



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315046

J. X. 47/1891



# MITTHEILUNGEN

AUS DEM

# MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

**K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE**

IN

**MÜNCHEN**

VON

**J. BAUSCHINGER**

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.

ZWANZIGSTES HEFT,

ENTHALTEND:

MITTHEILUNG XXIV: EINFLUSS DER ZEIT BEI ZERREISSVERSUCHEN MIT VERSCHIEDENEN METALLEN.  
MIT 11 TABELLEN UND 18 BLÄTTERN ABBILDUNGEN.

*J. Nr. 18387*



**MÜNCHEN**

**THEODOR ACKERMANN**

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHÄNDLER

1891.

*VIII D.*

*208.*

1921.11.13

15.11.19



J.X.47/1891



nr inv. 1858

### **Einfluss der Zeit bei Zerreiß-Versuchen mit verschiedenen Metallen.**

§ 1. Der Einfluss der Zeit macht sich bei Körpern, welche eine Elasticitätsgrenze haben, nach Ueberschreiten derselben und bei Körpern ohne eine solche schon von Anfang an zunächst dadurch bemerklich, dass die Gestaltsveränderung, bei Zerreißversuchen also die Dehnung, auch bei constant erhaltener Belastung fortwächst, oder dass, wie ich kurz sagen will, eine Nachstreckung (elastische Nachwirkung) erfolgt. Natürlich erreicht diese Nach- und damit die gesammte Streckung bei Belastungen unterhalb derjenigen grössten, welche das Probestück zu tragen vermag, eine bestimmte Grenze und zwar bei geringeren Belastungen in kürzerer, bei höheren, der Maximalbelastung näher kommenden, erst in längerer Zeit. Daraus scheint nun unmittelbar zu folgen, dass das Arbeitsdiagramm, so will ich kurz die Curve nennen, deren Abscissen die Dehnungen und deren Ordinaten die Belastungen darstellen, welche jene erzeugen, bei langsam erfolgter Dehnung näher an der Abscissen-Axe liegen muss, als bei rasch verlaufender; und wenn, wie von vornherein wahrscheinlich, angenommen wird, dass Probestücke von gleichem Material und gleicher Gestalt und Grösse zerreißen, wenn sie die gleiche Dehnung erfahren haben, so folgt daraus wieder, dass die Maximalbelastung, welche bei langsamer Dehnung erreicht wird, kleiner sein muss, als diejenige, welche bei rasch verlaufender erhalten werden kann.

Diese Folgerungen werden bestätigt durch die Arbeitsdiagramme, welche Hugo Fischer\*) für Zinndrähte von 1,6 mm Dicke und 55—61 mm Länge mittelst des Reusch'schen Festigkeitsmessers erhalten hat, und welche am a. O. in Fig. 9 auf Taf. 28 abgebildet sind. Die mittleren Geschwindigkeiten, mit welchen die Dehnungen bei den 7 aufgenommenen Diagrammen bis zur Erreichung des Culminationspunktes derselben erfolgten, waren 5,20 — 2,24 — 1,11 — 0,445 — 0,203 — 0,070 und 0,012 mm pro Sekunde, oder, die Länge der Drähte zu rund 60 mm angenommen, gleich 520 — 224 — 111 — 44,5 — 20,3 — 7,0

\*) Ueber Deutung und Genauigkeit von Festigkeits-Diagrammen. Dingler's polytechnisches Journal, 1884, Bd. 251 S. 337 ff.

und 1,2 Procente der ursprünglichen Länge pro Minute. Die erreichten Maximalbelastungen waren 2700 gr bei der kleinsten und 5100 gr, also fast doppelt so gross, bei der grössten, ohngefähr 450 fachen Geschwindigkeit.

Aehnliche Resultate hat Martens bei seinen „Festigkeits-Untersuchungen mit Zinkblechen“\*) erhalten und ich fand seine Wahrnehmungen bei Versuchen, die ich im vorigen Jahre mit dem gleichen Material anzustellen hatte, bestätigt. Ich habe in Folge dessen bei diesen Versuchen dem Einflusse der Zeit dadurch Rechnung getragen, dass ich den Probestreifen durchweg gleiche Grösse und Gestalt gab und in gleichen Zeitintervallen von je einer Minute die Belastung in gleichen Intervallen, um je 10 kg, erhöhte.

Als hieher gehörig und charakteristisch mögen hier sogleich folgende, kürzlich dahier angestellte Versuche mit drei Lamellen aus Bleiblech angeführt werden, deren Querschnitt  $2,15 \times 0,40$  cm und deren Gebrauchslänge 20 cm betrug. Bei der ersten wurden zunächst 50 kg Belastung aufgebracht, nach 1 Minute weitere 50 kg, nach wieder einer Minute weitere 10 kg, dann wieder nach einer Minute 10 kg, hierauf wieder nach einer Minute 5 kg, nach einer halben Minute noch weitere 2 kg, mit denen, nach einer weiteren halben Minute, also im Ganzen bei 127 kg, der Bruch nach einer Gesamtdauer von 5 Minuten erfolgte. Die Dehnung nach dem Bruch betrug 5,80 cm auf ursprünglich 20 cm oder 29,0 %. — Bei der zweiten Lamelle wurden anfangs 10 kg und dann nach je einer Minute weitere 10 kg aufgelegt, bis 80 kg. Von da ab wurden, bis zum Bruche, nach jeder Minute nur noch 5 kg, zugelegt. Der Bruch erfolgte mit 115 kg Belastung nach einer Gesamtdauer von 15 Minuten; Bruchdehnung 28,5 %. — Die dritte Lamelle endlich wurde um 6<sup>h</sup> abends eingespannt und dann von Minute zu Minute mit je 10 kg belastet, bis zu 80 kg. Unter dieser Belastung blieb sie über Nacht stehen; um 8<sup>h</sup> 30' morgens wurde sie so stark gestreckt gefunden, dass der Belastungshebel zum Aufliegen gekommen war. Beim langsamen Heben desselben

\*) Mittheilungen aus den kgl. techn. Versuchsanstalten zu Berlin, 1889, Ergänzungsheft IV.

fand ein starkes Nachstrecken und endlich der Bruch nach wieder erreichter Belastung von 80 kg statt. Bruchdehnung 27,0 %.

§ 2. Im Gegensatze hiezu habe ich schon im April 1879 in einem kurzen Aufsätze in Glaser's „Annalen für Gewerbe und Bauwesen“\*) nachgewiesen, „dass bei Bestimmung der Festigkeit von Probestäben aus Eisen und Stahl für praktische Zwecke von dem Einflusse der Dauer der Belastung abgesehen werden kann, wenn nur, wie selbstverständlich, bei dieser Bestimmung nach Auflage jedes neuen Mehrgewichtes so lange ausgehalten wird, bis der Wagebalken der Prüfungsmaschine oder die Blase der Libelle an demselben ruhig und fest oder doch nahezu fest geworden ist.“ Da dieser Aufsatz damals und bis heute wenig beachtet worden ist, so erlaube ich mir, ihn hier seinem Hauptinhalte nach wiederzugeben.

Es waren um jene Zeit, wahrscheinlich in Folge von Ueberlegungen, wie sie am Eingange des vorigen Paragraphen angestellt worden sind, von einigen Eisenbahnverwaltungen Lieferungsbedingungen ausgegeben worden, in welche jenem Einfluss dadurch Rechnung getragen werden wollte, dass man vorschrieb, eine Belastung von so und so viel Kilogrammen per Quadratmillimeter sollte so und so viel Minuten lang getragen werden, ohne dass während dieser Zeit eine weitere Dehnung stattfände. Diese letztere Bedingung war nun, strenge genommen, freilich sehr schwer zu controliren, denn in der Nähe der Bruchbelastung dauert das Nachstrecken des Probestabes sehr lange, um so länger, je feiner die Messinstrumente sind, mit denen es beobachtet wird; aber praktisch war die Prüfung doch ausführbar: Wenn nämlich nach Auflage einer gewissen Belastung auf die Wagschale der Prüfungsmaschine, der Werder'schen z. B., der Wagbalken nach einiger Zeit eine feste Stellung annimmt und dadurch zu erkennen gibt, dass eine, auf solche Weise bemerkbare, weitere Dehnung nicht mehr stattfindet, und es würde gleichwohl nach noch längerem Zuwarten der Bruch erfolgen, so darf man überzeugt sein, dass eine zuvor aufgelegte Mehrbelastung von etwa 0,5 kg pro qmm den Bruch sofort herbeiführt, ohne dass der Wagbalken wieder zum Einspielen gebracht werden kann. Nimmt man dann das Mittel aus dieser und der vorhergehenden Belastung als Bruchbelastung, so begeht man höchstens einen Fehler von 0,25 kg pro qmm, der, gegenüber den zufälligen Verschiedenheiten in einem und demselben Stück desselben Materials, von keiner praktischen Bedeutung ist.

Auf diese Weise war auf die oben angeführte Lieferungsbedingung immerhin noch leicht und sicher zu prüfen,

\*) Band IV, Januar—Juli 1879, S. 269: „Ueber den Einfluss der Dauer der Belastung auf die Festigkeit von Probestäben aus Eisen oder Stahl.“

um so leichter, als, strenge genommen, nur bei einer bestimmten Belastung eine gewisse Zeit, z. B. 10 Minuten, gewartet zu werden brauchte. Aber ganz anders gestaltete sich die Versuchsausführung, wenn später so definiert wurde: „Die Festigkeit wird bestimmt durch die grösste ruhende Belastung in Kilogrammen, welche der Stab pro Quadratmillimeter seines ursprünglichen Querschnittes vor dem Zerreißen mindestens 10 Minuten lang getragen hat“, und wenn hiernach die Festigkeit eines Probestabes gefunden werden sollte. Es musste dann, wenigstens von einer gewissen Belastung ab, bei jeder Mehrbelastung 10 Minuten gewartet werden, ob der Bruch erfolgen würde oder nicht, und das konnte unter Umständen, und wenn man das Resultat genau haben wollte, also in kleinen Belastungsintervallen vorgehen musste, sehr lange Zeit in Anspruch nehmen.

Dem gegenüber verwies ich zunächst auf Versuche, die ich schon zwei Jahre vorher angestellt und mit anderen im 224. Bande von Dingler's polyt. Journal (1877) S. 6 und 7 veröffentlicht hatte, und welche das oben angegebene Verfahren zur Bestimmung der Zugfestigkeit rechtfertigten.

Zur weiteren Begründung desselben führte ich dann noch folgende, eigens zu diesem Zwecke angestellte Versuche an, zu welchen ich 4 Paar Probestäbe, welche aus Achsen kalt herausgeschnitten worden waren, die beiden Stäbe jedes Paares aus einer und derselben Achse, benützte. Ihre Länge betrug (mit den konischen Köpfen) 40 cm, ihr Durchmesser 2,52 cm, ihr Querschnitt also sehr nahezu 5 qcm. Sie seien mit den Nummern 1, 2, 3, 4 bezeichnet und die beiden Stäbe eines Paares durch Hinzufügen der Buchstaben a und b unterschieden.

Zuerst wurden die vier Stäbe a auf die oben angegebene Methode geprüft, also nach Zulage eines neuen Gewichtes stets nur so lange gewartet, bis der Wagbalken fest oder nahezu fest geworden war. Es ergaben sich die Zugfestigkeiten

bei Nr. 1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
zu 5480	5320	4890	5150 kg pro qcm.

Die gesammte Dauer der Versuche betrug dabei bezw. 12, 11, 12 und 13 Minuten.

Beim Stab 1<sup>b</sup> wurde von 20 t Belastung (4000 kg pro qcm) an immer eine halbe Tonne neuzugelegt und dabei allemal 5 Minuten lang gewartet. Auf diese Weise wurden 28 t erreicht und ruhig 5 Minuten lang gehalten, bei 28,5 t Belastung aber wurde die Wage nicht mehr ruhig und ca. 4 Minuten nach Auflage der letzten halben Tonne erfolgte der Bruch. Zugfestigkeit also zwischen 5600 und 5700 kg pro qcm. Gesamtdauer des Versuchs 1 Stunde und 27 Minuten.

Beim Stab 2<sup>b</sup> wurde von 20 t an zuerst eine halbe

Tonne zugelegt und 5 Minuten gewartet, dann eine weitere halbe und 10 Minuten gewartet, bei der nächsten halben Tonne wurde wieder nur 5 Minuten, bei der folgenden aber dann 10 Minuten ausgehalten u. s. w. f. So wurden 28 t erreicht und 10 Minuten lang gut gehalten, 26,5 t ebenso 5 Minuten lang, aber 4 Minuten nach Auflage der nächsten halben Tonne erfolgte der Bruch. Zugfestigkeit also nicht ganz 5400 kg pro qcm. Dauer des ganzen Versuchs 1 Stunde und 42 Minuten.

Bei dem Stabe 3<sup>b</sup> wurde von 20 t an nach Auflage jeder neuen halben Tonne 15 Minuten lang gewartet. Auf diese Weise wurden 24 t erreicht und 15 Minuten lang gut gehalten, aber bei 24,5 t = 4900 kg pro qcm kommt die Wage nicht mehr ganz zur Ruhe und erfolgt der Bruch nach 13 Minuten. Gesamtdauer des Versuchs 2 Stunden und 18 Minuten.

Beim Stabe 4<sup>b</sup> endlich wurde von 20 t an auch wieder mit halben Tonnen vorgegangen und nach Zulage der ersten halben Tonne 15 Minuten, bei der zweiten halben Tonne aber 30 Minuten, nach der dritten wieder 15 Minuten, nach Zulage der vierten alsdann 30 Minuten u. s. w. ausgehalten. Bei 26 t = 5200 kg pro qcm wird die Wage nicht mehr ganz ruhig und erfolgt 12 Minuten nach Auflage der letzten halben Tonne der Bruch. Der Versuch dauerte im Ganzen 4 Stunden und 17 Minuten.

Wie man sieht, ist die Zugfestigkeit der Stäbe b fast genau so gross, wie die der Stäbe a.

Ueber die oben schon erwähnten, im 224. Bande des Dingler'schen Journals veröffentlichten Versuche mit Rundstäben aus einer und derselben Bessemerstahlstange habe ich später (1886) in der 15. meiner „Mitteilungen“ (Heft XIII) nochmals berichtet (S. 3—9 und Tab. V Nr. 1—19) und die Resultate derselben zum Theil auf Blatt I auch graphisch dargestellt. Diese Darstellung zeigt, wie die Arbeitsdiagramme zweier Stäbe d und e, von denen der erste so geprüft wurde, dass man die Belastung von Minute zu Minute erhöhte, während beim zweiten die jeweiligen Belastungen auch 6 bis 9 Minuten lang währten, fast genau nebeneinander herlaufen. Grössere Abweichungen zeigt das Arbeitsdiagramm des 3. Stabes (a), wo die betreffenden Belastungen längere Zeit, bis zu 34 Minuten, anhielten, oder wo zwischen einer gewissen Belastung und Null öfter, bis zu 23 mal innerhalb 82 Minuten, gewechselt wurde, oder wo der Stab längere Zeit, bis zu 46 Stunden, entlastet blieb. Doch sind auch hier, wenn man den grossen Maassstab berücksichtigt, in dem die Darstellung gezeichnet ist, die Abweichungen nicht sehr gross und zuletzt laufen alle Diagramme genau wieder in eine Linie zusammen, obwohl der ganze Versuch bis dahin beim Stab d nur 9, beim Stab e 85 Minuten und beim Stab a circa 52 Stunden gedauert hatte.

§ 3. Die Frage über den Einfluss der Zeit bei Zerreißversuchen mit verschiedenen Metallen war also noch eine offene und wurde daher mit Recht auf der ersten Konferenz zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden für Bau- und Constructionsmaterialien (München 1884) auf das Arbeitsprogramm dieser Konferenz und ihrer ständigen Commission gesetzt.

Auf der Dresdener Konferenz (1886) berichtete darüber Hartig ungefähr wie folgt: Vor einiger Zeit habe Fischer eine sehr schöne Versuchsreihe mit Zinn (die oben bereits erwähnte) ausgeführt, bei welcher sich ganz auffallend zeigte, dass der Widerstand gegen das Zerreißen beträchtlich zunahm, wenn die Geschwindigkeit der Belastung gesteigert wurde. Er selbst habe mit organischen Materialien, wie mit Leder, Versuche gemacht, bei denen sich zeigte, dass auch die Bruchdehnung mit der Geschwindigkeit der Belastung zunehme. Doch könne er genauere, positive Resultate noch nicht mittheilen. Er habe sich in der letzten Zeit mit der Construction eines Apparates beschäftigt, der den Zweck habe, den Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Versuche und der Geschwindigkeit der Belastung erkennen zu können und der nun zu seiner Befriedigung funktionire. Derselbe bestehe aus dem Reusch'schen selbstregistrirenden Zerreißapparate und aus einem, diesen Apparat in Gang setzenden Wassermotor, der von der Wasserleitung betrieben werde. Zwischen diesem und der Zerreißmaschine sei eine Reihe von Stufen-Schnurscheiben von verschiedener Grösse angeordnet, sodass eine Anzahl von Belastungsgeschwindigkeiten hervorgebracht werden könne und man auf diese Weise im Stande sei, alle zufälligen Einflüsse, wie sie durch das Eingreifen unserer Hände entstehen, und alle Unregelmässigkeiten in der Geschwindigkeit der Belastung zu beseitigen. — Mit einem solchen Apparat, bei welchem zwar nicht die Geschwindigkeit der Dehnung des Probestückes oder die Geschwindigkeit der Belastungszunahme, aber die Summe beider constant auf beliebiger Höhe erhalten werden konnte, hat Conner t\*) eine grosse Anzahl (215) Versuche mit ausgeglühten und im Wasser abgelöschten Kupferdrähten von nahezu gleicher Dicke angestellt. Bei denselben war jene Gesamtgeschwindigkeit so verschieden, dass die Dauer des raschesten Versuches 4,9 Secunden, die des langsamsten 10700 Secunden betrug. Dabei ergab sich die mittlere Reisslänge bei den langsamsten Versuchen zu 2,794 km und die mittlere Bruchdehnung zu 28,440%, während man bei dem raschesten 3,035 km und bezw. 30,730% erhielt, Unterschiede, die jedoch nur aus dem Verlauf der betr. Zahlenreihen im Ganzen erkannt werden können; im Einzelnen ergeben

\*) „Civilingenieur“ XXXIV. Bd. S. 585 ff.

sich in Folge der Ungleichheiten im Material grössere Unterschiede im entgegengesetzten Sinne: So z. B. gaben zwei Versuche mit der Dauer 10,5 und 9,3 Secunden Reisslängen von 3,00 bezw. 2,81 *km* und Bruchdehnungen von 29,94 bezw. 23,98%.

Im Anschlusse an Hartig's Bericht theilte Martens auf der Dresdener Conferenz mit, dass er vor einigen Monaten bei Herrn Direktor Pohlmeier in Dortmund war, der seine Maschine mit einem neuen Diagramm-Apparat versehen habe, und zwar in der Art, dass man während eines Versuches die Geschwindigkeit ändern könne. Eine solche Geschwindigkeitsänderung habe sich deutlich im Diagramme ausgesprochen, und er habe die Aenderung der Ordinate im Diagramme (der Kraft) auf ca 3,3% geschätzt; doch sei ihm die Geschwindigkeit nicht bekannt gewesen. — Bei seinem eigenen Zerreißapparate habe er die Einrichtung getroffen, Diagramme mit dem Diamant auf Glas zu zeichnen, (vgl. die oben schon citirte Arbeit von Martens über Zinkbleche), bei denen sich herausgestellt habe, dass man bei Zink und allen weichen Materialien die Kraftäusserung gegen Zerreißen durch die Geschwindigkeit bis über ein Drittheil ändern (steigern) kann. Er habe allerdings auch noch keine bestimmten Messungen gemacht, glaube aber, dass man mit diesem Apparate auch im Stande sei, den Einfluss der Geschwindigkeit zu studiren.

