Minuten wird ein starker Krach und nach 23 $\frac{1}{2}$ Minuten ein zweiter solcher gehört, welche Krache wahrscheinlich von Verschiebungen in den Vernietungen herrühren, da sich diese, wie eine spätere Untersuchung zeigte, als äusserlich unverletzt erwiesen. Dabei trägt die Säule noch 9 Tonnen, aber nicht mehr, sie biegt sich unter dieser Belastung immer stärker durch. Nach 31 Minuten ist das Feuer gelöscht, es wird nur noch die Säule abgekühlt und nach 35 Minuten das Spritzen ganz beendet; die Säule ist fast kalt geworden.

Bei allmählich wieder bis ca. 14 t gesteigerter Belastung steigt die Säule in der Mitte in die Höhe und legt sich ihre vordere Stirnfläche fast vollständig wieder an die Druckplatte an; aber auch die schon stärker aufwärts gebogene hintere Hälfte biegt sich noch mehr aufwärts und drängt stark nach rechts hinüber, so dass der Wagen aus den Schienen gehoben wird.

Die Gestalt der deformirten Säule zeigt Fig. 5 auf Blatt II.

Aus den vorstehenden Versuchen mit Schmiedeisensäulen folgt, dass dieselben bei guter Construction, als welche sich die in Fig. 1 auf Blatt II dargestellte erwiesen hat, dem Feuer und dem Anspritzen auch ziemlich gut widerstehen, wenn auch nicht ganz so, wie gusseiserne,

dass aber Säulen von der Construction wie Fig. 5 auf Blatt I oder Fig. 4 auf Blatt II entweder schon durch das Feuer allein, sicher aber beim Anspritzen unaufhaltsam unter der auf ihnen liegenden Last durchgebogen werden. Grundbedingung für eine, in dieser Hinsicht gute Construction ist, wie mir aus den Versuchen Nr. 3 und 6 (in Heft XII) und Nr. 30—34 deutlich hervorzugehen scheint, dass die Bestandtheile solcher Säulen so durch Nieten verbunden werden, dass dieselben, in gehörig kleinen Entfernungen von einander stehend, Reihen bilden, welche durch die ganze Länge der Säule ununterbrochen fortlaufen. Für den Querschnitt dürfte die Kastenform der Kreuzform vorzuziehen sein.

Bestimmtere Regeln für die Construction schmiedeiserner Säulen, die dem Feuer und dem Anspritzen möglichst gut widerstehen sollen, lassen sich aus dem Vorstehenden wohl nicht aufstellen. Dazu müssen die Versuche*) noch weiter fortgesetzt werden und erkläre ich mich gerne bereit dazu, wenn mir von den dabei Interessirten die nöthigen Mittel zu Gebot gestellt werden.

Am Schlusse komme ich noch der sehr angenehmen Verpflichtung nach, den Herren Kommerzienrath Kustermann und Direktor Gerber meinen Dank für ihre bereitwillige Unterstützung meiner Arbeiten auch hier öffentlich auszusprechen.

München, im April 1886.

*) Rechnungen, unter Zugrundelegung so unsicherer Annahmen angestellt, wie es Herr Möller in der neuesten Nummer (17) des „Centralblattes der Bauverwaltung“ thut, haben wenig Werth.

XVIII.

Zerknickungs-Versuche.

(1. Reihe).

I. Abschnitt. Das Versuchsmaterial.

Dass die Anstellung von neuen Zerknickungsversuchen mit besseren Hilfsmitteln, als sie Hodgkinson zu Gebote standen und mit Probestücken aus solchen Materialien und mit solchen Querschnitten, wie sie in der neueren Zeit verwendet werden, eine sehr dringende Forderung der Technik ist, wird in der Literatur allgemein anerkannt. Besonders fühlbar macht sich dieses Bedürfniss für Façoneisen (Walzeisen) aus Schweisseisen mit solchen Querschnittsformen, wie sie beim Brückenbau verwendet werden. Ich ging daher gerne auf die Anregung meines verehrten Freundes, des Direktors der süddeutschen Brückenbau-Aktiengesellschaft, H. Gerber, ein, nach dieser Richtung hin eine systematische Reihe von Zerknickungsversuchen durchzuführen, für welche er mir das nöthige Material in den gebräuchlichsten Querschnittsformen aus der Brückenbauwerkstätte in Gustavsburg bei Mainz zu Gebote stellte.

Die ausgewählten Querschnitte sind in den Figuren 1—12 auf Blatt III in natürlicher Grösse mit ihren Centraellipsen und Centrkernen dargestellt. Diese Figuren wurden, jede einzeln auf einem grösseren Zeichnungsblatte, durch direktes, möglichst genaues Umreissen des kleinsten (kürzesten) Stückes von jedem Profil, welches zur Ermittlung der Elasticitäts- und Quetschgrenze und der Druckfestigkeit gebraucht wurde, aufgezeichnet. Mittelst des Amsler'schen Momenten-Planimeters wurden dann der Flächeninhalt, der Schwerpunkt und die Trägheitsmomente der Profile in Bezug auf zwei durch den Schwerpunkt gehende und aufeinander senkrecht stehende, in den Figuren auf Blatt III mit XX und YY bezeichnete Axen bestimmt, wobei jedes Profil 6mal umfahren wurde. Daraus ergaben sich dann auf bekannte Weise die Halbaxen der Centralellipse und der Centrkern. Die Resultate dieser Mess-

ungen, sowie die Hauptdimensionen der Profile, soweit sie zu den folgenden Rechnungen nothwendig sind, finden sich auch in der Tabelle 1 in den Spalten 8 bis 17 angegeben, wobei für diejenigen Profile, welche nicht in Bezug auf beide Axen symmetrisch sind, die in der YY-Axe liegende Höhe in zwei Theilen, wie sie durch den Schwerpunkt gemacht werden, aufgeführt wurde.

Die Tabelle 1 enthält überhaupt das Verzeichniss sämmtlicher Probestücke. Die Bezeichnung derselben (Spalte 1) wurde so durchgeführt, dass jedem Profil eine Nummer gegeben wurde, diejenige, welche es im Geschäftsbuche des Laboratoriums für zu prüfende Materialien eben traf (Nr. 2688 bis 2699), während die einzelnen Stücke von gleichem Profil durch angehängte Buchstaben unterschieden wurden. Die kürzesten, schon oben erwähnten, erhielten dabei den Buchstaben a und die längeren, der Reihenfolge ihrer Länge nach, die Buchstaben b, c, d Diejenigen dieser Probestücke, bei denen diese Buchstaben einfach oder doppelt unterstrichen sind, bildeten ursprünglich ein einziges langes Stück, während die Stücke mit nicht unterstrichenen Buchstaben einzeln dem Laboratorium zukamen.

Die 2. Spalte gibt kurz die Form des Profils und dessen Lage bei der Prüfung auf Zerknickungsfestigkeit; die auch auf Blatt III so bezeichnete XX-Axe war immer horizontal, die YY-Axe vertikal. Die an diesen Axen angegebenen Vorzeichen beziehen sich auf die Vorzeichen der gemessenen Ausbiegungen, wie später näher angegeben werden wird.

Die 3. Spalte gibt den Namen oder die Firma des Fabrikanten, wie diese auf den, dem Laboratorium zugekommenen Stücken mit weisser Oelfarbe aufgetragen waren.

In der 4. Spalte stehen die Längen der Probestücke,

gemessen, nachdem die Stirnflächen derselben eben und möglichst parallel gehobelt waren. Die in der 5. Spalte enthaltenen Längen werden im nächsten Abschnitt ihre Erklärung finden. In der 6. Columne finden sich die Gewichte der Probestücke und in der 7. die aus denselben und aus den Längen in der 4. Spalte berechneten Gewichte per laufenden Meter. Diese letzteren sollten für Stücke von gleichem Profil gleich gross sein, sind es aber aus leicht begreiflichen Gründen nicht, nicht einmal für solche Probestücke, die ursprünglich ein einziges langes Stück bildeten. Die in den Spalten 8 bis 17 eingetragenen, an den Stücken a ermittelten Zahlen (s. oben) gelten also zunächst nur für diese Stücke; für die anderen Stücke wurden sie, soweit es für die folgenden Untersuchungen nothwendig erschien, durch Reduktion jener Zahlen erhalten, indem man die Querschnittsflächen proportional den Gewichten des laufenden Meter und die Längendimensionen proportional den Quadratwurzeln dieser Gewichte annahm.

Zu den vorstehenden Probestücken kamen später aus weiter unten anzugebenden Gründen noch 5 andere, gleich lange, welche durch Theilung eines ca. 12 m langen Trägers mit dem deutschen Normalprofil Nr. 10 erhalten wurden. Die näheren Angaben betreffs derselben sind am Schlusse der Tabelle 1 beigefügt.

2. Abschnitt. Die Versuche.

Die mit a bezeichneten kurzen Stücke im Verzeichniss Tabelle 1 dienten, wie schon gesagt, zur Ermittlung der Elasticitäts- und Quetschgrenze, sowie der Druckfestigkeit. Die dabei benützte Vorrichtung ist die bekannte an der Werder'schen Prüfungsmaschine; als Messapparat wurde mein Spiegelapparat verwendet. Die Versuche boten ganz ausserordentliche Schwierigkeiten, hauptsächlich desshalb, weil bei den meist verhältnissmässig kurzen und breiten Stücken, bei den Ungleichmässigkeiten im Material, bei der Unmöglichkeit, die Schwerpunktsaxe der Stücke mathematisch genau in die Druckaxe zu bringen, und bei der ziemlich unvollkommenen Richtfähigkeit der beweglichen Druckplatte in ihrem Kugelgelenk eine gleichmässige Vertheilung des Druckes über die Querschnittsflächen sehr schwer zu erreichen war. Jede Abweichung davon hat aber grossen Einfluss auf den Elasticitätsmodul und die Elasticitätsgrenze, weniger allerdings auf die Quetschgrenze und Festigkeit. Eine befriedigende Versuchsreihe konnte oft erst durch sorgfältigstes Aufschleifen der Stirnflächen der Probestücke auf die Druckplatten, durch mehrmaliges Verschieben des Stückes zwischen den Druckplatten und besonders durch vielmaliges Richten der beweglichen Druckplatte erhalten werden. Trotzdem mislangen die Versuche bei den Stücken 2690^a, 2691^a, 2698^a,

2698^{aa} und 2699^a bezüglich der Bestimmung der Elasticitätsgrenze, wesshalb diese Stücke später durch andere ersetzt wurden, welche von längeren Stücken (2690^d, 2691^b, 2698^b, 2698^f, 2699^b) abgeschnitten worden, nachdem dieselben auf Zerknickungsfestigkeit geprüft, dabei aber nicht über die Elasticitätsgrenze hinaus beansprucht worden waren. Diese Ersatzstücke sind im Verzeichniss Tabelle 1 unmittelbar unter denen aufgeführt, von denen sie entnommen sind, ohne ihnen eine neue Bezeichnung hinzuzufügen. Das Gleiche gilt für zwei kurze Stücke, welche von den Probestücken 3028^a und 3028^b mit dem deutschen Normalprofil Nr. 10 zu gleichen Zwecken abgeschnitten worden waren.

Für die Festsetzung der Elasticitäts- und der Quetschgrenze waren diejenigen Kriterien massgebend, die im XIII. Hefte dieser „Mittheilungen“ angegeben worden sind. Bei Ueberschreitung der Druckfestigkeit tritt beim Schweiss- und Flusseisen bekanntlich keine Zerstörung des Materials ein, sondern es wird eine Maximalbelastung erreicht, die, oft schon bei ziemlich bedeutender Deformation des Probestückes, noch getragen wird, bei deren Ueberschreitung aber der Hebel der Wage herabfällt und auch durch fortgesetztes Pumpen nicht mehr gehoben werden kann. Diese Maximalbelastung bezeichne ich kurz als Druckfestigkeit. Die Deformationen sind durchweg Ausbiegungen, welche sich bei Stegen oder Rippen, die auf beiden Längsseiten durch Flanschen begrenzt sind, blasenförmig gestalten und dann in der Regel (so bei den Stücken 2690^a, 2690^d, 2691^b, 2694^a) auf der convexen Seite der Blase Längsrisse zeigen.

Da ich in früheren Mittheilungen, besonders im XIII. Hefte, schon häufig Beispiele solcher Messungsreihen mit dem Spiegelapparat gegeben habe, so glaube ich hier darauf verzichten zu dürfen und beschränke mich auf die Wiedergabe der Resultate in den Spalten 18—21 der Tabelle 1. Das Stück 2688^a war zu gross, um auch nur die Elasticitätsgrenze bestimmen zu können, und von den Stücken 2689^a und 2693^a konnte zwar noch die Quetschgrenze, nicht aber die Druckfestigkeit gefunden werden.

Die Zerknickungsversuche wurden mit der bekannten Vorrichtung der Werder'schen Materialprüfungs-Maschine angestellt, welche sich u. A. im XII. Hefte dieser „Mittheilungen“ beschrieben und abgebildet findet. Durch Vorversuche stellte sich aber bald heraus, dass für die beabsichtigten Untersuchungen und für den Fall, dass die Enden der Versuchsstücke beweglich sein sollten, die Beweglichkeit der Druckplatten in ihren Kugelgelenken nicht genügend war. Auch wenn die Druckplatten so aufgehängt waren, dass sie sich sowohl um eine horizontale als auch um eine vertikale Axe ganz leicht drehen konnten, war die Reibung der Kugelabschnitte in ihren Kugelschalen so gross,

dass bei längeren Stücken mit kleinerem Querschnitt eine Bewegung der Druckplatten selbst bei beträchtlicher Biegung jener Stücke nicht constatirt werden konnte. Deshalb habe ich für den Fall, dass die Versuchsstücke freibewegliche Enden haben sollten, folgende Einrichtung getroffen:

An die abgehobelten Enden der Versuchsstücke wurden entsprechend grosse und 2 bis 3 *cm* dicke schmiedeiserne Platten A (Fig. 13 und 14 auf Blatt III) mit ihren gleichfalls abgehobelten Flächen angelegt, in welche auf den Aussen-seiten Stahlbolzen mit konischen Spitzen geschraubt waren. Um die Axen dieser Bolzen in die Schwerpunktsaxen der Versuchsstücke bringen und darin erhalten zu können, wurden auf die Rückseiten der Platten Leisten a, b, c, d so aufgelöthet, dass das betreffende Profil zwischen sie passte und sein Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte des Schraubenloches für den Bolzen B zusammenfiel. Zu dem Zwecke wurde eine Bause, welche von dem in natürlicher Grösse gezeichneten Profil abgenommen worden war (s. o.), auf die Platte gelegt und durch eine hinreichende Anzahl von Körnern die Lage der Leisten markirt. Die Spitzen der Bolzen B legten sich in Körner mit grösserem Converganzwinkel, als der ihrige; diese Körner waren entweder, bei beseitigten Druckplatten, in die Mitte der Kugelschalen, oder in die Mitte der festgestellten Druckplatten selbst oder endlich in Stahlköpfe C (Fig. 13) gebohrt, welche in die Mitten der festgestellten Druckplatten eingeschraubt waren.

Bei Berechnung der Versuche sind diese Platten A mit den Körnerspitzen B als zu dem Versuchsstück gehörig zu betrachten, dessen Länge dadurch vergrössert wird. Diese vergrösserte Länge ist in der 5. Spalte der Tabelle 1 für diejenigen Versuchsstücke angegeben, welche auf diese Weise geprüft wurden.

Die übrigen Probestücke wurden alle so eingespannt, dass sie mit ihren flachen Enden an den Vorderflächen der festgestellten Druckplatten satt anlagen. Andere Variationen bezüglich der Befestigung der Enden wurden vorläufig nicht berücksichtigt.

Bei diesen beiden Arten der Einspannung der Versuchsstücke konnte, wie Vorversuche zeigten, bei Messung der Ausbiegungen die Bewegung der Enden der Stücke vernachlässigt werden; sie war an sich sehr klein und zumal gegenüber den grossen Bewegungen der Mitte, welche zu messen waren. Deshalb konnte dem Apparat für die Messung der Ausbiegungen folgende, in Fig. 1 auf Blatt IV im Massstabe 1:10 abgebildete Einrichtung gegeben werden.

An den Schienen SS der Prüfungsmaschine ist der Rahmen R aus Holz festgeklemmt, welcher zwei Rollen-

fühlhebel F, F₁ trägt. Der eine derselben, F, für die Ausbiegungen in vertikaler Ebene bestimmt, besteht aus einem Hartgummiwälzchen w von 1,146 *cm* Durchmesser, das leicht und ohne todten Gang um eine Axe drehbar ist, die auf der Vorderseite einen Zeiger z trägt, dessen Länge das zehnfache des Halbmessers des Wälzchens ist. Am Ende dieses Zeigers befindet sich ein Nonius, der, zur Theilung des Kreises kk passend, mit dieser in einer Ebene liegt. Der ganze Kreis ist in 360 Theile getheilt, so dass die Entfernung zweier Theilstriche 1 *mm* beträgt. Ein feiner Faden, dessen eines Ende in ein, in der Mitte des Versuchsstückes angekittetes Häckchen eingehängt ist, schlingt sich mehrmals um das Wälzchen w und trägt an seinem anderen Ende ein Gewichtchen. Auf diese Weise kann also die Bewegung der Mitte des Probestückes in vertikaler Richtung bis auf 0,01 *mm* gemessen werden.

Mit einem ganz gleichen Apparat hätte auch die Ausbiegung in horizontaler Ebene gemessen werden können. Da aber das Laboratorium z. Z. nur ein Exemplar desselben besitzt, so wurde einer der Fühlhebel dafür genommen, welche zur Messung der Durchbiegungen bei Biegeversuchen gebraucht werden. Derselbe besteht aus einer Hartgummiwalze w₁ von 5,73 *cm* Durchmesser, die leicht und ohne todten Gang um eine Axe drehbar ist, welche einen gut ausbalancirten Zeiger z₁ mit Nonius an seinem Ende trägt. Dieser Nonius passt zu der Theilung des Bogens k₁k₁, mit welcher er in einer Ebene liegt, und deren Theilstriche gleichfalls in Entfernungen von 1 *mm* von einander stehen. Die Länge des Zeigers ist zehnmal so gross als der Halbmesser der Hartgummiwalze w₁. Ein Faden, dessen eines Ende wieder in ein, in der Mitte des Versuchsstückes angekittetes Häckchen eingehängt ist, schlägt sich mehrmals um die Rolle w₁ und trägt an seinem anderen Ende ein spannendes Gewicht. Die Bewegungen der Mitte des Probestückes in horizontalem Sinne werden also in zehnfacher Grösse, in 0,01 *mm*, an der Theilung k₁k₁ abgelesen. Da diese letztere nur 30 *cm* lang ist, so können mit ihr, weil der Zeiger anfangs in die Mitte eingestellt werden muss, nur Bewegungen von höchstens 15 *mm* gemessen werden, was sich durchweg als ausreichend gezeigt hat, da die Versuchsstücke, auch anderer Gründe halber, u. A. schon wegen der grösseren Sicherheit der bei den Versuchen Beschäftigten, so eingelegt wurden, dass die grössere Ausbiegung in der vertikalen Ebene erfolgen musste.

Die Bewegungen der Zeiger wurden aus grösserer Entfernung mittelst der beiden Fernrohre abgelesen, welche zu meinem Spiegelapparat gehören und die auf einem Tischchen am hinter Ende der Maschine standen.

Wegen der endlichen Länge der Fäden l und l₁,

von ihrer Befestigungsstelle an dem Versuchsstück bis zur ihrer Berührungsstelle mit den Hartgummi-Wälzchen w und w_1 bringt eine Bewegung des Probestückes in vertikaler Richtung auch eine kleine Drehung des Zeigers z_1 und eine Bewegung der Mitte in horizontaler Richtung auch eine kleine Drehung des Zeigers z hervor. Die dadurch bedingten Correkturen der Ablesungen der Zeiger z und z_1 können auf folgende Weise gefunden werden (vgl. die schematische Figur 2 auf Blatt IV).

Wenn die Befestigungsstelle A des Fadens l am Versuchsstück in vertikaler Richtung und in einem Sinne (abwärts), der bei den Messungen als positiv bezeichnet wird, um eine Strecke $AA' = y$ und in horizontaler Richtung und in einem Sinne (nach rechts hin, vom Beobachter am hinteren Ende der Maschine aus gesehen), der ebenfalls als der positive bezeichnet werden soll um $AA'' = x$ fortgeführt wird, so bildet der Faden l am Ende der letzteren Bewegung mit seiner ursprünglich vertikalen Richtung den Winkel φ , bestimmt durch die Gleichung:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{x}{1+y-r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}},$$

mit r den Radius des Wälzchens w bezeichnet. Ersetzt man hierin $\operatorname{tg} \varphi$ mittelst des bekannten Ausdruckes durch die tg des halben Winkels und formt um, so erhält man für $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ die quadratische Gleichung

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2} - 2 \frac{1+y}{2r-x} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = - \frac{x}{2r-x},$$

von deren beiden Lösungen nur der eine Werth

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1+y}{2r-x} - \sqrt{\left(\frac{1+y}{2r-x}\right)^2 - \frac{x}{2r-x}}$$

brauchbar ist. Schreibt man denselben so:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1+y}{2r-x} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x(2r-x)}{(1+y)^2}}\right)$$

und bleibt in der Entwicklung der Quadratwurzel, der bedeutenden Grösse von l gegenüber den Werthen r , x und y halber, bei dem 3. Gliede stehen, so folgt

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} \frac{x}{1+y} + \frac{1}{8} \frac{x^2(2r-x)}{(1+y)^3}.$$

Da der Winkel φ nur klein ist, so kann man $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ durch $\frac{\varphi}{2} + \frac{1}{3} \left(\frac{\varphi}{2}\right)^3$ ersetzen. Löst man die dadurch entstehende cubische Gleichung

$$\left(\frac{\varphi}{2}\right)^3 + 3 \frac{\varphi}{2} - \left(\frac{3}{2} \frac{x}{1+y} + \frac{3}{8} \frac{x^2(2r-x)}{(1+y)^3}\right) = 0$$

auf, so ergibt sich, wenn zur Abkürzung

$$\xi = - \left(\frac{3}{2} \frac{x}{1+y} + \frac{3}{8} \frac{x^2(2r-x)}{(1+y)^3}\right),$$

$$\mu = \sqrt[3]{-\frac{\xi}{2} + \sqrt{1 + \left(\frac{\xi}{2}\right)^2}}, \quad \nu = \sqrt[3]{-\frac{\xi}{2} - \sqrt{1 + \left(\frac{\xi}{2}\right)^2}}$$

gesetzt wird:

$$\frac{\varphi}{2} = \mu + \nu.$$

Vernachlässigt man in den Entwicklungen von μ und ν die höheren Potenzen von $\frac{\xi}{2}$ als die dritte, so ergibt sich

$$\mu = 1 - \frac{1}{8} \left(\frac{\xi}{2}\right) + \frac{1}{18} \left(\frac{\xi}{2}\right)^2 + \frac{1}{81} \left(\frac{\xi}{2}\right)^3$$

$$\nu = -1 - \frac{1}{8} \left(\frac{\xi}{2}\right) - \frac{1}{18} \left(\frac{\xi}{2}\right)^2 + \frac{1}{81} \left(\frac{\xi}{2}\right)^3$$

und folglich

$$\frac{\varphi}{2} = \mu + \nu = -\frac{2}{8} \left(\frac{\xi}{2}\right) + \frac{2}{81} \left(\frac{\xi}{2}\right)^3$$

und mit Einsetzung des Werthes für ξ :

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} \frac{x}{1+y} + \frac{1}{8} \frac{x^2(2r-x)}{(1+y)^3} - \frac{2}{81} \left(\frac{3}{4} \frac{x}{1+y} + \frac{3}{18} \frac{x^2(2r-x)}{(1+y)^3}\right)^3$$

oder, wenn man wieder die höheren als die dritten Dimensionen von $\frac{x}{1+y}$ und $\frac{2r-x}{1+y}$ vernachlässigt,

$$\varphi = \frac{x}{1+y} \left(1 + \frac{1}{8} \frac{x(3r-2x)}{(1+y)^2}\right).$$

Die Fadenlänge von A' bis B beträgt $l+y$, die von A'' über B' nach B ist:

$$\frac{x}{\sin \varphi} - r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + r \varphi.$$

Letztere ist also um

$$\frac{x}{\sin \varphi} - r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + r \varphi - (l+y)$$

grösser als jene, und folglich ist die Korrektur von y :

$$\Delta y = - \frac{x}{\sin \varphi} + r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} - r \varphi + (l+y).$$

Ersetzt man hierin $\sin \varphi$ durch $\varphi - \frac{1}{6} \varphi^3$ und $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ und φ durch ihre obigen Werthe, so ergibt sich mit hinreichender Näherung

$$\Delta y = - \frac{1}{2} \frac{x^2}{1+y}.$$

Auf ganz gleiche Weise erhält man für den Winkel φ_1 , den der Faden l_1 nach der Bewegung seines Befestigungspunktes A_1 zuerst um $+x$ in horizontaler und dann um $+y$ in vertikaler Richtung mit seiner ursprünglich horizontalen Richtung macht:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{y}{(l_1-x) + r_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}},$$

mit r_1 den Halbmesser des Wälzchens w_1 bezeichnend.

Daraus folgt auf gleichem Wege wie oben:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = - \frac{l_1-x}{2r_1+y} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{y(2r_1+y)}{(l_1-x)^2}}\right)$$

$$\text{und} \quad \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} = \frac{1}{2} \frac{y}{l_1-x} - \frac{1}{8} \frac{y^2(2r_1+y)}{(l_1-x)^3}$$

$$\varphi_1 = \frac{y}{l_1-x} \left(1 - \frac{1}{8} \frac{y(3r_1+2y)}{(l_1-x)^2}\right).$$

Die Fadenlänge von A_1' über B_1 bis B_1' ist $l_1 - x + r_1 \varphi$ und die von A_1'' bis B_1'

$$\frac{y}{\sin \varphi_1} + r_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2}$$

Letztere ist um

$$\frac{y}{\sin \varphi_1} + r_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} - (l_1 - x) - r_1 \varphi$$

grösser als jene und deshalb ist die Korrektur von x :

$$\Delta x = \frac{y}{\sin \varphi_1} + r_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} - (l_1 - x) - r_1 \varphi$$

oder

$$\Delta x = + \frac{1}{2} \frac{y^2}{l_1 - x}$$

Die Fäden waren so gespannt, dass in ihren vertikalen, bzw. horizontalen Anfangsstellungen ihre Verlängerungen durch den Schwerpunkt des mittleren Querschnittes hindurch gingen. Fig. 1^a auf Blatt IV zeigt die Befestigungsweise der Häkchen für die Profile 2698 und 2699. Dabei waren für das erstere dieser Profile die Fadenlängen von den Häkchen bis zu den Berührungstellen mit den Hartgummi-Wälzchen $l = 430$ u. $l_1 = 510$ mm. Bei den Γ , \sqcup und τ Eisen waren die Häkchen mit ihren Platten direkt an die betreffenden Stege und Flanschen gekittet und können hiernach die Fadenlängen l u. l_1 leicht aus jenen ermittelt werden. Es finden sich für

Profil-Nr.	$l =$	$l_1 =$
2688	425	420 mm
2689	426	467 „
2690	427	483 „
2691	427	495 „
2692	427	495 „
2693	450	440 „
2694	441	473 „
2695	441	507 „
2696	410	540 „
2697	423	540 „
2698	430	510 „
2699	430	512 „

Da die Versuchsstücke bei der Probe horizontal lagen und sich in Folge ihres Eigengewichtes nicht unbedeutend durchgeschlagen haben würden, so musste jenes möglichst ausgeglichen werden. Zu diesem Zwecke wurde nahe an der Mitte dicht neben den Messapparaten eine Kette K (Fig. 1 auf Blatt IV) unten um das Stück gelegt, deren Enden an ein Seil befestigt waren, das sich oben über das Rad D legte und an seinem Ende eine Wagschale W mit Gewichten trug. Die Achse des Rades D hing zwischen Laschen, die von einem Bolzen getragen wurden, der auf einen, auf der Gallerie des Beobachtungssaales aufruhenden Balken BB gelegt war. Dadurch wurde die Länge des Seiles vom Probestück bis zur Rolle so gross (ca. 3,5 m), dass die verhältnissmässig sehr kleine seitliche

Ausbiegung des ersteren die vertikale Richtung des Seiles nur sehr wenig änderte und umgekehrt auch von der Seilspannung nur unmerklich beeinflusst wurde. Die Durchbiegung in vertikaler Ebene fand unter der constant bleibenden Wirkung des Gegengewichtes statt. Als solches wurde, natürlich nach Ausbalancirung des Seil- und Ketten-gewichtes und unter Einrechnung des Gewichtes der Wagschale, $\frac{5}{8}$ von dem Eigengewichte des Probestückes genommen, entsprechend der Auflagerreaktion am mittleren Stützpunkte eines auf 3 gleich weit von einander entfernten Stützen liegenden, gleichmässig belasteten Trägers. Dadurch blieben in der That, soweit es die Controlen mit Lineal und Libelle zeigen konnten, die Versuchsstücke merklich gerade.