Auf der Berliner Conferenz im Herbst 1890 berichtete Martens über die vorliegende Frage. Er führte zunächst die in den „Vorschriften für Lieferung von Eisen und Stahl, aufgestellt vom Vereine deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf 1889“ unter B. 2 „Bauwerk-Flusseisen“ S. 27 enthaltene Stelle an: „Die Mindestbeträge der Zerreißfestigkeit sind so zu verstehen, dass die Versuchsstücke die angegebenen Belastungen für die Dauer von zwei Minuten tragen müssen“; begnügte sich aber nicht damit, sondern forderte, dass auch über die Art der voraufgehenden Versuchsausführung genaue Vorschriften zu machen seien. Es sei möglich, dass von zwei ganz gleichen Proben, von denen die eine sehr langsam, etwa mit einer Fliessgeschwindigkeit von  $\frac{1}{10}$ % in der Minute, die andere aber vielleicht mit 3% geprüft worden sei, die erstere die Maximallast oder selbst eine voraufgehende niedrigere nicht zwei Minuten tragen, während die andere die gleiche Last länger zu tragen im Stande sei. Er bezeichnet es als wünschenswerth, einheitliche Geschwindigkeiten für alle diejenigen Versuche einzuführen, deren Zweck die zuverlässige Feststellung der Material-Eigenschaften sei, und schlug vor, als Geschwindigkeit, mit welcher die Dehnung nach Ueberschreiten der Streckgrenze vollzogen werden solle, für härtere verhältnissmässig wenig dehnbare Materialien, wie für Stahl und Eisen, 1% der ursprünglichen Länge

pro Minute, für weichere Materialien, wie für Kupfer, aber 2% festzusetzen; die erstere Geschwindigkeit sei in der Charlottenburger Versuchsanstalt schon seit dem Jahre 1885 und auch in dem von Kirsch geleiteten Wiener Laboratorium gebräuchlich. Im Verlaufe der daran sich knüpfenden Discussion wurde die Geschwindigkeit von 1% unter Umständen, bei weichem Flusseisen, noch als zu klein bezeichnet und dann überhaupt die Bestimmung der Geschwindigkeit für Stahl und Eisen der Subcommission zugewiesen, welche die Aufgabe hat, die Art und Weise festzustellen, durch welche der Einfluss der Zeit auf die Festigkeitsversuche zu berücksichtigen ist. Für Kupfer wurde später unter [die Vorschriften] für die Prüfung desselben die Geschwindigkeit von 2% aufgenommen.

§ 4. Bei meinen, in jüngster Zeit durchgeführten experimentellen Arbeiten über den Einfluss der Zeit auf die Zerreißversuche verschiedener Metalle, über welche ich nun ausführlicher berichten will, bediente ich mich wieder ausschliesslich der Werder'schen Prüfungsmaschine. Dieselbe ist bekanntlich ursprünglich nicht mit einem selbstzeichnenden Diagramm-Apparat versehen, und es ist mir auch nicht bekannt, dass von anderer Seite ein solcher nachträglich construirt und an ihr angebracht worden wäre. Ich selbst habe mich bisher vergeblich bemüht, einen solchen zu erfinden, der meinen Ansprüchen auf Genauigkeit und Grösse der Diagramme genüge. Auch ist für die hier in Rede stehenden Versuche die Aufnahme des Arbeitsdiagrammes allein nicht ausreichend. Es muss entweder, wie Hartig verlangt, auch noch eine Vorrichtung angebracht werden, welche es ermöglicht, die Geschwindigkeit der Dehnung so zu reguliren, dass sie in verschiedenen Grössen hervorgebracht und in jeder derselben constant erhalten werden kann, oder es muss diese Geschwindigkeit in jedem Augenblick gemessen werden können, am einfachsten durch Aufnahme eines, wie ich es kurz nennen will, Dehnungs-Diagramms, in welchem die Abscissen die Zeit und die Ordinaten die Dehnungen sind. Aus diesem und dem Arbeitsdiagramm könnte dann ein drittes, das ich kurz Kraftdiagramm nennen will, gezeichnet werden, in dem die Abscissen wieder die Zeit und die Ordinaten die dehnende Kraft darstellen. Praktisch leichter ausführbar wäre es jedoch, das Dehnungs- und das Kraftdiagramm direkt zeichnen zu lassen, durch zwei Stifte, die auf der Mantelfläche eines, durch ein Uhrwerk gleichmässig sich drehenden Cylinders schreiben und parallel zur Cylinderaxe, der eine proportional mit der Dehnung, der andere proportional mit der hiefür aufgewendeten Kraft, bewegt würden; aus ihnen könnte dann das Arbeitsdiagramm construirt werden. Aber so einfach das Prinzip dieses Apparates ist, so ist es mir, wie schon gesagt, doch

bis jetzt nicht gelungen, ihn so herzustellen, dass meine Anforderungen bezüglich Grösse und Genauigkeit der Diagramme, namentlich in Bezug auf Beseitigung todter Gänge, vollständig befriedigt worden wären.

Es blieb mir daher nichts übrig, als die Diagramme punktweise aufzunehmen, d. h. in aufeinanderfolgenden Momenten, die auf einer Secunden-Uhr (eine Taschenuhr mit grossem springendem Secundenzeiger) abgelesen wurden, die eben stattfindende Kraft und die durch sie hervorgebrachte Dehnung, erstere an der Wage der Werdermaschine, letztere mittelst eines Dehnungsmessers, zu messen. Je drei solche zusammengehörige Zahlen: Zeit, Kraft, Dehnung geben, paarweise zusammengenommen, je einen Punkt in den drei genannten Diagrammen. Denkt man sich dieselben in die 3 Coordinaten-Ebenen eines rechtwinkligen Coordinatensystems im Raume gezeichnet, so stellen sie die Projektionen einer Raum-Curve vor, deren Verlauf durch die 3 Coordinaten: Zeit, Kraft und Dehnung bestimmt wird.

Freilich ist bei dieser Beobachtungsweise ein grosser Aufwand, einerseits an Personal (es waren in der Regel 4, nur manchmal auch bloss 3 Personen während eines Versuches beschäftigt), andererseits an Mühe und Zeit für das Aufzeichnen der Diagramme, erforderlich; aber ich glaubte ihn nicht scheuen zu sollen, um auch meinerseits einen Theil zur Lösung der praktisch und wissenschaftlich so überaus interessanten Frage beizutragen, um so weniger, als die auf solche Weise gewonnenen Diagramme in dieser Grösse und Genauigkeit meines Wissens bisher noch nicht erhalten worden sind. Auch schien es mir wünschenswerth, die Versuche mit grösseren Probestücken, wie sie in der Praxis des Prüfungswesens vorkommen, anzustellen, wobei dann allerdings die Grenzen für die Geschwindigkeit der Versuchsausführung eingeschränkt werden mussten, eben auch auf diejenigen, wie sie äussersten Falles in der Praxis vorkommen können und werden.

§ 5. Meine Probestücke hatten durchweg die Gestalt von Flachstäben (Lamellen), womöglich von Normal-Gestalt, d. h. ca. 3 cm Breite und 20 cm Gebrauchslänge, so dass also der prismatische Theil je einen Centimeter beiderseits über jene 20 cm hinausreichte und dann die Hohlkehle für den Uebergang zum Kopf begann, der in der Regel 2 cm breiter war. Die ursprüngliche Einspannvorrichtung der Werder-Maschine für solche Probestücke ist bekanntlich ziemlich mangelhaft. Die Köpfe mit den Mäulern können sich zwar um vertikale Bolzen im horizontalen Sinne ziemlich leicht drehen und richten, aber im vertikalen Sinne ist das Richten nur in Folge der Spielräume der rückwärtigen Verlängerungen der Köpfe in den Gabeln und unter Ueberwinden des ziemlich bedeutenden Gewichtes der ersteren möglich, welches

Gewicht übrigens auch das Richten im horizontalen Sinne ziemlich erschwert. Für gewöhnliche Zerreißversuche ist nun allerdings die Vorrichtung gut genug, aber für Versuche, bei denen genauere Messungen der Dehnungen angestellt werden sollen, genügte sie mir von jeher nicht ganz; es gelang mir jedoch erst in der letzten Zeit, als ich an die hier zu besprechenden Versuche ging, sie so umzugestalten, dass sie auch solchen höheren Anforderungen entspricht.

Diese Umgestaltung besteht einfach darin, dass ich die Köpfe mit den Gabeln um  $90^\circ$  drehte, so dass die Mäuler der Köpfe vertikal zu stehen und die Bolzen horizontal zu liegen kamen (s. Fig. 1 und 2 auf Blatt I). Dann aber mussten natürlich die Köpfe unterstützt oder aufgehängt werden, und um ihnen eine möglichst freie Beweglichkeit nach allen Richtungen hin zu gestatten, hängte ich sie in ihren Schwerpunkten mittelst gegliederter Drähte an nachgiebigen Blattfedern auf. Zu dem Zwecke wurden die Köpfe K und K' mit einem vertikalen, durch ihren Schwerpunkt gehenden Loche durchbohrt, dessen Durchmesser von unten bis zum Schwerpunkt herauf etwas grösser ist als die Weite des über dem Schwerpunkt gelegenen Theiles. Der Uebergang beider Lochhälften ist kugelschalig gestaltet und auspoliert und in ihn passt die gleichfalls polierte kleine Stahlkugel am unteren Ende des gegliederten Aufhängedrahtes. Derselbe ist oben mittelst Regulir-Muttern an Blattfedern aufgehängt, die am anderen Ende auf Bolzen befestigt sind, welche in die Gabeln G, G' eingeschraubt wurden. Um die gefrästen Keile, die das Probestück festhalten, gleich anfangs, beim Einspannen des letzteren, in richtige Lage zu bringen und darin zu erhalten, werden einfach T förmig gebogene Blechstreifen mit ihrem Fusse unter die oberen Verbindungsschrauben der Keile geschoben, so dass sie mit ihren Armen zu beiden Seiten der Mäuler auf den oberen ebenen Flächen der Köpfe aufliegen (vgl. Fig. 2).

Diese Vorrichtung für das Aufhängen der Köpfe scheint gegenüber den starken Schlägen, wie sie beim Abreißen von grösseren Querschnitten vorkommen, etwas zart zu sein, aber sie hat sich auch in dieser Beziehung vollkommen bewährt. Es ist mir nach monatelangem starken Gebrauch derselben noch nicht ein einziges mal vorgekommen, dass etwas daran gebrochen wäre.

§ 6. Zur Messung der grösseren Dehnungen, wie sie nach Ueberschreiten der Streckgrenze und überhaupt bei der Diagramm-Aufnahme vorkommen, bediente ich mich des schon in früheren Arbeiten wiederholt erwähnten Kreiszeigerapparates, der nun in seiner gegenwärtigen, vervollkommenen Gestalt näher beschrieben werden soll. Er ist auf Blatt I in den Figuren 3 bis 5 so abgebildet, wie er an einem Flachstab anzubringen ist, kann aber

natürlich durch Ersetzen der geraden Schneiden durch concav gekrümmte auch für Rundstäbe verwendet werden. Zwei Bügel A und B sind mittelst federnder Klemmschrauben und je zweier Stahlprismen an das Probestück festgeklemmt, so, dass die Entfernung der sich gegenüberstehenden Schneiden an den Prismen des einen Bügels von denen am andern gleich der Länge (kurz: Messlänge) ist, auf welche die Dehnung gemessen werden soll, bei meinen Versuchen fast immer 15 cm. Um die Bügel gegen eine Drehung um eine vertikale Axe, wie sie bei geringer Dicke des Versuchsstückes und also bei geringer Entfernung der Schneiden an ihnen leicht vorkommen könnte, zu sichern, sind an den Traversen a, b, welche die Federn der Klemmschrauben verbinden und die Prismen tragen, zu beiden Seiten der letzteren Stifte angebracht, welche ein klein wenig weniger weit als die Schneiden über die Traversen vorstehen und daher mit jenen an das Probestück, jedoch mit etwas weniger Druck und mit stumpfen, abgerundeten Enden, angedrückt werden. Die Federn an den Klemmschrauben haben natürlich den Zweck, die Bügel an dem Probestück festzustellen, wenn sich dieses im Verlaufe des Dehnens seitlich zusammen zieht.

Auf den Bügel A ist der Theilkreis C mittelst des Fusses D festgeschraubt. Durch den Mittelpunkt desselben geht die Axe E, welche unten ein Hartgummiwälzchen c und oben einen Zeiger d trägt. Um die Drehung dieser Axe ohne todten Gang zu ermöglichen, ruht sie unten mit einer Körnerspitze in einem oben konisch und unten cylindrisch durchgebohrten Körner einer kleinen Blattfeder, welche sie nach oben drückt, wo sie mit einem Konus in einem entsprechenden Hohlkonus des Theilkreises drehbar ist.

Der Zeiger d trägt an seinem einen Ende einen, zur Theilung des Kreises passenden Nonius, der mit der Kreistheilung in einer Ebene liegt. Er ist 10 mal so lang als der Halbmesser des Hartgummiwälzchens c. Der Kreis ist in 360 Theile, deren jeder die Grösse eines Millimeters hat, getheilt. Dieselben haben wegen der Uebersetzung 1:10 zwischen Hartgummiwälzchen und Zeiger den Werth von  $\frac{1}{10} mm$  und folglich die auf dem Nonius abgelesenen Bruchtheile den von 0,01 mm.

Die Verbindung zwischen den beiden Bügeln A und B ist durch die Blattfeder F hergestellt, welche einerseits am Bügel B befestigt ist, andererseits mit dem, auf ihrer einen Seite aufgeklebten Smirgelpapier am Hartgummiwälzchen c anliegt. Der für das sichere Anliegen und zur Verhütung des Schleifens nöthige Druck wurde bei der ersten Einrichtung des Apparates durch die Elasticität der Feder hervorgebracht. Das aber hatte bei grossen Dehnungen, wie sie bei den hier in Rede stehenden Versuchen vorkommen, den Nachtheil, dass die Durchbiegung

der Feder zwischen ihrem Befestigungspunkt am Bügel B und dem Hartgummiwälzchen sich änderte und dadurch Fehler in die Messung kamen; auch war es schwer, der Feder anfangs diejenige Spannung zu geben, dass sie bis zum Ende des Versuches richtig funktionirte. Deshalb habe ich später die Feder durch einen Faden ersetzt, der mit seinem einen Ende am Bügel B befestigt war, einmal, oder eigentlich  $1\frac{1}{4}$  mal um das Hartgummiwälzchen geschlungen und dann über ein Röllchen gelegt wurde, von dem er vertikal herabhing, an seinem Ende ein spannendes Gewichtchen tragend. Aber solche Fäden sind schwer ohne todten Gang zu bekommen. In der Regel bekam ich bei einer gewissen Belastung, bis zu welcher ich vorher mit dem Spiegelapparat am Probestück gekommen war, die Dehnung nicht mehr wieder, wie die mit dem Spiegelapparat gemessene, sondern eine kleinere. Deshalb verwarf ich auch den Faden wieder und mein Assistent, Herr Klebe, kam wieder auf die Feder F zurück, die er nun aber nicht mehr am Bügel B festmachte, sondern in Spitzen beweglich liess und mittelst eines Gewichtchens g und des Fadens f, der sich über das polierte Stängelchen e legt, an das Hartgummiwälzchen c andrückte. F braucht dann natürlich keine Feder zu sein, sondern nur ein hinreichend steifer Blechstreifen. Diese Einrichtung hat sich bis jetzt recht gut bewährt.

§ 7. Die Kraft, mit welcher die Probestücke gedehnt wurden, wurde stets an der Wage der Werder'schen Maschine gemessen. Ausgeübt wurde sie bei einem Theile der Versuche mittelst der Pumpen jener Maschine, beim grössten Theil derselben aber mittelst der Wasserleitung und des Pohlmeier'schen Multiplators\*), dessen Druckwasser in den Presscylinder der Werder'schen Maschine geleitet wurde. In letzterem Falle waren immer 4 Personen bei der Aufnahme der Diagramme beschäftigt. Die erste stand am Regulirventil des Multiplators und regelte nach meinen Anordnungen die Geschwindigkeit der Versuchsausführung, wobei die Bewegung des Presskolbens der Maschine und eine in der Nähe stehende Sekunden-Uhr beobachtet wurde. Jene Bewegung wurde durch eine sehr einfache Vorrichtung, einen Rollenfühlhebel, wie sie Werder ursprünglich seiner Maschine mitgab, 10fach vergrössert. An der Querstange am Haupte des Presskolbens nämlich wurde ein Bügel festgeklemmt und an demselben mittelst zweier, sich horizontal gegenüberstehender Spitzen das eine Ende eines Stabes festgemacht, der sich mit seinem anderen beschwerten Ende auf eine, um

\*) Die Einrichtung dieses Apparates setze ich als bekannt voraus und begnüge mich, hier anzuführen, dass seine Anfügung an die Werder'sche Maschine grosse Vortheile und Bequemlichkeiten hat. Sie kann vorgenommen werden, ohne die Pumpen zu beseitigen, so dass nach Belieben diese oder der Multiplator benützt werden können.

eine horizontale Axe drehbare Rolle legt, die auf dem Rücken des Presscylinders steht, und an der ein Zeiger befestigt ist, dessen Länge 10mal so gross, als der Halbmesser der Rolle ist. Derselbe zeigt an einem, in Centimeter getheilten Gradbogen die Bewegung des Presskolbens im 10fachen Maassstabe mit ausreichender Genauigkeit für den beabsichtigten Zweck.

Die zweite, bei der Diagramm-Aufnahme beschäftigte Person hatte die Waage zu bedienen: die Gewichte nach meiner Angabe aufzulegen oder auch, nach Ueberschreitung der Maximalbelastung, abzunehmen und den Moment anzusagen, wo die Blase der Libelle des Wagebalkens in die Mitte einspielte, was bei der stetigen und allmählichen Bewegung der Blase mit hinreichender Genauigkeit möglich war. Auf das gegebene Zeichen las der dritte Beobachter die Dehnung auf dem Kreiszeiger-Apparat und der vierte, ich selber, die Zeit auf der vor ihm liegenden Secunden-Uhr ab, in ganzen Secunden natürlich; dieser letztere schrieb zugleich die drei beobachteten Zahlen: Zeit, Dehnung und Belastung nieder. Wenn bis zur Erreichung des nächsten Belastungsintervalles längere Zeit, mehr als eine Minute, verstrich, dann wurde die Dehnung auch zwischendurch einmal oder öfter auf ein von mir gegebenes Zeichen bei einer ganzen oder halben Minute, manchmal auch in noch kleineren Intervallen, abgelesen; die Belastung wurde dann als während dieser Zeit gleichmässig wachsend angenommen.

Wenn mit der Pumpe gearbeitet wurde, was allemal dann geschah, wenn stufenweise aufeinander folgende Belastungen je eine längere Zeit constant erhalten werden sollten, so waren nur drei Personen beschäftigt; eine mit Bedienung der Pumpe und Auflegen der Gewichte, eine zweite mit Ablesen des Kreiszeiger-Apparates und eine dritte, wieder ich selbst, mit Beobachtung der Uhr und Aufschreiben der Resultate. Der Gang der Beobachtungen war dann der, dass nach Auflage eines neuen Gewichtes gepumpt wurde, bis die Libellenblase zum Einspielen kam, was in der Regel in weniger als einer Minute geschah; der die Pumpe Bedienende sagte den Moment des Einspielens an und in demselben wurden vom 2. und 3. Beobachter die Dehnung und die Zeit abgelesen. Jener hatte dann die Belastung constant zu halten und währenddem wurde dann einmal oder öfter auf ein von mir gegebenes Zeichen zu einer ganzen oder halben Minute der Kreis-Zeigerapparat abgelesen. Bei dem letzten, verabredeten Zeichen legte der erste ein neues Gewicht auf die Wagschale und fing sofort wieder zu pumpen an u. s. w. Wenn keine Pausen bei constanter Belastung gemacht werden wollten, sondern sofort nach Erreichung einer Belastungsstufe ein neues Gewicht zugelegt werden sollte,

so wurde, um das Pumpen nicht unterbrechen zu müssen, eine 4. Person mit diesem Auflegen beauftragt.

Zur besseren Beobachtung des Sinkens des Wagebalkens nach Ueberschreiten der Maximalbelastung war, wo eine solche zu erwarten war, häufig ein 2,45 m langer Holzzeiger auf den Uförmigen Wagebalken der Werdermaschine über die eine Aufhängeschneide desselben so gesetzt, dass er sich selbst an derselben ausbalancirte; sein Ende zeigte an eine, an der Wand befestigte Scala. Sobald an ihm oder an der Libelle ein Sinken des Wagebalkens trotz fortgesetzten Pumpens oder Offenhaltens des Multiplicator-Ventils bemerkt wurde, wurde ein kleines Gewicht, gewöhnlich das zuletzt zugelegte, von der Wagschale genommen, wodurch die Libellenblase oder der Zeiger über die Mitte hinauf gingen, und nun gewartet, bis die Libellenblase wieder einspielte, worauf wieder ein Gewicht abgenommen wurde u. s. w. Wo nur immer möglich, wurde im Momente des Bruches die Dehnung und die Zeit beobachtet. Die Bruchbelastung wurde zwischen den eben auf der Wagschale liegenden und den vorhergehenden Gewichten geschätzt, meist in die Mitte derselben verlegt.

Zur näheren Erläuterung der beschriebenen Beobachtungsmethoden gebe ich nachfolgende drei Versuchsreihen, Abschriften der Original-Aufschreibungen in den Beobachtungsheften.

6198. Versuch am 19. December 1890.

Flachstab Nr. 3914<sup>b</sup> aus Flusseisen, auf Zug.

Querschnitt:  $2,15 \times 1,37 \text{ cm} = 2,945 \text{ qcm}$ .

Messlänge  $l = 15,00 \text{ cm}$ .

(Der Stab wurde unmittelbar vorher mit 7,5 t belastet, welche eine Zeit lang getragen wurden, worauf plötzlich die Scalen des an ihm angebrachten Spiegelapparates durch die Gesichtsfelder der Fernrohre liefen. Die darnach mit jenem Apparate gemessene bleibende Dehnung war  $13,28/1000 \text{ cm}$ ). Kreiszeigerapparat mit Faden; Holzzeiger, nicht ausbalancirt, wesshalb die Belastungen um 0,05 t zu erhöhen sind; Multiplicator.

(S. die Diagramme auf Blatt II<sup>a</sup> und II<sup>b</sup>.)

Zeit	Be- lastung	Dehnung	Bemerkungen.
<i>h . . "</i>	<i>t</i>	<i>mm</i>	
5 <sup>b</sup> 0' 0"	0	0,13	Regulir-Ventil geöffnet.           Wagebalken gefallen, dann allmählich wieder gehoben.
59"	7,0	0,19	
1' 5"	7,1	0,20	
29"	7,2	0,22	
59"	7,3	0,39	
2' 32"	7,4	0,78	
41"	7,5	0,88	
47"	7,6	0,97	
6' 0"	7,7	3,65	
58"	7,7	3,63	
7' 6"	7,8	3,63	

Zeit	Be- lastung	Dehnung	Bemerkungen.
<i>h</i> , ,	<i>t</i>	<i>mm</i>	
5 <sup>h</sup> 7' 25"	7,9	3,70	
48"	8,0	3,85	
8' 12"	8,1	4,04	
36"	8,2	4,24	
9' 1"	8,3	4,46	Presskolben schreitet nun
29"	8,4	4,72	regelmässig um 1 mm per
57"	8,5	4,98	Min. fort.
10' 28"	8,6	5,25	
59"	8,7	5,53	
11' 34"	8,8	5,87	
12' 10"	8,9	6,19	
50"	9,0	6,51	Ventil weiter aufgemacht.
13' 9"	9,1	6,78	
31"	9,2	7,13	
53"	9,3	7,52	
14' 14"	9,4	7,93	
31"	9,5	8,31	
50"	9,6	8,80	Presskolben schreitet um
15' 14"	9,7	9,34	3 mm per Min. fort.
33"	9,8	9,80	
54"	9,9	10,33	
16' 20"	10,0	10,94	
46"	10,1	11,57	
17' 15"	10,2	12,32	
45"	10,3	13,13	
18' 21"	10,4	14,07	
19' 3"	10,5	15,15	Ventil weiter zu, auf 1 mm
21' 0"		16,00	pro Min. Fortschreiten des
22' 0"		16,50	Presskolbens.
23' 0"		17,00	
28"	10,6	17,24	
25' 0"		18,02	
26' 0"		18,52	
27' 0"		19,04	
6"	10,7	19,08	Ventil weiter auf, für 3mm
49"	10,8	19,95	per Min.
29' 26"	10,9	22,66	
30' 0"		23,64	
31' 0"		25,42	
32' 0"		27,19	
33' 0"		29,00	
34' 0"		30,82	
5"		30,93	Wagbalken sinkt, nachdem
28"	10,9	31,28	11,0 t fast erreicht worden
37' 0"		32,83	sind; Ventil wieder zu, für
38' 0"		33,53	1 mm pro Min.
45"	10,8	34,13	
39' 50"	10,7	35,10	
40' 32"	10,6	35,81	
41' 5"	10,5	0,38	über 36 mm.
31"	10,4	0,84	
55"	10,3	1,25	
42' 17"	10,2	1,64	
37"	10,1	2,00	
54"	10,0	2,30	
43' 26"	9,8	2,86	
54"	9,6	3,38	
44' 18"	9,4	3,82	
40"	9,2	4,26	
45' 1"	9,0	4,67	
18"	8,8	5,00	
35"	8,6	5,32	
51"	8,4	5,66	
46' 5"	8,2	5,93	
19"	8,0	6,20	
30"	7,5	6,50	Bruch.

6332. Versuch am 3. April 1891.  
 Flachstab von Bleiguss Nr. 4056<sup>a</sup> auf Zug.  
 Querschnitt:  $2,87 \times 0,77 \text{ cm} = 2,21 \text{ qcm}$ ;  
 Messlänge  $l = 15,00 \text{ cm}$ .  
 (Der Stab wurde vorher nicht belastet.)  
 Kreiszeiger-Apparat mit Faden; Pumpe.  
 (S. die Diagramme auf Blatt VII<sup>a</sup> und VII<sup>b</sup>).

Zeit	Be- lastung	Dehnung	Bemerkungen.
<i>h</i> , ,	<i>t</i>	<i>mm</i>	
9 <sup>h</sup> 44' 0"	0	0,00	Regulirventil geöffnet.
48' 23"	0,02	0,01	
49' 0"	«	0,01	0,04 t aufgelegt.
50' 14"	0,04	0,015	
51' 0"	«	0,015	0,06 t aufgelegt.
53' 42"	0,06	0,025	
55' 0"	«	0,03	0,08 t aufgelegt.
58' 37"	0,08	0,04	
59' 0"	«	0,04	0,10 t aufgelegt.
10 <sup>h</sup> 2' 52"	0,10	0,06	
4' 0"	«	0,07	0,12 t desgl.
5' 34"	0,12	0,16	
7' 0"	«	0,195	0,14 t desgl.
9' 27"	0,14	0,55	
10' 0"	«	0,58	
11' 0"	«	0,63	0,16 t desgl.
13' 9"	0,16	1,27	
14' 0"	«	1,43	
15' 0"	«	1,54	0,18 t desgl.
17' 26"	0,18	2,88	
18' 0"	«	3,07	
19' 0"	«	3,30	0,20 t desgl.
21' 42"	0,20	5,30	
22' 0"	«	5,41	
23' 0"	«	5,85	0,22 t desgl.
24' 52"	0,22	8,32	
26' 0"	«	9,05	
27' 0"	«	9,58	0,24 t desgl.
28' 56"	0,24	12,90	
30' 0"	«	13,95	
31' 0"	«	14,73	0,26 t desgl.
33' 14"	0,26	19,55	
34' 0"	«	20,74	
35' 0"	«	22,57	0,28 t desgl.
37' 27"	0,28	30,05	
38' 0"	«	33,80	
39' 0"	«	3,95	
55"	0,28	14,39	Wagbalken sinkt. Bruch.

6333. Versuch am 3. April 1891.  
 Flachstab aus Bleiguss Nr. 4056<sup>a</sup> auf Zug.  
 Querschnitt:  $2,87 \times 0,77 \text{ cm} = 2,21 \text{ qcm}$ ;  
 Messlänge  $l = 15,00 \text{ cm}$ .  
 (Der Stab war 4 Stunden vorher, von 0,01 t zu 0,01 t  
 fortschreitend, bis 0,11 t belastet worden und dann unmittel-  
 bar vorher auf dieselbe Weise bis zur gleichen Belastung; in  
 der Zwischenzeit blieb er unter der Belastung Null mit dem  
 Spiegelapparat ruhig stehen. Der letztere gab nach ca.  
 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden keinen Rückgang der unmittelbar nach  
 der Entlastung beobachteten bleibenden Dehnung von

22,60/1000 *cm* zu erkennen. Nach dem zweimaligen Belasten mit 0,11<sup>t</sup> war die bleibende Dehnung auf 36,68/1000 *cm* gestiegen.)

Kreiszeiger-Apparat mit Faden; Pumpe.

(S. die Diagramme auf Blatt VII<sup>a</sup> und VII<sup>b</sup>).

Zeit		Be- lastung	Dehnung	Bemerkungen.
<i>h</i>	<i>..</i>	<i>t</i>	<i>mm</i>	
3 <sup>b</sup>	57' 0"	0	0,37	Regulirventil geöffnet.
	58' 37"	0,02	0,38	
	59' 3"	0,04	0,38 <sub>5</sub>	
	33"	0,06	0,39	
4 <sup>b</sup>	0' 3"	0,08	0,39	
	38"	0,10	0,40	
	1' 5"	0,11	0,42	
	54"	0,12	0,62	
	2' 44"	0,14	1,28	
	3' 34"	0,16	2,31	
	4' 25"	0,18	3,85	
	5' 24"	0,20	5,66	
	6' 0"	0,21	6,95	
	43"	0,22	8,32	
	7' 24"	0,23	9,93	
	8' 9"	0,24	12,00	
	52"	0,25	14,28	
	9' 44"	0,26	17,33	
	10' 55"	0,27	21,77	
	11' 51"	0,28	27,48	
	12' 44"		35,20	Der Wagbalken fällt, ohne dass 0,29 <i>t</i> erreicht worden sind.
	13' 33"		5,85	Bruch.

§ 8. Die in oben beschriebener Weise aufgenommenen Diagramme wurden in ein Netz mit Doppelmillimeter-Theilung eingetragen, wobei Zehnteltheile vom Doppelmillimeter geschätzt wurden. Sie sind in den Blättern II bis XIII wiedergegeben und zwar die Kraftdiagramme in mit Strich und Punkt gezeichneten, die Dehnungsdiagramme in gestrichelten und die Arbeitsdiagramme in zusammenhängenden Linien. Die dabei gewählten, der Genauigkeit der betreffenden Messungen entsprechenden Maassstäbe sind folgende: Für die Zeit, welche die Abscisse\*) sowohl in dem Kraft- als auch in dem Dehnungsdiagramm ist, bedeutet 1 *cm* durchweg 1 Minute. Jede Minute ist also in 5 Theile getheilt, von denen Zehnteltheile geschätzt werden, die also 1,2 Secunden entsprechen. Beim Abtragen wurden die, hinter den Minuten in den Aufschreibungen stehenden Secunden mit 12 dividirt, die dabei erhaltenen Ganzen nach dem entsprechenden Minutenstrich des Netzes als Doppelmillimeter abgezählt und die Zehntel als Zehntels-Doppelmillimeter geschätzt. Wenn die Breite des Blattes (48 *cm* = 48 Minuten oder auch

\*) So nenne ich hier, der Kürze halber, consequent die Coordinaten, welche auf dem vor dem Beschauer liegenden Blatt von links nach rechts gerichtet ist; die darauf senkrechte: Ordinate.

nur 30 *cm* = 30 Minuten) nicht ausreichte, so wurde wieder am linken Rande des Netzes angefangen und von 48 bzw. 30 Minuten an weiter gezählt. Die Dehnungen, im Dehnungs- und im Arbeitsdiagramme die Ordinaten, wurden, so weit die Höhe eines Blattes, querliegend oder hoch genommen, reichte, in der Regel im Maassstabe 1 Doppelcentimeter = 1 *mm* Dehnung eingetragen; musste aber ein zweites Blatt zu Hülfe genommen werden, das dann immer mit derselben Nummer wie das erste, aber mit angehängtem Buchstaben *b* (statt *a* bei jenem) bezeichnet ist, so wurde für dasselbe ein kleinerer Maassstab der Dehnungen gewählt, um doch mit höchstens zwei Blättern auszureichen. Auf diesen Blättern *b* ist dann 1 *cm* Ordinate = 1% Dehnung (1,5 *cm* auf 150 *mm* ursprünglicher Länge). Letzterer Maassstab wurde, um womöglich mit einem Blatte auszureichen, auch wohl gleich vom Anfang an gebraucht, so beim Zinn (Blatt VIII).

Bei den Probestücken aus Zinkguss (Blatt V), deren Diagramme wegen ihrer geringen Dehnungsfähigkeit mit dem Spiegelapparat, statt mit dem Kreiszeiger aufgenommen wurden, wurde dementsprechend ein grösserer Maassstab für die Dehnung, 1 Doppelcentimeter = 0,1% Dehnung, gewählt. Ebenso bei Gusseisen (Blatt XII). — Die hieraus sich ergebenden Maassstäbe für die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Dehnung vollzog, und welche durch die trigonometrische Tangente des Neigungswinkels der Tangente an das Dehnungsdiagramm zur Abscissenaxe ausgedrückt ist, sind auf den betr. Blättern angegeben. — Die Belastungen endlich, die Ordinaten in den Kraft- und die Abscissen in den Arbeitsdiagrammen, sind bei den festeren Materialien: Eisen, Kupfer, Zinkblech, Messing und Bronze im Maassstabe 1 *cm* = 1 *kg* pro *qmm* und bei den weicheren (Zinkguss, Blei, Zinn) im Maassstabe 1 *cm* = 0,1 *kg* pro *qmm* abgetragen, und zwar durchweg, sowohl auf den Blättern *a* als auch auf den *b*. Bei Gusseisen ist der Maassstab 1 *cm* = 2 *kg* pro *qcm* gewählt (Blatt XII). Die hieraus sich ergebenden Maassstäbe für die Elasticitätsmodule in den Arbeitsdiagrammen sind gleichfalls auf den Blättern angegeben.

§ 9. Fast alle Probestücke, an denen in beschriebener Weise die Diagramme aufgenommen und aufgezeichnet worden sind, wurden vorher mit dem Spiegelapparate gemessen. Ausgenommen wurden nur einige Flachstäbe aus Bleiguss und die Streifen aus Walzblei und Walzzink, letztere wegen ihrer geringen Dicke, in Folge deren der Spiegelapparat stets in so heftigen Erschütterungen war, dass die Scalen in den Gesichtsfeldern der Fernrohre nicht abgelesen werden konnten.

Die Einrichtung des Spiegelapparates ist bekannt. Sie war auch bei diesen Versuchen unverändert so, wie ich sie schon wiederholt früher beschrieben habe. Die

Ablesungen an den Scalen geschahen in  $\frac{1}{10}$  Doppelmillimetern, die den Werth von  $\frac{1}{5000}$  Millimetern haben. Die in den beiden Fernrohren abgelesenen Bewegungen der Scalenbilder werden nur addirt (nicht auch halbirt), so dass die letzten Stellen der Summe den Werth von  $\frac{1}{10000}$  Millimetern oder  $\frac{1}{100000}$  Centimetern haben, die nach Doppelcentimetern bezifferten Theile der Scalen also die Werthe von  $\frac{1}{1000}$  Centimetern.

Zur Belastung bediente ich mich bei diesen Messungen ausschliesslich der Pumpen der Werder'schen Maschine. Dabei wurde regelmässig von Minute zu Minute abgelesen und ein neues Mehrgewicht auf die Wagschale gelegt. Nur wo wegen grosser Weichheit des Materials und damit vereinter sehr geringer Belastung überhaupt die Einstellung zu schwierig war, um in einer Minute damit fertig zu werden, wurde länger gewartet. Es ist dies an den betreffenden Stellen bemerkt.

Von diesen Messungen wurden keine Diagramme gezeichnet. Die Kraft- und Dehnungsdiagramme sind nach obigen Angaben nicht nöthig, und die Arbeitsdiagramme sind ja bei vielen Materialien einfache gerade Linien bis zur Elasticitätsgrenze. Aber ich werde hier alle so angestellten Beobachtungsreihen vollständig in Tabellenform wiedergeben, hauptsächlich aus folgenden Gründen: Da die untersuchten Probestücke von gleichem Material stets aus einem und demselben grossem Stück geschnitten, oder aus einer und derselben Giesspfanne gegossen sind, so controlirt die Vergleichung der mit ihnen erhaltenen Messreihen einerseits die Genauigkeit der Messungen mit dem Spiegelapparate, andererseits die Gleichmässigkeit des Materials innerhalb eines und desselben grösseren Stückes.

Nach dem Bruche jedes Probestückes wurde an dessen Bruchstücken noch die Bruchdehnung, und zwar auf beiden Schmalseiten und in der Regel auf ursprünglich 20 cm Länge, und dann die Querschnitts-Contraktion gemessen.

Im Nachfolgenden sollen nun die erhaltenen Resultate, nach den Materialsorten geordnet, mitgeteilt und besprochen werden.

### Flusseisen.

§ 10. Es wurden vier Flachstäbe, bez. mit Nr. 3914<sup>a-d</sup> dem Versuche unterworfen. Dieselben waren von einer und derselben Flacheisenstange von  $\frac{36}{14}$  mm Querschnitt und 2400 mm Länge hintereinander abgeschnitten, mit Belassung der Walzhaut in Normalform gebracht und dann ausgeglüht worden. Dies geschah in Blechkästen, in denen sie, mit noch anderen Stücken, rings mit Asche umgeben waren, und welche in einem, eigens hiefür im Hofe des Laboratoriums erbauten Feuerherde ca. 3 Stunden mit Holzfeuer im Glühen erhalten und dann mit dem ganzen

Herde erkalten gelassen wurden. So gelang es, die Probestücke vollkommen gerade zu behalten.

Das Material ist mit „allerbeste Qualität, sehnige Struktur“ bezeichnet und aus 420 mm dicken Ingots aus Thomaseisen in zwei Hitzen gewalzt, in der ersten Hitze auf Blöcke von 80 mm Dicke, welche im kalten Zustande wieder in den Ofen gebracht und dann fertig gewalzt wurden.

Die Messungen mit dem Spiegelapparat ergaben die in der Tabelle I enthaltenen Resultate. Man sieht aus ihnen zunächst, wie verschieden die ersten Dehnungszahlen sind, unter sich, bei einem Stück sowohl, als auch bei verschiedenen Stücken. Dass diess nicht auf Fehler des Messapparates zurückzuführen ist, zeigen die später fast genau gleich werdenden Differenzen; wie viel von diesen Verschiedenheiten allenfallsigen Verbiegungen der Stücke, die ja bei der immerhin noch nicht vollkommenen Richtfähigkeit derselben vorkommen kann, wie viel der Natur des Materials zuzuschreiben ist, kann ich vorläufig nicht entscheiden. Dass die Stücke, trotzdem sie von einem und demselben grösseren Stück neben einander abgeschnitten und auf gleiche Weise mit einander ausgeglüht und abgekühlt wurden, doch nicht völlig identisch sind, zeigen die ziemlich verschiedenen Elasticitätsgrenzen. Sogar die Streckgrenzen sind sehr merklich verschieden.

Nachdem die Messungen mit dem Spiegelapparat beendet waren, wurde derselbe abgenommen und dafür der Kreiszeiger-Apparat angebracht, dessen Zeiger auf die zuletzt abgelesene bleibende Dehnung eingestellt wurde. Derselbe besass hier noch den um das Hartgummi-Wälzchen geschlungenen Faden. Nach Ruhepausen, wie sie an den Enden der Beobachtungsreihen in Tabelle I angegeben sind, wurde die Aufnahme der Diagramme begonnen, wobei immer zuerst auf die Wagschale ein, um 0,5 t niedrigeres Gewicht als dasjenige gelegt wurde, mit dem vorher gestreckt worden war und stets der Multipliator benützt wurde. Die ganze Diagramm-Abnahme bis zum Bruche des Probestückes dauerte bei dem Stücke

a	c	b	d
26	41	46	77 Minuten

und die darnach gezeichneten Diagramme sind auf den Blättern II<sup>a</sup> und II<sup>b</sup> wiedergegeben und in obiger Reihenfolge mit den Ziffern

1	2	3	4
---	---	---	---

bezeichnet, so dass also die mit 1 bezeichneten mit der grössten, die mit 4 bezeichneten mit der kleinsten, ca 3 mal so kleinen mittleren Geschwindigkeit aufgenommen sind. Bei 1, 2 und 4 war die Geschwindigkeit der Dehnung ziemlich constant, etwa 3, 2 und 1 mm Vorrücken des Kolbens per Minute entsprechend, bei 3 wechselte sie mehrmals zwischen jener grössten und kleinsten.

Die Arbeitsdiagramme laufen anfangs, gleich nach Ueberschreiten der Streckgrenze, wirr durcheinander; es kommt dabei hauptsächlich auf den Grad des vorher bewerkstelligten Streckens, auch wohl auf die darnach verflossene Zeit, auf die Grösse der zugelegten Mehrgewichte u. dgl. an. Das Sinken der Wage nach Ueberschreiten der Streckgrenze wurde jedesmal beobachtet, konnte aber in dem Diagramme nicht zum Ausdruck gebracht werden, weil es schwierig ist, die Gewichte rasch genug von der Wagschale zu nehmen.