Dieselben wurden immer so eingelegt, dass die kleine Axe der Centralellipse des Querschnittes in die Vertikal-ebene kam, also die Axe XX der Profile auf Blatt III horizontal, die Axe YY vertikal war (vgl. Spalte 2 der Tabelle 1). Durch provisorische Unterlagen an den Enden wurden in dem Falle, wo die Enden mit Spitzen armirt waren, diese Spitzen in die entsprechenden Körner eingerichtet, in dem anderen Fall die Schwerpunkte der flachen Enden mit den Mittelpunkten der Druckplatten zusammenfallend gemacht. Alsdann wurde das Probestück mit einer Belastung, welche höchstens gleich war einem der ersten Intervalle, in denen nachher die Belastungen gesteigert wurden, eingespannt, wobei in dem Falle von flachen Enden die Druckplatten beweglich gelassen wurden. Das Versuchsstück wurde alsdann an den Enden gegen Verschiebungen in der Höhe sowohl als nach den Seiten fixirt und dann, nachdem gegebenen Falles die Druckplatten durch Anziehen ihrer Stellschrauben festgestellt worden waren, die Belastung wieder aufgehoben. Nun wurde die Anfangsstellung der Zeiger der Messapparate abgelesen und hierauf das erste Intervall der Belastung aufgegeben. Nachdem es erreicht war, wurden die provisorischen Unterlagen an den Enden entfernt und 2 Minuten nach Aufgabe der Belastung der neue Stand der Zeiger abgelesen. So wurde, ohne weiter auf die Belastung Null zurückzugehen, von Intervall zu Intervall fortgeschritten und der Stand der Zeiger jedesmal abgelesen, wobei von einer Ablesung zur anderen immer 2 Minuten gewartet wurden, während unmittelbar nach jeder Ablesung ein neues Belastungsintervall zugelegt wurde.

Die Resultate dieser Messungen sind in den Tabellen 2—38 niedergelegt. Die 1. Spalten dieser Tabellen enthalten die Belastungen im Ganzen, die 2. Spalten die pro qcm der Querschnitte in kg , die 3. die Durchbiegungen y der Mitte in vertikaler, die 4. die Ausbiegungen x der Mitte in horizontaler Ebene und die 5. den Biegungspfeil

$f = \sqrt{x^2 + y^2}$, welcher, da y meist bedeutend grösser als x ist, häufig auch nach der Näherungsformel

$$f = y + \frac{1}{2} \frac{x^2}{y}$$

berechnet werden kann. Jene Durch- und Ausbiegungen sind mit $+$ bezeichnet, wenn sie nach abwärts, bzw. nach rechts (vom Beobachter am hinteren Ende der Maschine aus gesehen) stattfanden und bereits die oben berechneten Korrekturen wegen der endlichen Länge der Fäden daran angebracht.

Anfangs, bei kleinen Belastungen, stellten sich die Zeiger sofort nach erreichter Belastung auf bestimmte Stellen ein, die sie während des noch übrigen Restes der zwei Minuten unverändert beibehielten oder bei stattgehabten kleinen Erschütterungen nach einigen Schwankungen wieder einnahmen. Später wurde dann und zwar verhältnissmässig schon bald und in der Regel zuerst bei der Durchbiegung in vertikaler Ebene, als der grösseren, der Einfluss der Zeit bemerklich, indem der betr. Zeiger nach dem Einspielen der Libelle am Wagbalken und indem dieser horizontal gehalten wurde, noch langsam weiterging, oder, wie wir es nennen wollen, nachgab. Dieses Nachgeben wurde bei höheren Belastungen merklicher, erstreckte sich dann auch über die zwei Minuten zwischen zwei Ablesungen hinaus, wurde aber bei längerem Warten unter gleichbleibender Belastung schwächer und schwächer, bis endlich die Zeiger wieder ganz zur Ruhe kamen. Aber bei einer bestimmten Grenze der Belastung kamen die Zeiger nicht mehr zur Ruhe, sondern schritten, anfangs noch langsam, dann aber immer rascher und rascher fort, so dass nicht mehr abgelesen werden konnte; fast gleichzeitig fiel die Wagschale der Prüfungsmaschine herab und konnte das Probestück unter einer weit kleineren Belastung als jene mehr und mehr durchgebogen werden. Bei denjenigen Stücken, welche mit flachen Enden zwischen festen Druckplatten lagen, machte sich dieses Moment auch noch dadurch bemerkbar, dass sie plötzlich sozusagen umschnappten, indem die Enden, welche bis dahin satt an den Druckplatten liegen geblieben waren, sich mit einmal im Sinne der Biegung von denselben ablösten und nur noch mit einer, meist ziemlich stark eingedrückten Kante mit ihnen in Berührung blieben. Dabei wurde in der Regel, nicht immer, zugleich ein mehr oder weniger starker eigentümlicher Ton, ein Knacken vernehmbar. Die Maximalbelastung also, mit welcher die Zerknickungsfestigkeit des Probestückes überschritten wird, lässt sich sowohl an den Messinstrumenten für die Biegung als auch an der Wage der Prüfungsmaschine ganz scharf beobachten; wir wollen sie die Zerknickungsbelastung nennen. Ein Bruch tritt dabei nicht ein, oder doch nur an solchen Stücken, die aus ganz schlechtem, spröden

Material bestehen oder gerade in der Mitte Fehlerstellen haben. Ich habe ihn unter 37 Fällen nur 3mal beobachtet, an Stücken mit τ förmigem Querschnitt, deren Bruchstellen schlechtes grobkristallinisches Material oder starke Anbrüche zeigten. (Die Stücke 2697^{b, c und e}, vgl. Tabelle 16, 17 und 19). In allen anderen Fällen fand eine Zerstörung des Zusammenhanges nicht statt, ja, wenn die Biegung nach Ueberschreitung der Zerknickungsfestigkeit nicht sehr weit getrieben wurde, kaum eine merkliche Deformation des Querschnittes in der Mitte. Die Zerknickungsbelastung ist am Ende jeder der in den Tabellen 2—38 enthaltenen Messungsreihen angegeben und auch in die Spalten 22—25 der Tabelle 1 eingetragen, zugleich mit der durch einen Pfeil angegebenen Richtung der Durchbiegung, wobei ein kleiner Querstrich durch den Pfeil bedeutet, dass ein wirklicher Bruch stattgefunden hat. Da, wo nach Aufgabe des letzten Belastungs-Intervalles die Zeiger sofort angingen, rascher fortzuschreiten und die Libelle des Wagehebels nicht mehr zum Einspielen kam, wurde nur ein Theil, in der Regel die Hälfte des Intervalles der letzten Belastung, bei welcher noch abgelesen wurde, zugerechnet, um die Zerknickungsbelastung zu erhalten.

Der Beginn von schwachem und der Eintritt von stärkerem und starkem Nachgeben der Zeiger (vgl. oben) ist an den Zahlen der 3. und 4. Spalte mehrerer der Tabellen 2—38 dadurch angegeben, dass bei den mit punktierten Linien unterstrichenen Zahlen das erste schwache Nachgeben bemerklich wurde, bei den mit einfachen zusammenhängenden Linien unterstrichenen stärkeres und bei den mit Doppellinien unterstrichenen sehr starkes Nachgeben anfang.

Nachdem die Zerknickungsbelastung überschritten und das Probestück plötzlich stark durchgebogen worden war, wurde bei Stücken mit flachen Enden in der Regel sogleich, in den meisten anderen aber erst nach noch weiter getriebener Biegung die Wagschale der Prüfungsmaschine so weit entlastet, dass die Libelle am Hebel wieder zum Einspielen kam: es wurde die Spannung, unter welcher das Probestück in seiner abgeänderten Gestalt im Gleichgewicht gehalten wurde, abgewogen. Während dann diese Spannung von selbst constant blieb oder durch ganz geringes Nachpumpen constant erhalten werden konnte (nur in zwei Fällen, bei den Probestücken 2688^e und 2690^e ging sie merklich unter Vergrösserung der Biegung zurück), wurde die Gestalt des Probestückes in folgender Weise bestimmt:

Auf einer Seite der Probestücke war in ihrer ursprünglich geraden Gestalt eine gerade Linie gezogen worden, und zwar bei allen, mit Ausnahme der Stücke von τ förmigem Querschnitt, in der Höhe der Schwerpunktsaxe, bei diesen

entlang der Flanschenkante. Diese Linie wurde in 10 gleiche Theile getheilt und als Schwerpunktsaxe genommen. Nach erfolgter Durchbiegung und Abwiegung der Spannung wurde dann die Entfernung der Theilungs- und Endpunkte derselben von der durch die Oberfläche der Schienen SS (Fig. 1 Blatt IV) der Maschine bestimmten Horizontalebene durch ein Schubmaass entweder direkt, oder an Stellen, wo mit diesem nicht beizukommen war, mit Zuhülfenahme eines Parallelreissers, gemessen (vgl. die Figur 20 für das Probestück 2689° auf Blatt IV). Dadurch erhielt man die Pfeile der Theilungspunkte von der Verbindungslinie der Endpunkte aus und zwar, der Theilung des Schubmasses mit Nonius entsprechend, bis auf 0,1 mm genau, die Länge der Verbindungslinie der Endpunkte selbst wurde in vielen, nicht in allen Versuchen mittelst eines Bandmaasses gemessen.

Die Resultate einiger dieser Messungen, welche übrigens nicht an allen Probestücken angestellt wurden, sind in den Figuren 17—22 auf Blatt IV enthalten; in denselben sind die gebogenen Schwerpunktsaxen im Massstabe 1 : 10 so gezeichnet, dass die eingemessenen Punkte durch gerade Linien verbunden wurden, deren Längen als unverändert gleich dem 10. Theile der ursprünglich geraden Schwerpunktsaxe angenommen worden sind. Bei den Probestücken, welche Spitzen an die Enden gefügt hatten, sind die letzten Verbindungslinien beiderseits um die entsprechenden Stücke verlängert worden. Die Verbindungslinie der Endpunkte dieser Verlängerungen ist also die Kraftlinie. In diese wurde beiderseits die Kraft eingeschrieben, mit der das Stück gespannt gehalten wurde, und von ihr aus sind die in die Figuren in Centimetern eingeschriebenen Pfeile gerechnet, indem zu den, auf oben beschriebene Weise gemessenen noch die Vergrößerungen hinzugefügt wurden, welche sich durch Anfügung der Spitzen ergibt und zwar wurden diese Vergrößerungen nicht durch Abmessungen aus den Figuren, die zu diesem Zwecke zu klein waren, bestimmt, sondern durch Rechnung aus den ähnlichen Dreiecken, die sich an den Enden ergeben. — Bei den Stücken mit flachen Enden sind beiderseits senkrecht auf die letzten Verbindungslinien die Höhendimensionen der Endquerschnitte hinzugefügt. Die eingeschriebenen Pfeile sind von der Sehne der Schwerpunktsaxe aus gerechnet. Die Kraftlinie würde bei diesen Stücken durch die, auf der convexen Seite liegenden Randpunkte der Endquerschnitte gehen, wenn diese Ränder nicht eingedrückt würden, was immer der Fall ist; in Folge dessen rückt die Kraftlinie etwas nach der concaven Seite hin; da aber der Betrag dieser Verlegung nicht gemessen werden kann, so wurde die spannende Kraft einfach in die Verbindungslinie jener Randpunkte eingetragen.

Nachdem die oben beschriebenen Messungen an den
Bauschinger, Mittheilungen, XV.

unter Spannung stehendem Probestücke beendigt waren, wurde dasselbe entlastet und auf gleiche Weise das bleibend deformirte Stück ausgemessen. Ich begnüge mich damit, von diesen Messungen nur den mittleren oder grössten Pfeil anzugeben. Sein Ende ist in den betr. Figuren auf Blatt IV durch einen umringelten Punkt \odot bezeichnet und seine Grösse in Klammern neben die des Pfeiles des gespannten Stückes gesetzt; er ist von derselben Linie aus gerechnet, wie dieser. — An den Enden, bis mehr oder weniger weit gegen die Mitte hin, waren die entlasteten Stücke gerade.

3. Abschnitt. Theorie.

Wenn ein Körper mit vollständig gerader Schwerpunkts-Axe aus vollkommen homogenem Material besteht und genau centrisch, d. h. in seiner Schwerpunkts-Axe belastet wird, so ist kein Grund vorhanden, warum er eher nach einer Seite hin als nach einer anderen ausbiegen sollte, er bleibt gerade, wenn nicht zufällige äussere Einwirkungen eine Ausbiegung nach einer Seite hin begünstigen. Aber jene Bedingungen sind in Wirklichkeit niemals erfüllt. Desshalb tritt bei jedem, auf Zerknickung beanspruchten Körper schon gleich anfangs, d. h. schon bei der kleinsten Belastung eine Biegung ein, wie man stets beobachten kann, wenn nur die Messinstrumente, die man anwendet, empfindlich genug sind. Bei den im 1. Abschnitt beschriebenen Probestücken aus Façoneisen reichten die im vorigen Abschnitte beschriebenen Messinstrumente schon aus, um die gleich anfangs eintretende Biegung zu constatiren, wie sämtliche Tabellen 2 bis 38 zeigen. Bei starken Gusseisensäulen müssen feinere Hülfsmittel, die ich bei anderer Gelegenheit früher beschrieben habe, (vgl. „Maschine zum Prüfen der Festigkeit der Materialien von L. Werder und Instrumente zum Messen der Gestaltsveränderung der Probekörper von J. Bauschinger“ München in Commission bei Th. Riedel) angewendet werden. — Diese anfängliche Biegung schreitet bei wachsender Belastung manchmal in demselben Sinne und in nahezu derselben Ebene fort, aber in manchen Fällen nimmt sie auch wieder ab und dann wieder zu, oder sie wendet sich in eine andere Ebene oder ganz auf die entgegengesetzte Seite, bis nach genügendem Anwachsen der Belastung die Biegungsebene und der Biegungssinn ganz oder nahezu constant bleiben und nur noch die Grösse der Biegung mit der Belastung wächst. (Vgl. hiefür die Tabellen 2, 3, 4, 11, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36 und 38). Diese scheinbar anomalen Bewegungen lassen sich durch Ungleichmässigkeiten im Materiale genügend erklären.

So lange dabei die Belastung die Grenze P_0 , die Zerknickungsbelastung, nicht erreicht hat, ist das Gleichge-



wicht des gebogenen Stabes stabil; wenn die Biegung durch äussere Umstände vergrössert oder verkleinert wird, so kehrt sie sehr nahezu wieder in ihre vorige Grösse zurück, wenn jene Umstände zu wirken aufhören, selbst dann, wenn die Biegung durch dieselben auf die entgegengesetzte Seite gebracht worden war. Bei den 3 Versuchen, deren Resultate in den Tabellen 39, 41 und 42 niedergelegt sind, und von denen weiter unten ausführlicher die Rede sein wird, wurden bei Belastungen P von ungefähr $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Zerknickungsbelastung von dem in der Mitte angebrachten Gewichte (12,3 kg) zur Aufhebung des Eigengewichtes (s. ob. S. 15) 5 kg abgenommen und wieder zugelegt und dann neue 5 kg zugelegt und wieder abgenommen, ohne dass das Versuchsstück aufhörte, wieder nahezu die gleiche Biegung anzunehmen, wenn die Störung beseitigt war, obwohl die zugelegten 5 kg eine, allerdings nur kleine, Biegung nach der entgegengesetzten Seite bewirkt hatten.

Wir nehmen, den obigen Auseinandersetzungen gemäss an, dass der Probestab schon ursprünglich eine kleine, unbekannte Biegung habe, dass seine (halbe) Schwerpunkts-Axe OB_0 sei (Fig. 3 auf Blatt IV) mit dem Pfeil g_0 und dass er so eingespannt wurde, dass die Druckaxe die kleine und unbekannte Excentricität c_0 bekam. Die Belastung P bringe dann die Schwerpunktsaxe in die Gestalt OB mit dem Pfeil g und der Excentricität c . Denken wir uns dann die Mitte des Stabes fest eingespannt und dahin den Anfangspunkt eines rechtwinkligen Coordinatensystems gelegt, dessen X -Axe Tangente an die gebogene Schwerpunktsaxe ist, dann gelten für einen Querschnitt, dessen Schwerpunkt die Coordinaten x, y hat, unter Voraussetzung einer nur geringen Biegung mit hinlänglicher Genauigkeit die beiden Gleichungen:

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{P(c + g - y)z}{\Theta} \quad 1)$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_0} + \frac{P(c + g - y)}{\Theta \varepsilon} \quad 2)$$

In denselben bezeichnet F den Flächeninhalt des Querschnittes und Θ dessen Trägheitsmoment in Bezug auf eine, durch seinen Schwerpunkt gehende, auf der Biegungsebene senkrechte Axe, z die Entfernung desjenigen Elementes, in dem die Normal-Spannung σ herrscht, von jener Axe, nach der Seite hin positiv gezählt, nach welcher von der X -Axe aus die positiven y liegen; r_0 ist der ursprüngliche, r der durch die Belastung P hervorgebrachte Krümmungsradius der Schwerpunktsaxe an der betrachteten Stelle, ε der Elasticitäts-Modul des Materials.

Nach Gleichung 1) wird σ für jeden Querschnitt am grössten in der grössten Entfernung $z = e$ von der Schwer-

punktsaxe auf der concaven Seite und diese Maximalspannung wird in dem Querschnitt am grössten, für welchen $y = 0$ ist, also bei O . Bezeichnen wir diesen Werth der Spannung mit $\max. \sigma$, so wird

$$\max. \sigma = \frac{P}{F} + \frac{P(c + g)}{\Theta} e.$$

Bezeichnet b_0 die in der Biegungsebene liegende (also immer kleinere) Halbaxe der Centralellipse, so ist bekanntlich $b_0^2 F = \Theta$, und da $\frac{b_0^2}{e} = k$, der Kernweite auf der convexen Seite ist, so wird

$$\max. \sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{c + g}{k} \right). \quad 3)$$

Vernachlässigen wir hierin vorläufig die Excentricität c gegen g und nehmen wir an, dass letzteres gleich dem gemessenen Biegungspfeil f wäre, vernachlässigen wir also auch die ursprüngliche Biegung g_0 , so wird

$$\max. \sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right). \quad 4)$$

Die Werthe von $\frac{P}{F}$ sind in den Tabellen 2—38 in die Spalte 2 eingetragen; diejenigen des Biegungspfeiles stehen in der Spalte 5. Die Kernweite k erhält man, wenn man die Werthe von x und y mit ihren Vorzeichen, also positive y nach abwärts, positive x nach rechts, in die Figuren des Blattes III einträgt und auf dem Radiusvektor des Punktes (x, y) die Entfernung des Mittelpunktes von der Grenze des Kernes abgreift. Einfacher und genauer erhält man bei den einfachen, fast durchweg geradlinig begrenzten Gestalten des Kernes in den geprüften Profilen die Werthe $\frac{f}{k}$ auf folgende Weise (Fig. 4 auf Blatt IV):

Die Gleichung der geraden Grenzlinie des Kernes, welche von dem Punkte m mit den Coordinaten $x = +m, y = 0$ zu dem Punkte n mit den Coordinaten $x = 0, y = +n$ geht, ist

$$\frac{x}{m} + \frac{y}{n} = 1,$$

und die Gleichung des Radiusvektors des Punktes (a, b) ist

$$bx - ay = 0.$$

Der Durchschnittspunkt K beider Geraden hat also die Coordinaten

$$x = \frac{a m n}{a n + b m} \quad \text{und} \quad y = \frac{b m n}{a n + b m}.$$

Die Kernweite k ist folglich

$$k = \frac{m n}{a n + b m} \sqrt{a^2 + b^2},$$

oder, da nach der jetzigen Bezeichnung

$$f = \sqrt{a^2 + b^2},$$

so ist

$$\frac{f}{k} = \frac{a}{m} + \frac{b}{n},$$

oder, mit den Bezeichnungen in den Spalten 3 und 4 der Tabellen

$$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$$

Die Werthe von m und n sind in den Spalten 15, 16 und 17 der Tabelle 1 enthalten; m ist für alle geprüften Profile beiderseits der Y -Axe gleich gross, daher nur ein Werth angegeben; und da für positive x das positive m und für negative x das negative m zu nehmen ist, so ist $\frac{x}{m}$ immer positiv. Für die Γ Querschnitte ist n beiderseits der X -Axe ebenfalls gleich gross (bei dem Profil 2688, wo diess wegen seiner Unregelmässigkeit nicht der Fall ist, wurde es so angenommen, da die Lage des Profils bei den Versuchen nicht constatirt wurde), und daher nur ein Werth in die Columne 16 und 17 eingetragen; aus denselben Gründen wie vorhin ist dabei $\frac{y}{n}$ stes positiv.

Für die anderen Querschnitte ist n zu beiden Seiten der X -Axe verschieden und wurden die positiven, mit n bezeichneten Kernweiten (die nach unten hin gemessenen) in die 16. und die negativen, mit n' bezeichneten, nach oben hin gemessenen in die 17. Columne eingetragen. Jene sind für positive, diese für negative y zu rechnen, so dass $\frac{y}{n}$ oder $\frac{y}{n'}$ doch wieder nur positiv ist. Der Werth von $\frac{f}{k}$ ist also nur positiv, wie es sein muss.

Die auf diese Art berechneten Werthe von $\frac{f}{k}$ sind für die, in den Tabellen 2—25 enthaltenen Versuche an Probestücken mit Spitzen an den Enden in die Spalte 6 jener Tabellen eingetragen und der hieraus berechnete Werth von $\max. \sigma$ in die Spalte 7. Für die Zerknickungsbelastung in den Spalten 1 und 2 derselben Tabellen wurde unter Zugrundelegung des letztbeobachteten Werthes für f , also des letzten Werthes für $\frac{f}{k}$ in Spalte 6, $\max. \sigma$ berechnet und in die Spalte 26 der Tabelle 1 eingetragen; es ist dies also diejenige Maximalspannung im mittleren Querschnitt, die nicht mehr getragen wurde, unter der sich das Stück unaufhaltsam durchbog. Man sieht, diese ist in den verschiedenen Fällen sehr verschieden: von 333 *at* bei Lab.-Nr. 2699^a bis 8433 *at* bei Lab.-Nr. 2690^b. Es scheint also, als ob die Zerknickungsfestigkeit einmal schon bei einer Maximalspannung weit unter der Elasticitätsgrenze überschritten, während ein andermal eine Maximalspannung weit über der Druckfestigkeit ertragen werden könnte, bevor die Zerknickungsfestigkeit erreicht wird. Aber dies scheint auch nur so, wie eine einfache Ueberlegung zeigt: Die hohen Zahlen für die Maximalspannung kommen

offenbar davon her, dass die Formel 4) (S. 18), welche unter der Voraussetzung vollkommener Elasticität abgeleitet wurde, nach Ueberschreitung der Elasticitäts- und noch viel mehr nach Ueberschreitung der Quetschgrenze ihre Gültigkeit verliert. Die Maximalspannungen auf der concaven Seite nehmen über jenen Grenzen langsamer zu als die Verkürzungen, das Stück drückt sich also auf dieser Seite mehr zusammen, die Neutralaxe rückt von der Schwerpunktsaxe weiter weg, gegen die convexe Seite zu, die Krümmung und der Krümmungspfeil müssen grösser werden und desshalb gibt die Formel 4) einen zu grossen Werth. — Die kleinen Werthe von $\max. \sigma$ aber erklären sich, wenn man in den Tabellen 2—25 den Gang der Werthe von P und von $\max. \sigma$ oder besser noch von P und f (1. und 5. Spalte) näher betrachtet. Es geschieht dies am besten mit Hülfe einer graphischen Darstellung, indem man P als Abscisse und f als Ordinate aufträgt. In den Figuren 7—11 auf Blatt IV ist dies für die oben hervorgehobenen extremen Fälle und für noch einige andere geschehen. Man sieht, die Verbindungslinie der Endpunkte der Ordinaten, die Curve der f , nähert sich in allen Fällen derjenigen Ordinate, deren Abscisse die Zerknickungsbelastung P_0 ist, asymptotisch. Wenn also für eine Belastung, die noch etwas kleiner als die letztere ist, ein Biegungspfeil abgelesen wurde, der mit der Formel 4) einen noch unter der Elasticitätsgrenze liegenden also richtigen Werth für $\max. \sigma$ ergibt, so muss nach Aufgeben der Zerknickungsbelastung f wachsen und zwar so rasch, dass die Maximalspannung schnell die Elasticitäts-, Quetsch- und Festigkeitsgrenze überschreitet.

Mit der Zerknickungsbelastung wird also jedenfalls die Grenze der Druckfestigkeit auf der concaven Seite erreicht, aber die Art und Weise, wie die Maximalspannungen bis dahin zunehmen, ist bei Stücken von verschiedener Länge und verschiedenen Profilen, ja, wie die Ausführungen am Anfang dieses Abschnittes erwarten lassen, selbst bei Stücken von gleichem Material, gleicher Länge und gleichem Profil sehr verschieden: Ich habe einen Γ Träger vom deutschen Normalprofil Nr. 10 (Lab.-Nr. 3028) und einer Länge von 12 *m* in 5 gleich lange Stücke a, b, c, d, e (in der Ordnung bezeichnet, wie sie im ganzen Stück aufeinander folgten) zerschneiden lassen und dieselben auf die gleiche Weise, wie im 2. Abschnitt beschrieben, Zernickungsversuchen zwischen Spitzen unterworfen. Dabei wurde die Ausbiegung nicht blos in der Mitte des ganzen Stückes sondern auf die gleiche Weise auch in der Mitte der vorderen Hälfte desselben gemessen. Die Hauptresultate dieser Versuche sind am Schlusse der Tabelle 1 aufgeführt und die einzelnen Versuchsreihen in den Tabellen 39—43 mitgetheilt. Aus letzterem sind die Curven der Biegungspfeile f in den Figuren 12—16 auf

Blatt IV gezeichnet. Man sieht, die Gestalten dieser Curven, welche sich alle asymptotisch der Ordinate der Zerknickungsbelastung nähern, sind sehr verschieden, und die Maximalbelastung, welche nicht mehr getragen wurde, berechnet aus der Zerknickungsbelastung mit dem zuletzt abgelesenen Biegungspfeil (Spalte 26 in Tab. 1) schwankt von 891 bis 2334 at, also von weit unter der Elasticitätsgrenze bis etwas über dieselbe. Diese letztere und die Quetschgrenze etc. wurden an kurzen, 8 cm langen Stücken bestimmt, die von dem im ganzen Träger aussen gelegenen Ende des Stückes a und von dem an c gelegenen Ende des Stückes d abgeschnitten worden, nachdem mit jenen Stücken die Zerknickungsversuche beendet waren, bei denen sie nur eine Belastung von höchstens 400 at erfahren hatten (Spalten 18—21 in Tab. 1).