Das mit grösster Geschwindigkeit genommene Arbeitsdiagramm 1 hält sich, im Sinne der Belastung gedacht, anfangs und bis ca 14 % Dehnung am weitesten oben, wird aber dann von dem am langsamsten genommenen 4 überholt. Das mit der nächstkleineren Geschwindigkeit als 1 erhaltene Diagramm 2 hält sich anfangs und bis etwa

Für die Probestücke Nr.	3914 a	c	b	d
mit den Diagrammen: . . . . .	1	2	3	4
Maximalbelastung . . . . .	3770	3790	3750	3819 Atm.
Bruchbelastung . . . . .	2730	2680	2720	2640 „
Querschnitt bei Contraction . . . . .	70	73	65	75 Proc.
Bruchdehnung auf 20 cm . . . . .	32,1	31,4	28,8	31,4 „

Wie man sieht, ist auch an diesen Zahlen ein Einfluss der Geschwindigkeit nicht mit Sicherheit nachzuweisen.

**Schweisseisen.**

§ 11. Von diesem Material wurden zunächst 7 Flachstäbe untersucht, bez. mit 3904<sup>a-d</sup> und 3905<sup>e-e</sup>. Erstere vier waren aus einer und derselben Flacheisenstange von <sup>40</sup>/<sub>14</sub> mm Querschnitt und 1500 mm Länge nebeneinander abgeschnitten und, nachdem sie die Normalgestalt mit Beibehaltung der Walzhaut erhalten, ausgeglüht worden, wie vorhin beschrieben. Die letzteren drei stammen aus einer Flacheisenstange von <sup>36</sup>/<sub>14</sub> mm Querschnitt und 2400 mm Länge, in der sie unmittelbar nebeneinander lagen. Sie erhielten wiederum erst die Normalgestalt unter Beibehaltung der Walzhaut und c und d wurden dann ausgeglüht, wie die vorigen, e behielt den ursprünglichen Zustand. Beide Flacheisenstangen (mit „allerbeste Qualität, B H K, sehnige Struktur“ bezeichnet) wurden zur gleichen Zeit in demselben Hüttenwerk aus dem gleichen Rohmaterial so hergestellt, dass Packete von ca <sup>200</sup>/<sub>200</sub> mm zu Knüppel von <sup>80</sup>/<sub>80</sub> mm ausgewalzt und diese dann in einer zweiten Hitze fertig gewalzt wurden.

Die mit dem Spiegelapparat vorgenommenen Messungen sind in den Tabellen II und III wiedergegeben. Die Uebereinstimmung der Resultate ist hier etwas besser, wie beim Flusseisen, selbst zwischen den Probestücken aus verschiedenen Stangen. Der nicht ausgeglühte Stab 3905<sup>e</sup> hat eine bedeutend höhere Elasticitäts- und Streck-

10% Dehnung am tiefsten von da an kommt das mit wechselnder Geschwindigkeit erhaltene 3 unter zwei. Wo bei jenem, 3, die Dehnungsgeschwindigkeit plötzlich grösser wird, da hebt es sich und nähert sich dem 1 und umgekehrt, wo die Geschwindigkeit kleiner wird. Das mit geringster Geschwindigkeit aufgenommene Diagramm 4 verläuft zwischen 1 und 2 und erhebt sich sogar später über 1. Im Ganzen laufen die 4 Arbeitsdiagramme so dicht neben einander her, dass für die Praxis kein Unterschied zwischen ihnen zu machen ist. Und wenn auch ein Einfluss der Geschwindigkeit im Sinne des § 1 nicht ganz zu verkennen ist, so ist derselbe doch so gering, dass er durch Ungleichmässigkeit des Materials sehr leicht verwischt wird.

Die am Schlusse der Versuchsreihen vorgenommenen Messungen ergaben, zusammengestellt mit der Maximal-Bruchbelastung, folgende Resultate:

grenze, aber einen niedrigeren Elasticitäts-Modus als die ausgeglühten.

Nach den am Ende der Beobachtungsreihen angegebenen Ruhepausen wurde mit der Aufnahme der Diagramme begonnen, wobei der Kreiszeiger, der bei den Stücken 3905<sup>c-d</sup> mit Feder, bei den Stücken 3904<sup>a-d</sup> und 3905<sup>e</sup> mit, durch den Faden an das Wälzchen angegedrückten Streifen versehen war, auf die, zuletzt mit dem Spiegelapparat abgelesene, bleibende Dehnung eingestellt wurde. Dann wurde mit je einer, um 0,5 t niedrigeren Belastung begonnen als diejenige, mit welcher zuletzt gestreckt worden war. Es wurde bei allen Stücken mit dem Multiplicator gearbeitet. Die nach diesen Aufnahmen gezeichneten Diagramme sind auf den Blättern III<sup>a</sup> und III<sup>b</sup> wiedergegeben. Sie sind in der Reihenfolge der Geschwindigkeit, mit welcher sie aufgenommen wurden, wieder mit Ziffern bezeichnet, nämlich

die für	3904 a	b	c	d	3905 c	d	e
mit	1	7	6	5	3	4	2.

Bei den Diagrammen 1 und 7 musste der Versuch unterbrochen werden, weil sich der Multiplicatorcylinder gefüllt hatte. Er wurde bei geschlossenem Presscylinder der W erdermaschine entleert; dabei blieb der Druck in derselben und die Dehnung der Versuchsstücke ziemlich constant.

Sehen wir vorläufig von dem Diagramm 2 (für den nicht ausgeglühten Stab) ab und richten wir das Augenmerk auf die Diagramme 1, 7, 6, 5 für die 4 ausgeglühten Stäbe aus einer und derselben Stange, so hält sich aller

dings das Arbeitsdiagramm 1, das am schnellsten aufgenommen, anfangs und längere Zeit, bis an das Ende des Blattes a, am höchsten, wird aber dann von 5 erreicht und sogar überholt. Dieses letztere, mit wechselnder Geschwindigkeit aufgenommen, zeigt deutlich ein rascheres Aufsteigen, wenn die Geschwindigkeit der Dehnung dadurch, dass das Regulirventil des Multiplicators rasch weiter geöffnet wurde, grösser wurde, und ein allmähliches Abfallen, wann diese Geschwindigkeit wieder abnahm.

Die mit geringerer Geschwindigkeit als diese beiden aufgenommenen Diagramme 6 und 7 bleiben consequent unter ihnen, aber der Unterschied ist nur sehr gering; auch hält sich das langsamste, 7, bis fast ganz zuletzt über den mit grösserer Geschwindigkeit genommenen 6.

Dagegen bleiben die Diagramme 3 und 4 der beiden ausgeglühten Stäbe 3905<sup>c,d</sup> weit unter jenen vieren, obwohl die Geschwindigkeiten, mit denen sie erhalten wurden, ungefähr zwischen der von 1 und 5 lagen, bzw. der von 6 gleich waren. Dabei hält sich 3 constant über 4, welches letzteres wieder mit wechselnder Geschwindigkeit aufgenommen worden ist und ein rascheres Ansteigen zeigt, wenn die Geschwindigkeit vergrössert wurde und umgekehrt. Das Diagramm 2, schneller aufgenommen als 3 und 4, liegt weit über ihnen und fällt

Für die Flachstäbe . . . . .	3904 a	b	c	d	3905 c	d	e
mit den Diagrammen . . . . .	1	7	6	5	3	4	2
die Maximalbelastung . . . . .	3690	3720	3700	3700	3540	3520	3690 at.
die Bruchbelastung . . . . .	—	3120	3120	3100	3090	2990	3260 at.
die Querschnitts-Contraction . . . . .	54	54	53	52	51	50,5	51%
die Bruch-Dehnung für urspr. 20 cm	28,5	31,6	32,4	30,5	29,5	30,5	26,5%

Ein Einfluss der Geschwindigkeit auf dieselben lässt sich mit Sicherheit nicht erkennen, nur bei der Bruchdehnung scheint es, als ob dieselbe bei grösserer Geschwindigkeit kleiner wäre. (Vgl. 1, 5 und 6, und 3 und 4 unter sich, dagegen aber wieder 7 und 6).

### Kupfer.

§ 12. Von diesem Material wurden 4 Flachstäbe, bez. mit N 4053<sup>a-d</sup> untersucht, die aus einer Feuerbüchsen-Platte nebeneinander herausgeschnitten waren. Die Messungen mit dem Spiegelapparat ergaben die in Tabelle IV enthaltenen Resultate. Wie man sieht, ist weder eine Elasticitäts- noch eine Streckgrenze deutlich zu erkennen. Die 4 Stücke verhalten sich in Bezug auf ihre Dehnung ziemlich ungleich; b ist am steifsten, am weichsten das a.

Nach Abnahme des Spiegelapparates wurde der Kreiszeiger-Apparat mit dem um das Hartgummi-Wälzchen geschlungenen Faden angebracht, der Zeiger desselben auf die zuletzt mit dem Spiegelapparat abgelesene bleibende Dehnung eingestellt, der Holzzeiger zur Beobachtung der

fast mit denen 1 und 5 zusammen; das rührt aber natürlich hauptsächlich davon her, dass dieser Stab nicht ausgeglüht war.

Ein Einfluss der Geschwindigkeit der Dehnung auf den Gang des Arbeitsdiagrammes ist also auch beim Schweisseisen unverkennbar, aber er ist innerhalb der Grenzen, welche für jene eingehalten wurden, also für Versuche, wie sie im Grossen in der Praxis angestellt werden, nur sehr gering und verschwindet gegen die Einflüsse, welche zufällige Ungleichheiten des Materials ausüben.

Bei den Stäben 3904<sup>b,c,d</sup> und 3905<sup>e</sup> konnten die, nach erreichtem Maximum wieder abnehmenden Belastungen und die Dehnungen recht gut bis zum Bruch verfolgt werden; für sie sind also die Diagramme 7, 6, 5 und bezw. 2 vollständig. Bei 3905<sup>c,d</sup> konnte die Dehnung nicht bis zum Bruche verfolgt werden; bei letzterem Stück fiel der Kreiszeiger schon früher um, weil die Contraction gerade an der Befestigungsstelle eintrat. Bei 3904<sup>a</sup> erfolgte der Bruch, nachdem der Multiplicator entleert und wieder in Gang war, bevor die früher aufgelegte Belastung wieder erreicht wurde.

Die am Schlusse jeder Versuchsreihe erhaltenen Resultate waren:

Maximalbelastung auf den Wagbalken gesetzt und nach einer, am Schlusse der Beobachtungsreihen in Tabelle IV angegebenen Pause mit der Aufnahme der Diagramme begonnen, und zwar jedesmal mit einer Belastung von 20 t. Beim Stücke d wurde mit dem Multiplicator belastet und der Versuch rasch, in 11½ Minuten, durchgeführt. Beim Stücke c wurde mit der Pumpe gearbeitet und dabei jedesmal nach einer Minute ein Mehrgewicht zugelegt. Die Dauer der Diagrammaufnahme betrug 34 Minuten. Bei dem Stücke a wurde der Multiplicator benützt und mit einer Geschwindigkeit des Presskolbens der Maschine von 3 mm pro Minute gestreckt, einmal unterbrochen durch eine geringere Geschwindigkeit von ca. 1 mm pro Minute, jedoch nur auf ca. 3 Minuten. Die Gesamtdauer des Versuchs betrug 51 Minuten. Bei dem Stücke b endlich wurde auch der Multiplicator benützt und fast durchweg dem Presskolben die Geschwindigkeit von 1 mm pro Minute gegeben; nur einmal wurde das Regulirventil weiter geöffnet, nach 2 Minuten aber wieder auf den frühern Stand gebracht. In dieser Reihenfolge sind die hiernach aufgezeichneten und auf den Blättern

IV<sup>a</sup> u. IV<sup>b</sup> wiedergegebenen Diagramme mit Ziffern bezeichnet, also

für die Stücke	d	c	a	b
mit	1	2	3	4.

Bei den, mittelst des Multiplicators belasteten Stücken musste der Versuch unterbrochen werden, um den vollgewordenen Multiplicator-Cylinder zu entleeren. Dabei wurde der Presscylinder der Werder-Maschine geschlossen und dadurch der Druck und die Dehnung ziemlich constant erhalten.

Das mit grösster Geschwindigkeit genommene Arbeitsdiagramm 1 bleibt zuerst unterhalb aller anderen, erreicht erst allmählich 3 und dann 2 und übersteigt dieselben, aber das am langsamsten genommene 4, das sich über allen anderen hält, erreicht es erst ganz zuletzt. Dieses abnorme Verhalten des Stückes b im Diagramm 4 hängt offenbar mit der, schon bei den Messungen mit dem Spiegelapparat erkennbaren Eigenschaft der grösseren Steifheit zusammen, und man sieht auch hieraus wieder, wie zufällige Ungleichheiten im Material den Einfluss der Zeit vollständig verdecken können. Dass dieser auch beim Kupfer sehr klein und für praktische Zwecke und innerhalb der in der Praxis gezogenen Grenzen für die Geschwindigkeit ganz zu vernachlässigen ist, geht aus der beinahe völligen Deckung der Arbeitsdiagramme auf den ersten Blick hervor; auch daraus, dass plötzliche Wechsel der Geschwindigkeit bei einem und demselben Stück nur eine sehr geringe, fast unmerkliche Aenderung im Gange des Arbeitsdiagrammes zur Folge haben. Beim Diagramm 3 bringt der Wechsel von der grösseren Geschwindigkeit zur ungefähr 3mal kleinern und dann wieder grösseren allerdings eine Senkung und dann Wiedererhebung des Arbeitsdiagrammes hervor, aber sie ist kaum merklich; noch weniger die Hebung und dann Wiedersenkung des Arbeitsdiagrammes 4, als von der geringen Geschwindigkeit auf die ohngefähr 3mal so grosse und von dieser wieder auf die kleine übergegangen wurde.

Bemerkenswerth ist noch, dass das mittelst der Pumpe genommene Arbeitsdiagramm 2 ebenso stetig verläuft, wie die andern, mit dem Multiplicator, also bei stetig steigender Belastung erhaltenen, und dass die Unterbrechung durch Entleerung des Multiplicator-Cylinders im Arbeitsdiagramm 3 gar keine, in dem 4 nur eine sehr kleine und vorübergehende Störung veranlasst. Bei 1 fällt dieselbe ohnedies ganz ans Ende des Versuchs.

Die am Schlusse der Versuchsreihen erhaltenen Resultate sind folgende:

Bei dem Stücke . . .	a	b	c	d
mit dem Diagramme . . .	3	4	2	1
Maximalbelastung . . .	2450	2450	2450	2450 at.
Bruchbelastung . . .	—	2370	—	— at.

Contraction . . . . .	51	41	49	47%
Bruchdehnung für				
urspr. 20 cm . . . . .	42,0	39,3	43,6	39,5%

Auch hier lässt sich ein Einfluss der Geschwindigkeit nicht erkennen. Die Maximalbelastungen sind genau gleich gross; die Bruchdehnung ist beim langsamsten Versuch am kleinsten und fast genau ebenso gross beim schnellsten.

**Zink.**

a) Zinkguss.

§ 13. Es wurden 4 Flachstäbe Nr. 4056<sup>a-d</sup> in Normalform aus einem und demselben Tiegel gegossen und dann appretirt; aber drei derselben, a, b und c zeigten fehlerhaften Bruch, wesshalb die damit angestellten Versuchsreihen verworfen wurden, nur der 4<sup>te</sup>, d, war fehlerlos; dann wurden die Bruchstücke der 4 Stäbe eingeschmolzen und daraus noch 3 Stäbe, e, f, g, gegossen, deren Brüche sich als grobkristallinisch, aber gesund erwiesen, wie der bei d.

Wegen der geringen Festigkeit und Dehnbarkeit des Materials wurden die Dehnungsmessungen durchweg mit dem Spiegelapparat vorgenommen und die Belastungen mit der Pumpe bewerkstelligt. Dabei wurde bei d und e immer nach einer Minute ein Mehrgewicht zugelegt, bei f immer nach 3 und bei g nach 2 Minuten, und in letzteren Fällen die Dehnung sofort nach erreichter Belastung und an den ganzen Zwischenminuten abgelesen. Die so erhaltenen Beobachtungsreihen werden in Ziffern hier nicht mitgeteilt; die auf Blatt V darnach gezeichneten Diagramme reichen vollständig aus. Bei denselben sind die Belastungen im Maassstabe 1 cm = 0,1 kg pro qmm und die Dehnungen in dem Maassstabe 1 Doppelcentimeter = 0,01%, die Zeit in demselben Maassstabe, wie bei den früheren aufgetragen. Die Diagramme sind in der Reihenfolge der Geschwindigkeit für

die Stäbe	d	e	g	f
mit	1	2	3	4 bezeichnet.

Die Querschnitte sind:

2,85 × 0,80; 2,84 × 0,83; 2,84 × 0,83 2,84; × 0,83 cm.

Die Diagramme zeigen zunächst, dass von einer Elasticitäts- oder Streckgrenze keine Rede sein kann. Ferner liegen die Arbeitsdiagramme 1 und 2, welche beide fast mit gleicher, grösster Geschwindigkeit genommen wurden, weit auseinander, was jedenfalls von der Veränderung des Materials durch das Umgiessen herrührt. Die drei Arbeitsdiagramme 2, 3, 4 für gleiches oder gleich sein sollendes Material folgen in gerade umgekehrter Ordnung, als nach den vorausgegangenen Versuchen anderer Beobachter und nach den Ausführungen in § 1 zu erwarten war, aufeinander: das am langsamsten

genommene 4 liegt am höchsten (im Sinne der Belastung genommen), das am schnellsten genommene am tiefsten. Ist also ein Einfluss der Geschwindigkeit, wie er doch wohl hier anzunehmen ist, vorhanden, so wird er durch zufällige Ungleichmässigkeiten des Materials vollständig verdeckt.

Die am Schlusse jeder Messungsreihe erhobenen Resultate sind folgende:

Bei den Stücken	d	e	f	g
mit den Diagrammen	1	2	4	3
Maximalbelastung	263	216	246	239 at
Querschnitts-Contraction	3,1	1,3	1,3	1,3 %
Bruchdehnung auf urspr. 20 cm:	0,35	0,47	0,30	0,12 %

Auch sie geben keinen Einfluss der Geschwindigkeit zu erkennen, wenigstens nicht in dem erwarteten Sinn. Im Gegentheil zeigt von den 3 Stücken e, f, g aus gleichem Material das mit der grössten Geschwindigkeit abgerissene die kleinste Maximalbelastung und grösste Dehnung, und das mit kleinster Geschwindigkeit behandelte die grösste Maximalbelastung und kleinste Dehnung.

#### b) Zinkblech.

§ 14. Aus einem grösseren Stück Oberschlesischen Zinkblech von 0,07 cm Dicke wurden zunächst vier Streifen in Normalform nebeneinander längs der Walzrichtung abgeschnitten. Dieselben rissen jedoch sämtlich an der Belastungsstelle des einen oder andern der beiden Bügel des Kreiszeigerapparates, selbst dann, wenn daselbst keine Marken für Bezeichnung der Enden der Messlänge gemacht und Unterlagen zwischen den angepressten Schneiden und dem Probestück angebracht wurden. Es blieb daher nichts übrig, als die breiteren Enden der Streifen beiderseits so weit gegen die Mitte herein zu verlängern, dass ihr Ende mit den Grenzen der Messlänge, 15 cm, zusammenfiel und folglich die Hohlkehlen beiderseits in diese Messlänge fielen. Dadurch wurden zwar die Dehnungen etwas zu klein erhalten, da aber diess bei allen Probestücken ganz gleich war, so konnten die Resultate doch miteinander verglichen werden, und darauf kam es ja allein hier an.

An den vier so gestalteten Streifen, bezeichnet mit 3989<sup>k, l, m, n</sup> mit durchweg  $3,00 \times 0,07 \text{ cm} = 0,21 \text{ qcm}$  Querschnitt wurde sofort der Kreiszeigerapparat mit um das Hartgummi-Wälzchen geschlungenen Faden angebracht, weil wegen der geringen Dicke derselben der Spiegelapparat, wenn er daran befestigt wurde, fortwährend in so heftigem Erzittern war, dass die Scalen nicht abgelesen werden konnten. Die Belastungen wurden nur mit der Pumpe hervorgebracht, da wegen ihrer geringen Grösse der Multiplicator nicht wohl anzuwenden war. Dabei wurde bei den Stücken k, l, m sofort wieder ein neues

Mehrgewicht auf die Wagschale gelegt, wenn die bereits auf derselben liegende Belastung erreicht war, und die verschiedenen Geschwindigkeiten der Versuchsausführung wurden dadurch hervorgebracht, dass jenes Mehrgewicht bei Stück k 0,05 t, bei Stück l 0,01 t und bei Stück m 0,02 t betrug. So dauerte der ganze Versuch bei Stück k nur 6 Min. 13 Sec., bei Stück l 37 Min. 23 Sec. und bei Stück m 22 Min. 32 Sec. Um nun eine noch geringere Geschwindigkeit zu erhalten, wurde bei Stück n jedesmal ein Mehrgewicht von 0,01 t zugelegt, aber, bis zur Erreichung der Maximalbelastung, allemal erst 2 Minuten nach Zulage des vorhergehenden. So dauerte dieser Versuch 81 Minuten.

Die nach diesen Messungen aufgezeichneten Diagramme sind auf Blatt VI wiedergegeben und nach der Reihenfolge der Geschwindigkeiten

für die Probestücke	k	m	l	n
bezeichnet mit	1	2	3	4

Bei dem Stücke k konnte das Abfallen nach erreichter Maximalbelastung nicht beobachtet werden, es erfolgte der Bruch zu rasch. Bei m (Diagramm 2) war die Maximalbelastung gut zu beobachten, ebenso die Bruchbelastung; auch bei den beiden andern, l und n. Bei diesen mit geringster Geschwindigkeit abgenommenen Diagrammen 3 u. 4 zeigte sich die merkwürdige Erscheinung, dass nach Ueberschreiten der Maximalbelastung bei 16,7 bzw. 16,4 kg p. qmm eine Belastung 14,3 bzw. 13,8 kg p. qmm erreicht wurde, die, unter Hin- und Herschwanken der Wage, längere Zeit, 6 bzw. 8 Minuten lang, getragen wurde, bis endlich ein rasches Abfallen und gleich darauf der Bruch erfolgte.

An den Diagrammen 1—4 erkennt man den Einfluss der Zeit deutlich genug. Das am raschesten genommene, 1, erhebt sich hoch über die andern, welche in der Reihe ihrer Geschwindigkeiten aufeinanderfolgen; nur 3 wird wegen des raschen Abfallens auf jene, wieder constant getragene Belastung von 4 einmal überholt, kommt aber später doch wieder über dasselbe zu liegen.

Die schliesslich erhaltenen Resultate waren folgende:

Probestücke	k	m	l	n
mit den Diagrammen	1	2	3	4
Maximalbelastung	2050	1760	1670	1640 at
Bruchbelastung	—	1570	1430	1330 at
Querschnitts-Contraction:	53	53	53	61%
Bruchdehnung für 15 cm:	16,5	9,9	11,2	20,3%

Aus denselben lässt sich der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Maximal- und Bruchbelastung deutlich erkennen, sie nehmen mit der Geschwindigkeit ab. Die Contraction scheint keinen Einfluss zu erleiden. Auch die Bruchdehnung scheint mehr von zufälligen Umständen abzuhängen, als von der Geschwindigkeit.

**Blei.**

a) Bleiguss.

§ 15. Es wurden zunächst vier Flachstäbe 4056<sup>a-d</sup> in Normalform mit  $2,87 \times 0,77 \text{ cm} = 2,21 \text{ qcm}$  Querschnitt, aus einem Tiegel gegossen, hergestellt. Da einer derselben, a, ausserhalb der 15 cm Messlänge riss und fehlerhaften Bruch zeigte, so wurden die Bruchstücke aller vier Stäbe nochmal eingeschmolzen und daraus 3 Stäbe 4056<sup>e-g</sup> von  $2,85 \times 0,83 \text{ cm} = 2,365 \text{ qcm}$  Querschnitt hergestellt. Von den 6 Stäben b—g wurden nur drei, d, e und f mit dem Spiegelapparat gemessen. Diese Messungen waren wegen der geringen Belastung, die nur angewendet werden konnte, und der trotzdem sehr beträchtlichen Dehnung sehr schwierig, und es zeigen daher auch die in Tabelle V wiedergegebenen Messreihen nicht die Regelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Differenzen der Dehnungen für gleiche Belastungs-Intervalle, wie bei anderen, festeren Materialien; denn natürlich, wenn auf 0,01 t Belastungs-Intervall die Differenz der Dehnungen z. B. 50 (in den letzten Dezimalstellen) beträgt, so müsste die Wage auf  $\frac{1}{5} \text{ kg}$  genau eingestellt werden können, um jene Differenz zu bekommen, und das ist nicht möglich. — Dazu kommt, dass wegen dieser Schwierigkeiten der Einstellung, namentlich anfangs, bei noch kleineren Belastungen, längere Zeit, oft 4 bis 5 Minuten gebraucht wurde, um die Libellenblase zum sichern Einspielen zu bringen, und diess musste, da bei vorliegendem Material schon von vornherein die Zeit Einfluss hat, auch wieder Unregelmässigkeiten in den Differenzen hervorbringen. Desshalb wurde in Tabelle V auch die Zeit eingetragen, welche zwischen je zwei Einstellungen und Messungen verstrich.

Man sieht aus dieser Tabelle zunächst hier für unsere Zwecke, dass das Blei durch Umschmelzen bedeutend steifer geworden ist, dass aber zwischen den Stücken e und f, aus einer und derselben Masse gegossen, auch ein bedeutender Unterschied besteht.

bei den Stäben . . . . .	e	d	f	b	c	g
mit den Diagrammen . . . . .	1	2	3	4	5	6
die Maximalbelastungen . . . . .	141	129	130	131	127	120
die Bruchbelastungen . . . . .	—	—	—	—	—	—
die Querschnitts-Contractionen . . . . .	Bruchquerschnitt überall messerscharf ausgezogen,					
die Bruchdehnungen auf ursprünglich 20 cm:	27,6	28,7	24,8	31,2	31,1	24,8
Bruchaussehen . . . . .	Einige schlackige Stellen im Bruch; schief ausgezogen.		Bruch nahe am Ende.		Eine schlackige Stelle im Bruch.	

Hieraus ist ein Einfluss der Geschwindigkeit auf die Maximalbelastung unverkennbar. Dieselbe ist bei 4facher Geschwindigkeit ungefähr um 8—9% grösser, bei 3,5mal so kleiner Geschwindigkeit um ca. 5% kleiner als bei einer mittleren von ca. 16 Minuten Dauer des ganzen Versuches. Ein Einfluss auf die Bruchdehnung ist kaum

Nach der am Schlusse der Beobachtungsreihen angegebenen Ruhezeit wurde der Kreiszeigerapparat mit dem um das Hartgummiwälzchen geschlungenen Faden angebracht und dessen Zeiger auf die zuletzt mit dem Spiegelapparat gemessene bleibende Dehnung eingestellt. An den Stücken b, c, g wurde gleich von vornherein der Kreiszeigerapparat angebracht und auf Null eingestellt. Die Belastung wurde immer mit der Pumpe bewerkstelligt und überall, auch bei jenen ersten drei Stücken, mit Null begonnen. Dann wurde in solchen Zeit- und Belastungsintervallen vorgegangen, wie sie aus den, auf den Blättern VII<sup>a</sup> und VII<sup>b</sup> wiedergegebenen Diagrammen deutlich hervorgehen. Dieselben sind wieder nach der Reihenfolge der Geschwindigkeiten, mit denen sie genommen wurden, mit den Ziffern 1 bis 6 bezeichnet und zwar für

die Stücke e, d, f, b, c, g						
mit	1	2	3	4	5	6.

Die mittleren Geschwindigkeiten sind bei den Diagrammen 2, 3 und 4 fast gleich, ungefähr 4 mal so klein wie bei 1, und bei den Diagrammen 5 und 6 wieder fast gleich, ungefähr 14mal so klein wie bei 1.

Man sieht, wie das Arbeitsdiagramm 1 über allen anderen liegt und die Arbeitsdiagramme 5 und 6 am tiefsten liegen; 5 über 6, obgleich die Geschwindigkeiten bei beiden fast gleich gross sind, bei 5 nur ein wenig grösser als bei 6. Dazwischen liegen die Arbeitsdiagramme 2, 3 und 4. Anfangs laufen zwar 2 und 4 unter 5 und 6, kommen aber bald darüber hinaus. Der Unterschied zwischen den, mit fast gleicher Geschwindigkeit genommenen Arbeitsdiagrammen 2, 3, 4 ist ziemlich beträchtlich; 3, das mit der mittleren Geschwindigkeit von diesen dreien genommene, liegt entschieden über 2 und 4, was wohl davon herrührt, dass das Material des Stabes umgeschmolzen ist, aus denen 2 und 4.

Als Endresultate ergaben sich:

Als Endresultate ergaben sich:						
	e	d	f	b	c	g
	1	2	3	4	5	6
	141	129	130	131	127	120
	—	—	—	—	—	—
	Bruchquerschnitt überall messerscharf ausgezogen,					
	27,6	28,7	24,8	31,2	31,1	24,8
	Einige schlackige Stellen im Bruch; schief ausgezogen.		Bruch nahe am Ende.		Eine schlackige Stelle im Bruch.	

zu erkennen, jedenfalls wird er durch Materialfehler und Ungleichmässigkeiten des Materials stark verdeckt.

b. Bleiblech.

§ 16. Aus 4 mm dickem Walzblei wurden nebeneinander 4 Streifen in Normalform, Nr. 4150<sup>a-d</sup>, von



3,15 × 0,40 cm = 1,26 qcm Querschnitt abgeschnitten und adjustirt. Auch sie waren zu dünn, um Messungen mit dem Spiegelapparat daran anzustellen, wie es an einem, a, versucht wurde. Die unter starkem Zittern der Scalen im Gesichtsfelde der Ables-Fernrohre erhaltenen, immerhin ziemlich guten Resultate mögen hier eine Stelle finden:

Be- lastung <i>t</i>	Bleiblech, Nr. 4150 <sup>a</sup> ; Querschn. 3,15 × 0,40cm = 1,26qm.			Bemerkungen.
	Zwischen- zeit Min.	Dehnung auf 15cm <sup>1</sup> / <sub>1000cm</sub>	Diff.	
0		0		
0,01	2	0,81	81	Wage etwas zu hoch
0,02	1½	1,43	62	
0,03	1	2,49	106	
0,04	1	4,24	175	
0	1	2,38		

bei den Probestücken . . . . .	a	b	c	d
mit den Diagrammen . . . . .	1	3	4	2
Maximalbelastung . . . . .	139	131	126	127 at
Bruchbelastung . . . . .	63	ca. 95	—	24 at
Querschnitts-Contraction . . . . .	Bruchquerschnitte überall messerscharf ausgezogen.			
Bruchdehnung auf 20 cm . . . . .	30,4	39,4	30,1	25,8%
Bemerkungen . . . . .		schief gezogen		schief gez.

Ein Einfluss der Geschwindigkeit auf die Maximalbelastung ist auch hier zu erkennen; er findet ohngefähr im gleichen Masse statt, wie bei gegossenem Blei. Bei nicht ganz 3facher Geschwindigkeit beim Probestück a ist die Maximalbelastung um ca. 7% grösser, bei ungefähr halb so grosser Geschwindigkeit beim Stück c um etwa 2½% kleiner als bei einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 18 Minuten Dauer des Versuches. Ein Einfluss auf die Bruchdehnung ist auch hier mit Sicherheit nicht zu erkennen.

**Zinn (gegossen).**

§ 17. Es fiel mir sehr schwer, von diesem Material, das wegen der Fischer'schen Versuche besonderes Interesse bietet, fehlerfreie Probestäbe zu erhalten. Von 7 Stäben, die ich von einem hiesigen Metallgiesser herstellen liess, war nur einer fehlerfrei im Bruch; die übrigen hatten alle mehr oder weniger grobkristallinische Brüche; die erhaltenen Resultate waren nicht vergleichbar. Endlich erhielt ich von einem Zinngiesser hier vier Stäbe, von denen nur einer ein kleines Gussloch an der Bruchstelle zeigte, das sich als fast unschädlich erwies. Im Uebrigen

Acht Minuten nach Beendigung dieses Versuches wurde der Kreiszeigerapparat mit um das Hartgummizwölzchen geschlungenem Faden angebracht und auf 0,02 mm eingestellt.

Die übrigen Probestücke wurden sogleich mit dem ebenso eingerichteten Kreiszeigerapparat gemessen. Die Resultate dieser Messungen sind in den Diagrammen auf Blatt VII<sup>b</sup> und VII<sup>a</sup> (ersteres unter letzteres gestellt) enthalten. Die Aufnahme derselben geschah durchweg mit Anwendung der Pumpe und bei den Stücken

	a	b	c	d
in	6'49"	18'0"	35'10"	17'32"

und sind sie desshalb mit

1	3	4	2
---	---	---	---

bezeichnet. Man sieht, die Arbeitsdiagramme folgen ohngefähr der Reihe dieser Ziffern, 1 liegt entschieden über den andern, die allerdings sehr nahe beinander liegen, trotz der ungefähr doppelt so grossen Geschwindigkeit bei 4 gegenüber denjenigen bei 2 und 3.

Die am Schlusse erhaltenen Resultate waren folgende:

bei den Probestücken . . . . .	a	b	c	d
mit den Diagrammen . . . . .	1	3	4	2
Maximalbelastung . . . . .	139	131	126	127 at
Bruchbelastung . . . . .	63	ca. 95	—	24 at
Querschnitts-Contraction . . . . .	Bruchquerschnitte überall messerscharf ausgezogen.			
Bruchdehnung auf 20 cm . . . . .	30,4	39,4	30,1	25,8%
Bemerkungen . . . . .		schief gezogen		schief gez.

war der Bruchquerschnitt messerscharf ausgezogen, wie bei den übrigen drei fehlerlosen Stücken. Ueber die Resultate, welche mit diesen vier in Normalform hergestellten, 2,95 × 0,94 cm im Querschnitt haltenden, mit 4179<sup>a-d</sup> bezeichneten Stäben erhalten wurden, soll hier berichtet werden.

Die mit dem Spiegelapparat angestellten Messungen sind in Tab. VI niedergelegt. Sie sind trotz der Schwierigkeit der Einstellung auf die kleinen Belastungen ziemlich gelungen. Die Scalen waren bei den 3 Stäben a—c sehr ruhig, ohne Zittern, beim Stabe d zitterten sie ziemlich heftig in Folge der Stösse einer, in der Nähe in Gang befindlichen grösseren Dampfmaschine. Die Elasticitätsgrenze ergab sich ziemlich übereinstimmend bei allen 4 Stäben bei 0,06 t oder 21,5 at. Der Elasticitäts-Modul war, bei den ersten drei Stäben wieder ziemlich übereinstimmend, 450000 at, beim 4. Stab, d, entschieden niedriger, ca. 350000 at, vielleicht wegen jener Stösse? (Die zitternden Bewegungen der Scalen finden fast ausschliesslich in ihrer Längsrichtung statt, Variationen der Länge des Probestückes anzeigend). Nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze verhielten sich die vier Stäbe sehr ungleich,

b ist offenbar am dehnsamsten, a am wenigsten, dazwischen liegen c und d, von denen d wieder dehnbare ist als c.

Der Kreiszeiger-Apparat hatte die vollkommenere, auf Blatt I abgebildete Einrichtung. Die Belastungen wurden bei den Messungen mit demselben mit  $0,2 t$  begonnen und bis  $0,3 t$  mit der Pumpe aufgebracht, wobei bei den Stäben a und c in Intervallen von  $0,02 t$ , bei den Stäben b und d mit  $0,01 t$  vorwärts gegangen und nach Erreichung einer Belastung in je ohngefähr einer Minute sofort die Mehrbelastung aufgelegt und weiter gepumpt wurde. Von  $0,3 t$  an wurde der Multiplicator gebraucht und dessen Ventil so regulirt, dass bei dem Stabe a der Kolben der Maschine ungefähr  $3 mm$ , beim Stabe c  $3-4 mm$ , beim Stabe d  $\frac{3}{4}-1 mm$  in der Minute gleichmässig fortschritt. Beim Stabe b betrug die Kolbengeschwindigkeit ungefähr  $1 mm$  pro Minute, wurde aber einmal ca.  $5\frac{1}{2}$  Minuten lang auf  $3-4 mm$  erhöht.

Die nach diesen Messungen aufgezeichneten Diagramme sind auf Blatt VIII in den daselbst angegebenen Maassstäben dargestellt. Sie sind, entsprechend den oben angegebenen Geschwindigkeiten, die auch in den Dehnungsdiagrammen sich abtufen, bei den Stäben a, b, c, d bezw. mit 2, 3, 1 und 4 bezeichnet.

Die Stäbe a und c (Diagramme 2 und 1) verhielten sich fast gleich. Bei a wurde, entsprechend seiner geringeren Dehnbarkeit, die er schon bei den Messungen mit dem Spiegelapparate zeigte, die Maximalbelastung früher erreicht, auch war dieselbe etwas höher, als bei c, dagegen fällt sein Arbeitsdiagramm rascher ab. Dieser Stab war derjenige, welcher den oben erwähnten Gussfehler an der Bruchstelle hatte. Das Arbeitsdiagramm 4 liegt nicht viel unter 1 und 2 und übersteigt sogar bald das rasch abfallende 2 und später, der grösseren Dehnung halber, auch das 1. Sehr merkwürdig ist das Diagramm 3 vom Stabe b. Es liegt von Anfang an am tiefsten und hält sich nach einigen Schwankungen längere Zeit parallel zur Kraftaxe. In dem Augenblicke, wo hierauf an der, in den Diagrammen bezeichneten Stelle das Regulirventil des Multiplicators rasch geöffnet wurde, erhob sich die Belastung fast plötzlich. Das Arbeitsdiagramm steigt in einen steilen Absatz an, dann aber allmählicher, bis eine neue Maximalbelastung, höher als bei allen anderen Stäben, erreicht wurde. Als dann, nach Ueberschreitung derselben, das Regulirventil wieder mehr geschlossen wurde, fiel die Belastung und damit das Arbeitsdiagramm ebenso rasch wieder ab, als es vorher gestiegen war. Dies beweist einen sehr bedeutenden Einfluss der Geschwindigkeit auf den Verlauf des Arbeitsdiagrammes.

Die sonst noch auftretenden Schwankungen in dem letzteren, besonders in der Nähe und nach Ueberschreiten

der Maximalbelastungen, rühren wahrscheinlich von den Aenderungen des Druckes in der Wasserleitung her, der sich besonders hier fühlbar machte, wo mit Niederdruck, also mit direktem Druck aus jener, gearbeitet wurde.

Von geringerem Einfluss scheint die Geschwindigkeit der Versuchsausführung auf die Höhe der Maximalbelastung bei den Stäben a, c und d zu sein, oder vielmehr scheint dieser Einfluss von den Ungleichmässigkeiten im Material veranlasst zu werden. Am höchsten ist die Maximalbelastung bei a (2) zu  $141 at$ , dann folgt c (1) mit  $139 at$  und dann d (4) mit  $135 at$ , die aber plötzlich rasch auf  $128 at$  abfällt, um später allmählich wieder bis ca.  $132 at$  zu steigen. Der Stab b (3) erreicht unter der anfänglichen geringen Geschwindigkeit nur die Maximalbelastung von  $121 at$  und würde sich wahrscheinlich über die darauf folgende und lange Zeit constant gehaltene Belastung von  $119 at$  nicht wieder erhoben haben, wenn das Ventil nicht plötzlich weiter geöffnet worden wäre. Unter dem Einfluss der dadurch hervorgebrachten grösseren Geschwindigkeit erreicht die Belastung ein zweites Maximum von  $142 at$ .

Sehr gross sind die Unterschiede der Bruchdehnung bei den 4 Stäben. Diese Dehnungen können unmittelbar aus dem Dehnungsdiagramme abgelesen werden, da die Diagrammaufnahme fortgesetzt werden konnte, bis die Belastung fast ganz bis auf Null gesunken, der Querschnitt bis auf einen Faden ausgezogen war. (Der Bruch erfolgte immer zuerst in der Mitte der Breitseite, dann an einer und endlich an der anderen Kante, ohne dass jedoch jene ersteren Brüche im Verlaufe der Diagramme bemerklich werden). Sie betragen bei den Diagrammen:

1	2	3	4
24,3	25,1	44,4	31,8%

(für ursprünglich  $15 cm$ )

Die Bruchdehnung ist also bei den langsamer zerrissenen Stäben b und d entschieden grösser als bei den rascher zerrissenen a und c, bei welchen letzteren beiden sie fast gleich gross ist, während sie bei dem am langsamsten zerrissenen Stab d doch wieder kleiner ist, als bei b. Uebrigens hat man bei Beurtheilung jener Dehnungen auch die Einschnürungen ins Auge zu fassen, und zwar sowohl ihrer Grösse nach an der Bruchstelle, als auch bezüglich ihrer Verbreitung zu beiden Seiten derselben. An der Bruchstelle ist der Querschnitt in der Dicke messerscharf ausgezogen, dort kann also die Einschnürung nur auf die Breite bezogen werden. Messungen sind freilich schwer anzustellen, weil die Oberfläche der Stäbe durch das Ziehen sehr rau und wellenförmig wird, und diess verhindert auch eine genauere Ausmessung der Ausdehnung der Contraction zu beiden Seiten der Bruchstelle. Aber schon der blosse Anblick der Bruchstücke zeigt, dass bei den weniger ausgedehnten Stäben die Con-

traktion an der Bruchstelle grösser ist und von da an rascher abnimmt, als bei den anderen. Bei jenen ist also die Contraction und mit ihr die Dehnung mehr localisirt, als bei diesen. Wenn also ein langsames Dehnen eine weitere Ausbreitung desselben, ein schnelleres Dehnen eine grössere Beschränkung dieser Gestaltsveränderung und der Contraction auf die Nähe der Bruchstelle zur Folge haben mag und folglich die Gesamtdehnung im ersteren Falle grösser als im letzteren sein wird, so kann und wird im letzteren Falle die locale procentuale Dehnung an der Bruchstelle doch ebenso gross sein als im ersteren.