Es folgt hieraus der wichtige Satz, dass die nach Formel 4) (S. 18) berechnete Maximalspannung, die bei einer gewissen Belastung P stattfindet, ganz ungeeignet ist, um auf den Sicherheitsgrad, der dabei vorhanden ist, schliessen zu können, und dass folglich jene Formel zur Dimensionen-Bestimmung nicht angewendet werden kann.*)

In der That, wollte man die Elasticitätsgrenze des Materials als zulässige Maximalspannung festsetzen, so würde man bei den hier geprüften Stücken mit Spitzen an den Enden (vgl. Spalte 27, 28 und 29 in Tabelle 1) im höchsten Falle eine 2,1 fache Sicherheit erhalten (Probestück 2697^b), in vielen Fällen aber nur eine einfache, d. h. keine; ja in dem extremsten, oben schon genannten Fall (2699^a) würde eine zulässige Maximal-Spannung von ungefähr $\frac{1}{4}$ der Elasticitätsgrenze (333 at) doch nur eine einfache Sicherheit geben, d. h. das Stück würde dabei eben zerknickt werden.

Die Abhängigkeit der Gestalt der gebogenen Schwerpunktsaxe, also des Biegungspfeiles von der Belastung P ergibt sich theoretisch aus der Gleichung 2). Für die Behandlung dieser Gleichung nehmen wir an: 1) dass die Schwerpunktsaxe OB (Fig. 3 auf Blatt IV) unter der Belastung P die Form der Sinuscurve annehme, wie sie es bekanntlich thut, wenn sie aus dem ursprünglich geraden Zustande durch die excentrisch liegende Kraft P gebogen wird; und 2) dass die ursprüngliche Gestalt OB₀ der Schwerpunktsaxe ebenfalls die der Sinuscurve sei, dass also die Gleichungen jener Axen seien:

*) Diesen Satz, zu dem ich auf rein experimentellem Wege gelangt bin, stellt Zimmermann an die Spitze seiner geistreichen Durchführungen: „Ueber den Sicherheitsgrad der Bauconstructionen, insbesondere der auf Knickung beanspruchten Körper“ (Centralblatt der Bauverwaltung 1886 Nr. 23—25), bei denen er jedoch von anderen Gesichtspunkten ausgeht, als es hier geschehen ist.

$$y = g \left(1 - \cos \frac{x}{l} \pi\right), \quad (5)$$

$$y_0 = g_0 \left(1 - \cos \frac{x}{l} \pi\right), \quad (6)$$

wo l mit hinreichender Genauigkeit als die Stablänge genommen werden darf und als grösster Werth von $x = \frac{1}{2} l$ zu nehmen ist.

Für flache Curven, wie sie nur vorkommen dürfen, darf

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad \text{und} \quad \frac{1}{r_0} = \frac{d^2 y_0}{dx^2}$$

gesetzt werden. Aus obigen Gleichungen folgt aber

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\pi^2}{l^2} g \cos \frac{x}{l} \pi \quad \text{und} \quad \frac{d^2 y_0}{dx^2} = \frac{\pi^2}{l^2} g_0 \cos \frac{x}{l} \pi$$

und dies in die Gleichung 2) eingesetzt erhält man

$$(g - g_0) \cos \frac{x}{l} \pi = \frac{P(c + g - y) l^2}{\Theta \varepsilon \pi^2},$$

welche Gleichung für den Coordinatenanfangspunkt O die Beziehung

$$g - g_0 = \frac{P(c + g) l^2}{\Theta \varepsilon \pi^2}$$

ergibt; setzt man hierin, der Kürze wegen,

$$\frac{P l^2}{\Theta \varepsilon \pi^2} = \lambda, \quad (7)$$

so folgt

$$g = \frac{g_0 + c \lambda}{1 - \lambda}. \quad (8)$$

Anfangs, für kleine Belastungen P, also für kleine Werthe von λ , ist die Biegung g hauptsächlich von den Werthen g_0 und c, also von unbekanntem und, was c anbelangt, auch wohl veränderlichen Werthen abhängig, und können bei Probestücken von gleicher Länge und gleichen Querschnitten je nach ihrer Einspannung die Werthe für g einen sehr verschiedenen Gang nehmen; aber in dem Maasse, als P wächst und damit λ sich der Grenze 1 nähert, in dem Maasse nimmt g immer rascher und rascher zu und nähert sich dem Werthe Unendlich, oder die „Curve der g“ nähert sich asymptotisch der Ordinate, welche dem aus $\lambda = 1$ folgenden Werthe

$$P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l^2} \quad (9)$$

als Abscisse zugehört.*)

*) Zu einem ähnlichen Resultat gelangt man, wenn man voraussetzt, dass ursprünglich nur die Excentricität c und keine Biegung vorhanden sei. Die Gleichung 2) wird dann

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{P}{\varepsilon \Theta} (c + g - y)$$

und ihr vollständiges Integral

$$c + g - y = u \sin f x + u' \cos f x,$$

wo

$$f = \sqrt{\frac{P}{\varepsilon \Theta}}$$

und die Constanten u und u' aus den Bedingungen zu bestimmen sind:

$$\text{Für } x = 0 \quad y = 0, \quad \text{also } u' = c + g$$

$$\text{und für } x = 0 \quad \frac{dy}{dx} = -u f \cos f x + u' f \sin f x = 0,$$

also u = 0. Demnach ist

$$c + g - y = (c + g) \cos f x$$

oder

$$y = (c + g) (1 - \cos f x)$$

Diess stimmt vollständig überein mit dem, was oben aus den Versuchen gefolgert wurde; die Zerknickungsbelastung ist also nichts Anderes, als der obige Werth P_0 aus der alten Euler'schen Formel, der hier aber in anderer Weise abgeleitet wurde und in einem anderen Lichte erscheint. Bisher wurde jener Werth P_0 als „der kleinste Werth betrachtet, bei dem irgend eine, noch so kleine Biegung überhaupt bestehen kann, als diejenige Kraft, bei der der Stab zwar nicht zerknickt werden muss, aber doch bei der geringsten Zufälligkeit zerknickt werden kann.“*) Aber es ist schwer einzusehen, warum ein Stab, der unter Belastungen, welche unter jener Grenze liegen, gerade geblieben ist, nun plötzlich nach Ueberschreitung der Grenze sich biegen und dass diese Biegung dann auch sogleich so rasch fortschreiten soll, dass der Bruch oder die völlige Durchbiegung erfolgt. — Nach obiger Ableitung ist P_0 der Grenzwert der Belastung, bei welchem die schon von vornherein vorhandenen und allmählich wachsende Biegung unendlich gross, also die Zerknickungsfestigkeit überwunden wird.

Die aus Formel 9) berechneten Werthe für P_0 sind, für die Probestücke mit Spitzen an den Enden in Spalte 30 der Tabelle 1 eingetragen. Man sieht, sie stimmen für längere Probestücke ziemlich gut mit den in Spalte 23 enthaltenen beobachteten Werthen der Zerknickungsbelastung überein; aber für kürzere Stücke übersteigt das berechnete P_0 oft weit das beobachtete. Die Erklärung dafür gibt die Spalte 31, welche den Quotienten aus der berechneten Belastung P_0 dividirt durch den Querschnitt, also die Spannung unter der Voraussetzung, dass die Biegung Null sei, oder die mittlere Spannung β_m enthält. In fast allen Fällen, wo das berechnete P_0 bedeutend grösser ist als das in Spalte 23 enthaltene beobachtete, da liegt der Werth von β_m und also noch mehr der von

die Gleichung der gebogenen Schwerpunktsaxe. Aus derselben folgt, da

$$\text{für } x = \frac{1}{2} \quad y = g \text{ werden muss,}$$

$$g = (c + g) \left(1 - \cos f \frac{1}{2}\right),$$

$$\text{oder} \quad g = c \frac{1 - \cos f \frac{1}{2}}{\cos f \frac{1}{2}},$$

oder, da g der gemessene, früher mit f bezeichnete Biegunspfeil ist:

$$f = c \frac{1 - \cos f \frac{1}{2}}{\cos f \frac{1}{2}}.$$

Auch hier ist für kleine Werthe von P , also f , f wesentlich von c abhängig, also zufällig und veränderlich, und nähert sich dem Werthe Unendlich, wenn sich $f \frac{1}{2}$ dem Werthe $\frac{\pi}{2}$ oder P dem Werthe $\frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{1^2}$ nähert.

*) Grashof, Theorie der Elasticität und Festigkeit, S. 165.

max. σ über, oft weit über der Elasticitäts- und sogar über der Quetsch- und Festigkeitsgrenze, also über jener Grenze, innerhalb deren die obigen Entwicklungen und Formeln Gültigkeit haben.

Es folgt daraus, dass der aus der Euler'schen Formel 9) berechnete Werth von P_0 nur insoweit als Zerknickungsbelastung genommen werden darf, als die sich daraus ergebende mittlere Spannung $\beta_m = \frac{P_0}{F}$ eine gewisse Grenze, vielleicht die Elasticitätsgrenze, nicht überschreitet.

Um die Annahme, oder das in der Note auf Seite 20 theoretisch gefolgerte Resultat, dass die gebogene Schwerpunktsaxe die Sinus-Curve sei, auch durch den Versuch zu prüfen, habe ich bei den 5 Stücken mit dem deutschen Normalprofil Nr. 10 Lab.-Nr. 3028^{ac} die Ausbiegung nicht bloß in der Mitte, sondern auch in der Mitte der vorderen Hälfte gemessen, und zwar durch zwei ganz gleiche und gleich angebrachte Rollenfühlhebel. Die Resultate sind in den Spalten 3', 4', 5' der Tabellen 39—43 angeführt, die den Spalten 3, 4, 5 derselben, sowie der früheren Tabellen entsprechen.

Die gemessene Ausbiegung f' an der bezeichneten Stelle ist, wenn y' und y'_0 die schliessliche und anfängliche Ordinate dortselbst und g und g_0 wie früher den schliesslichen und anfänglichen Biegunspfeil in der Mitte bezeichnen, wie leicht zu sehen

$$\begin{aligned} f' &= (g - y') - (g_0 - y'_0) \\ &= (g - g_0) - (y' - y'_0), \end{aligned}$$

oder nach Gleichung 5 und 6 für $x = \frac{1}{4} l$

$$\begin{aligned} f' &= (g - g_0) - \left(g(1 - \cos \frac{1}{4} \pi) - g_0(1 - \cos \frac{1}{4} \pi) \right), \\ &= (g - g_0) \cos \frac{1}{4} \pi, \end{aligned}$$

oder, da $g - g_0$ die in der Mitte des Probestückes gemessene Ausbiegung f ist (Spalte 5),

$$f' = f \cos \frac{1}{4} \pi = 0,707 f.$$

Dies trifft, wie man sich leicht überzeugt, bei den Werthen der Tabellen 39 und 41—43 sehr nahe zu; nur in Tabelle 40 ist die Abweichung eine grössere; hier sind aber auch die Anfangswerthe von f' sogar grösser als die von f ; das Stück hatte eine sehr unregelmässige Biegung angenommen; die vordere Hälfte war bei weitem mehr ausgebogen als die hintere.

Die in Formel 8) berechnete Ausbiegung g in der Mitte ist nicht die gemessene, in den Tabellen 2 bis 43 mit f bezeichnete, sondern es ist

$$f = g - g_0 = \frac{g_0 + c \lambda}{1 - \lambda} - g_0 = (c + g_0) \frac{\lambda}{1 - \lambda}.$$

Da bei den Versuchen für aufeinander folgende Werthe von P oder λ der Pfeil f gemessen wurde, so kann

$$c + g_0 = f \frac{1 - \lambda}{\lambda} \quad 10)$$

daraus gefunden werden. Diese Rechnung ist für die Stücke mit Spitzen an den Enden durchgeführt worden, wenn auch nicht für alle beobachtete Werthe von P oder λ und f ; die Resultate sind in den Spalten 8 und 9 der Tabellen 2—25 und 39—43 enthalten. Man sieht zunächst, dass die Werthe von $c + g_0$ fast durchweg nur so klein sind, wie sie, trotz sorgfältigen Einspannens, wohl vorkommen können; ferner, dass überall da, wo der Euler'sche Werth für P_0 gut mit den beobachteten stimmt (2688^c, 2690^{c und d}, 2691^{c und d}, 2697^e, 2699^{c und d} und 3028^{a-e}), die Excentricität $c + g_0$ nur klein ist, mit einer einzigen Ausnahme (2698^f), wo sie nicht unter 4 mm herab und fast bis 9 mm hinauf geht. Doch ist hierbei zu berücksichtigen, dass dieses Stück schon wiederholt geprüft worden war. In den Fällen, wo das Euler'sche P_0 kleiner als das beobachtete ist (2694^{d und f}, 2695^d, 2697^{c und d}), ist $c + g_0$ entweder durchweg sehr klein oder anfangs grösser und wird dann bei zunehmender Belastung kleiner. Endlich in all' den Fällen, wo das Euler'sche P_0 grösser als das beobachtete ist (2690^b, 2691^b, 2693^d, 2694^b, 2695^{b und c}, 2697^b, 2698^{b und c}, 2699^b), hat $c + g_0$ grosse Werthe, namentlich gegen den Schluss hin.

Statt des nur angenäherten Werthes in Formel 4) für max. σ erhält man den richtigen in Formel 3), wenn man in letzterer für g setzt $f + g_0$ und für $c + g_0$ alsdann den in Gleichung 10) gefundenen Werth. So wird

$$\text{max. } \sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \cdot \frac{1}{\lambda} \right)$$

und ist also aus den Spalten 6 und 8 der Tabellen 2—25 und 39—43 leicht zu erhalten. Die so berechneten Werthe sind in die Spalte 10 jener Tabellen eingetragen. An den obigen Auseinandersetzungen (S. 19 und 20) wird durch diese Correktion von max. σ nichts Wesentliches geändert.

Weit complicirter noch, als bei den bisher besprochenen Stücken mit Spitzen an den Enden, sind, wie vorauszu- sehen und wie die Tabellen 26—38 zeigen, die Vorgänge bei der Biegung solcher Stücke, die mit flachen Enden an festen Druckplatten liegen. Hier kommt zu den Schwierigkeiten, die einer genauen centrischen Einspannung entgegenstehen, noch die hinzu, eine völlige gleichmässige Vertheilung des Druckes über die Endflächen, also eine völlig gleichmässige Anlage derselben an den Druckplatten zu erzielen. Und vorausgesetzt, dass eine solche ganz oder nahezu erreicht wäre, so würde die Bedingung, dass die End- und Druckflächen normal zur

Schwerpunktsaxe stehen müssen, so lange erstere satt an letzteren anliegen, eine complicirtere Biegung der Schwerpunktsaxe erfordern, als die einfach bogenförmige bei den Stücken mit Spitzen an den Enden. Sie würde, bei völliger Unverrückbarkeit der Druckplatten oder der Endflächen an denselben, so wie Fig. 5 auf Blatt IV oder, bei einiger Nachgiebigkeit jener, wie in Fig. 6 auf Blatt IV ausfallen müssen. Im ersteren Falle muss die Mitte, deren Bewegung bei den Versuchen gemessen wurde, schon von Anfang an eine beträchtlichere Ausbiegung zeigen (wie etwa bei den Stücken 2689^{c und d}, 2694^{c und e}, 2698^{d und e} in den Tabellen 26, 27, 31, 32, 37 und 38), im zweiten Fall dagegen muss die Ausbiegung der Mitte anfangs Null oder doch nur sehr klein sein (wie bei den Stücken 2692^{b, c und d}, 2696^{b, c und d} und 2698^{bb} in den Tabellen 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36). Aber am Schlusse, bei Ueberwindung der Zerknickungsfestigkeit ist, wie die Versuche zeigen, die Biegung allemal eine einfach bogenförmige, wenigstens der Hauptsache nach, wobei sich die Endflächen von den Druckplatten ablösen und nur noch mit dem Rande auf der convexen Seite dieselben berühren, an welcher Stelle dann der ganze Druck concentrirt ist. Diese Biegung bereitet sich aber, wie gleichfalls die Versuchsreihen zeigen, schon längere Zeit vor der Ueberschreitung der Knickgrenze vor, indem sie sich mit den obigen, ursprünglichen combinirt, und da sie eine Neigung der Tangente an die Enden der Schwerpunktsaxe gegen die Normale zu den Druckflächen zur Folge hat, so wird dadurch eine Verschiebung der Resultante der Druckkräfte auf den Endflächen aus der Schwerpunktsaxe des Probestückes heraus gegen die convexe Seite hin hervorgebracht, und damit jene Hin- und Herbewegungen der Mitte, oder jenes Wachsen und Abnehmen und sogar Wenden des Biegungspfeiles nach der entgegengesetzten Seite, wie es die Tabellen 26—38 so häufig zeigen.

Aus dem Allem dürfte folgen, dass eine theoretische Verfolgung des Vorganges bei den Stücken mit flachen Enden an festen Druckplatten so gut wie unmöglich ist. Wir sind hier also auf die rein empirischen Formeln angewiesen, welche im nächsten Abschnitt behandelt werden sollen, und von denen uns, wie wir sehen werden, die gebräuchlichste, die Schwarz'sche Formel, gerade in diesem Falle glücklicherweise nicht im Stiche lässt.

4. Abschnitt. Die praktischen Knickungsformeln.

Unter den sogen. praktischen Knickungsformeln hat bisher die Schwarz'sche, nachdem sie von Laissle und Schübler so zu sagen wieder an's Tageslicht gezogen worden war, die meiste Anwendung gefunden. In derselben

$$P_0 = \beta_0 F \frac{1}{1 + \alpha \frac{Fl^2}{\Theta}}$$

bedeutet β_0 die Druckfestigkeit kurzer Stücke, die nicht gebogen werden (Spalte 21 in Tabelle 1), und α einen constanten Coefficienten, der von Laissle und Schübler für Schmiedeseisen zu 0,00009 angegeben wird. Die übrigen Buchstaben haben die gleiche Bedeutung, wie bisher. Berechnet man aus dem durch Beobachtung gefundenen P_0 , der Zerknickungsbelastung (Spalte 23 und 25 in Tab. 1), das α der Schwarz'schen Formel, so findet man dafür die in Spalte 32 und 33 der Tab. 1 enthaltenen Werthe. (Für die Profile 2688, 2689 und 2693, für welche β_0 nicht bestimmt werden konnte, wurde der mittlere Werth $\beta_0 = 4500 \text{ at}$ angenommen). Man sieht, diese Werthe schwanken zwischen 0,000122 und 0,000614 bei den Stücken mit Spitzen an den Enden und zwischen 0,000033 und 0,000416 bei den Stücken mit flachen Enden. Da der Werth von α von dem Werthe β_0 abhängt, der immerhin etwas unsicher zu bestimmen ist, so wurden die Werthe von α auch noch für den constant angenommenen mittleren Werth $\beta_0 = 4500 \text{ at}$ berechnet und in die Spalten 34 und 35 der Tabelle 1 eingetragen. Auch hier schwanken diese Werthe von 0,000090 bis 0,000614 bei den Stücken mit Spitzen und zwischen 0,000041 und 0,000311 bei den Stücken mit flachen Enden. Für Probestücke von gleichem Profil aber verschiedener Länge ist zwar die Uebereinstimmung etwas besser, aber auch nicht durchweg befriedigend (siehe Profile 2694 und 2695).

Berechnet man für die Probestücke mit Spitzen an den Enden (23 an der Zahl mit Weglassung des 2693^a und der fünf mit dem deutschen Normalprofil Nr. 10) die Werthe von β_0 und α in der Schwarz'schen Formel mittelst der Methode der kleinsten Quadrate, so findet man

$$\beta_0 = 2270 \text{ at und } \alpha = 0,000058,$$

Werthe, die von den bisher üblichen weit abweichen, obwohl der von β_0 , als zwischen der Elasticitäts- und Quetschgrenze gelegen, gerade nichts Unwahrscheinliches hat, wenn man β_0 , wie es geschehen kann, als Maximalantenspannung auffasst. Die mit jenen Werthen von β_0 und α rückberechneten Werthe der Zerknickungsbelastung P_0 sind in die Spalte 36 der Tab. 1 eingetragen. Die Uebereinstimmung derselben mit den beobachteten Werthen von P_0 lässt in manchen Fällen viel zu wünschen übrig, ist aber im Ganzen doch nicht gerade schlecht.

Wenn in gleicher Weise für die 12 Probestücke mit flachen Enden (das 2689^c aus leichtbegreiflichen, aus Tabelle 26 ersichtlichen Gründen weggelassen) die Werthe von β_0 und α in der Schwarz'schen Formel mittelst der Methode der kleinsten Quadrate berechnet werden, so findet man

$$\beta_0 = 3100 \text{ at und } \alpha = 0,000029,$$

letzteres also genau halb so gross, als bei den Stücken mit Spitzen an den Enden, übereinstimmend mit der bisherigen Annahme. Die rückberechneten Werthe von P_0 in Spalte 3 der Tabelle 1 stimmen, mit einer einzigen Ausnahme (2698^c) recht gut mit den beobachteten. Bei jener Ausnahme ist, wie die Versuchsreihe in Tabelle 38 zeigt, die Einspannung offenbar von vornherein sehr mangelhaft gewesen. Lässt man sie deshalb bei der Berechnung von β_0 und α weg, so finden sich

$$\beta_0 = 3150 \text{ at und } \alpha = 0,000027,$$

Werthe, welche von den obigen doch nur sehr wenig abweichen.

Die Grundform der Schwarz'schen Formel stimmt mit der für die Maximalkantenspannung (Formel 4) S. 18) überein, und ist ja jene auch aus dieser abgeleitet oder auf sie zurückgeführt worden. Aber die dabei gemachten Annahmen sind zum Theil so willkürlicher Natur, dass von der Bedeutung der Formel 4) nicht mehr viel übrig blieb. Daraus erklärt sich, dass die Schwarz'sche Formel, wenigstens bei den Stücken, welche mit flachen Enden an festen Druckplatten liegen, in recht gute Uebereinstimmung mit den Versuchsergebnissen gebracht werden konnte, während die Formel 4) als ganz und gar untauglich für den praktischen Zweck der Dimensionenbestimmung erkannt werden musste. Für Stücke mit Spitzen an den Enden verdient jedoch wie gezeigt die, hier theoretisch ableitbare Euler'sche Formel den Vorzug.

In neuerer Zeit hat Lang¹⁾ mit Zugrundelegung der Formel 4) eine neue Formel für die Knickungsfestigkeit abgeleitet:

$$\max. \sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \alpha \frac{P}{\epsilon F} \cdot \frac{l^2}{k^2} \right)$$

wo α ein constanter Coefficient sein soll und die übrigen Buchstaben dieselbe Bedeutung haben, wie bisher. Wenn nun schon nach dieser Art der Entwicklung eine geringe Uebereinstimmung der neuen Formel mit meinen Versuchsergebnissen zu erwarten ist, so wird diese Erwartung noch verstärkt durch die Annahme, welche Lang im Laufe seiner Entwicklung macht, dass der Biegungspfeil f innerhalb der Elasticitätsgrenze proportional mit der Belastung P wachse, eine Annahme, welche, wie ein Blick auf die Figuren 7—16 auf Blatt IV und die obigen Erörterungen zeigen (S. 19), bei weitem nicht zutrifft. In der That, wenn man α aus meinen Versuchen berechnet, was nach

$$\alpha = \left(\frac{\max. \sigma}{\left(\frac{P}{F}\right)} - 1 \right) \frac{\epsilon}{\beta} \cdot \left(\frac{k}{l}\right)^2 = \frac{f \epsilon}{k \beta} \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

mittelst der Spalten 6 und 2 der Tabellen 2—25 und der Angaben für l und k in der Tabelle 1 leicht geschehen

¹⁾ Rig. Ind. Zeitg. 1883 Nr. 23 und 1884 Nr. 22.

kann, und wenn man dabei, wie Lang es will, immer unterhalb der Elasticitätsgrenze bleibt, so findet man für α sehr verschiedene Werthe sowohl bei einem und demselben Probestück, je nachdem P oder β grösser oder kleiner ist, als auch bei verschiedenen Probestücken. So erhält man z. B. bei dem Probestück 2690^b, dem die Figur 7 zugehört, für

P =	10	20	30 t
$\alpha =$	0,0116	0,0035	0,0005

und bei dem Probestück 2694^a (Fig. 9) für

P =	7	11	14 t
$\alpha =$	0,0102	0,0138	0,0169.

Für die beiden gleich langen Stücke 2038^a und ^b vom deutschen Normalprofil Nr. 10 wird für

$$P = 3,6 t \quad \alpha = 0,0721 \text{ bzw. } 0,0194.$$

Die Uebereinstimmung wird nicht besser, wenn man statt des Werthes $\frac{f}{k}$ den corrigirten $\frac{f}{k} \cdot \frac{1}{\lambda}$ setzt. Obige Zahlen für α werden dann:

bei 2690^b und für

P =	10	20	30 t
$\alpha =$	0,1339	0,0200	0,0018

bei 2694^b und für

P =	7	11	14 t
$\alpha =$	0,0203	0,0174	0,0167

und für 2038^a und ^b $\alpha = 0,0868$ bzw. 0,0234.

München, im September 1886.

T a b e l l e n .

Tabelle 1.

1 Bezeichnung Lab.-Nr.	2 Profil und Lage desselben	3 Fabrikant	4 Länge zwischen den flachen Enden		6 Gewicht		9 Querschnitts-			11 Trägheits- moment bezügl. der Axe:		13 Halbm. der Central-Ellipse auf den Axen:	
			5 angef. Spitz. l ₁ cm	7 pro lauf. m kg	8 Breite XX cm	9 Höhe YY cm	10 Grösse F qcm	11 XX biqcm	12 YY biqcm	13 XX a ₀ cm	14 YY b ₀ cm		
												6 im Ganzen kg	
2693a		Burbacher Hütte	14,83	—	4,897	33,02	20,96	6,98+2,96	44,20	374,8	3053	8,29	2,90 ₅
d	"	"	177,15	190,55	58,80	33,19			44,4			8,31	2,91
2694a		Völklinger Hütte	9,97	—	1,606	16,11	14,48	4,19+1,89	21,45	41,2	670,6	5,59	1,38 ₅
b	"	"	80,05	93,4	12,87	16,09			21,43			5,59	1,38 ₅
c	"	"	160,0	—	25,82	16,14			21,49			5,59	1,38 ₅
d	"	"	230,1	243,5	37,22	16,18			21,54			5,60	1,39
e	"	"	314,5	—	49,22	15,65			20,84			5,52	1,36 ₅
f	"	"	315,1	328,5	49,62	15,75			20,97			5,52	1,37
2695a		Phönix	8,30	—	1,026 ₅	12,37	7,70	3,32+1,96	16,47	26,91	140,6	2,92	1,28
b	"	"	50,0	63,4	6,15	12,30			16,38			2,92	1,28
c	"	"	84,5	97,9	10,39	12,30			16,38			2,92	1,28
d	"	"	144,2	155,2	17,90	12,41			16,52			2,92	1,28
2696a		Phönix	12,98	—	1,838	14,16	11,77	2,07+5,84	19,00	66,8	122,0	2,53	1,87 ₅
b	"	"	107,4	—	15,14	14,10			18,92			2,52 ₅	1,87
c	"	"	149,5	—	21,47	14,37			19,28			2,54 ₅	1,89
d	"	"	221,8	—	31,90	14,38			19,29			2,54 ₅	1,89
2697a		Phönix	8,00	—	0,302	3,77	5,70	0,72+2,10	5,15	2,71	12,19	1,54	0,72 ₅
b	"	"	30,1	41,5	1,14	3,79			5,18			1,54	0,72 ₅

(Fortsetzung.)