**Bronze (gegossen).**

§ 18. Im Mischungsverhältniss: 10 kg Kupfer, 1 kg engl. Zinn, 1 kg Walzmessing und 0,05 kg zehnpromcentiges Phosphorkupfer wurden zunächst 4 Flachstäbe Nr. 4057<sup>a-d</sup> in Normalgestalt gegossen und auf den Querschnitt  $2,92 \times 0,89 \text{ cm} = 2,60 \text{ qcm}$  mit Entfernung der Guss-haut adjustirt. Da der eine derselben, d, einen etwas fehlerhaften Bruch zeigte, wurden später noch drei Stäbe e, f, g im gleichen Mischungsverhältniss gegossen und auf den gleichen Querschnitt bearbeitet. Der eine derselben, f, zeigte wieder einen nicht ganz gesunden Bruch, doch sind die mit ihm gefundenen Resultate, sowie auch die für den Stab d im Nachfolgenden mit aufgenommen, da sie zeigen, welch' grossen Einfluss kleine Materialfehler ausüben, die auch bei aller Sorgfalt beim Gusse, wie sie hier angewendet wurde, vorkommen können.

Sämmtliche Stücke wurden zuerst mit dem Spiegelapparat gemessen und sind die Resultate dieser Messungen in den Tabellen VII und VIII enthalten. Die Ablesungen wurden dabei wieder regelmässig in je einer Minute gemacht, nur für die erste Einstellung waren hie und da 1 1/2 oder 2 Minuten nothwendig. — Wie man sieht, verhalten sich die verschiedenen Probestücke ziemlich verschieden, nicht bloss die zu verschiedenen Zeiten gegossenen, sondern auch die aus einem und demselben Guss; es ist deshalb ein wesentlicher Unterschied zwischen den zwei Güssen kaum zu erkennen.

Eine eigentliche Elasticitätsgrenze kann nicht festgestellt werden; für praktische Zwecke kann sie etwa bei

Bei Probestück	c	f
mit Diagramm	1	2
Maximalbelastung	2325	2420
Bruchbelastung	—	—
Querschnittscontraction	18	21
Bruchdehnung auf 20 cm	12,9	12,5
Bemerkungen	Bruch gesund, wie bei a	Bruch dunkler anscheinend etwas poröser als bei e.

1,6 t Belastung oder 615 at angenommen werden. Die Streckgrenze liegt nach den Messungen mit dem Kreiszeigerapparat bei ohngefähr 1000 at.

Nach den am Schlusse der Beobachtungsreihen in den Tabellen VII und VIII angegebenen Ruhepausen wurde mit der Aufnahme der Diagramme mittelst des Kreiszeigerapparates begonnen, der unterdessen statt des Spiegelapparates an dem Probestücke angebracht worden war und hier bereits die auf Blatt I gezeichnete vollkommene Einrichtung besass. Belastet wurde bei dem Probestück a mit der Pumpe, bei allen übrigen mit dem Multiplicator und dabei allemal mit der Belastung von 2,0 t begonnen. Dabei war die Versuchsdauer:

bei dem Stücke:

a	b	c	d	e	f	g
16'49"	20'3"	10'6"	28'37"	48'17"	11'9"	11'41"
4	5	1	6	7	2	3

In der Reihenfolge der sich hieraus ergebenden mittleren Geschwindigkeiten sind die auf Blatt IX wiedergegebenen Diagramme mit den Ziffern 1 bis 7, welche auch oben unter die Bezeichnungen der Stücke gesetzt sind, versehen. Man sieht, dass die mit beinahe gleicher Geschwindigkeit abgenommenen Arbeitsdiagramme 1, 2 u. 3 weit auseinander laufen und in umgekehrter Reihenfolge aufeinander folgen, 3 ist das höchste von ihnen und überhaupt von allen Diagrammen, 1 das tiefste von ihnen; unter diesem liegt nur noch 6. Dazwischen liegen die anderen, und zwar 7 über 2 und unter 3. Das Diagramm 5 liegt anfangs über 4 und läuft dann dicht neben ihm her. Der Einfluss der Geschwindigkeit wird also wieder vollständig durch Ungleichmässigkeiten des Materials verdeckt. Dass er, obwohl nur in sehr geringem Grade, vorhanden, zeigt der Verlauf des Diagrammes b, das mit wechselnden Geschwindigkeiten von ca. 0,25 und 1,0 % Dehnung pro Minute aufgenommen wurde. Da, wo die Geschwindigkeit plötzlich vergrössert wurde, hebt sich das Diagramm ein wenig, da, wo sie plötzlich verringert wurde, senkt es sich merklich, aber doch nur sehr wenig. — Bei 7 scheint gegen das Ende des Versuchs eine Störung im Multiplicator (Steckenbleiben des Kolbens?) vorgekommen zu sein.

Die am Schlusse erhobenen Resultate sind folgende:

g	a	b	d	e
3	4	5	6	7
2595	2380	2325	1990	2590 at
—	—	—	—	—
23	20	23	18	19%
14,8	13,7	13,0	7,3	16,2%
Bruch wie bei t.	Bruch ausserhalb der 20cm, nahe am Ende, gesund.	Bruch gesund wie bei a.	Bruch nicht ganz gesund, poröser als bei a, b, c.	Dichter Bruch.

Ein Einfluss der Zeit ist hieraus nicht zu erkennen. Die Festigkeit des 2. Gusses scheint überhaupt etwas grösser, als die des ersten zu sein; auch das Bruchaussehen der betr. Stücke ist etwas verschieden, dichter bei denen des zweiten Gusses.

### Messing.

#### a) Messing-Guss.

§ 19. Aus sog. decorirten Messingguss waren im Laboratorium drei Flachstäbe aus früherer Zeit, Nr. 889<sup>a, b, c</sup>, vorhanden, welche noch nicht die Normalgestalt besaßen, sondern bei 4,00 cm Breite und 1,00 cm Dicke nur eine Länge von ca. 18 cm zwischen den Hohlkehlen, weshalb sie sowohl mit dem Spiegel- als auch mit dem Kreiszeiger-Apparat nur auf eine Länge von 10 cm gemessen werden konnten. Zwei andere solche Flachstäbe aus demselben Guss, Nr. 889<sup>d, e</sup>, wurden früher nur auf Zugfestigkeit geprüft und sollen die Resultate dafür weiter unten mit aufgeführt werden.

Die Messungen mit dem Spiegelapparat ergaben die in Tabelle IX aufgeführten Resultate. Man sieht, die drei Stücke verhalten sich ziemlich verschieden; b ist anfangs steifer, wie die beiden anderen, holt aber a später ein und überholt sogar das Stück e.

Nach den am Schlusse der Beobachtungsreihen angegebenen Ruhepausen, während denen der Spiegelapparat abgenommen und der Kreiszeigerapparat mit um das Hartgummiwälzchen geschlungenem Faden angebracht worden war, wurde mit der Aufnahme der Diagramme begonnen, die auf Blatt X in den daselbst angegebenen Maassstäben wiedergegeben sind. Am raschesten wurden die mit 1 bezeichneten Diagramme am Stücke b aufgenommen, ohngefähr mit 1,25% Dehnung pro Minute, so dass die ganze Aufnahme 20 Minuten dauerte. Das Arbeitsdiagramm hält sich in der That etwas höher, als die beiden andern, läuft aber zuletzt, beim Bruche, ganz mit 3 zusammen. Die Diagramme 3 sind am Stücke a mit der geringsten Geschwindigkeit aufgenommen, mit etwa 0,5% Dehnung pro Minute, so dass der ganze Versuch ca. 75 Minuten währte, wogegen die Diagramme 2 am Stücke e mit zwischen den obigen wechselnden Geschwindigkeiten aufgenommen wurden bei einer Versuchsdauer von ungefähr 37 Minuten. Man sieht, wie sich das Arbeitsdiagramm 2 immer sehr nahe an dem 3 hält, ja anfangs unter letzterem ist und dann ganz mit ihm zusammenfällt, obwohl zu dieser Zeit die Geschwindigkeit bei ihm ungefähr die 3fache ist, wie bei 3. Später senkt es sich unter 3, wenn die Geschwindigkeit durch Reguliren am Multipliatorventil verringert wird, ohngefähr auf die bei Diagramm 3, und bleibt unter letzterem, trotz späterer Wiedervergrößerung der Geschwindigkeit. Bei Wiederverringern

senkt es sich noch mehr, um schliesslich dann doch noch, bei Vergrößerung der Geschwindigkeit auf ca. 1,15% Dehnung pro Minute, über 3 zu steigen und bis zum Bruche darüber zu bleiben.

Ein Einfluss der Geschwindigkeit auf den Gang der Arbeitsdiagramme ist also nicht zu verkennen, aber er ist sehr gering und wird durch zufällige Material-Ungleichheiten leicht verdeckt.

Die am Schlusse erhobenen Messungen ergaben:

Bei Stück . . . . .	a	b	e
mit Diagramm . . . . .	3	1	2
Maximalbelastung . . . . .	1960	1760	1690 at
Bruchbelastung . . . . .	—	—	—
Querschnitts-Contraction . . . . .	39	—	—%
Bruchdehnung auf 10 cm . . . . .	36,3	28,4	25,8%

Bruch erfolgte am  
Beginn der Hohlkehle.

Die beiden früher geprüften Stücke c und d ergaben Zugfestigkeiten von 1600 und 1430 at. Das Material ist also ziemlich ungleichmässig und wird hiedurch der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Festigkeit, wenn überhaupt vorhanden, vollständig verdeckt.

#### b) Messingblech.

§ 20. Aus einer und derselben Tafel Messingblech von 6 mm Dicke wurden nebeneinander und in derselben Richtung 7 Flachstäbe, Nr. 4059<sup>a-g</sup>, in Normalform, 3,0 cm Breite, 20 cm Gebrauchslänge, herausgeschnitten und sämtlich zuerst mit dem Spiegelapparat geprüft, wodurch die in den Tabellen X und XI enthaltenen Resultate bekommen wurden. Bei dem Stücke e ist die Diagramm-Aufnahme misslungen; der Bügel mit dem Kreiszeiger wurde bei einer Belastung von 2910 at in Folge der Quer-Contraction locker und fiel um. Das so gestreckte Stück wurde nun ebenso behandelt, wie ein ursprüngliches: es wurden die Messungen mit dem Spiegelapparat wiederholt und dann die Diagramme aufgenommen, um den Einfluss der Streckung auf das Material zu zeigen. Daher die zweite Messungsreihe von e in Tabelle XI. Der geringere, daselbst angegebene Querschnitt und die grössere Länge rühren blos von der vorausgegangenen Streckung her.

Die auf den Blättern XI<sup>a</sup> und XI<sup>b</sup> wiedergegebenen und in der Reihenfolge der Geschwindigkeiten, mit denen sie abgenommen wurden, mit den Ziffern 1 bis 7 bezeichneten Diagramme wurden mittelst des Kreiszeigerapparates, an dem der Zeiger mit dem um das Hartgummiwälzchen geschlungenen Faden bewegt wurde, in folgender Weise erhalten:

Diagramme 1 vom Probestück f: Belastung mit dem Multipliator. Geschwindigkeit ca. 3,1% Dehnung pro Minute. Dauer des Versuches 21 Minuten incl. einer

Unterbrechung von etwa 7½ Minuten, in denen der Multiplicator entleert werden musste.

Diagramme 2 vom Probestück b: Belastung mit dem Multiplicator; Geschwindigkeit anfangs fast ebenso gross wie bei 1, später langsamer. Ganze Dauer des Versuches 34 Minuten, incl. einer Unterbrechung von ca. 8 Minuten für Entleerung des Multiplicators.

Diagramme 3 vom Probestück e: Dasselbe war 25 Stunden vorher mit 2910 at gestreckt worden. Dadurch war die Länge 15,00 cm auf 17,78 cm vergrössert und der Querschnitt von ursprünglich  $3,15 \times 0,60 \text{ cm} = 1,89 \text{ qcm}$  auf  $2,84 \times 0,55 \text{ cm} = 1,56 \text{ qcm}$  verkleinert worden. Für diesen letzteren Querschnitt wurden die in den Diagrammen angegebenen Belastungen pro qcm berechnet; die für 17,78 cm Länge gemessenen Dehnungen wurden auf 15,00 cm reducirt und eingetragen. Die Belastung geschah mit der Pumpe. Der Versuch wurde ohne Unterbrechung in 33 Minuten zu Ende geführt. Das Arbeitsdiagramm liegt weit über all den anderen. Die Diagramme 3 wurden hier überhaupt nur deshalb mit aufgenommen, um zu zeigen, welcher grossen Einfluss eine vorausgegangene rein mechanische Behandlung, hier die Streckung, auf den Verlauf des Arbeitsdiagrammes haben kann.

Diagramme 4 vom Probestück a: Belastung mit der Pumpe mit möglichst constanter mittlerer Geschwindigkeit von ca. 0,6% Dehnung pro Minute. Dauer des, ohne Unterbrechung durchgeführten Versuches: 45 Minuten.

Diagramm 5 vom Probestück c. Belastung mit dem Multiplicator. Mittlere Geschwindigkeit ohngefähr 0,4% Dehnung pro Minute. Versuchsdauer 71 Minuten ohne Unterbrechung. Der Bruch erfolgte zu früh in Folge eines Fehlers (Schiefer) an der Bruchstelle.

Diagramm 6 vom Probestück d: Belastung mit dem

Probestück . . . . .	f	b
Diagramm-Nr. . . . .	1	2
Maximalbelastung . . . .	3500	3520
Bruchbelastung . . . . .	—	—
Querschnitts-Contraction .	42,5	47
Bruchdehnung für 20cm . .	47,1	45,9
Bemerkungen . . . . .	—	—

Auch an diesen Zahlen ist ein Einfluss der Geschwindigkeit nicht zu erkennen.

§ 21. Bei diesem Material, Walzmessing, zeigte sich während der Diagramm-Aufnahme eine eigenthümliche Erscheinung, die ich sonst an keinem der untersuchten Materialien, auch nicht bei Messingguss, wahrgenommen habe: der Zeiger des Kreiszeiger-Apparates ging nämlich zeitweise nicht stetig, sondern ruckweise vorwärts; er

Multiplicator. Der Versuch wurde zuerst ohngefähr mit derselben Geschwindigkeit, wie der vorige, später mit wechselnder Geschwindigkeit mit zweimaliger Unterbrechung durchgeführt. Bei der ersten wurde von der Belastung von 4,0 t (2210 at) auf Null zurückgegangen und nach 6<sup>h</sup> 24' wieder begonnen, indem zuerst mit 1,5 t belastet, dann in Intervallen von 0,5 t bis 4,0 t gestiegen und von da mit Intervallen von 0,1 t weiter gegangen wurde. Bei der zweiten Unterbrechung wurde von der Belastung von 4,6 t (2540 at) auf Null zurückgegangen und nach 39<sup>h</sup> 55' wieder begonnen, und zwar ebenfalls mit 1,5 t, die in Intervallen von 0,5 t bis 4,5 t und von da um je 0,1 t erhöht wurden. Das Arbeitsdiagramm senkt sich in Folge dieser Unterbrechungen bei den Klammern } zuerst ein wenig ein, geht aber bald darauf in dem früheren Zuge weiter. Der Bruch ging dicht neben einem feinen Körner vorbei und fand, von demselben vielleicht doch noch beeinflusst, etwas zu früh statt.

Diagramme 7 vom Probestück g: Belastung mit dem Multiplicator. Geschwindigkeit im Mittel ca. 0,18% Dehnung pro Minute. Ganze Versuchsdauer 212 Minuten incl. einer Unterbrechung von ca. 7 Minuten für Entleerung des Multiplicators.

Das mit grösster Geschwindigkeit genommene Arbeitsdiagramm 1 liegt, wie man sieht, am tiefsten und das mit 7 bis 8 mal so kleiner Geschwindigkeit und mit Unterbrechungen ausgeführte Nr. 6 am höchsten. Gleich unter letzterem liegt Diagramm 7, das langsamste, dicht gefolgt vom Diagramm 4, das mit 3 bis 4facher Geschwindigkeit abgenommen wurde. Hier ist ein Einfluss der Zeit auf den Gang der Arbeitsdiagramme nicht erkennbar; jedenfalls ist er durch zufällige Unregelmässigkeiten des Materials vollständig verdeckt.

Die am Schlusse erhobenen Resultate sind folgende:

	e	a	c	d	g
Diagramm-Nr. . . . .	3	4	5	6	7
Maximalbelastung . . . .	4195	3590	3180	3400	3560 at
Bruchbelastung . . . . .	—	—	—	—	—
Querschnitts-Contraction .	26 (+ 17)	51	28	35	40,5%
Bruchdehnung für 20cm . .	38,9	51,7	26,2	32,7	46,9%
Bemerkungen . . . . .	Bruch dicht am äussersten Körner.	—	Schiefer im Bruch.	Bruch dicht neben einem Körner.	—

blieb oft mehrere, ja 10—12 Secunden lang, fast ganz stehen und rückte dann auf einmal wieder rasch weiter; beim Gebrauche der Pumpe konnte es dabei vorkommen, dass manchmal die Libellenblase nach ganz geringem Pumpen schon einspielte, während es zuvor und auch darnach wieder viel länger dauerte. Am Apparat lag, wie man sich leicht überzeugen konnte, die Ursache nicht; derselbe funktionirte vor und nach solchen Versuchen mit

Walzmessing ganz tadellos. Unmittelbar vor den Stücken a—d war Kupfer, nach denselben und unmittelbar vor den Stücken e—g Zinn und Blei und nach letzteren wieder Zinkblech und Schweisseisen geprüft worden, ohne dass am Apparat etwas geändert worden war, und ohne dass derselbe bei diesen Materialien die obige Erscheinung zeigte.

In den zuerst aufgenommenen Diagrammen 4 und 2 der Stücke a und b, wo die Dehnungen in grösseren Zeitintervallen abgelesen wurden, kommt die Erscheinung nur dann zum Ausdruck, wenn ein solcher längerer Stillstand oder Langsamgang des Zeigers ganz zwischen zwei aufeinander folgende Momente fiel, in denen der Zeiger beobachtet wurde, wie es bei a zweimal vorkam und das Dehnungsdiagramme 4 für dieses Stück ausweist. Um sie im Dehnungsdiagramm immer sicher sichtbar zu machen, musste in kleineren Zeitintervallen, von 12 zu 12 Sekunden, der Zeigerstand abgelesen werden, was bei den Diagrammen 5, 6 und 7 geschah. Bei 3 wurde nur von 30 zu 30 Sekunden und bei 1 theilweise ebenfalls in längeren Zwischenräumen abgelesen, deshalb tritt in diesen Dehnungsdiagrammen der wellenförmige Gang, den jene zeigen, nicht, oder, wie bei 3, nur stellenweise hervor. Der Beobachter am Zeigerapparate konnte aber die Unregelmässigkeiten im Fortschreiten des Zeigers bei allen Stücken ohne Ausnahme und bei allen Geschwindigkeiten bemerken, wenn auch in verschiedenen Graden.

Um den Einfluss dieser Unregelmässigkeiten auch im Arbeitsdiagramm zum Ausdruck zu bringen, mussten nicht bloss die Dehnungen, sondern auch die Belastungen in kleineren Zwischenräumen gemessen werden. Das ist, wegen der grossen Umständlichkeit und Mühe, die solche Beobachtungen machen, nur bei dem Stücke g geschehen, und in der That zeigen alle drei Diagramme 7 dieses Probestückes den unregelmässigen, wellenförmigen Gang.