15 Abscis. cm	16 Dimensionen d. Centralkernes		18 Elastici- tät's- Modul at	19 Elasticitäts- Grenze at	20 Quetsch- Grenze at	21 Druck- festigkeit at	22 Zerknickungsbelastg. der Stücke mit		26 Max.-Kant.- Spanng.beim Durchbieg. at	27 Beid. Elasticitäts- Grenze für die Maxim.-Spanng.:			30 P ₀ = $\frac{E \cdot \epsilon}{l}$ t	31 P _m = $\frac{E \cdot \epsilon}{l}$ at	32 z der Schwarz'schen Formel für				36 P ₀ d. Schwarz. Formel für	37 P ₀ d. Schwarz. Formel für		
	m	17 Ordinaten					23 Spitz. a. d. End. Richtg. t	24 flach. End. Richtg. t		25 End. Be- trag t	27 P t	28 f mm			29 Sich. Grad	33 Milliontel						
		n														n'	33 u. f. Stücke mit flach. End.	34 u. f. Stücke mit Spitz. End.			35 u. f. Stücke mit flach. End.	36 u. f. Stücke mit flach. End.
6,59	1,22	2,83	2'240000	1190	2150	—																
6,60	1,22	2,83					↓	61		1687	51	0,46	1,2	204	4820	614	614	83				
4,31	0,46	1,01 ₅	2'070000	1330	2240	3900																
4,32	0,46	1,01 ₅					↓	40		2839	25	0,80	1,6	93	4340	240	310	38,5				
																	62	83	48			
4,33	0,46	1,02					↓	17,75		2794	13	5,40	1,4	13,7	640	122	145	17,6				
																		33	41	25,5		
4,28	0,46	1,00					↓	9,75		2358	8	10,31	1,2	7,5	360	128	151	11				
2,22	0,49	0,83	2'030000	1730	2670	5350																
2,22	0,49	0,83					↓	42		3413	26	0,48	1,6	132	8060	443	308	32,5				
2,22	0,49	0,83					↓	40		4041	25	0,58	1,6	55	3360	204	144	28				
2,22	0,49	0,83					↓	30		3491	22	1,62	1,4	22	1330	133	101	20				
1,09	1,70	0,60	2'050000	1740	2630	3900																
																		99	161	54		
																		71	107	50,5		
																		44	61	43		
0,83	0,73	0,25	2'060000	1750	3690	5330																
0,83	0,73	0,25					↓	18		5308	8,5	0,31	2,1	31	6000	181	90	10				

Tabelle 1.

1 Bezeichnung Lab.-Nr.	2 Profil und Lage desselben	3 Fabrikant	4 Länge zwischen den flachen Enden l cm		5 angef. Spitz. l ₁ cm		6 Gewicht		7 Querschnitts-			8 Trägheits- moment bezügl. der Axe:		9 Halbm. der Central-Ellipse auf den Axen:	
			im Ganzen kg	pro lauf. m kg	Breite XX cm	Höhe YY cm	Grösse F qcm	XX biqcm	YY biqcm	a ₀ cm	b ₀ cm				
2697c	"	Phönix	66,3	77,7	2,50	3,77			5,15			1,54	0,72 _s		
d	"	"	106,3	117,7	4,00	3,76			5,14			1,54	0,72 _s		
e	"	"	153,1	164,5	5,60	3,66			5,00			1,52	0,71 _s		
2698a		Krämer	11,95	—	1,218 _s	10,20	9,85	2,48+2,92	13,51	36,04	102,8	2,76	1,65 _s		
aa	"	"	12,65	—	1,306 _s	10,33									
b	"	"	179,9	190,9	18,50	10,28			13,61			2,77	1,66		
bb	"	"	11,93	—	1,220	10,23			13,55						
c	"	"	179,5	—	18,57	10,35			13,70			2,77 _s	1,66 _s		
d	"	"	271,2	282,2	28,14	10,38			13,74			2,78	1,67		
e	"	"	271,3	—	27,17	10,01			13,27			2,74	1,64		
f	"	"	403,0	—	41,90	10,40			13,77			2,78 _s	1,67		
2699a		Krämer	405,1	416,1	42,90	10,59			14,01			2,81	1,68 _s		
b	"	"	12,50	—	1,314 _s	10,52			13,93						
c	"	"	11,90	—	0,806	6,77	9,74	2,46+2,77	9,08 _s	19,74	61,3	2,60	1,47 _s		
d	"	"	186,9	197,9	12,70	6,80			9,12 _s			2,60 _s	1,48		
e	"	"	9,99	—	0,677	6,78			9,09						
f	"	"	271,0	282,0	18,25	6,74			9,04 _s			2,59 _s	1,47		
g	"	"	453,4	464,4	30,49	6,73			9,03			2,59 _s	1,47		
3028a		Stumm	240,5	254,3	19,75	8,21	9,99	5,01	10,58	14,2	171	4,02	1,16		
b	"	"	7,97	—	0,655	8,21	9,97	5,01	10,58						
c	"	"	240,5	254,3	19,75	8,21	9,98	5,01	10,58	14,2	171	4,02	1,16		
d	"	"	240,6	254,4	19,70	8,19	9,95	5,00	10,55	14,2	171	4,03	1,16		
e	"	"	240,6	254,4	19,72	8,20	10,00	5,00	10,56	14,2	171	4,02	1,16		
f	"	"	7,93	—	0,650	8,20	9,97	5,01	10,56						
g	"	"	240,5	254,3	19,70	8,19	9,96	4,99	10,55	14,2	171	4,03	1,16		

(Schluss.)

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
Dimensionen d. Centralkernes	Elasticitäts- Modul	Elasticitäts- Grenze	Quetsch- Grenze	Druck- festigkeit	Zerknickungsbelastg. der Stücke mit	Max.-Kant- Spanng.beim Durchbieg.	Beid. Elasticitäts- Grenze für die Maxim.-Spanng.:																
Abscis. cm	Ordinaten n cm	r' cm	at	at	at	at	Durchb. Richtig. t	Betrag t	Durchb. Richtig. t	Betrag t	at	t	mm	Sich- Grad	t	at	Milliontel						
0,83	0,73	0,25					↓	10,75			2772	8,5	0,43	1,3	8,9	1730	146		103			7	
0,83	0,73	0,25					↓	4,95			1612	4,95	∞	1	3,9	760	180			139		4,6	
0,82	0,72	0,25					↓	2,35			750	2,35	∞	1	2,0	400	204			162		2,8	
1,54	1,07	0,91						2660	4850														
								2620	4850														
1,55	1,07	0,91					↑	14,1			2451	13	8,05	1,1	19,5	1430	265		253			17,5	
								1810000	1770	2500	4400												
												↓	31							91		85	32
1,56	1,08	0,92					↑	7,1			953	7,1	∞	1	8,9	650	281			270		11,8	
												↓	20,2							75		72	23
												↓	9							105		101	16
1,57	1,09	0,92					↓	>3,8			>1344	3,8	∞	1	4,1	290	266			262		7	
								2020000	1510	2440	4560												
1,38 _s	0,88	0,78 _s						2640	3800														
1,39	0,89	0,79					↑	8,2			2343	6,5	6,02	1,3	9,9	1090	162			224		10	
								2090000	1320	2530	3200												
1,38	0,88	0,78					↑	5,1			760	5,1	∞	1	4,9	540	141			190		6,5	
1,38	0,88	0,78					↑	1,75			333	1,75	∞	1	1,8	200	171			222		3	
3,24	0,54						↓	3,9			2334	3,9	∞	1	4,3	400							
								2000000	2270	3030	4590												
3,24	0,54						↑	4,0			891	4,0	∞	1	4,3	400							
3,26	0,54						↓	3,9			1322	3,9	∞	1	4,3	400	233			225		6,3	
3,24	0,54						↓	4,05			1369	4,05	∞	1	4,3	400							
3,25	0,54						↓	3,9			1582	3,9	∞	1	4,3	400							

Tabelle 2.

Probestück: Γ Eisen, Lab-Nr. 2688° mit Spitzen an den Enden. $l = 392,1 \text{ cm}$; $l_1 = 405,5 \text{ cm}$; $F = 63,8 \text{ qcm}$; $a_0 = 10,35 \text{ cm}$; $b_0 = 3,01 \text{ cm}$; $m = 8,50 \text{ cm}$; $n = 1,31 \text{ cm}$;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{l_1^2}{\varepsilon \Theta \pi^2} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \cdot \left(\frac{l_1}{b_0}\right)^2 = 0,00001441; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 69 t.$$

4649. Versuch.

1	2	3		4		5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k}\right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \cdot \frac{1}{\lambda}\right)$		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	31	- 0,23	+ 0,02	0,23	0,018	31					
4	63	- 0,26	- 0,02	0,26	0,020	64					
6	94	- 0,26	- 0,02	0,26	0,020	96					
8	125	- 0,21	- 0,02	0,21	0,016	127					
10	157	- 0,09	- 0,04	0,10	0,007	158	0,144	0,59		164	
12	188	+ 0,03	- 0,05	0,06	0,003	188					
14	219	+ 0,15	- 0,06	0,16	0,012	221					
16	251	+ 0,28	- 0,07	0,29	0,022	256					
18	282	+ 0,41	- 0,08	0,42	0,032	290					
20	314	+ 0,55	- 0,08	0,56	0,043	327	0,288	1,39		361	
22	345	+ 0,71	- 0,09	0,72	0,055	364					
24	376	+ 0,87	- 0,11	0,88	0,067	400					
26	408	+ 1,03	- 0,11 ₅	1,04	0,080	440					
28	439	+ 1,20	- 0,12	1,21	0,093	479					
30	470	+ 1,39	- 0,13	1,40	0,108	520	0,432	1,84		587	
32	502	+ 1,57	- 0,14	1,58	0,123	564					
34	533	+ 1,77	- 0,15	1,78	0,137	606					
36	564	+ 1,98	- 0,16	1,99	0,153	650					
38	596	+ 2,21	- 0,16	2,22	0,171	698					
40	627	+ 2,41	- 0,16	2,42	0,186	734	0,576	1,78		829	
42	658	+ 2,65	- 0,16	2,65	0,204	792					
44	690	+ 2,90	- 0,17	2,90	0,223	844					
46	721	+ 3,14	- 0,17	3,14	0,242	895					
48	752	+ 3,38	- 0,18	3,38	0,260	947					
50	784	+ 3,61	- 0,17	3,61	0,278	1002	0,720	1,40		1085	
52	815	+ 3,87	- 0,19	3,87	0,297	1057					
54	846	+ 4,13	- 0,20	4,13	0,317	1114					
56	878	+ 4,41	- 0,20	4,41	0,339	1174					
58	909	+ 4,77	- 0,23	4,78	0,367	1242					
60	941	+ 5,23	- 0,26	5,24	0,403	1320	0,865	0,82		1378	
61	956	+ 5,53	- 0,27	5,54	0,425	1362					
62	972	+ 5,92	- 0,28	5,93	0,455	1415					
63	988	+ 6,33	- 0,28	6,34	0,486	1466					
64	1003	+ 6,79	- 0,31	6,80	0,522	1526					
65	1019	+ 7,38	- 0,32	7,39	0,567	1596					
66	1035	+ 8,11	- 0,33	8,12	0,623	1680					
67	1050	+ 9,01	- 0,36	9,02	0,692	1776					
68	1066	+ 10,10	- 0,40	10,11	0,776	1892					
69	1082	+ 11,71	- 0,43	11,72	0,899	2054					
70	1097	+ 14,92	- 0,50	14,92	1,145	2353	1,009	- 0,13			
"		+ 16,63	- 0,52	16,61	1,275	2494					
70,5	1105	rasch durchgebogen unter Sinken der Wage.									

Tabelle 3.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2690^v mit Spitzen an den Enden.l = 78,0 cm; l₁ = 89,0 cm; F = 20,17 qcm; a₀ = 5,09 cm; b₀ = 1,50₅ cm; m = 4,00 cm; n = 0,59 cm;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,000008783; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 94,5 t.$$

4631. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm		in der Hor.-Eb. x mm		Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0	—	0
2	100	+ 0,04	- 0,05	0,06	0,008	101	0,017	3,47	147		
4	199	- 0,36	- 0,26	0,45	0,067	211					
6	299	- 0,39	- 0,29	0,48	0,073	320	0,052	8,75	719		
8	398	- 0,38	- 0,29	0,48	0,071	425					
10	498	- 0,35	- 0,29	0,45	0,066	529	0,087	4,72	876		
12	597	- 0,34	- 0,27	0,43	0,065	635					
14	697	- 0,31	- 0,25	0,40	0,060	738					
16	796	- 0,28	- 0,22	0,36	0,053	838					
18	896	- 0,25	- 0,20	0,30	0,047	938					
20	995	- 0,21	- 0,17	0,27	0,040	1035	0,176	1,26	1220		
22	1095	- 0,17	- 0,11	0,20	0,032	1130					
24	1194	- 0,13	- 0,06	0,14	0,023	1221					
26	1294	- 0,10	0,00	0,10	0,017	1315					
28	1393	- 0,07	+ 0,04	0,08	0,013	1411					
30	1493	- 0,03	+ 0,11	0,11	0,008	1504	0,263	0,31	1538		
32	1592	- 0,01	+ 0,19	0,19	0,005	1600					
34	1692	+ 0,01	+ 0,29	0,29	0,007	1703					
36	1791	+ 0,02	+ 0,43	0,43	0,011	1811					
38	1891	+ 0,15	+ 0,54	0,56	0,040	1967					
40	1990	+ 0,40	+ 0,61	0,66	0,083	2155	0,351	1,22	2461		
42	2090	+ 0,79	+ 0,61	1,00	0,147	2397					
44	2189	+ 1,26	+ 0,06	1,26	0,213	2655					
46	2289	+ 1,97	- 0,81*)	2,13	0,354	3099					
48	2388	+ 2,11	- 0,52	2,17	0,371	3273					
50	2488	+ 2,55	- 0,39	2,58	0,442	3587	0,439	2,58	4993		
52	2587	+ 3,19	- 0,23	3,20	0,547	4001					
54	2687	+ 4,92	+ 0,22	4,92	0,839	4940					
55	2736	+ 5,33	+ 0,28	5,34	0,910	5225					
56	2786	+ 5,87	+ 0,35	5,88	1,004	5583					
57	2836	+ 6,31	+ 0,37	6,32	1,078	5892					
58	2886	+ 7,21	+ 0,47	7,23	1,234	6446					
59	2935	+ 8,42	+ 0,54	8,44	1,440	7161					
60	2985	+ 10,40	+ 0,64	10,42	1,779	8294	0,527	9,35	13061		
61	3035	eben erreicht, dann rasche Durchbiegung und Fallen der Waagschale. Spitzen 7 mm tief in die Körner eingebohrt.									

*) Der vordere Kreuzkopf verschiebt sich seitlich.
Bauschinger, Mittheilungen, XV.

Tabelle 4.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2690° mit Spitzen an den Enden.

l = 140,0 cm; l₁ = 151,0 cm; F = 18,22 qcm; a = 4,85 cm; b₀ = 1,43 cm; m = 3,81 cm; n = 0,57 cm;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00003100; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 33 t.$$

4630. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at	
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0	
1	55	− 0,045	− 0,02	0,05	0,009	55				
2	110	− 0,03	− 0,05	0,06	0,007	111				
3	165	− 0,03	− 0,09	0,09	0,007	166				
4	220	− 0,02	− 0,13	0,13	0,007	221				
5	275	− 0,02	− 0,16	0,16	0,008	277	0,155	0,87	289	
6	330	− 0,01	− 0,18	0,18	0,007	332				
7	385	− 0,01	− 0,21	0,21	0,007	387				
8	440	0,00	− 0,23	0,23	0,006	442				
9	495	+ 0,02	− 0,24	0,24	0,010	500				
10	549	+ 0,03	− 0,26	0,26	0,012	555	0,310	0,58	570	
11	604	+ 0,06	− 0,30	0,31	0,019	615				
12	659	+ 0,28*)	− 0,33	0,43	0,057	696				
13	714	+ 0,37	− 0,35	0,51	0,074	767				
14	769	+ 0,46	− 0,39	0,60	0,091	838				
15	824	+ 0,58	− 0,41	0,70	0,113	916	0,465	0,80	1024	
16	879	+ 0,70	− 0,45	0,83	0,135	997				
17	934	+ 0,85	− 0,48	0,98	0,162	1085				
18	989	+ 1,00	− 0,51	1,12	0,188	1173				
19	1044	+ 1,16	− 0,53	1,28	0,217	1270				
20	1099	+ 1,34	− 0,58	1,46	0,250	1374	0,620	0,89	1542	
21	1154	+ 1,50	− 0,59	1,61	0,278	1475				
22	1209	+ 1,66	− 0,63	1,86	0,308	1582				
23	1264	+ 1,82	− 0,66	1,93	0,336	1688				
24	1319	+ 1,99	− 0,70	2,11	0,367	1803				
25	1374	+ 2,20	− 0,73	2,32	0,405	1931	0,775	0,67	2092	
26	1429	+ 2,46	− 0,77	2,58	0,452	2075				
27	1484	+ 2,74	− 0,82	2,86	0,503	2230				
28	1538	+ 3,12	− 0,87	3,24	0,570	2414				
29	1593	+ 3,70	− 0,93	3,82	0,673	2665				
30	1648	+ 5,75	− 1,02	5,84	1,036	3355	0,930	0,44	3483	
30,25	1662	eben erreicht, dann plötzliches Durchbiegen und Fallen der Waageschale.								

*) Vorher die Unterlagskeile herausgenommen, die fest eingeklemmt waren.

Tabelle 5.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2690^a mit Spitzen an den Enden.

$l = 209,6 \text{ cm}$; $l_1 = 223,0 \text{ cm}$; $F = 18,22 \text{ qcm}$; $a_0 = 4,85 \text{ cm}$; $b_0 = 1,43 \text{ cm}$; $m = 3,81 \text{ cm}$; $n = 0,57 \text{ cm}$;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00006761; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 15 \text{ t.}$$

4641. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P:F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
1	55	+ 0,01	+ 0,03	0,03	0,003	55			
2	110	+ 0,09	+ 0,03	0,09	0,017	112			
3	165	+ 0,17	+ 0,03	0,17	0,030	170	0,203	0,66	188
4	220	+ 0,34*)	+ 0,02	0,34	0,061	233			
5	275	+ 0,45	+ 0,02	0,45	0,080	297			
6	330	+ 0,56	+ 0,02 ₅	0,56	0,099	363	0,406	0,82	410
7	385	+ 0,68	+ 0,04	0,68	0,120	431			
8	440	+ 0,80	+ 0,07	0,80	0,142	503			
9	495	+ 0,88	+ 0,06	0,88	0,156	571	0,608	0,57	621
10	549	+ 1,03	+ 0,05	1,03	0,182	648			
11	604	+ 1,24 ₅	+ 0,04	1,25	0,220	737			
12	659	+ 1,55	+ 0,04	1,55	0,273	839	0,811	0,36	881
13	714	+ 1,99	+ 0,04	1,99	0,350	964			
14	769	+ 2,64	+ 0,04	2,64	0,464	1126			
15	824	+ 3,67	+ 0,05	3,67	0,645	1355	1,014		
15,5	851	+ 4,34	+ 0,04	4,34	0,762	1500			
16	879	+ 5,27	+ 0,03	5,27	0,925	1691			
16,5	906	+ 6,53	+ 0,02	6,53	1,147	1945			
17	934	+ 8,77	— 0,01	8,77	1,539	2371	1,149		
17,25	948	Durchbiegen unter Fallen der Waagschale. Nachdem das Stück noch weiter durchgebogen, wird bei 4,5 t Belastung die in Fig. 17, Blatt IV dargestellte Gestalt desselben ausgemessen.							

*) Vorher die Unterlagskeile herausgenommen, die festgeklemmt waren.

Tabelle 8.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2691^a mit Spitzen an den Enden.

$l = 454,0 \text{ cm}$; $l_1 = 465,0 \text{ cm}$; $F = 11,76 \text{ qcm}$; $a_0 = 3,90 \text{ cm}$; $b_0 = 1,26 \text{ cm}$; $m = 3,00 \text{ cm}$; $n = 0,63 \text{ cm}$;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0005867; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 1,6 \text{ t.}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P:F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,25	21	— 0,04	— 0,00 ₅	0,04	0,006	21	0,147	0,23	22
0,5	43	— 0,26	+ 0,01	0,26	0,041	45	0,293	0,63	49
0,75	64	— 0,83	0,00	0,83	0,132	72	0,440	1,06	83
1,0	85	— 1,95	— 0,12	1,95	0,314	111	0,587	1,38	129
1,25	106	— 16,24	— 1,34	16,30	2,623	384	0,734	5,91	484
1,3	111	Durchbiegen.							

5*

Tabelle 6.

Probestück: **I** Eisen, Lab.-Nr. 2691^b mit Spitzen an den Enden.
 $l = 145,1 \text{ cm}$; $l_1 = 156,1 \text{ cm}$; $F = 11,16 \text{ qcm}$; $a_0 = 3,80 \text{ cm}$; $b_0 = 1,23 \text{ cm}$; $m = 2,93 \text{ cm}$; $n = 0,62 \text{ cm}$;
 $\lambda = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0}\right)^2 = 0,00007311$; $P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 14,0 \text{ t}$.

4629. Versuch.

1	2	3			4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte			Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k}\right)$ at	λ	$c + g_0$ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda}\right)$ at	
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0	
0,5	45	— 0,04	+ 0,03	0,05	0,007	45					
1,0	90	— 0,16	— 0,05	0,17	0,028	92	0,073	2,15		124	
1,5	134	— 0,21 ₅	— 0,01	0,22	0,035	139					
2,0	179	— 0,32	— 0,01	0,32	0,052	188	0,146	1,87		243	
2,5	224	— 0,41	— 0,01	0,41	0,066	238					
3,0	269	— 0,51	— 0,02	0,51	0,083	291					
3,5	314	— 0,61 ₅	— 0,03	0,62	0,100	345					
4,0	358	— 0,72	— 0,03 ₅	0,72	0,117	400	0,292	1,75		501	
4,5	403	— 0,85	— 0,04 ₅	0,85	0,139	459					
5,0	448	— 1,01	— 0,05	1,01	0,165	521					
5,5	493	— 1,19	— 0,06	1,19	0,194	588					
6,0	538	— 1,37	— 0,07	1,37	0,223	659	0,439	1,75		811	
6,5	582	— 1,60	— 0,08	1,60	0,261	734					
7,0	627	— 1,87	— 0,09	1,87	0,305	818					
7,5	672	— 2,21	— 0,10	2,21	0,360	914					
8,0	717	— 2,60	— 0,11	2,60	0,423	1020	0,585	1,85		1235	
8,5	762	— 3,11	— 0,14	3,11	0,507	1148					
9,0	806	— 3,79	— 0,18	3,79	0,617	1304					
9,5	851	— 4,75	— 0,22	4,76	0,772	1509					
9,75	873	— 5,36	— 0,24	5,37	0,873	1634					
10,0	896	— 6,17	— 0,27	6,18	1,004	1795	0,731	2,27		2125	
10,25	918	— 7,30	— 0,32	7,31	1,188	2008					
10,5	941	— 9,45	— 0,41	9,46	1,538	2387					
10,6	951	— 11,11	— 0,47	11,13	1,808	2670	0,775	3,23		3170	
10,65	956	Durchbiegen und Fallen der Waagschale.									

Tabelle 12.

Probestück: **U** Eisen, Lab.-Nr. 2694^f mit Spitzen an den Enden.

$l = 315,1 \text{ cm}$; $l_1 = 328,5 \text{ cm}$; $F = 20,97 \text{ qcm}$; $a_0 = 5,52 \text{ cm}$; $b_0 = 1,37 \text{ cm}$; $m = 4,28 \text{ cm}$; $n = \begin{matrix} 0,46 \\ 1,00 \end{matrix} \text{ cm}$;

$$\lambda = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0}\right)^2 = 0,0001389; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 7,5 \text{ t}$$

4644. Versuch.

1	2	3			4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte			Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k}\right)$ at	λ	$c + g_0$ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda}\right)$ at	
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0	
1	48	+ 0,40	+ 0,02	0,40	0,087	52					
2	95	+ 1,10	0,00	1,10	0,239	107	0,278	2,86		176	
3	143	+ 1,95	— 0,02	1,95	0,424	203					
4	191	+ 2,97	— 0,05	2,97	0,647	315	0,556	2,37		412	
5	238	+ 4,17	— 0,09	4,17	0,909	454					
6	286	+ 5,64	— 0,15	5,64	1,230	637	0,833	1,13		707	
7	334	+ 7,59	— 0,20	7,59	1,655	887					
8	382	+ 10,30	— 0,25	10,30	2,245	1239					
9	429	+ 14,54	— 0,28	14,54	3,168	1787					
9,5	453	+ 18,70	— 0,30	18,70	4,072	2298					
9,75	465	Die Ausbiegung schreitet weiter und weiter fort; endlich fällt die Waagschale.									

Tabelle 7.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2691^a mit Spitzen an den Enden.
 $l = 259,0 \text{ cm}; l_1 = 270,0 \text{ cm}; F = 11,38 \text{ qcm}; a_0 = 3,83 \text{ cm}; b_0 = 1,245 \text{ cm}; m = 2,95 \text{ cm}; n = 0,62 \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002094; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,7 \text{ t.}$$

4628. Versuch.

1	2	3		4		5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P: F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm								
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0		
0,25	22	-0,16	-0,07	0,18	0,028	22					
0,5	44	-0,21	-0,04	0,21	0,035	45	0,105	1,79	58		
0,75	66	-0,28	-0,03	0,28	0,046	68					
1,0	88	-0,34	-0,02	0,34	0,056	92	0,209	1,33	111		
1,25	110	-0,41	-0,01	0,41	0,066	118					
1,5	132	-0,48	0,00	0,48	0,077	142					
1,75	154	-0,53	+0,02	0,53	0,086	167					
2,0	176	-0,56	+0,03	0,56	0,091	191	0,419	0,78	213		
2,25	198	-0,62	+0,04	0,62	0,101	218					
2,5	220	-0,69 ₅	+0,05	0,70	0,114	245					
2,75	242	-0,77	+0,05 ₅	0,77	0,126	272					
3,0	264	-0,86	+0,06	0,86	0,141	300	0,628	0,51	332		
3,25	286	-0,98	+0,07	0,98	0,160	332					
3,5	308	-1,17	+0,08	1,17	0,192	367					
3,75	330	-1,59	+0,08	1,59	0,259	415					
4,0	352	-2,69	+0,06	2,69	0,436	505	0,838	0,52	535		
4,1	360	eben erreicht, dann Durchbiegen unter Fallen der Waagschale.									

Tabelle 10.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2694^b mit Spitzen an den Enden.
 $l = 80,05 \text{ cm}; l_1 = 93,4 \text{ cm}; F = 21,43 \text{ qcm}; a_0 = 5,59 \text{ cm}; b_0 = 1,385 \text{ cm}; m = 4,32 \text{ cm}; n = \begin{matrix} 0,46 \\ 1,015 \end{matrix} \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00001075; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 93 \text{ t.}$$

4646. Versuch.

1	2	3		4		5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P: F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm								
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0		
4	187	+0,20	+0,01	0,20	0,043	194					
8	373	+0,31	-0,05	0,31	0,068	397	0,086	3,30	667		
12	560	+0,41	-0,08	0,42	0,091	611					
16	747	+0,53	-0,12	0,54	0,118	835	0,172	2,60	1258		
20	933	+0,63	-0,14	0,64	0,140	1063					
24	1120	+0,74 ₅	-0,16 ₅	0,76	0,166	1306	0,258	2,18	1841		
28	1307	+0,89	-0,19 ₅	0,91	0,199	1567					
32	1493	+1,08	-0,23	1,10	0,240	1852	0,344	2,10	2534		
36	1680	+1,53	-0,27	1,55	0,339	2248					
38	1773	+1,99	-0,28	2,01	0,439	2550					
39	1820	+2,37	-0,28	2,39	0,521	2768	0,419	3,31	4082		
40	1867	Durchbiegen unter Sinken der Waagschale.									

Tabelle 9.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2693^a mit Spitzen an den Enden.

$$l = 177,15 \text{ cm}; l_1 = 190,55; F = 44,4 \text{ qcm}; a_0 = 8,31 \text{ cm}; b_0 = 2,91 \text{ cm}; m = 6,60 \text{ cm}; n = \begin{cases} 1,22 \\ 2,83 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,000004229; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 204 \text{ t.}$$

4665. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
3	68	+ 0,03	+ 0,03	0,04	0,002	68			
6	135	+ 0,20	+ 0,06	0,21	0,017	137			
9	203	+ 0,23	+ 0,06	0,24	0,020	207			
12	270	+ 0,23	+ 0,09	0,25	0,020	275	0,050	4,74	378
15	338	+ 0,23	+ 0,09	0,25	0,020	345			
18	405	+ 0,23	+ 0,10	0,25	0,021	413			
21	473	+ 0,23	+ 0,10	0,25	0,021	482			
24	541	+ 0,23	+ 0,10	0,25	0,021	552	0,098	2,30	656
27	608	+ 0,23	+ 0,09	0,25	0,021	620			
30	676	+ 0,23	+ 0,09	0,25	0,021	690			
33	743	+ 0,23	+ 0,07	0,24	0,020	758			
36	811	+ 0,23	+ 0,05	0,24	0,020	827	0,152	1,34	916
39	878	+ 0,26	+ 0,05	0,26	0,022	907			
42	946	+ 0,27	+ 0,03	0,27	0,022	967			
45	1014	+ 0,31	+ 0,02	0,31	0,025	1040			
48	1081	+ 0,35	+ 0,01	0,35	0,029	1112	Krach; Spitze am hintern Ende zersprengt. 0,203	1,37	1235
51	1149	+ 0,46	0,00	0,46	0,038	1192			
54	1216	+ 0,61	- 0,01	0,61	0,050	1287			
57	1284	+ 0,85	- 0,02	0,85	0,070	1374			
60	1351	+ 2,18	- 0,15	2,19	0,181	1595	0,253	6,47	2319
„	„	+ 2,74	- 0,23	2,75	0,229	1660			
61	1374	—	—	—	—	—			

werden erreicht, aber der Zeiger für y läuft fort und endlich sinkt die Waagschale; Platten an den Enden stark verbogen; Spitzen tief eingedrückt. — Bleibend keine merkliche Biegung.

Tabelle 13.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2695^b mit Spitzen an den Enden.

$$l = 50,0 \text{ cm}; l_1 = 63,4 \text{ cm}; F = 16,38 \text{ qcm}; a_0 = 2,92 \text{ cm}; b_0 = 1,28 \text{ cm}; m = 2,22 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,49 \\ 0,83 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,000007591; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 132 \text{ t.}$$

4648. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
5	305	+ 0,14	- 0,06	0,15	0,032	315	0,038	3,80	562
10	611	+ 0,23	- 0,09	0,25	0,051	644	0,076	3,04	1022
15	916	+ 0,29	- 0,09	0,30	0,063	974			
20	1221	+ 0,37	- 0,12	0,39	0,080	1319	0,152	2,17	1862
25	1526	+ 0,43	- 0,16	0,46	0,095	1670			
30	1832	+ 0,52	- 0,23	0,57	0,116	2044	0,228	1,93	2764
35	2137	+ 0,71	- 0,28	0,77	0,158	2475			
38	2320	+ 0,96	- 0,33	1,02	0,211	2809			
40	2442	+ 1,23	- 0,37	1,29	0,268	3095	0,304	2,95	4596
41	2503	+ 1,53	- 0,42	1,58	0,331	3332			
42	2564	Durchbiegen unter Sinken der Waagschale.							

Tabelle 11.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2694^d mit Spitzen an den Enden.

$l = 230,1 \text{ cm}; l_1 = 243,5 \text{ cm}; F = 21,54 \text{ qcm}; a_0 = 5,60 \text{ cm}; b_0 = 1,39 \text{ cm}; m = 4,33 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,46 \\ 1,02 \end{cases} \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00007218; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 13,7 \text{ t.}$$

4645. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
1	46	+ 0,18	+ 0,02	0,18	0,039	47			
2	93	+ 0,39	— 0,02	0,39	0,085	100			
3	139	+ 0,68	— 0,05	0,68	0,149	159	0,216	2,47	234
4	186	+ 1,09	— 0,07	1,09	0,239	229			
5	232	+ 1,42	— 0,08	1,42	0,311	304			
6	279	+ 1,78	— 0,08	1,78	0,389	379	0,433	2,33	530
7	325	+ 2,14	— 0,08	2,14	0,467	476	0,505		
8	371	+ 2,55	— 0,08	2,55	0,556	577			
9	418	+ 3,01	— 0,09	3,01	0,656	692	0,650	1,62	840
10	464	+ 3,51	— 0,10	3,51	0,765	819			
11	511	+ 4,08	— 0,09	4,08	0,889	966	0,794		
12	557	+ 4,72	— 0,09	4,72	1,028	1129	0,866	0,73	1218
13	604	+ 5,40	— 0,07	5,40	1,176	1314			
14	650	+ 6,17	— 0,06	6,17	1,342	1522	1,011		
15	696	+ 7,07	— 0,05	7,07	1,538	1766			
16	743	+ 8,11	— 0,03	8,11	1,764	2053			
16,5	766	+ 8,71	— 0,02	8,71	1,893	2215			
17	789	+ 9,52	0,00	9,52	2,069	2420			
17,5	812	+ 10,99	+ 0,03	10,99	2,391	2754			
17,75	824	anfangs langsame, dann raschere Durchbiegung unter Sinken der Waagschale.							

Tabelle 14.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2695^e mit Spitzen an den Enden.

$l = 84,5 \text{ cm}; l_1 = 97,9 \text{ cm}; F = 16,38 \text{ qcm}; a_0 = 2,92 \text{ cm}; b_0 = 1,28 \text{ cm}; m = 2,22 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,49 \\ 0,83 \end{cases} \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00001809; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 55 \text{ t.}$$

4647. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
4	244	+ 0,04	— 0,06	0,07	0,011	246			
8	488	+ 0,14	— 0,18	0,23	0,037	505	0,145	1,36	612
12	733	+ 0,23	— 0,23	0,32	0,057	775			
16	977	+ 0,30 ₅	— 0,24 ₅	0,39	0,073	1048	0,289	0,96	1224
20	1221	+ 0,39	— 0,27	0,47	0,092	1333			
24	1465	+ 0,48	— 0,28	0,56	0,111	1627	0,434	0,73	1839
28	1709	+ 0,56 ₅	— 0,28	0,63	0,128	1928			
32	1954	+ 0,71	— 0,29	0,77	0,158	2262	0,579	0,56	2488
36	2198	+ 0,97	— 0,29	1,01	0,211	2662			
38	2320	+ 1,25	— 0,28	1,28	0,268	2941			
40	2442	+ 2,20	— 0,27	2,22	0,461	3567	0,724	0,85	3997
"	"	+ 3,14	— 0,31	3,16	0,655	4041			
"	"	Durchbiegung in vertikaler Ebene wächst immer rascher und rascher, endlich sinkt die Waagschale und knickt das Stück unter schwachem Krach durch.							

Tabelle 15.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2695^a mit Spitzen an den Enden.

$$l = 144,2 \text{ cm}; l_1 = 155,2 \text{ cm}; F = 16,52 \text{ qcm}; a_0 = 2,92 \text{ cm}; b_0 = 1,28 \text{ cm}; m = 2,22 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,49 \\ 0,83 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00004508; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 22 \text{ t.}$$

4632. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
1	61	+ 0,01	— 0,00 ₅	0,01	0,002	61			
2	121	+ 0,06 ₅	— 0,04	0,08	0,015	123			
3	182	+ 0,14	— 0,08	0,16	0,033	185			
4	242	+ 0,20	— 0,12	0,23	0,046	253			
5	303	+ 0,26	— 0,17	0,31	0,061	321	0,225	1,68	385
6	363	+ 0,31	— 0,19	0,32	0,072	389			
7	424	+ 0,36	— 0,20	0,41	0,082	459			
8	484	+ 0,39	— 0,21	0,44	0,090	527			
9	545	+ 0,43	— 0,22	0,48	0,098	598			
10	605	+ 0,48	— 0,23	0,53	0,108	670	0,451	0,64	749
11	666	+ 0,53	— 0,23	0,58	0,118	745			
12	726	+ 0,59	— 0,25	0,64	0,131	822			
13	787	+ 0,65	— 0,25	0,70	0,144	900			
14	847	+ 0,72	— 0,26	0,77	0,158	980			
15	908	+ 0,79	— 0,27	0,84	0,173	1065	0,676	0,40	1140
16	969	+ 0,87 ₅	— 0,27	0,92	0,191	1153			
17	1029	+ 0,97	— 0,28	1,02	0,211	1246			
18	1090	+ 1,07	— 0,29	1,11	0,241	1353			
19	1150	+ 1,17	— 0,29 ₅	1,21	0,252	1439			
20	1211	+ 1,29	— 0,30	1,33	0,277	1546	0,901	0,15	1582
21	1271	+ 1,43	— 0,30	1,46	0,305	1658			
22	1332	+ 1,59	— 0,30	1,62	0,337	1739			
23	1392	+ 1,78	— 0,30	1,80	0,376	1915			
24	1453	+ 2,00	— 0,30	2,02	0,421	2064			
25	1513	+ 2,28	— 0,29	2,30	0,478	2236			
26	1574	+ 2,62	— 0,28	2,64	0,547	2435			
27	1634	+ 3,03	— 0,28	3,04	0,630	2663			
28	1695	+ 3,59	— 0,27	3,60	0,745	2957			
29	1755	+ 4,46	— 0,28	4,47	0,923	3374			
30	1816	werden eben erreicht, dann läuft der Zeiger plötzlich fort; die Waagschale fällt herab und das Stück knickt plötzlich ein. Spitzen 5 mm tief in die Körner eingebohrt; Gestalt nach weiterer Durchbiegung bei 6,85 t Belastung in Fig. 18 auf Blatt IV abgebildet.							

Tabelle 16.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2697^b mit Spitzen an den Enden.

$$l = 30,1 \text{ cm}; l_1 = 41,5 \text{ cm}; F = 5,18 \text{ qcm}; a_0 = 1,54 \text{ cm}; b_0 = 0,725 \text{ cm}; m = 0,83 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,73 \\ 0,25 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00003204; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 31 \text{ t.}$$

4640. Versuch.

1	2	3		4		5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm		in der Hor.-Eb. x mm		Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
1	193	+ 0,01	— 0,03	0,03	0,005	194					
2	386	+ 0,01	— 0,06	0,06	0,008	389					
3	579	+ 0,03	— 0,13	0,13	0,020	590	0,096	1,22	699		
4	772	+ 0,03	— 0,16	0,16	0,023	789					
5	965	+ 0,04	— 0,19	0,19	0,028	991					
6	1158	+ 0,05	— 0,21 ₅	0,22	0,033	1196	0,192	0,93	1357		
7	1351	+ 0,06	— 0,24	0,25	0,037	1401					
8	1544	+ 0,07	— 0,26 ₅	0,27	0,041	1608					
9	1737	+ 0,08 ₅	— 0,28 ₅	0,30	0,045	1815	0,288	0,74	2008		
10	1931	+ 0,10	— 0,30	0,32	0,050	2028					
11	2124	+ 0,12	— 0,32	0,34	0,055	2241					
12	2317	+ 0,15	— 0,34	0,37	0,061	2458	0,384	0,59	2684		
13	2510	+ 0,19	— 0,35	0,40	0,068	2681					
14	2703	+ 0,25	— 0,37	0,45	0,079	2916					
15	2896	+ 0,34	— 0,39	0,52	0,094	3167	0,481	0,56	3460		
16	3089	+ 0,48	— 0,43	0,65	0,118	3453					
17	3282	+ 0,77	— 0,52	0,93	0,168	3833					
18	3475	+ 1,84	— 0,97	2,08	0,369	4747	0,577	1,53	5700		
„	„	+ 2,70	— 1,31	3,00	0,528	5308					
„	„			nach 1 Min.							
„	„										

Zeiger laufen immer rascher fort, dann Bruch mit starkem Schlag nach unten, ausserhalb der Mitte an einer Stelle mit grossem Fehler (Anbruch).

Tabelle 19.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2697^e mit Spitzen an den Enden.

$$l = 153,1 \text{ cm}; l_1 = 164,5 \text{ cm}; F = 5,00 \text{ qcm}; a_0 = 1,52 \text{ cm}; b_0 = 0,715 \text{ cm}; m = 0,82 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,72 \\ 0,25 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0005363; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 2,0 \text{ t.}$$

4637. Versuch.

1	2	3		4		5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm		in der Hor.-Eb. x mm		Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,2	40	+ 0,03	— 0,01	0,03	0,005	40					
0,4	80	+ 0,17	— 0,01	0,17	0,024	82	0,214	0,62	89		
0,6	120	+ 0,35	— 0,02	0,35	0,051	126					
0,8	160	+ 0,33	— 0,02	0,33	0,048	167	0,429	0,44	178		
1,0	200	+ 0,44	— 0,03	0,44	0,065	213					
1,2	240	+ 0,66	— 0,03	0,66	0,096	263	0,643	0,37	265		
1,4	280	+ 0,93	— 0,04	0,93	0,134	317					
1,6	320	+ 1,26	— 0,04	1,26	0,180	378	0,858	0,21	387		
1,8	360	+ 1,70	— 0,04	1,70	0,241	446					
2,0	400	+ 2,37	— 0,04	2,37	0,334	534					
2,1	420	+ 2,81	— 0,04	2,81	0,395	586					
2,2	440	+ 3,39	— 0,04	3,39	0,476	649					
2,3	460	+ 4,26	— 0,03	4,26	0,596	733					
2,35	470										

Durchbiegen und Bruch nahezu in der Mitte, nach unten; Bruchfläche zeigt einen grossen alten Anbruch.

Tabelle 17.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2697° mit Spitzen an den Enden.

$$l = 66,3 \text{ cm}; l_1 = 77,7 \text{ cm}; F = 5,15 \text{ qcm}; a_0 = 1,54 \text{ cm}; b_0 = 0,725 \text{ cm}; m = 0,83 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,73 \\ 0,25 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0001130; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 8,9 \text{ t.}$$

4639. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,5	97	0,00	0,00	0,00	0,000	97			
1	194	+ 0,05	+ 0,02	0,05	0,009	196	0,113	0,39	209
1,5	291	+ 0,07	+ 0,03	0,08	0,013	295			
2	388	+ 0,08	+ 0,04	0,09	0,016	394	0,226	0,31	415
2,5	485	+ 0,08	+ 0,02	0,08	0,013	547			
3	583	+ 0,04	— 0,01	0,04	0,006	586			
3,5	680	— 0,32	— 0,18	0,37	0,128	767			
4	777	— 0,34	— 0,22	0,40	0,136	882	0,452	0,48	1010
4,5	874	— 0,36	— 0,25	0,44	0,144	999			
5	971	— 0,36	— 0,28	0,46	0,144	1111			
5,5	1068	— 0,34	— 0,28	0,44	0,136	1213			
6	1165	— 0,30	— 0,29	0,42	0,120	1304	0,678	0,21	1370
6,5	1262	+ 0,23	— 0,305	0,38	0,068	1348			
7	1359	— 0,15	— 0,315	0,35	0,060	1440			
7,5	1456	— 0,05	— 0,335	0,34	0,020	1485			
8	1553	+ 0,07	— 0,35	0,36	0,052	1634	0,904	0,04	1643
8,5	1651	+ 0,23	— 0,37	0,43	0,076	1777			
9	1748	+ 0,43	— 0,395	0,58	0,107	1935			
9,5	1845	+ 0,66	— 0,42	0,78	0,141	2105			
10	1942	+ 1,09	— 0,45	1,18	0,203	2336			
10,25	1991	+ 1,45	— 0,49	1,53	0,258	2504			
10,5	2039	+ 2,04	— 0,53	2,11	0,344	2740			
10,75	2063								

werden erreicht, dann läuft der Zeiger für y rasch fort, und der Bruch erfolgt nach unten in der Mitte. Krystallinischer aber gesunder Bruch im Steg.

Tabelle 24.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2699° mit Spitzen an den Enden.

$$l = 271,0 \text{ cm}; l_1 = 282,0 \text{ cm}; F = 9,045 \text{ qcm}; a_0 = 2,595 \text{ cm}; b_0 = 1,47 \text{ cm}; m = 1,38 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,88 \\ 0,78 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002061; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,9 \text{ t.}$$

4625. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,5	55	— 0,13	+ 0,05	0,14	0,017	56	0,103	1,22	63
1	111	— 0,19	+ 0,09	0,21	0,024	113	0,206	0,81	124
1,5	166	— 0,26	+ 0,11	0,28	0,033	171			
2	221	— 0,33	+ 0,12	0,35	0,042	230	0,412	0,50	243
2,5	276	— 0,39	+ 0,12	0,41	0,050	290			
3	332	— 0,47	+ 0,12	0,48	0,060	352	0,618	0,30	364
3,5	387	— 0,56	+ 0,10	0,57	0,072	415			
4	442	— 0,76	+ 0,05	0,76	0,097	485	0,824	0,16	493
4,5	498	— 1,01	— 0,01	1,01	0,129	562			
5	553	— 2,72	— 0,12	2,72	0,349	746			
5,1	564								

Durchbiegen unter Fallen der Waagschale.

Tabelle 18.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2697^a mit Spitzen an den Enden.

$$l = 106,3 \text{ cm}; l_1 = 117,7 \text{ cm}; F = 5,14 \text{ qcm}; a_0 = 1,54 \text{ cm}; b_0 = 0,725 \text{ cm}; m = 0,83 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,73 \\ 0,25 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002598; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 3,9 \text{ t.}$$

4638. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte			$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm					
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,25	49	+ 0,05	+ 0,01	0,05	0,008	49			
0,5	97	+ 0,13	0,00	0,13	0,018	98	0,130	0,87	110
0,75	146	+ 0,25	— 0,03	0,25	0,038	151			
1,0	195	+ 0,35	— 0,03	0,35	0,052	205	0,260	1,00	221
1,25	243	+ 0,44	— 0,05 ₅	0,44	0,067	258			
1,5	292	+ 0,51	— 0,09	0,52	0,081	315			
1,75	340	+ 0,34	— 0,07	0,35	0,055	359			
2,0	389	+ 0,26	— 0,07	0,27	0,044	405	0,520	0,25	419
2,25	438	+ 0,37	— 0,07	0,38	0,059	464			
2,5	486	+ 0,52	— 0,08	0,53	0,081	524			
2,75	535	+ 0,69	— 0,08	0,69	0,105	591			
3,0	584	+ 0,87	— 0,07 ₅	0,87	0,128	658	0,779	0,25	681
3,25	632	+ 1,05	— 0,07	1,05	0,152	728			
3,5	681	+ 1,27	— 0,07	1,27	0,182	804			
3,75	730	+ 1,51	— 0,06	1,51	0,215	887			
4,0	778	+ 1,83	— 0,06	1,83	0,258	979			
4,25	827	+ 2,26	— 0,06	2,26	0,317	1089			
4,5	875	+ 2,84	— 0,04	2,84	0,394	1218			
4,6	895	+ 3,13	— 0,04	3,13	0,434	1283			
4,7	914	+ 3,45	— 0,04	3,45	0,478	1351			
4,8	934	+ 3,92	— 0,05	3,92	0,543	1441			
4,9	953	+ 4,88	— 0,04	4,88	0,674	1596			
4,95	963	Durchbiegen unter Sinken der Waagschale. Gestalt bei 1,3 t Belastung in Fig. 19, Blatt IV abgebildet							

Tabelle 25.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2699^a mit Spitzen an den Enden.

$$l = 453,4 \text{ cm}; l_1 = 464,4; F = 9,03 \text{ qcm}; a_0 = 2,595 \text{ cm}; b_0 = 1,47 \text{ cm}; m = 1,38 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,88 \\ 0,78 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0005611; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 1,8 \text{ t.}$$

4626. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte			$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm					
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,25	28	— 0,01	+ 0,05	0,05	0,001	28	0,140	0,31	28
0,5	55	— 0,04	+ 0,21	0,21	0,005	55	0,280	0,21	56
0,75	83	— 0,99	+ 0,37	1,06	0,127	97			
1	111	— 3,11	+ 0,49	3,15	0,399	155	0,560	2,48	190
1,1	122	— 3,25	+ 0,53	3,29	0,417	173			
1,2	133	— 3,41	+ 0,57	3,46	0,437	191			
1,3	144	— 3,63	+ 0,63	3,68	0,465	209			
1,4	155	— 3,88	+ 0,68	3,94	0,498	232			
1,5	166	— 4,24	+ 0,76	4,30	0,544	255	0,840	0,82	273
1,6	177	— 4,71	+ 0,84	4,78	0,604	283			
1,7	188	— 5,61	+ 0,97	5,69	0,719	323	0,952	0,29	330
1,75	194	Durchbiegen.							

Tabelle 20.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2698^b mit Spitzen an den Enden.

$l = 179,9 \text{ cm}$; $l_1 = 190,9 \text{ cm}$; $F = 13,61 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,77 \text{ cm}$; $b_0 = 1,66 \text{ cm}$; $m = 1,55 \text{ cm}$; $n = \begin{cases} 1,07 \\ 0,91 \end{cases} \text{ cm}$;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00004923; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 19,5 t.$$

4623. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. $\sigma =$ $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,5	37	— 0,10	— 0,08	0,13	0,011	37	0,025	5,04	53
1	73	— 0,46	— 0,11	0,47	0,051	77	0,049	9,12	149
1,5	110	— 0,57	— 0,14	0,59	0,063	117			
2	147	— 0,66	— 0,16	0,68	0,073	157	0,098	6,25	256
2,5	184	— 0,71	— 0,18	0,73	0,078	198			
3	220	— 0,78	— 0,18	0,80	0,086	239			
3,5	257	— 0,86	— 0,18	0,88	0,094	281			
4	294	— 0,94	— 0,19	0,96	0,103	324	0,197	3,92	448
4,5	331	— 1,02	— 0,18	1,04	0,112	368			
5	367	— 1,10	— 0,17	1,11	0,121	411			
5,5	404	— 1,17	— 0,16	1,18	0,129	456			
6	441	— 1,24	— 0,15	1,25	0,136	500	0,295	3,01	643
6,5	478	— 1,32	— 0,13	1,33	0,145	547			
7	514	— 1,38	— 0,12	1,39	0,152	592			
7,5	551	— 1,44	— 0,12	1,45	0,158	638			
8	588	— 1,50	— 0,12	1,50	0,165	685	0,394	2,31	834
8,5	625	— 1,55	— 0,12	1,55	0,170	730			
9	661	— 1,62	— 0,13	1,62	0,178	778			
9,5	698	— 1,88	— 0,18	1,89	0,207	842			
10	735	— 2,59	— 0,40	2,62	0,285	944	0,492	2,71	1160
10,5	771	— 4,37	— 0,79	4,44	0,480	1141			
10,75	790	— 4,86	— 0,79	4,92	0,534	1212			
11	808	— 5,45	— 0,78	5,51	0,599	1291			
11,25	827	— 5,85	— 0,77	5,90	0,643	1358			
11,5	845	— 6,04	— 0,78	6,09	0,664	1405			
11,75	863	— 6,28	— 0,79	6,33	0,690	1458			
12	882	— 6,55	— 0,79	6,60	0,720	1517	0,590	4,58	1958
12,25	900	— 6,84	— 0,79	6,89	0,752	1577			
12,5	918	— 7,16	— 0,79	7,20	0,780	1634			
12,75	937	— 7,55	— 0,76	7,59	0,830	1715			
13	955	— 8,01	— 0,75	8,05	0,890	1805			
13,25	974	— 8,52	— 0,72	8,55	0,936	1885			
13,5	992	— 9,18	— 0,69	9,21	1,002	1986			
13,75	1010	— 10,15	— 0,62	10,17	1,115	2136			
14	1029	— 12,43	— 0,44	12,44	1,366	2434	0,689	5,61	3069
14,1	1036	Durchbiegung unter Fallen der Waagschale.							

Tabelle 21.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2698° mit Spitzen an den Enden.

$$l = 271,2 \text{ cm}; l_1 = 282,2 \text{ cm}; F = 13,74 \text{ qcm}; a_0 = 2,78 \text{ cm}; b_0 = 1,67 \text{ cm}; m = 1,56 \text{ cm}; n = \begin{cases} 1,08 \\ 0,92 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0001053; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 8,9 \text{ t.}$$

4622. Versuch.

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm	f k = y/n + x/m	max. σ = P/F (1 + f/k) at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = P/F (1 + f/k λ) at	
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm							
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0	
0,5	36	— 0,06	+ 0,02	0,06	0,007	36	0,053	1,06	41	
1	73	— 0,01	+ 0,04	0,04	0,001	73	0,105	0,34	73	
1,5	109	+ 0,04	+ 0,01	0,04	0,005	110	0,158	0,21	112	
2	146	+ 0,11	— 0,01	0,11	0,011	147	0,210	0,41	153	
2,5	182	+ 0,17	— 0,03	0,17	0,018	185				
3	218	+ 0,21	— 0,07	0,22	0,024	223	0,316	0,48	234	
3,5	255	+ 0,24	— 0,11	0,26	0,029	262				
4	291	+ 0,20	— 0,16	0,26	0,029	299	0,421	0,36	311	
4,5	328	+ 0,6	— 0,22	0,17	0,020	334				
5	364	— 0,31	— 0,32	0,44	0,034	376	0,526	0,44	388	
5,5	400	— 1,47	— 0,56	1,57	0,160	464				
6	437	— 3,72	— 0,47	3,75	0,404	614	0,632	2,19	716	
6,25	455	— 4,37	— 0,45	4,39	0,475	671				
6,5	473	— 5,11	— 0,40	5,13	0,555	735				
6,75	491	— 6,03	— 0,33	6,05	0,655	813				
7	509	— 7,76	— 0,18	7,76	0,843	938	0,737	2,79	1091	
7,1	517	Durchbiegen unter Fallen der Waagschale.								