Bei dem Versuch, die geschilderte Erscheinung zu erklären, denkt man zunächst an die ruckweise Fortbewegung bei dem Gleiten nicht oder mangelhaft geschmierter Oberflächen übereinander, also hier an die sogenannte innere Reibung. Aber ich kann mich mit der Hypothese einer inneren Reibung in dem Sinne, wie die Reibung zwischen zwei übereinander gleitenden Körpern entsteht, überhaupt nicht befremden, und ausserdem wäre es doch merkwürdig, dass gerade beim Messing diese innere Reibung so gross sein sollte, dass sie sich in so auffallender Weise äussert, wie oben beschrieben wurde. Diese Ausnahmestellung des Messings erweckt wohl auch den Gedanken an die elektrischen Erscheinungen, welche seine beiden Bestandtheile, Kupfer und Zink, bei Berührung zeigen, und dass Messingguss diese Ausnahmestellung nicht theilt, könnte vielleicht von der geringeren Dichtigkeit desselben gegenüber Walz-

messing\*) und also von den grösseren Entfernungen der Moleküle herrühren. Aber ich wage es nicht, diesen Gedanken weiter auszuführen.

Bei vernachlässigter Schmierung der Schlittenführung an der Werder'schen Maschine, oder wenn dieselbe mit flüssigem Oel, statt mit consistentem Fett geschmiert wird, kommt auch ein solch ruckweises Vorgehen des Schlittens und damit des Presskolbens vor, was natürlich auch ein derartiges Vorgehen der Belastung und Dehnung hervorbringen müsste. Aber auch das war die Ursache der in Rede stehenden Erscheinung nicht; sie trat vorher und nachher bei keinem anderen Probestück aus anderem Stoffe auf.

Endlich kann man auch noch daran denken, dass während des Stehenbleibens oder langsamen Ganges des Zeigers die Streckung ganz oder zum grösseren Theil ausserhalb der Länge stattfindet, auf welche die Dehnung durch den Apparat gemessen wird; und in der That kann man manchmal bei allen Metallen, die eine ausgesprochene Streckgrenze haben, beobachten, dass bei Ueberschreiten derselben die Dehnung in der gemessenen Strecke gar nicht oder nur sehr langsam fortschreitet, während man an anderweitigen Merkmalen für das Vorhandensein der Streckung erkennt, dass dieselbe ausserhalb der Messlänge, zwischen den Enden derselben und dem Beginn der Hohlkehlen, stattfindet. Dieser Zwischenraum beträgt bei Normalstäben von 22 cm Länge zwischen den Hohlkehlen und 15 cm Messlänge, wie ich sie immer gebrauchte, 3,5 cm jederseits und könnte also recht wohl Anlass zu der Erscheinung geben. Freilich wäre es dann immerhin auffallend, warum sie gerade bei Walzmessing und ausnahmslos bei allen Probestücken aus diesem eintrat und sonst bei keinem anderen Metall. Um aber doch sicher zu sein, dass jener Zwischenraum nicht die Ursache der in Rede stehenden Erscheinung ist, liess ich ein Probestück h aus Walzmessing von derselben Blechtafel abschneiden, wie die a bis g, und ihm dieselbe Gestalt geben, wie die von e, f, g, nämlich 3,15 cm Breite, verringerte aber diese Breite von den Enden der Messlänge herein auf 1,99 cm, so dass also nun die Messlänge von 15 cm die Hohlkehlen zwischen 1,99 und 3,15 cm einschloss. Ein ausschliessliches oder auch nur vorzugsweises Strecken ausserhalb der Messlänge konnte also nicht mehr stattfinden. Dieses Probestück nun zeigte dieselbe Erscheinung. Ich habe die von ihm aufgenommenen Diagramme ebenso aufgezeichnet, wie die andern; sie zeigten denselben Charakter, wie die Nr. 7 auf Blatt XI<sup>a</sup> und XI<sup>b</sup>, weshalb ich

\*) Das spezifische Gewicht zweier Bruchstücke des geprüften Messingbleches war 8,383 und 8,580, im Mittel 8,381 und das zweier Bruchstücke des decorirten Messinggusses (§ 19) 8,306 und 8,315, im Mittel 8,310.

ihre Wiedergabe auf diesen Blättern unterliess, zudem ja wegen des Einflusses der Hohlkehlen eine Vergleichung mit den anderen Diagrammen doch nicht zulässig ist. Aber ich will die angestellte Messungsreihe hier getreu nach den Original-Aufschreibungen mittheilen, theils um noch ein Beispiel einer solchen zu geben, theils desshalb, weil der unregelmässige Fortgang des Zeigers, also der Dehnung, in Zahlen sich noch deutlicher ausdrückt, als in der Zeichnung. Die Belastung wurde dabei mit dem Multiplicator vorgenommen, dessen Regulirventil, wo nichts weiter bemerkt ist, unverändert denselben Stand behielt; die Belastung wächst also von einer der in Spalte 2 der nächsten Tabelle stehenden Zahlen bis zur folgenden stetig an.

Flachstab Nr. 4059<sup>h</sup> aus Messingblech.

Querschnitt: 1,99 × 0,60 cm = 1,19 qcm; Messlänge = 15 cm einschliesslich der Hohlkehlen zwischen 1,99 und 3,15 cm Breite.

6357. Versuch am 23. April 1891.

Zeit	Belastung	Dehnung auf 15 cm	Differ.	Bemerkungen
h ' "	t	mm		
2 <sup>h</sup> 56' 0"	0	0,03	18	Bleibende Dehnung von der Messung mit dem Spiegelapparat her, bei welcher bis 1,2 t belastet worden war.
58' 34"	1,2	0,21	8	
41"	1,3	0,29	9	
45"	1,4	0,38	17	
52"	1,5	0,55	33	
59' 2"	1,6	0,88	42	
16"	1,7	1,30	85	
43"	1,8	2,15	85	
3 <sup>h</sup> 0' 12"	1,9	3,00	101	
46"	2,0	4,01	99	
1' 19"	2,1	5,00	102	
58"	2,2	6,02	101	
2' 37"	2,3	7,03	105	
3' 17"	2,4	8,08	174	
4' 17"	2,5	9,82	31	
30"		10,13	84	} 2,6 t noch nicht erreicht.
5' 0"		10,97	17	
5"	2,6	11,14	67	
30"		11,81	44	
50"	2,7	12,25	105	
6' 30"		13,30	58	
50"	2,8	13,88	86	
7' 30"		14,74	73	
8' 0"		15,47	11	
3"	2,9	15,58	77	
40"		16,35	42	
9' 0"		16,77	5	
8"	3,0	16,82	52	
30"		17,34	50	
10' 0"		17,84	51	
30"		18,35	40	
11' 0"		18,75	38	
20"	3,1	19,13	20	
30"		19,33	39	
12' 0"		19,72	50	
30"		20,22	37	
13' 0"		20,59	19	
12"	3,2	20,78	33	
30"		21,11		

Zeit	Belastung	Dehnung auf 15 cm	Differ.	Bemerkungen
h ' "	t	mm		
3 <sup>h</sup> 14' 0"		21,58	47	Zeigerbewegung sehr ungleichmässig.
30"		21,94	36	
15' 0"		22,43	49	
30"	3,3	22,83	40	
41"	3,31	23,00	17	
16' 30"	3,32	23,69	69	
38"	3,33	23,80	11	
51"	3,34	23,88	8	
17' 8"	3,35	24,03	15	
37"	3,36	24,41	38	
52"	3,37	24,58	17	
56"	3,38	24,63	5	
18' 28"	3,39	25,15	52	
42"	3,40	25,33	18	
48"	3,41	25,45	12	
19' 15"	3,42	25,92	47	
27"	3,43	26,04	12	
36"	3,44	26,06	2	
45"	3,45	26,20	14	
20' 0"	3,46	26,40	20	
0' 17"	3,47	26,46	6	
46"	3,48	26,98	52	
21' 13"	3,49	27,42	44	
31"	3,50	27,68	26	
37"	3,51	27,77	9	
45"	3,52	27,85	8	
22' 0"	3,53	27,91	6	
7"	3,54	28,02	11	
23' 0"	3,55	28,87	85	
13"	3,56	29,06	19	
29"	3,57	29,19	13	
42"	3,58	29,38	19	
24' 19"	3,59	29,90	52	
41"	3,60	30,28	38	
49"	3,61	30,42	14	
54"	3,62	30,50	8	
25' 0"	3,63	30,60	10	
46"	3,64	31,37	77	
53"	3,65	31,48	11	
26' 14"	3,66	31,58	10	
38"	3,67	31,95	37	
52"	3,68	32,22	27	
27' 19"	3,69	32,43	21	
28' 2"	3,70	33,17	84	
12"	3,71	33,32	15	
18"	3,72	33,39	7	
46"	3,73	33,70	31	
29' 31"	3,74	34,41	71	
37"	3,75	34,48	7	
55"	3,76	34,80	32	
30' 6"	3,77	35,08	28	
12"	3,78	35,13	5	
31' 37"	3,79	0,33	120	
47"	3,80	0,47	14	
32' 11"	3,81	0,86	39	
16"	3,82	0,93	7	
56"	3,83	1,62	69	
33' 1"	3,84	1,66	4	
41"	3,85	2,32	66	
34' 0"	3,86	2,33	1	
7"	3,87	2,48	15	
12"	3,88	2,57	9	
35' 29"	3,89	3,50	93	
38"	3,90	3,65	15	
48"	3,91	3,82	17	

Zeit	Belastung	Dehnung auf 15 cm	Differ.	Bemerkungen
<i>h</i> ' "	<i>t</i>	<i>mm</i>		
37' 4"	3,92	5,05	123	
13"	3,93	5,22	17	
19"	3,94	5,28	6	
41"	3,95	5,68	40	
38' 15"	3,96	6,23	55	
39' 2"	3,97	7,03	84	
13"	3,98	7,04	1	
40' 2"	3,99	7,50	46	
41' 12"	4,00	8,60	110	
34"	4,01	9,00	40	
39"	4,02	9,05	5	
58"	4,03	9,36	31	
43' 49"	4,04	11,18	182	Gleichmässiger Gang des Zeigers.
44' 12"	4,05	11,59	41	
18"	4,06	11,63	4	Zeiger steht längere Zeit still.
45"	4,07	11,73	10	
59"	4,08	12,00	27	
46' 53"	4,09	13,88	188	Gleichmässige Bewegung des Zeigers.
47' 24"	4,10	14,15	27	Zeiger steht zeitweise ganz still.
59"	4,11	14,67	52	
49' 25"	4,12	16,16	149	
31"	4,13	16,26	10	
50' 1"	4,14	16,70	44	
11"	4,15	16,81	11	
52' 32"	4,16	19,20	239	
53' 32"	4,17	20,22	102	
54' 45"	4,18	21,48	126	
55' 11"	4,19	21,90	42	
56' 34"	4,20	23,33	143	
4 <sup>n</sup> 2' 16"		28,85	552	Gleichmässige Bewegung des Zeigers. Bruch bei nicht ganz aber nahezu erreichten 4,21 t.

Maximal- und Bruchbelastung:  $\frac{4207}{1,19} = 3535 \text{ at.}$

Bruch-Querschnitt =  $1,53 \times 0,45 \text{ cm} = 0,69 \text{ qcm}$   
= 58% des ursprünglichen, also 42% Kontraktion.

Bruchdehnung auf ursprünglich 10 cm = 50,5%.

Schliesslich will ich nicht unterlassen, zu erwähnen, dass bei den Messungen mit dem Spiegelapparat an den Messingblechstücken die Scaln in den Gesichtsfeldern der Fernrohre zeitweise so heftig zitterten, dass gar nicht abgelesen werden konnte und ein Moment des Stillstandes abgewartet werden musste, um die Scalentheile sehen zu können. Solche Erzitterungen kommen zwar wegen der leichten Beweglichkeit der Einspannköpfe bei dünnen Probestücken aus anderem Material auch vor, namentlich am Anfang, bei geringen Belastungen und wenn die Maschinen im anstossenden Saale im Gange sind, oder auch nur durch die Bewegungen des auf den Schienen der Werdermaschine sitzenden Beobachters, selbst schon durch diese vom Boden fortgepflanzten Bewegungen des Beobachters, wenn er auf einem, von der Maschine isolirten Stuhle sitzt. Aber bei Walzmessing waren sie, selbst bei Aufwendung aller Vorsichtsmassregeln zu ihrer Verhütung,

häufig so heftig, wie in keinem anderen Fall. Allerdings waren die Probestücke aus diesem Material dünner, als alle anderen, an denen Messungen mit dem Spiegelapparat gemacht wurden, und deshalb bin ich nicht ganz sicher, ob diese Erzitterungen mit dem ruckweisen Fortschritt der Dehnung, der dann schon bei den geringen Belastungen während der Messungen mit dem Spiegelapparat stattfinden müsste, im Zusammenhang stehen, aber wahrscheinlich scheint es mir im hohen Grade zu sein.

### Gusseisen.

§ 22. Mit diesem Material habe ich schon vor ca. 7 Jahren Versuche über den Einfluss der Zeit und zwar sowohl bei Zug, als auch bei Druck angestellt. Ich benützte dazu 4 Barren von  $10 \times 20 \text{ cm}$  Querschnitt und ca. 75 cm Länge aus verschiedenen Gusseisensorten, aus denen ich je zwei Stangen von ca.  $4,60 \times 2,30 \text{ cm}$  Querschnitt für Zugversuche und je zwei Prismen von  $4,0 \times 4,0 \text{ cm}$  Querschnitt für Druckversuche kalt heraus schneiden liess. Die Stangen hatten eine solche Länge, dass ihre Verlängerung auf 45 und 40 cm Länge gemessen werden konnte, was mittelst des Kreiszeigerapparates geschah. Die Prismen waren 12 cm lang und wurde ihre Verkürzung durch Druck auf 6 cm und zwar mittelst des Spiegelapparates gemessen. Bei den Zugversuchen wurde die Messung bis zum Bruch fortgesetzt, bei den Druckversuchen nur bis zu einer, jener Bruchspannung ungefähr gleichen Druckspannung.

Die Belastung wurde mit der Pumpe der Werder-Maschine hervorgebracht und bei dem einen Exemplar eines jeden Paares Stangen oder Prismen aus gleichem Material immer nach 1 Minute die Verlängerung abgelesen und ein neues Mehrgewicht zugelegt, bei dem anderen Exemplar jedesmal erst nach 5 Minuten. Nur bei einem Paar der Prismen, aus der mit CR bezeichneten Gusseisensorte, wurde beidesmal die gleiche Geschwindigkeit (Gewichtszulage nach je 1 Minute) genommen, um den Grad der Uebereinstimmung der Resultate bei gleichem Material und gleicher Geschwindigkeit zu zeigen.

Die vier untersuchten Gusseisensorten waren:

- 1) Zeichen CR, aus Coaksroheisen,
- 2) „ HR, aus Holzkohlenroheisen,
- 3) „ 10/90 aus 90% Coaksroheisen und 10% Stahl,
- 4) „ 20/80 aus 80% Coaksroheisen und 20% Stahl.

Die nach den Messungen aufgezeichneten Arbeitsdiagramme sind auf Blatt XII in den dort angegebenen Maassstäben wiedergegeben, und zwar die Zugversuche mit nach aufwärts gerichteten Ordinaten und nach rechts gekehrten Abscissen, wie bisher immer schon, die Druck-

versuche in entgegengesetzten Richtungen. Bei den letzteren betrug das jedesmal zugelegte Mehrgewicht 2,5 Tonnen, bei den Zugversuchen anfangs, bis zu den mit \* bezeichneten Beobachtungspunkten, zwei Tonnen, darnach nur eine Tonne; wo kein solcher Punkt ausgezeichnet ist, war die Gewichtszulage durchweg zwei Tonnen. Nach diesen Angaben könnten die Dehnungs- und Kraftdiagramme leicht gezeichnet werden, wenn es für nothwendig erachtet werden sollte.

Von den Arbeitsdiagrammen ist wieder das rascher, in Zwischenräumen von einer Minute aufgenommene mit 1, das andere mit 2 bezeichnet. Bei der Gusseisensorte CR, wo die beiden Druckversuche mit gleicher, der grösseren Geschwindigkeit, durchgeführt wurden, ist das eine Diagramm mit 1, das andere mit 1' bezeichnet; sie laufen ziemlich dicht nebeneinander, aber ebenso dicht die beiden Druckdiagramme 1 und 2 der Sorte 10/90 und schliesslich kommt sogar 2 über 1, während bei den Sorten HR und 20/80 das Druckdiagramm 1 über 2 liegt, wenn auch nur wenig.

Bei der Gusseisensorte 20/80 sind drei Zugdiagramme

Gusseisensorte . . . . .	CR	HR	10/90	20/80
Diagramm-Nr. . . . .	1 2	1 2	1 2	1 2
Zugfestigkeit . . . . .	1810 2070	1930 1710	1810 2050	2640 2400 at

Auch an diesen Zahlen ist ein Einfluss der Geschwindigkeit nicht ersichtlich.

§ 23. Ueberblickt man die vorstehend mitgetheilten Resultate, so sieht man, dass bei Fluss- und Schweisseisen, bei Kupfer, bei Messingblech und bei Bronzeguss ein Einfluss der Zeit oder der Geschwindigkeit mit der die Dehnung ausgeführt wird, nicht oder kaum merklich ist innerhalb der Grenzen, in denen in der Praxis die Versuche durchgeführt werden. Bei Messingguss ist er sehr gering und wird, wenn vorhanden, leicht durch zufällige Ungleichmässigkeiten des Materials verdeckt, ebenso bei Zinkguss und Gusseisen. Bei Zinkblech dagegen ist er im Verlauf der Arbeitsdiagramme sowohl, als auch bei der Maximal-Bruchbelastung deutlich erkennbar, nicht aber an der Querschnitts-Contraction und Bruchdehnung. Bei Blei, sowohl bei Guss, als auch bei Walzblei, ist der Einfluss der Zeit unsicher bei dem Arbeitsdiagramme, unverkennbar bei der Maximalbelastung und kaum erkennbar bei der Bruchdehnung. Am grössten ist der in Rede stehende Einfluss bei gegossenem Zinn, sowohl auf den Verlauf des Arbeitsdiagramms als auf die Maximalbelastung.

§ 24. Zur Erklärung der Erscheinung, dass bei grösserer Geschwindigkeit der Dehnung das Arbeitsdiagramm höher über der Coordinaten-Axe, auf welcher die Dehnungen aufgetragen werden, verläuft, als bei geringerer

gezeichnet. Die mit 1 und 1' sind mit gleicher Geschwindigkeit an der gleichen Stange aufgenommen, 1 im ursprünglichen Zustande derselben, bis sie im einen Einspannauge riss, 1' sieben Tage darnach bei anderer Einspannweise. Es ist also nur 1 mit 2 zu vergleichen; das Diagramm 1' wurde mit aufgenommen, um zu zeigen, wie das Material durch die vorausgegangene Beanspruchung verändert worden ist. — Das Zugdiagramm 1 liegt nur bei den Sorten HR und 10/90 entschieden über 2, bei der Sorte CR liegt 2 entschieden über 1 und bei der Sorte 20/80 anfangs unter 1, um sich später darüber zu erheben. Gross ist der Unterschied zwischen beiden Diagrammen gegenüber den sehr verschiedenen Geschwindigkeiten, mit denen sie aufgenommen wurden, nirgends, und wenn also ein Einfluss der Zeit vorhanden ist, so ist er jedenfalls so gering, dass er gegenüber den in der Praxis stets vorkommenden Unregelmässigkeiten des Materials vernachlässigt werden kann, wenn die Geschwindigkeiten nicht zwischen gar zu weiten Grenzen wechseln.

Die beobachteten Bruchbelastungen bei den Zugversuchen waren:

HR	10/90	20/80
1 2	1 2	1 2
1930 1710	1810 2050	2640 2400 at

Geschwindigkeit, ist von Fischer, Connert u. A. die sog. innere Reibung mit herbeigezogen worden. Ich kann mir nicht vorstellen, wie eine solche Reibung in dem Sinne, wie dieser Begriff für gewöhnlich in der Technik beim Uebereinandergleiten von Körpern gebraucht wird, zu Stande kommen kann, wenn man berücksichtigt, wie gross im Verhältniss zur Grösse der Moleküle die Abstände derselben von einander auch in festen Körpern sein müssen. Einfacher scheint es mir, die Frage von der entgegengesetzten Seite anzugreifen, d. h. eine Erklärung dafür zu suchen, warum bei geringerer Geschwindigkeit der Dehnung das Arbeitsdiagramm näher an der Abscissenaxe vorläuft. Man findet diese dann zunächst in der bekannten Erscheinung des Nachstreckens\*), wie schon im § 1 näher dargelegt wurde. In der That, wenn man sich den Vorgang des Streckens bei wachsender Belastung nicht continuirlich vorstellt, sondern absatzweise, so, dass die Belastung eine kürzere oder längere Zeit constant bleibt, dann während einer bestimmten Zeit um ein Gewisses wächst, darauf wieder constant bleibt u. s. w., wie es mittelst der Pumpe der Werder'schen Maschine wirklich ausgeführt werden kann, so sieht man leicht,

\*) Es ist mir wohlbekannt, dass auch diese Erscheinung auf sog. inneren Reibung zurückzuführen gesucht wird, aber, wie ich glaube, mit geringem Erfolg, wie die oben weiter zu beschreibenden Versuche zeigen werden.

wie das Arbeitsdiagramm bei längerem Verweilen der Belastung auf einer und derselben Grösse, also bei grösserer Nachstreckung, nothwendig unter dem bleiben muss, wo die Zwischenpausen kleiner sind, also die Geschwindigkeit der Diagramm-Aufnahme grösser ist.