Tabelle 22.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2698^r mit Spitzen an den Enden.

$$l = 405,1 \text{ cm}; l_1 = 416,1 \text{ cm}; F = 14,01 \text{ qcm}; a_0 = 2,81 \text{ cm}; b_0 = 1,685 \text{ cm}; m = 1,57 \text{ cm}; n = \begin{cases} 1,09 \\ 0,92 \end{cases} \text{ cm};$$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002205; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,1 \text{ t.}$$

4621. Versuch.

1	2	3		4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm	f k = y/n + x/m	max. σ = P/F (1 + f/k) at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = P/F (1 + f/k λ) at	
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm							
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0	
0,5	36	+ 0,34	— 1,05	1,10	0,098	39	0,110	8,90	68	
1	71	+ 0,98	— 1,12	1,49	0,161	82	0,220	5,28	123	
1,5	107	+ 1,85	— 1,23	2,22	0,248	133				
2	143	+ 2,98	— 1,43	3,30	0,364	194	0,441	4,18	261	
2,5	178	+ 3,96	— 1,84	4,37	0,480	263				
3	214	+ 8,12	— 2,26	8,43	0,889	404	0,661	4,32	501	
3,1	221	+ 9,40	— 2,35	9,69	1,012	444				
3,2	228	+ 10,98	— 2,47	11,25	1,164	493				
3,3	236	+ 12,91	— 2,61	13,13	1,350	555				
3,4	243	+ 15,34	— 2,75	15,58	1,571	624				
3,5	250	+ 18,76	— 2,87	18,98	1,904	726	0,772	5,61	866	
3,6	257	+ 23,47	— 3,24	23,70	2,359	862				
3,7	264	+ 30,51	— 3,75	30,74	3,038	1066				
3,8	271	+ 40,06	— 4,49	40,31	3,961	1344	0,838	7,79	1551	
0	0	+ 0,38	— 1,10	—						

Bei nochmaliger Belastung biegt sich das Stück schon bei 3,0 t unter Herabfallen der Waagschale durch.

Tabelle 23.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2699^b mit Spitzen an den Enden.
 $l = 186,9 \text{ cm}; l_1 = 197,9 \text{ cm}; F = 9,125 \text{ qcm}; a_0 = 2,605 \text{ cm}; b_0 = 1,48 \text{ cm}; m = 1,39 \text{ cm}; n = \begin{cases} 0,89 \\ 0,79 \end{cases} \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,00009927; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 9,9 \text{ t.}$$

4624. Versuch.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm	$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	e + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,5	55	— 0,26	+ 0,07	0,27	0,033	57			
1	110	— 0,71	+ 0,08	0,71	0,090	120	0,099	6,45	210
1,5	164	— 0,96	+ 0,07	0,96	0,122	183			
2	219	— 1,24	+ 0,06	1,24	0,157	252	0,199	5,00	391
2,5	274	— 1,52	+ 0,06	1,52	0,192	325			
3	329	— 1,82	+ 0,07	1,82	0,230	405	0,298	4,30	582
3,5	384	— 2,19	+ 0,08	2,19	0,279	491			
4	438	— 2,58	+ 0,10	2,58	0,327	581	0,397	3,92	799
4,5	493	— 3,03	+ 0,13	3,03	0,384	682			
5	548	— 3,58	+ 0,18	3,58	0,454	796	0,496	3,62	1049
5,5	603	— 4,23	+ 0,20	4,23	0,542	929			
6	658	— 5,15	+ 0,25	5,16	0,652	1087	0,596	3,50	1377
6,5	712	— 6,01	+ 0,31	6,02	0,761	1254			
7	767	— 7,24	+ 0,37	7,25	0,917	1470	0,695	3,18	1779
7,5	822	— 9,06	+ 0,46	9,07	1,147	1765			
7,75	849	— 10,44	+ 0,53	10,45	1,322	1972			
8	877	— 12,66	+ 0,63	12,68	1,603	2282	0,794	3,29	2647
8,2	900	Durchbiegen unter Fallen der Waagschale.							

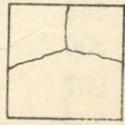
Tabelle 26.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2689^c mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 131,2 \text{ cm}; F = 26,6 \text{ qcm}; a_0 = 6,04 \text{ cm}; b_0 = 1,555 \text{ cm.}$

4636. Versuch.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	Mitte Pfeil f mm
0	0	0	0	0
5	188	+ 0,94	— 0,13	0,95
10	376	+ 1,49	— 0,12	1,49
15	564	+ 1,53	— 0,08	1,53
20	752	+ 1,57	— 0,10	1,57
25	940	+ 1,59	— 0,12	1,59
30	1128	+ 1,60	— 0,13	1,60
35	1316	+ 1,61	— 0,14	1,61
40	1504	+ 1,61	— 0,13	1,61
45	1692	+ 1,61	— 0,13	1,62
50	1880	+ 1,62	— 0,12	1,62
55	2068	+ 1,62	— 0,10	1,62
60	2256	+ 1,63	— 0,07	1,63
65	2444	+ 1,75	— 0,03	1,76
70	2632	—	—	—

zwischen 65 u. 70 t zerbricht die vordere Druckplatte; gepumpt.



oben

es wird weiter

werden eben gehoben, da knickt das Stück mit starkem Schlag nach oben durch. Die halbe vordere Druckplatte stark geneigt, ein Zeichen, dass hier die Beweglichkeit der Platte schon vorhanden war. Gestalt bei 8,1 t Belastung siehe in Fig. 20 auf Blatt IV.

Tabelle 27.

4635. Versuch.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2689^a mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 l = 253,4 cm; F = 25,2 qcm; a₀ = 5,87 cm; b₀ = 1,52 cm.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		
		in der Vert.-Eb. y mm.	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm
0	0	0	0	0
4	159	+ 1,26	- 0,66	1,42
8	317	+ 2,01	- 0,70	2,12
12	476	+ 2,26	- 0,70	2,36
16	635	+ 2,37	- 0,69	2,47
20	794	+ 2,39	- 0,67	2,48
24	952	+ 2,39	- 0,67	2,48
28	1111	+ 2,37	- 0,66	2,47
32	1270	+ 2,19	- 0,65	2,28
36	1429	+ 1,90 ₅	- 0,62	2,00
40	1587	+ 1,36	- 0,61	1,49
44	1746	+ 0,06	- 0,63	0,63
46	1825	- 3,09	- 0,70	3,17

Unter starkem Nachgeben abgelesen;
 die Biegung nach oben wächst fort,
 erst langsamer, dann rascher, und
 dann schlägt das Stück unter stark.
 Schlag plötzlich nach oben durch.

Tabelle 28.

4660. Versuch.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2692^b mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 l = 42,0 cm; F = 12,27 qcm; a₀ = 3,77 cm; b₀ = 1,23 cm.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm
0	0	0	0	0
4	326	0,00	+ 0,02	0,02
8	652	+ 0,02	- 0,02	0,03
12	978	+ 0,05	- 0,08	0,09
16	1304	+ 0,08	- 0,12	0,14
20	1630	+ 0,13	- 0,15	0,20
24	1956	+ 0,16	- 0,17	0,23
28	2282	+ 0,16	- 0,19	0,25
32	2608	+ 0,17	- 0,21	0,27
34	2771	+ 0,17	- 0,22	0,28
36	2934	+ 0,17	- 0,21	0,27
38	3097	- 0,12	+ 0,03	0,12
38	"	- 1,62	+ 0,04	1,62
"	"	- 2,19	+ 0,04	2,19
39	3178	- 3,07	+ 0,06	3,07
40	3260	- 4,73	+ 0,13	4,73
"	"	- 5,18	+ 0,16	5,18
"	"	- 5,59	+ 0,17	5,59
40,5	3301	-	-	-

S förmige Biegung.

Zeiger für y läuft rasch fort; dann
 plötzliche Durchbiegung nach oben,
 aber lautlos.

Tabelle 29.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2692^a mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 82,9 \text{ cm}$; $F = 12,34 \text{ qcm}$; $a_0 = 3,78 \text{ cm}$; $b_0 = 1,23 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm
0	0	0	0	0
2	162	+ 0,02	+ 0,01	0,02
0	0	+ 0,03	+ 0,01	0,03
2	162	+ 0,05	+ 0,01	0,05
4	324	- 0,44	- 0,07	0,45
6	486	- 0,34	- 0,06	0,35
8	648	- 0,32	- 0,03	0,32
10	810	- 0,32	- 0,02	0,32
12	972	- 0,32	- 0,02	0,32
14	1134	- 0,32	- 0,02	0,32
16	1297	- 0,32	- 0,01	0,32
18	1459	- 0,32	- 0,01	0,32
20	1621	- 0,31 ₅	- 0,01 ₅	0,32
22	1783	- 0,31 ₅	+ 0,04	0,32
24	1945	- 0,32 ₅	+ 0,05	0,33
26	2107	- 0,34	+ 0,10	0,35
28	2269	- 0,35	+ 0,16	0,38
30	2431	- 0,38	+ 0,25	0,46
32	2593	- 0,48	+ 0,39	0,62
34	2755	- 0,80	+ 0,73	1,08
35	2836	—	—	—

Kreuzkopf vorn hat sich gehoben,
 um ca. 1 cm an der Vorderkante;
 deshalb die Messung unbrüchbar.
 Zeiger für y läuft durch; die Waage
 sinkt; plötzlich biegt sich das Stück
 mit dumpfen Krach nach unten
 durch, in der hinteren Hälfte mehr.

Tabelle 30.

4658. Versuch.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 2692^a mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 137,5 \text{ cm}$; $F = 12,10 \text{ qcm}$; $a_0 = 3,75 \text{ cm}$; $b_0 = 1,22 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm
0	0	0	0	0
1	83	- 0,40	- 0,02	0,40
2	165	- 0,36	- 0,03	0,36
3	248	- 0,15	+ 0,01	0,15
4	331	+ 0,06	+ 0,05	0,07
5	413	+ 0,25	+ 0,10	0,27
6	496	+ 0,40	+ 0,14	0,42
7	579	+ 0,46	+ 0,16	0,49
8	661	+ 0,50	+ 0,18	0,53
9	744	+ 0,50	+ 0,20	0,54
10	826	+ 0,51	+ 0,22	0,56
11	909	+ 0,51	+ 0,23	0,56
12	992	+ 0,50	+ 0,25	0,56
13	1074	+ 0,47	+ 0,28	0,55
14	1157	+ 0,44	+ 0,32	0,55
15	1240	+ 0,42	+ 0,35	0,55
16	1322	+ 0,40	+ 0,38	0,55
17	1405	+ 0,39	+ 0,41	0,57
18	1488	+ 0,37 ₅	+ 0,44	0,58
19	1570	+ 0,37	+ 0,46	0,59
20	1653	+ 0,36	+ 0,48	0,60
21	1736	+ 0,32 ₅	+ 0,50	0,60
22	1818	+ 0,29	+ 0,51 ₅	0,60
23	1901	+ 0,27	+ 0,53	0,60
24	1983	+ 0,27	+ 0,54	0,60
25	2066	+ 0,28	+ 0,54	0,61
26	2149	+ 0,37	+ 0,56	0,67
27	2231	+ 0,71	+ 0,58	0,92
28	2314	+ 1,63	+ 0,85	1,84
28,5	2355	—	—	—

Nachdem 28,5 t erreicht und gehalten,
 läuft der Zeiger für y plötzlich
 rasch fort, die Waage sinkt und
 das Stück biegt sich mit starkem
 Schlag nach unten durch.

Tabelle 31. 4633. Versuch.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2694° mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 160,0 \text{ cm}$; $F = 21,49 \text{ qcm}$; $a_0 = 5,59 \text{ cm}$; $b_0 = 1,385 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	
0	0	0	0	0
4	186	+ 1,00	- 0,15	1,01
8	372	+ 1,49	- 0,09	1,49
12	558	+ 1,58	+ 0,09	1,58
16	744	+ 1,68	+ 0,27	1,70
20	931	+ 1,80	+ 0,44	1,86
24	1117	+ 1,93	+ 0,59	2,02
28	1303	+ 2,07	+ 0,81	2,22
32	1489	+ 2,29	+ 1,04	2,51
36	1675	+ 2,57	+ 1,13	2,81
40	1861	+ 3,35	+ 1,21	3,56
42	1954	+ 4,11	+ 1,27	4,30
43	2001	+ 4,65	+ 1,30	4,83
44	2047	+ 5,47	+ 1,34	5,66
45	2094	+ 6,64	+ 1,41	6,79
46	2140	+ 9,37	+ 1,43	9,48

Die Stirnflächen liegen noch satt an, aber die Zeiger laufen fort, endlich fällt d. Waagschale plötzlich herab; das Stück knickt mit dumpfen Krach nach unten durch, unter Ablösen der Stirnflächen von den Druckplatten, und erhält mit einmal die in Fig. 21, Blatt IV dargestellte Biegung, wobei es eine Belastung von 11,2 t trägt.

Tabelle 32. 4634. Versuch.

Probestück: U Eisen, Lab.-Nr. 2694° mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 314,5 \text{ cm}$; $F = 20,84 \text{ qcm}$; $a_0 = 5,52 \text{ cm}$; $b_0 = 1,365 \text{ cm}$.
 (Unterlagskeile nicht weggenommen; Brettstärke 2,5 cm.)

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		Pfeil f mm
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	
0	0	0	0	0
1	48	+ 0,17	+ 0,02	0,17
2	96	+ 0,82	+ 0,11	0,83
3	144	+ 1,22	+ 0,33	1,26
4	192	+ 1,62	+ 0,34	1,66
5	240	+ 1,98	+ 0,43	2,03
6	288	+ 2,34	+ 0,53	2,40
7	336	+ 2,56	+ 0,58	2,62
8	384	+ 2,74	+ 0,61	2,81
9	432	+ 2,92	+ 0,64	2,99
10	480	+ 3,05	+ 0,66	3,12
11	528	+ 3,21	+ 0,69	3,28
12	576	+ 3,37	+ 0,72	3,45
13	624	+ 3,49	+ 0,74	3,57
14	672	+ 3,67	+ 0,78	3,75
15	720	+ 3,83	+ 0,81	3,91
16	768	+ 4,01	+ 0,84	4,10
17	816	+ 4,21	+ 0,85	4,30
18	864	+ 4,43	+ 0,87	4,52
19	912	+ 4,63	+ 0,89	4,72
20	960	+ 4,88	+ 0,92	4,97
21	1008	+ 5,12	+ 0,93	5,21
22	1056	+ 5,40	+ 0,94	5,48
23	1104	+ 5,69	+ 0,94	5,77
24	1152	+ 6,01	+ 0,95	6,08
25	1200	+ 6,38	+ 0,96	6,45
26	1248	+ 6,82	+ 0,97	6,89
27	1296	+ 7,33	+ 0,97	7,39
28	1344	+ 8,18	+ 0,97	8,23
28,5	1368	+ 8,93	+ 0,98	8,98
29	1392	+ 10,43	+ 0,96	10,47
29,5	1416	—	—	—

werden eben erreicht; aber der Zeiger für y läuft durch, immer rascher und rascher, die Waagschale sinkt, endlich dumpfer Krach und Durchknicken nach unten.

Tabelle 33. 4657. Versuch.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2696^b mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 107,4 \text{ cm}$; $F = 18,92 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,52_3 \text{ cm}$; $b_0 = 1,87 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm
0	0	0	0	0
5	265	- 0,48	- 0,05	0,48
10	529	- 0,70	- 0,03	0,70
15	794	- 0,70	- 0,03	0,70
20	1059	- 0,65	+ 0,01	0,65
25	1323	- 0,56	+ 0,01	0,56
30	1588	- 0,52	0,00	0,52
35	1853	- 0,52	+ 0,01	0,52
40	2117	- 0,53	+ 0,06	0,53
45	2382	- 0,64	+ 0,22	0,68
50	2647	- 1,06	+ 0,65	1,24
52	2753	- 1,74	+ 1,13	2,07
54	2858	- 3,39	+ 2,06	3,97
"	"	- 3,97	+ 2,53	4,71
"	"	- 4,46	+ 2,84	5,29
54,5	2884	- 6,02	+ 3,63	7,03
55	2911	- 8,00	+ 4,49	9,17
55,5	2937	- 10,02	+ 5,59	11,47
"	"	- 11,88	+ 6,36	13,48
"	"	- 13,34	+ 6,67	14,91

Zeiger für y läuft schnell fort; nach
 einiger Zeit fällt die Waagschale.
 Der Kreuzkopf vorn und die ganze
 Reihe der Sättel vor ihm stark
 gehoben.

Tabelle 34. 4656. Versuch.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2696^c mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 149,5 \text{ cm}$; $F = 19,28 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,54_6 \text{ cm}$; $b_0 = 1,89 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte		
		in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm
0	0	0	0	0
5	259	- 0,77	+ 0,04	0,77
10	519	- 0,63	+ 0,13	0,64
15	778	- 0,61	+ 0,22	0,65
20	1037	- 0,63	+ 0,31	0,70
25	1297	- 0,64	+ 0,40	0,75
30	1556	- 0,65	+ 0,51	0,83
35	1815	- 0,65	+ 0,67	0,93
40	2075	- 0,65	+ 0,90	1,11
45	2334	- 0,63	+ 1,36	1,50
50	2593	- 0,40	+ 2,99	3,02
52	2697	-	-	-

werden erreicht, aber die Zeiger
 laufen rasch fort; die Waagschale
 sinkt; Apparate abgenommen und
 weiter gepumpt; ein plötzliches
 Umschnappen findet nicht statt,
 nur ein rasches Durchbiegen nach
 unten und nach rechts.

4654. Versuch.

Tabelle 36.

Probestück: L Eisen, Lab.-Nr. 2698^{bb} mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 179,5 \text{ cm}$; $F = 13,70 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,775 \text{ cm}$; $b_0 = 1,665 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	in der Mitte Pfeil f mm
0	0	0	0	0
2	146	-0,13	-0,11	0,17
4	292	+0,20	-0,08	0,21
6	438	+0,56	-0,02	0,56
8	584	+0,66	+0,04	0,66
10	730	+0,66	+0,13	0,67
12	876	+0,64	+0,27	0,69
14	1022	+0,55	+0,41	0,69
16	1168	+0,51	+0,52	0,73
18	1314	+0,49	+0,62	0,79
20	1460	+0,47	+0,70	0,84
22	1606	+0,47	+0,77	0,90
24	1752	+0,47 ₅	+0,84	0,97
26	1898	+0,51	+0,87	1,01
28	2044	+0,82	+0,88	1,20
30	2190	+1,63	+0,84	1,83
31	2263	+2,84	+0,75	2,94
"	"	+3,79	+0,64	3,84
"	"	+5,56	+0,42	5,58

Eine halbe Minute darnach Durchschlagen mit kleinem Krach! Ohne weiter durchzubeugen wird abgewogen und die Biegung gemessen.

4655. Versuch.

Tabelle 35.

Probestück: T Eisen, Lab.-Nr. 2696^a mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 221,8 \text{ cm}$; $F = 19,29 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,545 \text{ cm}$; $b_0 = 1,89 \text{ cm}$.

1	2	3	4	5
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der in der Vert.-Eb. y mm	Ausbiegung in der in der Hor.-Eb. x mm	in der Mitte Pfeil f mm
0	0	0	0	0
3	156	+0,60	-0,07	0,60
6	311	+1,00	0,00	1,00
9	467	+1,10	+0,09	1,10
12	622	+1,10	+0,12	1,11
15	778	+0,99	+0,22	1,01
18	933	+0,88	+0,30	0,93
21	1089	+0,80	+0,38	0,77
24	1244	+0,75	+0,48	0,89
27	1400	+0,72	+0,59	0,93
30	1555	+0,71	+0,75	1,03
33	1711	+0,71	+0,99	1,22
36	1866	+0,69	+1,39	1,55
39	2022	+0,72	+1,97	2,10
42	2177	+0,85	+2,89	3,01
Pumpenkolben zieht nicht mehr; es muss der Ventilkasten aufgemacht werden; dabei Stand:				
		+1,62	+1,53	2,23
		dann weiter gepumpt.		
43	2229	+1,08	+3,49	3,65
44	2281	+1,17	+4,00	4,17
45	2333	+1,36	+4,70	4,89
46	2385	+1,78	+5,81	6,08
47	2436	+3,17	+8,62	9,19

Die Zeiger gehen noch fort, endlich fällt die Waagschale; Messapparate abgenommen; Stirnflächen liegen noch satt an den Druckplatten; dann plötzliches Durchschlagen nach seitwärts und unten, wobei die Stirnflächen sich an den Druckplatten abheben und diese selbst auf der einen Seite etwas locker werden.

Tabelle 37. 4653. Versuch.

Probestück: L, Eisen, Lab.-Nr. 2698^a mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 271,3 \text{ cm}$; $F = 13,27 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,74 \text{ cm}$; $b_0 = 1,64 \text{ cm}$.

1 im Ganzen P t	2 Belastung kg pro qcm P : F = β at	3 Ausbiegung in der Vert.-Eb. y mm		4 Ausbiegung in der Hor.-Eb. x mm		5 Pfeil f mm
		+	-	+	-	
0	0	0	0	0	0	0
1	75	+ 1,33	- 0,07	-	-	1,33
2	151	+ 2,04	0,00	0,00	0,00	2,04
3	126	+ 2,43	+ 0,09	+ 0,09	+ 0,09	2,43
4	301	+ 2,78	+ 0,17	+ 0,17	+ 0,17	2,79
5	377	+ 2,98	+ 0,24	+ 0,24	+ 0,24	2,99
6	452	+ 3,14	+ 0,32	+ 0,32	+ 0,32	3,16
7	528	+ 3,07	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,40	3,10
8	603	+ 2,99	+ 0,52	+ 0,52	+ 0,52	3,04
9	678	+ 2,98	+ 0,62	+ 0,62	+ 0,62	3,04
10	754	+ 3,08	+ 0,67	+ 0,67	+ 0,67	3,15
11	829	+ 3,27	+ 0,72	+ 0,72	+ 0,72	3,35
12	904	+ 3,51	+ 0,74	+ 0,74	+ 0,74	3,59
13	980	+ 3,81	+ 0,76	+ 0,76	+ 0,76	3,89
14	1055	+ 4,17	+ 0,78	+ 0,78	+ 0,78	4,24
15	1130	+ 4,63	+ 0,80	+ 0,80	+ 0,80	4,70
16	1206	+ 5,20	+ 0,80	+ 0,80	+ 0,80	5,26
17	1281	+ 5,94	+ 0,78	+ 0,78	+ 0,78	5,99
18	1356	+ 7,00	+ 0,75	+ 0,75	+ 0,75	7,04
18,5	1394	+ 7,77	+ 0,71	+ 0,71	+ 0,71	7,80
19	1432	+ 8,62	+ 0,66	+ 0,66	+ 0,66	8,65
19,5	1469	+ 9,97	+ 0,57	+ 0,57	+ 0,57	9,99
19,6	1476	+ 10,43	+ 0,54	+ 0,54	+ 0,54	10,44
19,7	1484	+ 10,83	+ 0,51	+ 0,51	+ 0,51	10,84
19,8	1491	+ 11,37	+ 0,44	+ 0,44	+ 0,44	11,38
19,9	1498	+ 11,88	+ 0,42	+ 0,42	+ 0,42	11,89
20,0	1507	+ 12,70	+ 0,35	+ 0,35	+ 0,35	12,70
20,1	1514	+ 13,74	+ 0,21	+ 0,21	+ 0,21	13,74
20,2	1522	+ 16,38	-	-	-	16,38

Der Zeiger für y geht bei derselben Belastung allmählich immer rascher weiter, endlich schlägt sich d. Stück unter Sinken der Waagschale ganz durch; ohne weiter durchzubiegen wird abgewogen und bei 5,7 t Belastung die in Fig. 22 auf Blatt IV dargestellte Biegung gemessen.

Tabelle 38. 4652. Versuch.

Probestück: L, Eisen, Lab.-Nr. 2698^a mit flachen Enden zwischen festen Platten.
 $l = 403,0 \text{ cm}$; $F = 13,77 \text{ qcm}$; $a_0 = 2,785 \text{ cm}$; $b_0 = 1,67 \text{ cm}$.

1 im Ganzen P t	2 Belastung kg pro qcm P : F = β at	3 Ausbiegung in der Vert.-Eb. y mm		4 Ausbiegung in der Hor.-Eb. x mm		5 Pfeil f mm
		+	-	+	-	
0	0	0	0	0	0	0
0,5	37	+ 2,58	-	-	-	2,60
1	73	+ 4,94	-	-	-	4,94
1,5	109	+ 4,88	-	-	-	4,89
2	146	+ 5,53	-	-	-	5,53
2,5	182	+ 6,36	+ 0,03	+ 0,03	+ 0,03	6,36
3	218	+ 7,22	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,11	7,22
3,5	255	+ 8,10	+ 0,22	+ 0,22	+ 0,22	8,10
4	291	+ 9,12	+ 0,28	+ 0,28	+ 0,28	9,12
4,5	327	+ 10,12	+ 0,37	+ 0,37	+ 0,37	10,13
5	364	+ 11,37	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,40	11,38
5,5	400	+ 12,50	+ 0,37	+ 0,37	+ 0,37	12,51
6	437	+ 13,80	+ 0,33	+ 0,33	+ 0,33	13,80
6,5	473	+ 15,27	+ 0,24	+ 0,24	+ 0,24	15,27
7	509	+ 16,89	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,11	16,89
7,25	527	+ 17,85	+ 0,06	+ 0,06	+ 0,06	17,85
7,5	546	+ 18,87	- 0,03	- 0,03	- 0,03	18,87
7,75	564	+ 20,10	- 0,16	- 0,16	- 0,16	20,11
8	582	+ 21,57	- 0,28	- 0,28	- 0,28	21,58
8,25	600	+ 23,16	- 0,39	- 0,39	- 0,39	23,18
8,5	618	+ 25,29	- 0,52	- 0,52	- 0,52	25,30
8,75	636	+ 28,56	-	-	-	28,57
9	655	-	-	-	-	-

werden nicht mehr, aber nahezu erreicht, dann schlägt das Stück plötzlich durch; die Stirnflächen liegen nicht mehr an den Druckplatten an.

Tabelle 39.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 3028^a mit Spitzen an den Enden.
 $l = 240,5 \text{ cm}; l_1 = 254,3 \text{ cm}; F = 10,58 \text{ qcm}; a_0 = 4,02 \text{ cm}; b_0 = 1,16 \text{ cm}; m = 3,26 \text{ cm}; n = 0,54 \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002304; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,3 \text{ t.}$$

4817. Versuch.

1	2	3'	4'	5'	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	Ausbiegung in der Mitte der vorderen Hälfte			Ausbiegung in der Mitte			$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$ at	λ	c + g ₀ mm	max. σ = $\frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$ at
		in der Vert.-Eb. y' mm	in der Hor.-Eb. x' mm	Pfeil f' mm	in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,2	19	+ 0,02	0,00	0,02	+ 0,02	- 0,01	0,02	0,004	19			
0,4	38	+ 0,08	0,00	0,08	+ 0,12	- 0,01	0,12	0,022	39	0,092	1,18	47
0,6	57	+ 0,18	+ 0,01	0,18	+ 0,23	- 0,02	0,23	0,043	59			
0,8	76	+ 0,29	+ 0,01	0,29	+ 0,36	- 0,02	0,36	0,067	80	0,148	1,59	103
1,0	95	+ 0,40	+ 0,03	0,40	+ 0,52	- 0,01	0,52	0,096	103			
„	„	+ 0,99	+ 0,06	0,99	+ 1,31	- 0,01	1,31	0,243	—	Von dem Gewichte in der Mitte 5 kg abgenommen.		
„	„	+ 0,44	+ 0,06	0,44	+ 0,54	+ 0,01	0,54	0,100	104	Jene 5 kg wieder zugelegt.		
„	„	- 0,16	+ 0,05	0,17	- 0,26	+ 0,01	0,26	0,048	—	Zu dem Gewichte in der Mitte 5 kg zugelegt.		
„	„	+ 0,39	+ 0,06	0,39	+ 0,50	- 0,01	0,50	0,093	103	Jene 5 kg wieder abgenommen.		
1,2	113	+ 0,52	+ 0,06	0,52	+ 0,60	- 0,01	0,60	0,111	125	0,276	1,57	158
1,4	132	+ 0,66 ₅	+ 0,06	0,67	+ 0,87	- 0,01	0,87	0,161	153			
1,6	151	+ 0,84	+ 0,08	0,84	+ 1,08	0,00	1,08	0,200	181	0,369	1,82	232
1,8	170	+ 1,05	+ 0,10	1,05	+ 1,38	- 0,01	1,38	0,255	213			
2,0	189	+ 1,30	+ 0,10	1,30	+ 1,71	- 0,03	1,71	0,317	249	0,461	2,00	317
2,2	208	+ 1,62	+ 0,11	1,62	+ 2,09	- 0,03	2,09	0,388	288			
2,4	227	+ 1,99	+ 0,12	1,99	+ 2,61	- 0,04	2,61	0,484	337	0,553	2,11	425
2,6	246	+ 2,46	+ 0,14	2,46	+ 3,25	- 0,06	3,25	0,604	395			
2,8	265	+ 3,10	+ 0,16	3,10	+ 4,07	- 0,06	4,07	0,756	464	0,645	2,24	574
3,0	284	+ 3,99	+ 0,18	3,99	+ 5,26	- 0,10	5,26	0,977	561			
3,2	302	+ 5,31	+ 0,21	5,31	+ 6,94	- 0,14	6,94	1,289	691	0,737	2,48	830
3,4	321	+ 7,45	+ 0,27	7,45	+ 9,76	- 0,19	9,76	1,813	903			
3,6	340	+ 11,09	+ 0,34	11,10	+ 14,64	- 0,29	14,64	2,720	1265	0,829	3,02	1455
3,8	359	—	—	—	+ 27,77	- 0,50	27,77	5,158	2210			
3,8	„	+ 21,06	+ 0,65	21,07	+ 27,87	- 0,51	27,87	5,177	2217			
4,0	378	nicht erreicht; Durchbiegen unter Fallen der Waagschale.										

Tabelle 40.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 3028^b mit Spitzen an den Enden.
 $l = 240,5 \text{ cm}; l_1 = 254,3 \text{ cm}; F = 10,58 \text{ qcm}; a_0 = 4,02 \text{ cm}; b_0 = 1,16 \text{ cm}; m = 3,24 \text{ cm}; n = 0,54 \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002304; P_0 = \frac{\pi^2 \theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,3 \text{ t.}$$

4818. Versuch.

1	2	3'	4'	5'	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung		Ausbiegung in der Mitte der vorderen Hälfte			Ausbiegung in der Mitte			$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$	λ	$c + g_0$	max. $\sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$
im Ganzen P t	kg pro qcm P : F = β at	in der Vert.-Eb. y' mm	in der Hor.-Eb. x' mm	Pfeil f' mm	in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,2	19	0,00	0,00	0,00	+ 0,02	0,00	0,02	0,004	19			
0,4	38	0,00	0,00	0,00	+ 0,01	0,00	0,01	0,002	38	0,092	0,99	39
0,6	57	- 0,02	+ 0,01	0,02	+ 0,01	+ 0,01	0,01	0,002	57			
0,8	76	- 0,04	+ 0,01	0,04	- 0,01	+ 0,01	0,01	0,002	76	0,184	0,04	77
1,0	95	- 0,10	+ 0,01	0,10	- 0,05	+ 0,01	0,05	0,009	95			
1,2	113	- 0,12	+ 0,01	0,12	- 0,05	+ 0,01	0,05	0,009	114	0,276	0,13	116
1,4	132	- 0,19	+ 0,02	0,19	- 0,12	+ 0,02	0,12	0,022	135			
1,6	151	- 0,25	+ 0,03	0,25	- 0,19	+ 0,03	0,19	0,035	156	0,369	0,17	165
1,8	170	- 0,31	+ 0,03	0,31	- 0,24	+ 0,03	0,24	0,044	177			
2,0	189	- 0,38	+ 0,03	0,38	- 0,34	+ 0,03	0,34	0,063	200	0,461	0,39	214
2,2	208	- 0,45	+ 0,03	0,45	- 0,42	+ 0,04	0,42	0,079	224			
2,4	227	- 0,59	+ 0,04	0,59	- 0,58	+ 0,03	0,58	0,108	252	0,553	0,46	271
2,6	246	- 0,71	+ 0,03	0,71	- 0,73	+ 0,03	0,73	0,136	279			
2,8	265	- 0,87	+ 0,04	0,87	- 0,96	+ 0,03	0,96	0,179	311	0,645	0,52	337
3,0	284	- 1,12	+ 0,04	1,12	- 1,25	+ 0,02	1,25	0,232	349			
3,2	302	- 1,50	+ 0,04	1,50	- 1,74	0,00	1,74	0,322	400	0,737	0,62	434
3,4	321	- 2,08	- 0,02	2,08	- 2,51	- 0,02	2,51	0,466	470			
3,6	340	- 3,18	- 0,06	3,18	- 3,94	- 0,05	3,94	0,731	588	0,829	0,81	640
3,8	359	- 5,76	- 0,24	5,76	- 7,31	- 0,15	7,31	1,359	847			
4,0	378											

werden eben noch erreicht unter fortwährend rascher Vergrößerung der Durchbiegung; dann sinkt die Waagschale.

Tabelle 41.

Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 3028° mit Spitzen an den Enden.

 $l = 240,6 \text{ cm}; l_1 = 254,4 \text{ cm}; F = 10,55 \text{ qcm}; a_0 = 4,03 \text{ cm}; b_0 = 1,16 \text{ cm}; m = 3,26 \text{ cm}; n = 0,54 \text{ cm};$

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002304; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,3 \text{ t.}$$

4819. Versuch.

1	2	3'	4'	5'	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung		Ausbiegung in der Mitte der vorderen Hälfte			Ausbiegung in der Mitte			$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	$\frac{\max. \sigma}{F} = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$	λ	$c + g_0$	$\frac{\max. \sigma}{F} = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$
im Ganzen $\frac{P}{t}$	$\frac{kg}{\text{pro } qcm}$ $\frac{P:F = \beta}{at}$	in der Vert.-Eb. y' mm	in der Hor.-Eb. x' mm	Pfeil f' mm	in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,2	19	+ 0,01	+ 0,02	0,02	+ 0,02	+ 0,01	0,02	0,004	19			
0,4	38	+ 0,03	+ 0,04	0,05	+ 0,03	+ 0,03	0,04	0,006	38	0,092	0,39	40
0,6	57	+ 0,04	+ 0,04	0,06	+ 0,07	+ 0,05	0,09	0,013	58			
0,8	76	+ 0,07	+ 0,07	0,10	+ 0,16	+ 0,06	0,17	0,032	78	0,184	0,75	89
1,0	95	+ 0,14	+ 0,07	0,16	+ 0,25	+ 0,06	0,26	0,047	99			
1,2	114	+ 0,19	+ 0,08	0,21	+ 0,35	+ 0,07	0,36	0,067	121	0,276	0,94	141
1,4	133	+ 0,27	+ 0,11	0,29	+ 0,47	+ 0,08	0,48	0,073	142			
1,6	152	+ 0,35	+ 0,13	0,37	+ 0,58	+ 0,09	0,59	0,110	168	0,369	1,01	197
1,8	171	+ 0,47	+ 0,13	0,49	+ 0,75	+ 0,08	0,75	0,141	195			
2,0	190	+ 0,60	+ 0,15	0,62	+ 0,94	+ 0,10	0,95	0,177	223	0,461	1,11	262
„	„	+ 1,49	+ 0,20	1,51	+ 2,10	+ 0,12	2,10	0,393	—	Von dem Gewichte in der Mitte 5 kg abgenommen.		
„	„	+ 0,69	+ 0,19	0,72	+ 1,06	+ 0,12	1,07	0,200	228	Jene 5 kg wieder zugelegt.		
„	„	— 0,21	+ 0,18	0,28	— 0,14	+ 0,13	0,19	0,030	—	Zu dem Gewichte in der Mitte 5 kg zugelegt		
„	„	+ 0,58	+ 0,19	0,61	+ 0,85	+ 0,15	0,86	0,162	220	Jene 5 kg wieder abgenommen.		
2,2	209	+ 0,75	+ 0,19	0,77	+ 1,09	+ 0,14	1,10	0,206	252			
2,4	228	+ 0,98	+ 0,19	1,00	+ 1,42	+ 0,14	1,43	0,266	288	0,553	1,16	337
2,6	246	+ 1,24	+ 0,20	1,26	+ 1,79	+ 0,14	1,80	0,336	328			
2,8	265	+ 1,61	+ 0,22	1,63	+ 2,30	+ 0,12	2,30	0,430	379	0,645	1,27	441
3,0	284	+ 2,10	+ 0,24	2,11	+ 2,98	+ 0,11	2,98	0,555	441			
3,2	303	+ 2,79	+ 0,25	2,80	+ 3,94	+ 0,11	3,94	0,732	525	0,737	1,41	604
3,4	322	+ 3,88	+ 0,27	3,89	+ 5,41	+ 0,09	5,41	1,005	646			
3,6	341	+ 5,77	+ 0,34	5,78	+ 7,93	+ 0,07	7,93	1,465	840	0,829	1,64	948
3,8	360	+ 9,94	+ 0,48	9,95	+ 13,45	0,00	13,45	2,491	1256			
4,0	379	nicht erreicht; Durchbiegen unter Fallen der Waagschale.										

Tabelle 43.

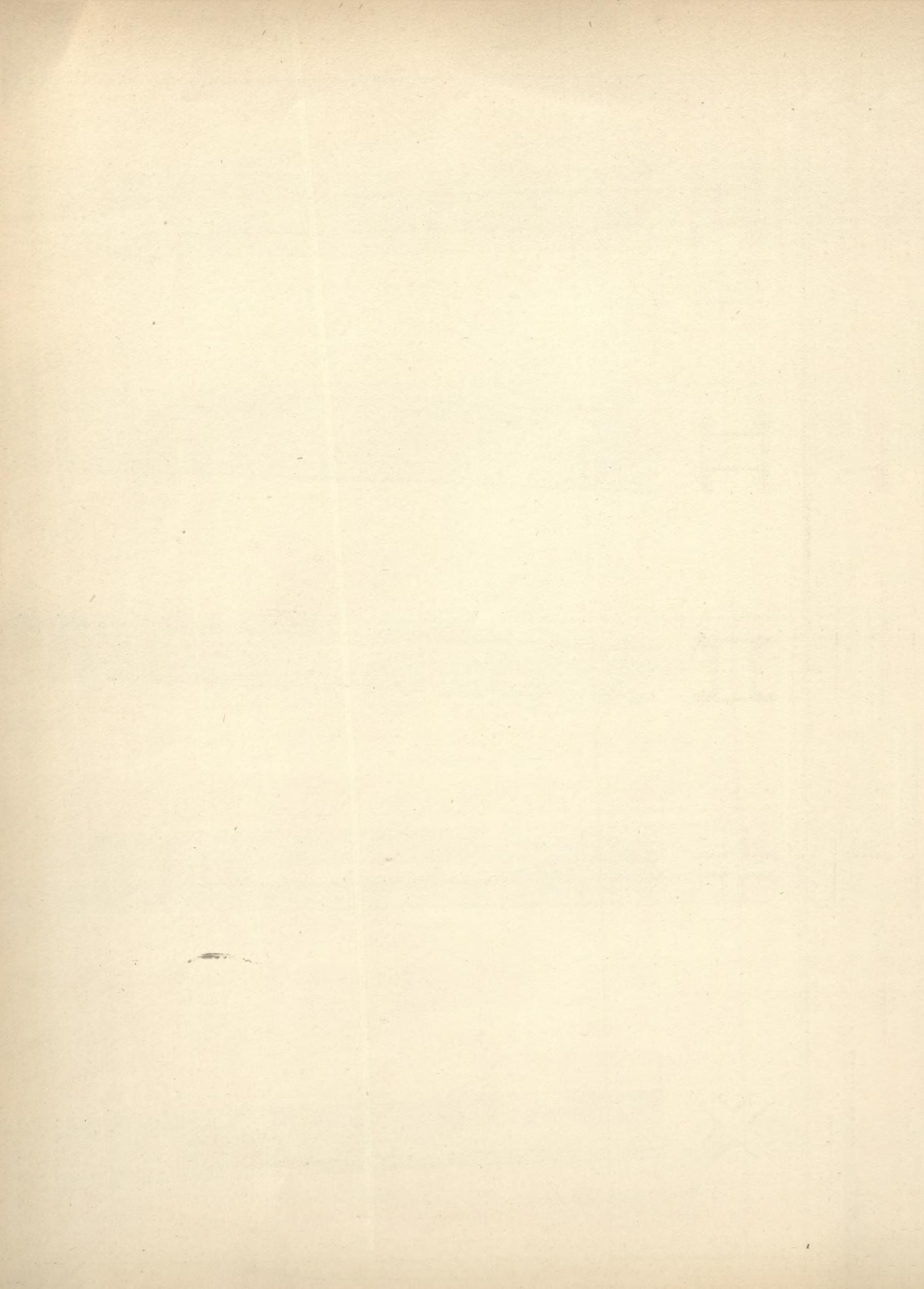
Probestück: I Eisen, Lab.-Nr. 3028° mit Spitzen an den Enden.

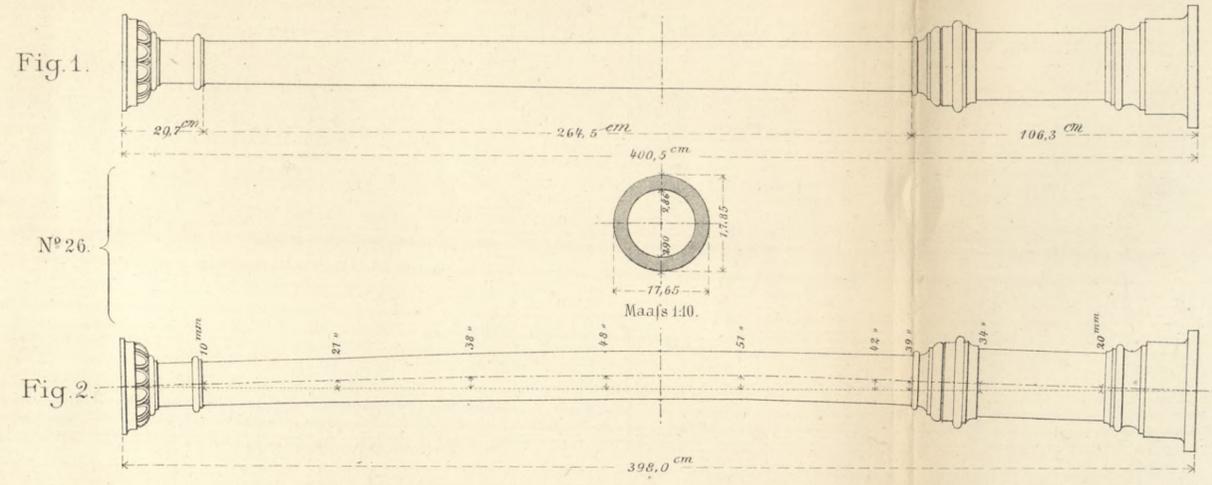
$l = 240,5 \text{ cm}$; $l_1 = 254,3 \text{ cm}$; $F = 10,55 \text{ qcm}$; $a_0 = 4,03 \text{ cm}$; $b_0 = 1,16 \text{ cm}$; $m = 3,25 \text{ cm}$; $n = 0,54 \text{ cm}$;

$$\frac{\lambda}{P} = \frac{1}{\varepsilon F \pi^2} \left(\frac{l_1}{b_0} \right)^2 = 0,0002304; P_0 = \frac{\pi^2 \Theta \varepsilon}{l_1^2} = 4,3 t.$$

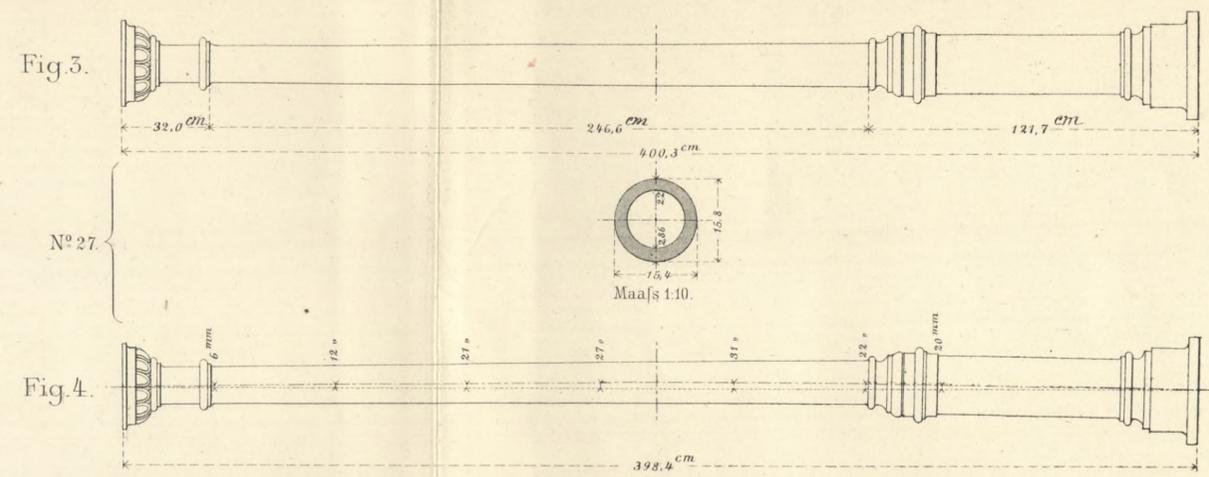
4823. Versuch.

1	2	3'	4'	5'	3	4	5	6	7	8	9	10
Belastung		Ausbiegung in der Mitte der vorderen Hälfte			Ausbiegung in der Mitte			$\frac{f}{k} = \frac{y}{n} + \frac{x}{m}$	max. $\sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \right)$	λ	$c + g_0$	max. $\sigma = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{f}{k} \frac{1}{\lambda} \right)$
im Ganzen $\frac{P}{t}$	$\frac{kg}{\text{pro qcm}}$ $\frac{P:F = \beta}{at}$	in der Vert.-Eb. y' mm	in der Hor.-Eb. x' mm	Pfeil f' mm	in der Vert.-Eb. y mm	in der Hor.-Eb. x mm	Pfeil f mm					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	0
0,2	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	19			
0,4	38	+ 0,02	0,00	0,02	+ 0,04	0,00	0,04	0,008	38	0,092	0,39	40
0,6	57	+ 0,07	+ 0,01	0,07	+ 0,11	+ 0,02	0,11	0,021	58			
0,8	76	+ 0,14	+ 0,01	0,14	+ 0,20	+ 0,03	0,20	0,038	78	0,184	0,88	91
1,0	95	+ 0,22	+ 0,01	0,22	+ 0,34	+ 0,05	0,34	0,065	100			
1,2	114	+ 0,30	+ 0,01	0,30	+ 0,46	+ 0,05	0,46	0,087	124	0,276	1,20	150
1,4	133	+ 0,41	+ 0,02	0,41	+ 0,60	+ 0,08	0,61	0,114	147			
1,6	152	+ 0,53	+ 0,02	0,53	+ 0,79	+ 0,09	0,80	0,151	175	0,369	1,37	214
1,8	171	+ 0,70	+ 0,03	0,70	+ 1,00	+ 0,10	1,00	0,188	203			
2,0	190	+ 0,91	+ 0,04	0,91	+ 1,25	+ 0,06	1,25	0,234	234	0,461	1,46	286
2,2	209	+ 1,15	+ 0,05	1,15	+ 1,57	+ 0,06	1,57	0,293	270			
2,4	228	+ 1,45	+ 0,06	1,45	+ 1,96	+ 0,04	1,96	0,364	310	0,553	1,58	378
2,6	246	+ 1,85	+ 0,07	1,85	+ 2,47	+ 0,06	2,47	0,459	358			
2,8	265	+ 2,30	+ 0,09	2,30	+ 3,08	+ 0,04	3,08	0,571	415	0,645	1,69	499
3,0	284	+ 2,92	+ 0,11	2,92	+ 3,88	+ 0,03	3,88	0,720	489			
3,2	303	+ 3,82	+ 0,13	3,82	+ 5,08	+ 0,03	5,08	0,942	589	0,737	1,81	690
3,4	322	+ 5,17	+ 0,16	5,17	+ 6,86	— 0,01	6,86	1,270	730			
3,6	341	+ 7,47	+ 0,21	7,47	+ 9,92	— 0,04	9,92	1,838	967	0,829	2,05	1096
3,8	360	+ 12,90	+ 0,34	12,90	+ 17,14	+ 0,14	17,14	3,178	1503			
4,0	379	nicht erreicht; Durchbiegen.										





Maaßstab für die Figuren 1-4:
1:20.



Maaßstab für die Figuren 5-7:
1:10.
Die eingeschriebenen Maaße in Millimetern.

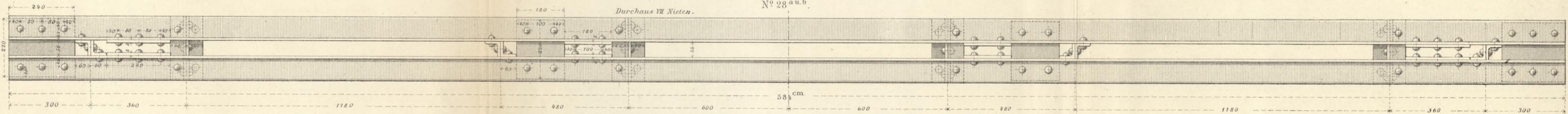
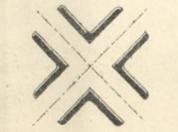
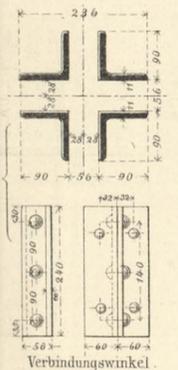


Fig. 6. N° 28^a.

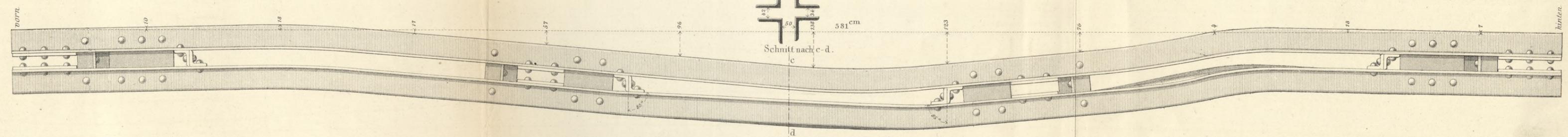
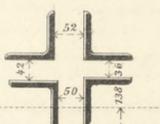
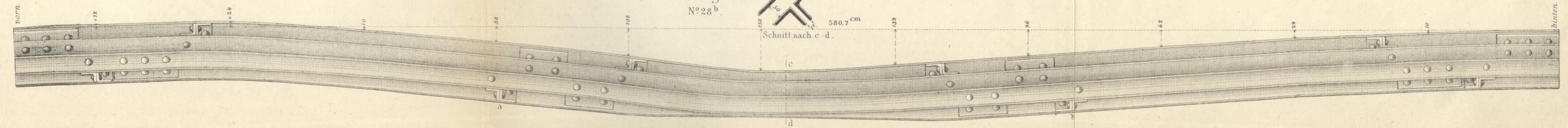
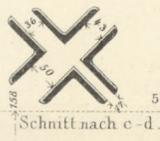


Fig. 7.
N° 28^b.



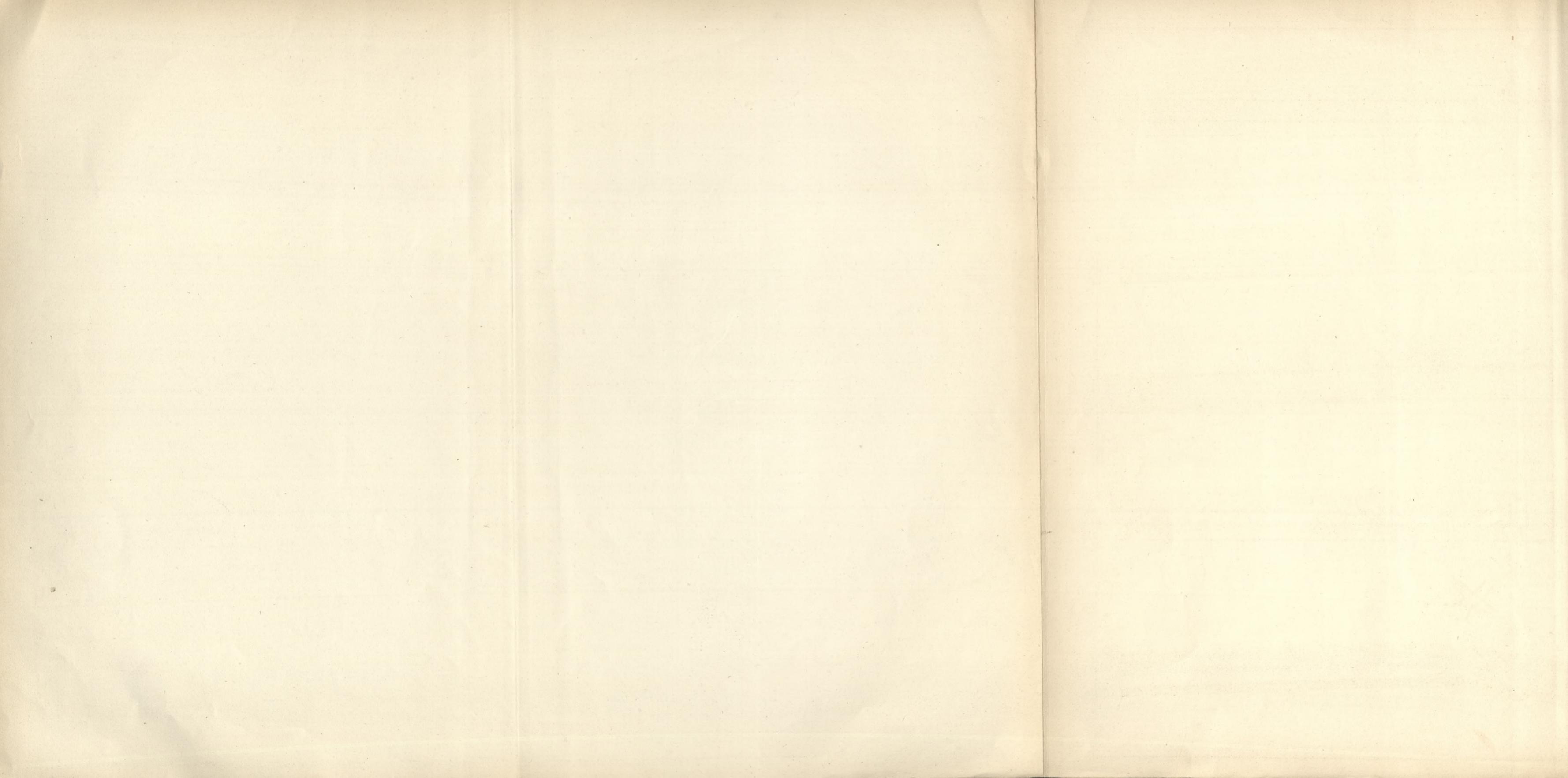


Fig. 1. N° 29 a u. b.

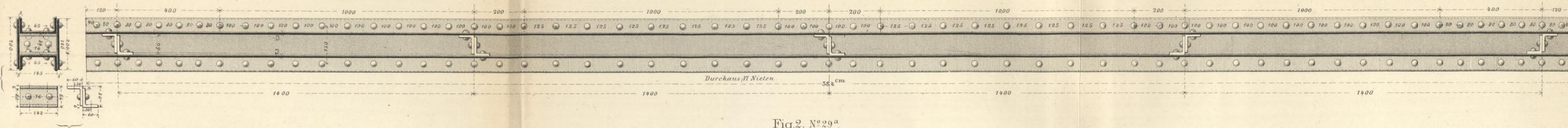


Fig. 2. N° 29 a

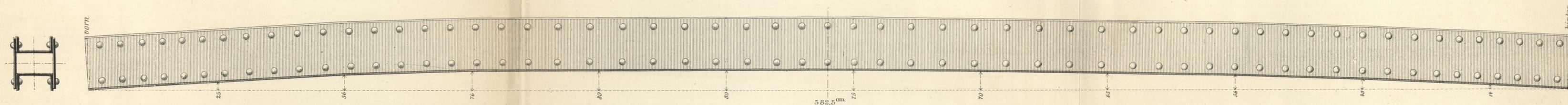


Fig. 3. N° 29 b

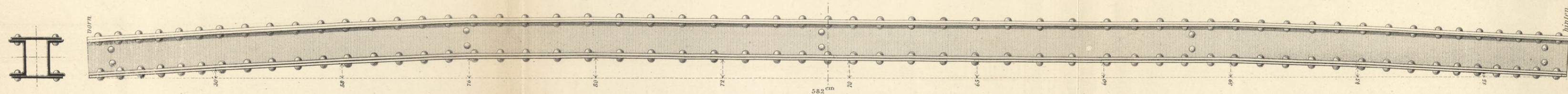


Fig. 4. N° 50.

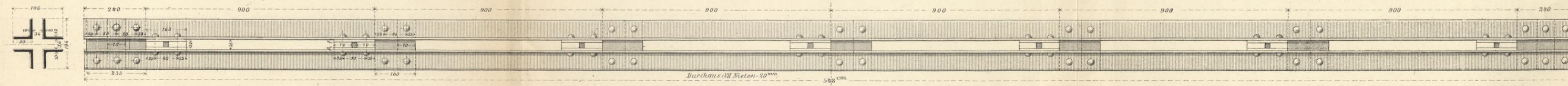
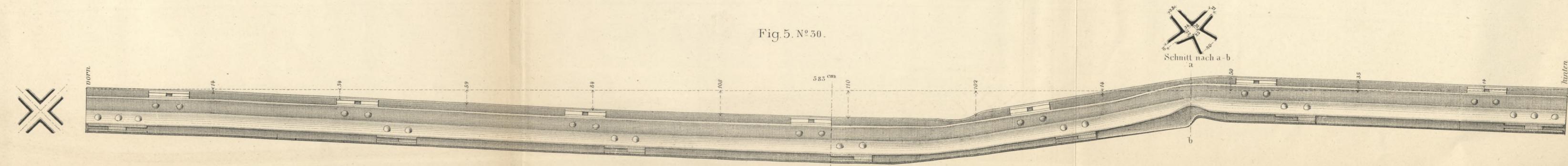


Fig. 5. N° 50.



Maafsstab = 1:10.

Fig. 1. L.N^o 2688^a.

Fig. 3. L.N^o 2690^a.

Fig. 11. L.N^o 2698^a.

Fig. 12. L.N^o 2699^a.

Fig. 2. L.N^o 2689^a.

Fig. 10. L.N^o 2697^a.

Fig. 9. L.N^o 2696^a.

Fig. 4. L.N^o 2691^a.

Fig. 14. Maafs 1:2.

Fig. 15. Maafs 1:2.

Fig. 5. L.N^o 2692^a.

Fig. 8. L.N^o 2695^a.

Fig. 7. L.N^o 2694^a.

Fig. 6. L.N^o 2693^a.

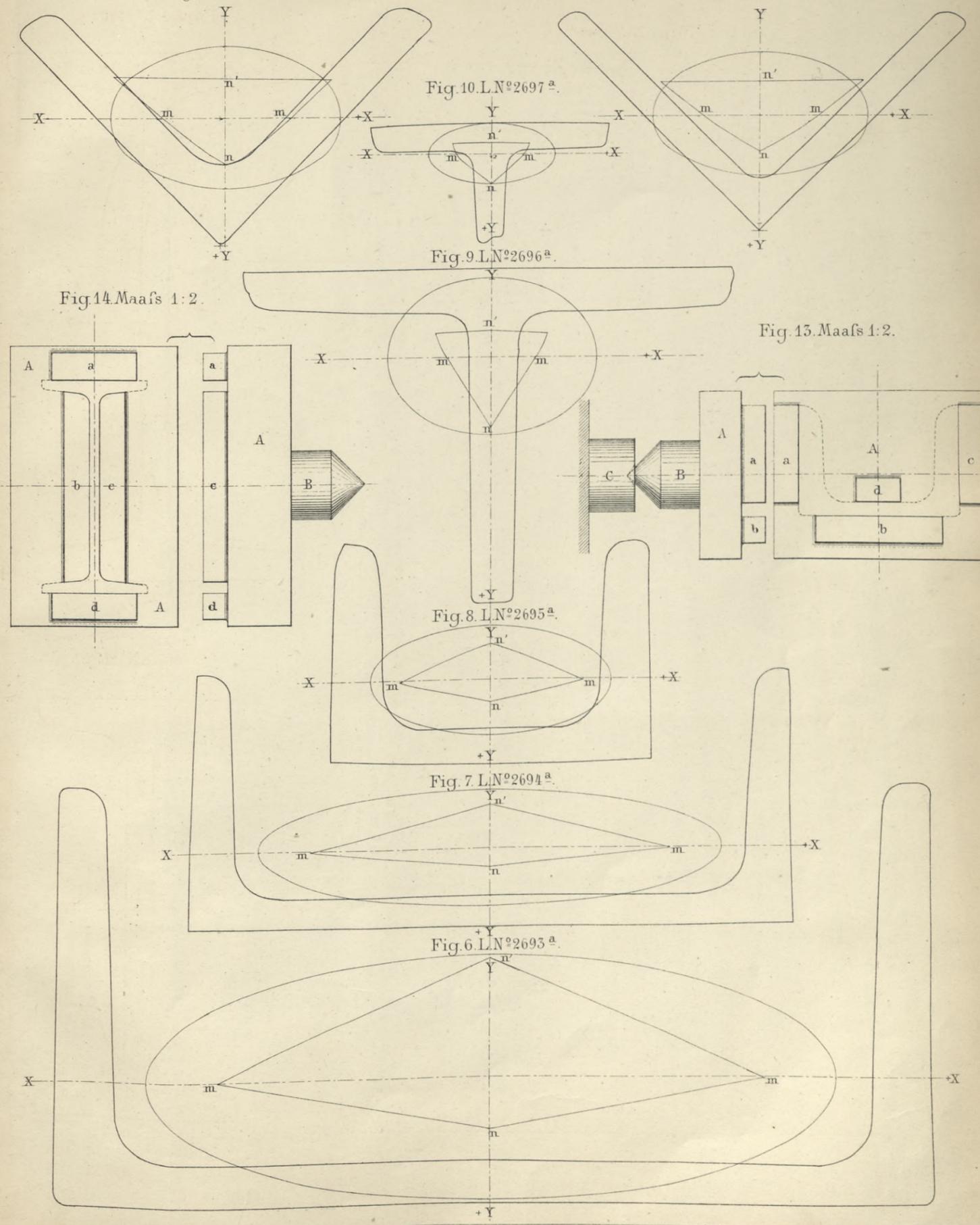
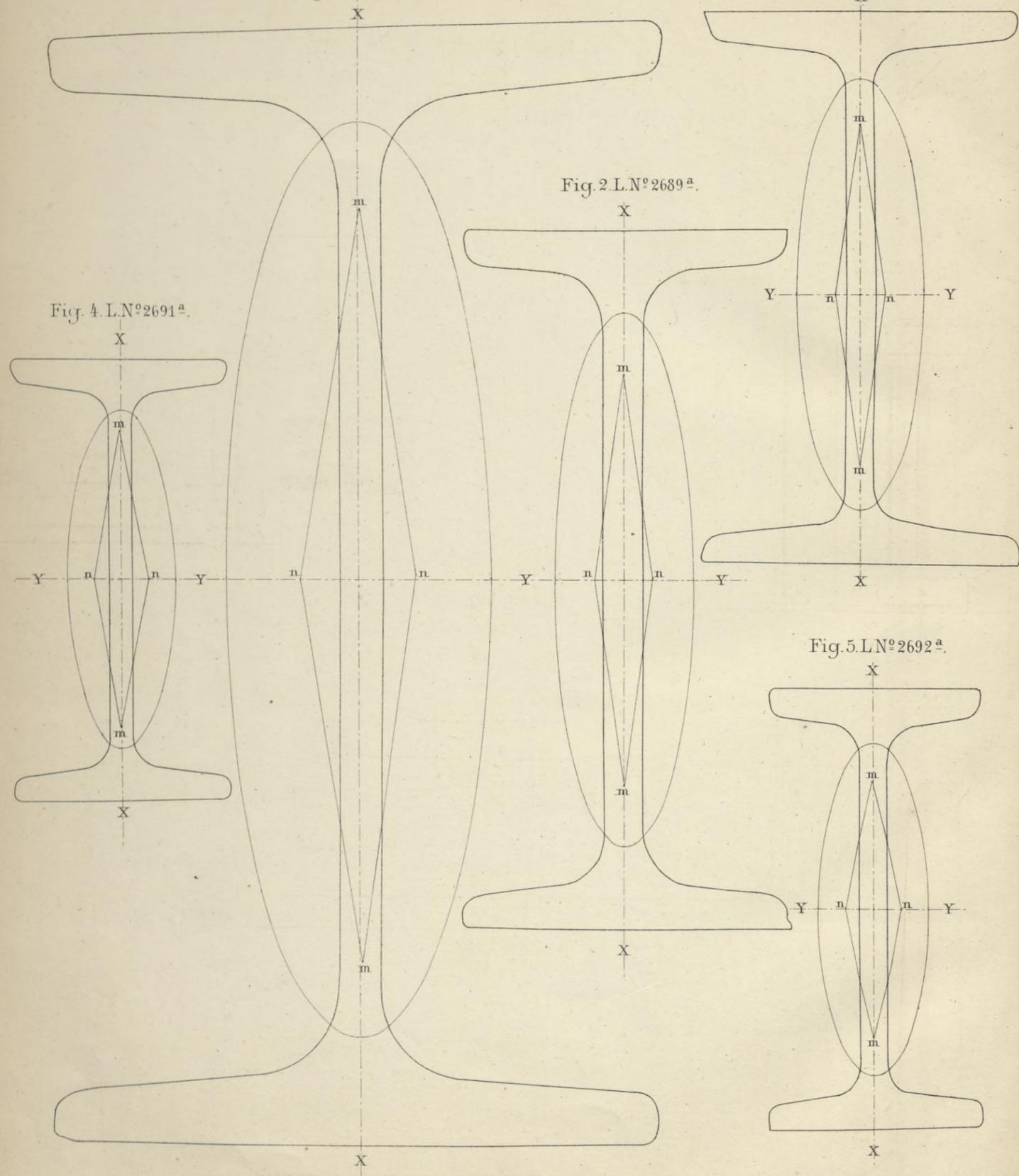


Fig. 21: Probestück 2694^c Maafs 1:10.

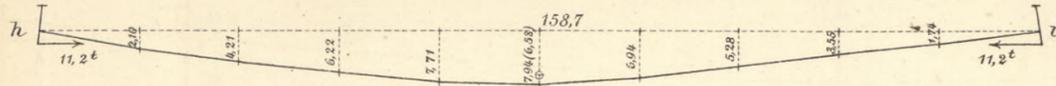


Fig. 22: Probestück 2698^d Maafs 1:10.

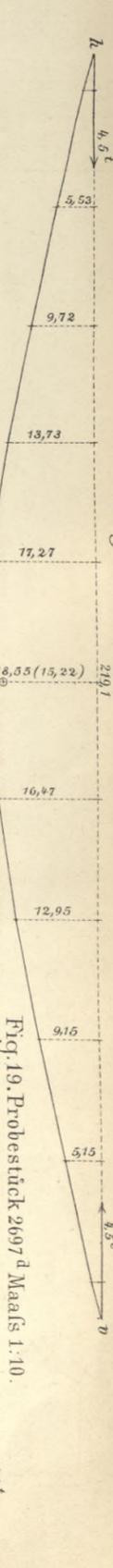
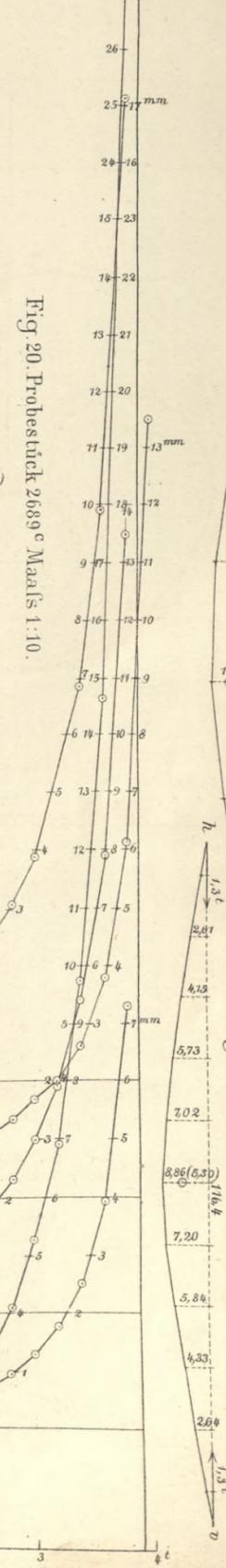
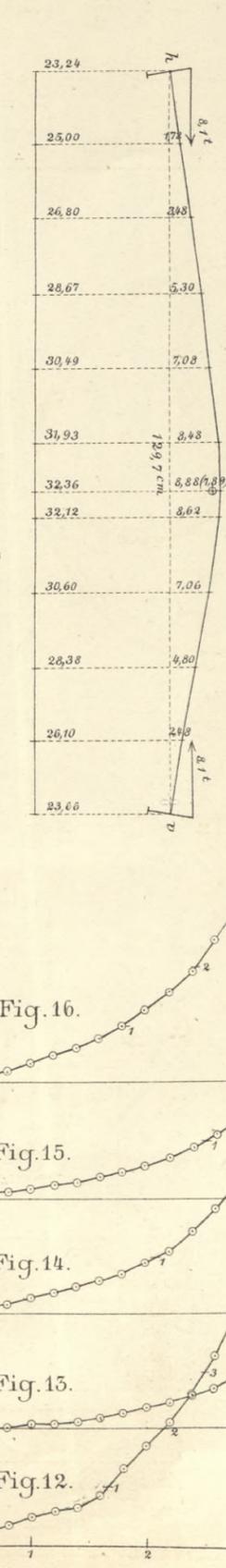
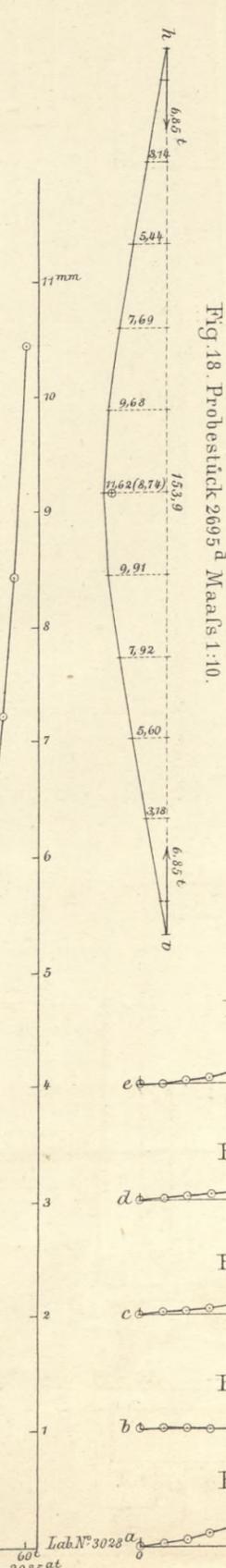
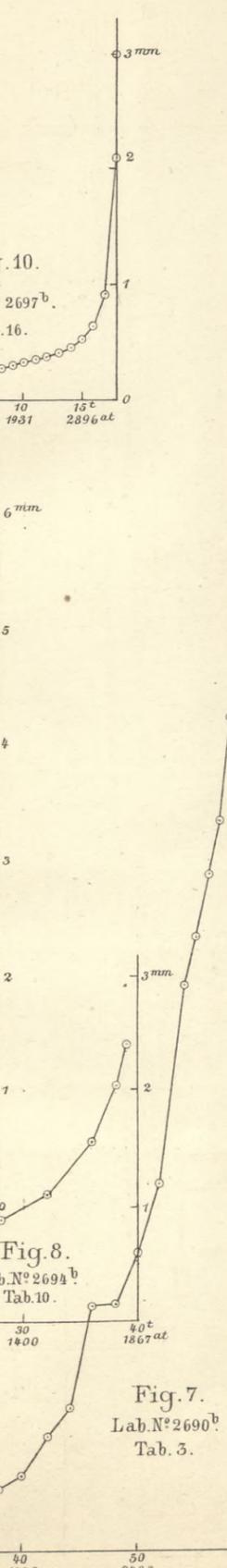
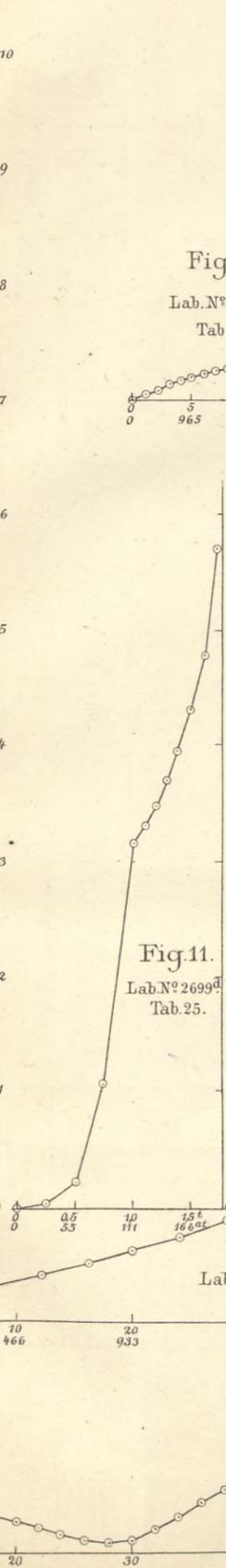
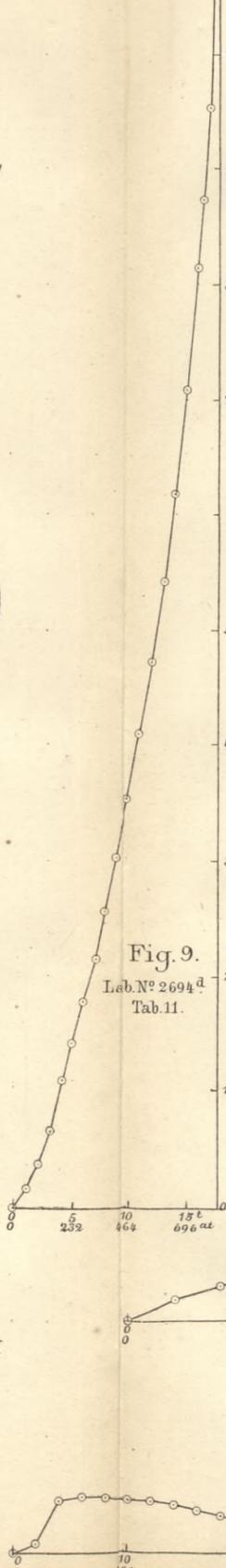
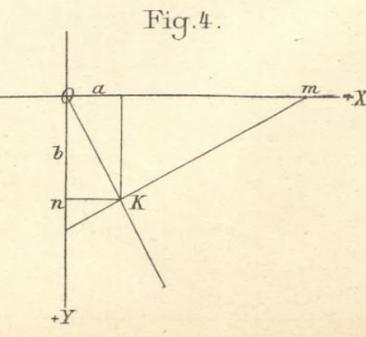
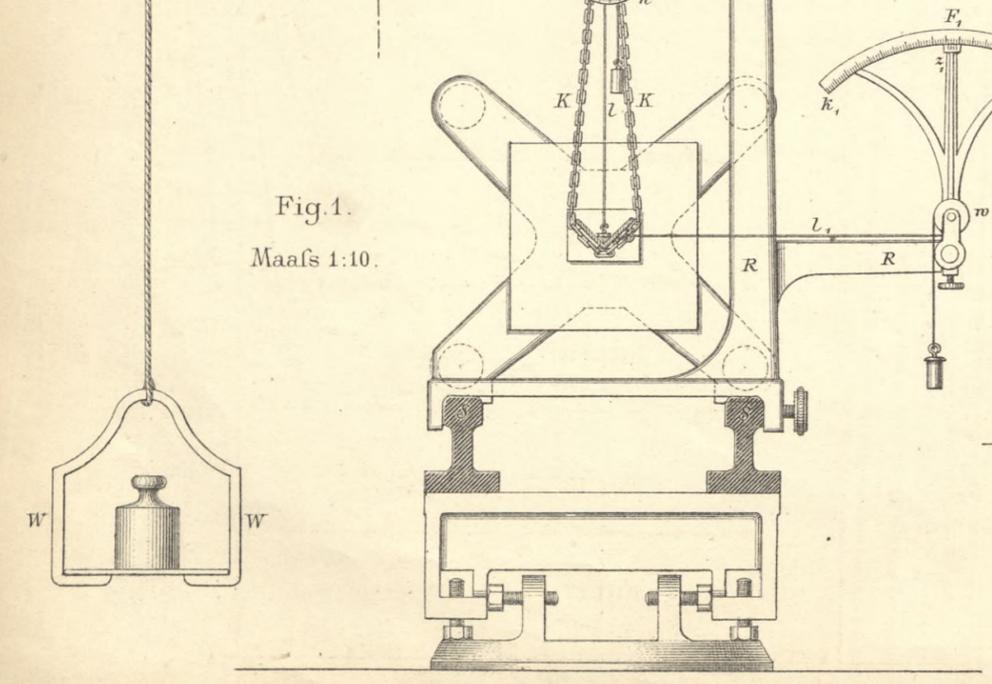
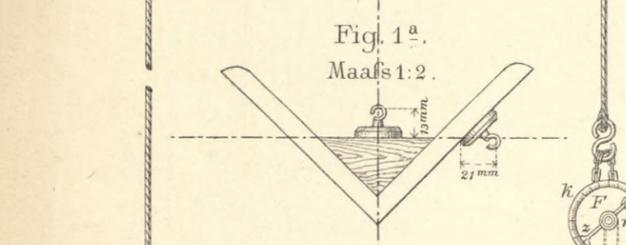
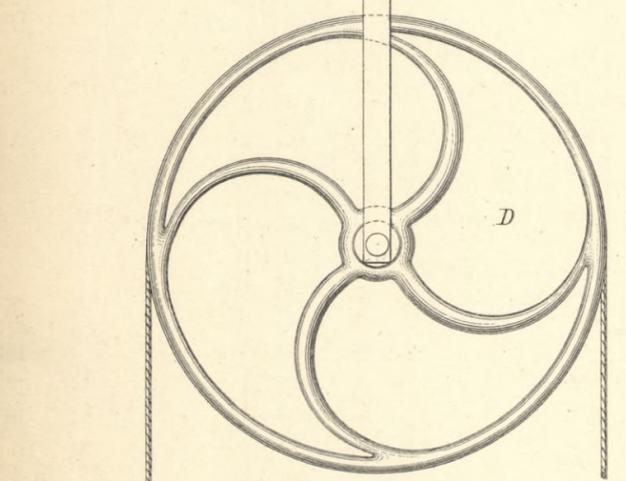
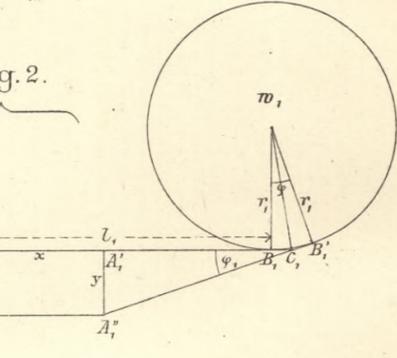
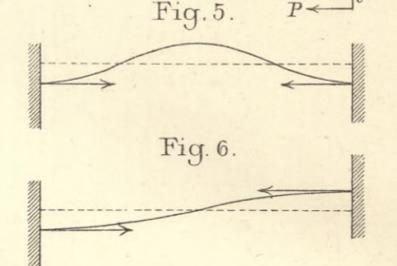
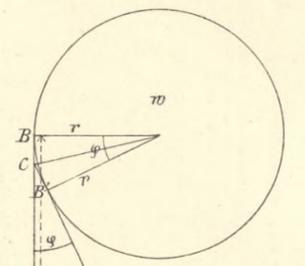
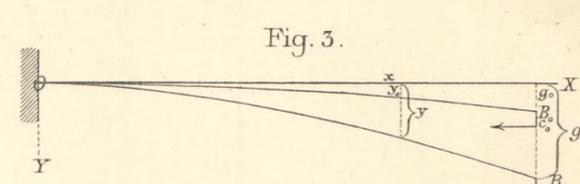
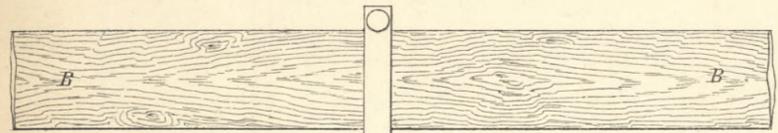
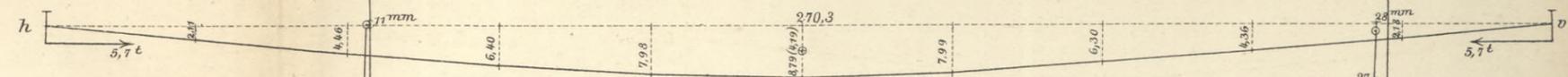


Fig. 18: Probestück 2695^d Maafs 1:10.

Displacement (mm)	Force (at)
0	0
10	9.68
20	19.36
30	29.04
40	38.72
50	48.40
60	58.08
70	67.76
80	77.44
90	87.12
100	96.80

Fig. 20: Probestück 2689^c Maafs 1:10.

Displacement (mm)	Force (at)
0	0
10	2.50
20	5.00
30	7.50
40	10.00
50	12.50
60	15.00
70	17.50
80	20.00
90	22.50
100	25.00

Fig. 19: Probestück 2697^d Maafs 1:10.

Displacement (mm)	Force (at)
0	0
10	2.68
20	5.36
30	8.04
40	10.72
50	13.40
60	16.08
70	18.76
80	21.44
90	24.12
100	26.80