Es ist dann umgekehrt eine Erklärung dafür zu suchen, warum, wie in den vorstehenden Paragraphen gezeigt, die Arbeitsdiagramme von Fluss- und Schweisseisen, Kupfer, Messingblech etc. dicht nebeneinander laufen und fast zusammenfallen, trotz der zum Theil sehr verschiedenen Geschwindigkeit ihrer Aufnahme und trotzdem, dass gerade jene Metalle sich am meisten strecken lassen und die Erscheinung des Nachstreckens am hervorragendsten zeigen. Diese Erklärung findet sich aber in der von Anderen und mir\*) schon früher festgestellten Thatsache, dass der Verlauf des Arbeitsdiagrammes nach einer Pause (so will ich hier kurz die Zeit nennen, während welcher eine gewisse Belastung constant erhalten wird) wesentlich abhängt von der Länge dieser Pause; je länger diese ist, desto steiler steigt das Diagramm bei Zulage einer Mehrbelastung unter sonst gleichen Umständen an. Die Elasticität wird, wie man sich früher weniger präcis ausdrückte, durch längere Einwirkung einer Belastung erhöht. In der That sieht man nun leicht, dass jene Senkung des Arbeitsdiagrammes nur dann eintreten muss, wenn nach längeren Pausen das Diagramm in derselben Weise ansteigt, wie nach kürzeren; dass sich aber das langsamer genommene Diagramm dem schneller genommenen nähern, ja dasselbe wieder erreichen kann, wenn es nach den längeren Pausen rascher oder viel rascher ansteigt, als dieses nach kürzeren, wenn also das Material im mehr oder weniger hohen Grade die Eigenschaft besitzt, dass sich seine Elasticität während der Einwirkung einer constanten Belastung und der dadurch hervorgebrachten Nachstreckung erhöht.

Zum Beweise der Richtigkeit obiger Folgerungen habe ich noch Versuche an 3 Normalfachstäben Nr. 3903<sup>a, b, c</sup> aus Schweisseisen mit  $2,97 \times 1,40 \text{ cm} = 4,16 \text{ qcm}$  Querschnitt angestellt, welche aus einer Flachstange von  $50 \times 14 \text{ mm}$  Querschnitt und  $3 \text{ m}$  Länge nebeneinander abgeschnitten waren. Sie wurden wieder zuerst mit dem Spiegelapparat gemessen, bis die Streckgrenze erreicht und etwas überschritten war, worauf dann der Kreiszeigerapparat angebracht wurde und zwar in seiner vollkommeneren, auf Blatt I abgebildeten Einrichtung. Die Messungen mit demselben wurden jedesmal wenige, 6 bis 8 Minuten nach Schluss jener ersten Messungen begonnen und bei derselben Belastung, 9 Tonnen oder 2160 at. Die Belastung wurde bei allen 3 Stäben mittelst der Pumpe

\*) Mittheilungen, Heft XIII., Abschnitt 1.

der Werder'schen Maschine aufgebracht; das zugelegte Mehrgewicht betrug allemal 0,25 t oder 60 at.

Die Resultate der Messungen mit dem Kreiszeigerapparat sind auf Blatt XIII in derselben Weise wie früher graphisch dargestellt, soweit es die Grösse des Blattes zulies. Ueber dasselbe hinaus fallen die drei Arbeitsdiagramme fast vollständig zusammen und hätte die Darstellung derselben und der anderen Diagramme kein Interesse mehr geboten.

Beim Stabe c, dessen Diagramme mit c bezeichnet sind, wurde jedesmal, sobald die Blase der Libelle am Wagbalken einspielte, ein neues Mehrgewicht zugelegt und möglichst gleichmässig ohne Unterbrechung fortgepumpt. Die Diagramme bilden also continuirliche Curven. Die ganze Diagramm-Aufnahme bis zum Bruche des Stückes dauerte nur 24 Min. 31 Sec. Bei den Stäben a und b, deren Diagramme mit den gleichen Buchstaben bezeichnet sind, wurde sofort nach dem Einspielen der Libellenblase unter einem vorher aufgelegten Mehrgewichte Uhr und Kreiszeiger abgelesen und dann aber in der Regel kürzere oder längere Zeit gewartet und unterdessen die Blase im Einspielen, die Belastung also constant erhalten. Die Stellung des Kreiszeigers, also die Dehnung, wurde währenddem öfter, mindestens am Anfang jeder ganzen Minute abgelesen. Am Schlusse dieser „Pause“ wurde ein neues Mehrgewicht zugelegt und dann rascher mit der gewöhnlichen Geschwindigkeit, wenn es anging, fortgepumpt, bis die Blase wieder einspielte u. s. w. Diejenigen Punkte der Diagramme, bei welchen ein neues Mehrgewicht zugelegt wurde, sind mit den Buchstaben a oder b mit unten, rechts angehängtem Zeiger 1, 2, 3 etc. bezeichnet und die unmittelbar darauf folgenden, wo die Libellenblase eben mitspielte, mit denselben Buchstaben und Zeigern, aber noch mit oben rechts beigefügten Accent ('), vorausgesetzt, dass nicht sofort ein neues Mehrgewicht aufgelegt wurde, wo dann der Zeiger unten um 1 erhöht und ein Accent nicht beigesetzt ist. An allen Zwischenpunkten, die gar nicht, oder nur mit den Buchstaben a und b ohne Zeiger und Accent bezeichnet sind, war also die Belastung constant so, wie an dem, ihnen vorhergehenden a oder b mit Zeiger und Accent.

Alle diese Punkte wären zwar an dem Kraft- und Arbeitsdiagramme sofort leicht zu erkennen und aus dem einen oder anderen von diesen auch im Dehnungsdiagramm leicht aufzusuchen gewesen; der rascheren Uebersicht und der folgenden näheren Besprechung halber wurde es jedoch vorgezogen, trotzdem die obige, etwas umständlich erscheinende Bezeichnung einzuführen.

Die ganze Diagrammaufnahme bis zum Bruche dauerte beim Stabe a 89 Min. und 10 Sec., beim Stabe b 160 Min. 57 Sec., also 3 bis 4 und bezw. ca. 6 mal so lang, als bei c;

trotzdem bleibt das Arbeitsdiagramm a nur wenig und nur anfangs unter dem c, und wird das absetzende Diagramm b vom continuirlichen c gleich vom Anfang an fast mitten durchschnitten; am Ende aber und zwar fast in

Bei dem Stabe a wurde zwischen

$a_6' \text{ u. } a_7, a_7' \text{ u. } a_8, a_8' \text{ u. } a_9, a_9' \text{ u. } a_{10}, a_{10}' \text{ u. } a_{11}, a_{11}' \text{ u. } a_{12}, a_{12}' \text{ u. } a_{13}, a_{13}' \text{ u. } a_{14}, a_{14}' \text{ u. } a_{15}$   
 bzw. 1 3 5 7 9 7 5 3 1 Minute

mit den betr. Belastungen ausgehalten. Nach diesen „Pausen“ sieht man die nachfolgenden Diagrammstrecken

$a_7 a_7', a_8 a_8', a_9 a_9', a_{10} a_{10}', a_{11} a_{11}', a_{12} a_{12}', a_{13} a_{13}', a_{14} a_{14}', a_{15} a_{15}$

unter der gleichen Mehrbelastung von  $0,25 t$  und in derselben Zeit von ungefähr einer Minute um so steiler ansteigen, je länger die vorangegangene Pause war. Die Dehnungszunahme beträgt für jene Strecken bezw.

$0,34 \ 0,26, 0,08 \ 0,06, 0,05_5 \ 0,12_5 \ 0,17 \ 0,34 \ 0,58 \text{ mm.}$

Dass dabei die Streckungen nach gleichlangen Pausen um so grösser werden, je weiter die Streckung im Ganzen schon fortgeschritten ist, wie obige Zahlen deutlich zeigen, ist nach dem ganzen Verlauf der Arbeitsdiagramme selbstverständlich und geht aus dem weiteren Verlauf des Diagramms noch deutlicher hervor. Nach der Pause von nicht ganz 8 Minuten zwischen  $a_{20}'$  und  $a_{21}$  ist die, durch die Mehrbelastung von  $0,25 t$  innerhalb einer Minute hervorgebrachte Streckung von  $a_{21}$  bis  $a_{21}'$   $1,17 \text{ mm}$ , während sie zwischen  $a_{12}$  und  $a_{12}'$  nach einer nur 7 Minuten langen Pause  $0,12_5 \text{ mm}$  beträgt.

Recht deutlich und unmittelbar in die Augen fallend zeigt den Einfluss der Pausen die Vergleichung der beiden Diagramme a und b in ihren unmittelbar über- (neben-) einander liegenden Theilen, insbesondere von  $a_3'$  bis  $a_{15}$  und bezw.  $b_6$  bis  $b_{16}'$ .

Bei dem Stabe b wurden zunächst die Pausen  $b_4' b_5, b_5' b_6, b_6' b_7, b_7' b_8$  und  $b_{20}' b_{21}$  so lange ausgehalten, bis die Nachstreckung in einer Minute weniger als  $0,01 \text{ mm}$  betrug, wozu bezw. 7, 9, 10, 10 und 19 Minuten erforderlich waren. Die Nachstreckungen selber betragen bezw.  $1,00, 0,26, 0,39_5, 0,42$  und  $2,69 \text{ mm}$ , wozu zu bemerken, dass die erstere noch in die eigentliche Streckperiode fällt. Die nach diesen Pausen durch die Mehrbelastung von  $0,25 t$  hervorgebrachten Dehnungen waren  $0,04_5, 0,05, 0,03_5, 0,05_5$  und  $0,11 \text{ mm}$ .

Um zu sehen, ob für den Verlauf des Arbeitsdiagrammes nach der Pause (für die Erhöhung der Elasticität) die Zeitdauer der Pause oder die Grösse der darin stattgehabten Nachstreckung massgebend ist, wurden die Pausen  $b_8' b_9, b_9' b_{10}, b_{10}' b_{11}$  und  $b_{11}' b_{12}$  gleiche Zeit, nämlich 4 Minuten ausgehalten, die Pausen  $b_{12}' b_{13}, b_{13}' b_{14}, b_{14}' b_{15}, b_{15}' b_{16}$  aber so lange, bis die darin stattgefundene Nachstreckung immer gleich und so gross, wie in der letzten der vorigen Pausen war, nämlich  $0,40 \text{ mm}$ , wozu bezw.  $2' 26'', 1' 27'', 1' 57''$  und  $1' 9''$  Zeit erforderlich war. Die vom Mehrgewicht von  $0,25 t$  nach diesen Pausen bis

der ganzen zweiten Hälfte fallen, wie schon gesagt, alle drei Arbeitsdiagramme beinahe ganz zusammen.

Betrachten wir nun die beiden treppenförmig abgesetzten Arbeitsdiagramme a und b etwas näher.

zum Einspielen der Libellenblase hervorgebrachten Dehnungen waren bei jener ersten Pausengruppe  $0,24, 0,21, 0,24, 0,21 \text{ mm}$ , also nahezu gleich gross, während sie in der zweiten Pausengruppe betragen:  $0,30, 0,52, 0,44, 0,60 \text{ mm}$ , also grösser waren als jene und um so grösser, je kürzer die Dauer der vorausgegangenen Periode war. Hieraus folgt also, dass die Zeit der massgebende Faktor für die in einer Pause eintretende Erhöhung der Elasticität, präziser gesprochen: für das steilere Ansteigen des Arbeitsdiagrammes nach der Pause ist.

Ein solcher Einfluss der Zeit auf das elastische Verhalten eines Materials nach vorgenommener Streckung desselben macht sich, wie ich im XIII. Hefte dieser Mittheilungen nachgewiesen habe, auch dann geltend, wenn nach der Streckung entlastet und der Stab längere Zeit im unbelasteten Zustande liegen gelassen wird. Das Diagramm a auf Blatt I jenes Heftes zeigt diesen Einfluss an den betr. Stellen sehr deutlich. Doch liegt diese Wirkung der Zeit den hier besprochenen Vorgängen zu ferne und wurde deshalb nicht näher auf sie eingegangen.

Die sämtlichen an den drei Stäben Nr. 3903<sup>a, b, c</sup> angestellten Messungen ergaben, zusammengestellt, folgende Resultate:

Stab:	a	b <sup>a</sup>	c
Elasticitäts-Modul . . .	2'145000	2'230000	2'155000 at
Elasticitätsgrenze . . .	2280	2100	2280 at
Streckgrenze . . . . .	2340	2280	2340 at
Zugfestigkeit . . . . .	3520	3510	3500 at
Querschnittscontraction . .	52	49	50%
Bruchdehnung auf 20 cm . .	30,0	31,2	30,3%

Auch an ihnen lässt sich ein Einfluss der Geschwindigkeit der Versuchsausführung, die doch im Mittel bei Stab c ungefähr 6 mal so gross war als bei b, nicht erkennen.

§ 25. Ueber den Verlauf des Nachstreckens (der elastischen Nachwirkung) während einer Pause, d. h. während des Constanthaltens einer Belastung von dem Moment an, wo die Libellenblase zuerst einspielte, bis zum Auflegen eines neuen Mehrgewichts, geben die Dehnungscurven a und b zwischen den Punkten  $a_n'$  und  $a_{n+1}$  bezw.  $b_n'$  und  $b_{n+1}$  ein gutes Bild. In dieser Beziehung ist auch der weitere Verlauf der Versuche mit den Stäben a und b,

welcher über den Rahmen des Blattes XIII hinausfällt, von Interesse und will ich ihn deshalb, und der Vollständigkeit halber auch für den Stab c, hier in Zahlen,

welche direkt dem Beobachtungs-Journal entnommen sind, wiedergeben.

Schweisseisenstab 3903 <sup>a</sup> Querschnitt 2,97 × 1,40 cm = 4,16 qcm					Schweisseisenstab 3903 <sup>b</sup> Querschnitt 2,97 × 1,40 cm = 4,16 qcm					Schweisseisenstab 3903 <sup>c</sup> Querschn. 2,97 × 1,40 cm = 4,16 qcm								
Zeit	Be- last- ung	Dehn- ung auf 15 cm	Differenzen	Bei a <sub>n</sub> 0,25 t zugelegt, > a' n diese erreicht.	Zeit	Be- last- ung	Dehn- ung auf 15 cm	Differenzen	Bei b <sub>n</sub> 0,25 t zugelegt, > b' n diese erreicht.	Zeit	Be- last- ung	Dehn- ung auf 15 cm	Differenzen	Bei b <sub>n</sub> 0,25 t zugelegt, > b' n diese erreicht.	Zeit	Be- last- ung	Dehn- ung auf 15 cm	Differenzen
Min. Sec.	Tonnen	mm			Min. Sec.	Tonnen	mm			Min. Sec.	Tonnen	mm			Min. Sec.	Tonnen	mm	
71' 0"	14,0	21,52		a <sub>20</sub>	126' 0"	14,25	23,45		b <sub>22</sub>	137' 0"	14,5	30,01	15		17' 27"	14,3	23,90	
72' 20"	14,25	22,64	112	a' 20	127' 3"	14,5	24,38	93	b' 22	138' 0"		30,26	25		18' 23"	14,4	25,39	149
73' 0"		23,14	50		127' 30"		24,84	46		139' 0"		30,50	24		19' 9"	14,5	27,60	221
74' 0"		23,87	73		128' 0"		25,37	53		140' 0"		30,74	24			14,6	nicht erreicht, Wage	
75' 0"		24,55	68		30"		25,83	46		141' 0"		30,94	20				sinkt.	
76' 0"		25,15	60		129' 0"		26,30	47		142' 0"		31,15	21		21' 25"	14,56	34,80	
77' 0"		25,67	52		30"		26,80	50		143' 0"		31,32	17		22' 0"	14,55	37,07	
78' 0"		26,08	41		130' 0"		27,27	47		144' 0"		31,49	17		13"	14,54	37,75	
79' 0"		26,37	29		30"		27,58	31		145' 0"		31,64	15		28"	14,52	39,80	
80' 0"		26,63	26	a <sub>21</sub>	131' 0"		27,87	29		146' 0"		31,79	15		43"	14,50	39,86	
81' 10"	14,5	27,80	117	a' 21	30"		28,13	26		147' 0"		31,93	14		23' 4"	14,4	41,30	
82' 0"		28,74	94		132' 0"		28,32	19		148' 0"		32,07	14		29"	14,3	43,10	
83' 0"		29,84	112		30"		28,50	18		149' 0"		32,21	14		37"	14,2	43,61	
84' 0"		30,93	109		133' 0"		28,69	19		150' 0"		32,33	12		48"	14,0	44,08	
85' 0"		32,05	112		30"		28,87	18		151' 0"		32,45	12		24' 1"	13,7	45,50	
86' 0"		33,07	102		134' 0"		29,06	19		152' 0"		32,57	12		7"	13,5	46,00	
87' 0"		34,13	106	a <sub>22</sub>	30"		29,23	17		153' 0"		32,68	11		16"	13,3	46,55	
88' 55"	14,75	37,40		nicht	135' 0"		29,40	17		154' 0"		32,78	10		23"	13,0	46,85	
89' 10"		erreicht, Wage		Bruch.	30"		29,57	15		155' 0"		32,89	11	b <sub>23</sub>	24' 31"	12,7	47,60	Bruch.
					30"		29,72	14		159' 28"		42,20		Wage sinkt,				
							29,86	14				ohne dass 14,75 t erreicht		werden.				
										160' 57"		44,70		Bruch.				

Man sieht aus diesen Zahlen und aus den Dehnungsdiagrammen auf Blatt XIII, dass auch auf die Nachstreckung, d. h. auf den Verlauf der Dehnung während einer Pause (elastische Nachwirkung) die Dauer der vorausgegangenen Pause von Einfluss ist. In der Regel ist die Geschwindigkeit des Nachstreckens am Anfang einer Pause am grössten und wird dann rasch kleiner: das Dehnungsdiagramm steigt anfangs rasch auf und nähert sich dann, stets seine concave Seite der Zeitaxe zuwendend, einer, zu dieser Axe Parallelen asymptotisch. Je länger aber die vorausgegangene Pause ist, desto kleiner und desto constanter wird die Geschwindigkeit der Nachstreckung am Beginne der ihr folgenden Pause, desto mehr nähert sich das Dehnungsdiagramm am Anfang derselben einer geraden Linie (s. den Anfang der Strecken a<sub>11</sub>' a<sub>12</sub>, b<sub>22</sub>' b<sub>23</sub>, letzteres in der Tabelle), und bei sehr grosser Länge der vorausgegangenen Pause endlich kann die Geschwindigkeit der Nachstreckung in der ihr folgenden anfangs kleiner sein, dann grösser werden und dann wieder kleiner: das Dehnungsdiagramm kehrt anfangs seine convexe Seite der Zeitaxe zu, geht dann durch einen Wendepunkt und kehrt darauf seine concave Seite nach jener Axe, um sich einer

zu ihr Parallelen asymptotisch zu nähern (vgl. die Strecken b<sub>6</sub>' b<sub>7</sub>, b<sub>7</sub>' b<sub>8</sub>, b<sub>21</sub>' b<sub>22</sub> auf Blatt XIII).

Eine ähnliche Wirkung übt auch eine vorausgegangene Ruhepause, d. h. eine solche, in welcher der Stab nach einer erhaltenen Streckung entlastet war, auf die Nachstreckung in einer ihr folgenden Pause aus, wie ich schon auf S. 5 des XIII. Heftes dieser Mittheilungen nachgewiesen habe. Dort war ein Rundstab von 2,50 cm Durchmesser aus Bessemerstahl mit 17 t belastet worden, wodurch nach einer Dauer von 7 Minuten eine totale Verlängerung von 1,57 mm auf ursprünglich 150 mm und nach der Entlastung eine bleibende Verlängerung von 1,265 mm hervorgebracht worden war. Der Stab blieb nun 24 Stunden unbelastet und gab dann, wieder mit 17 t belastet, nach 1 Minute eine totale Verlängerung von 1,515 mm, die sich in der nächsten Minute nicht vergrösserte (keine Nachstreckung), mit 18 t eine Dehnung von 1,54 mm nach einer und eine Dehnung von 1,55 nach 4 Minuten; mit 19 t endlich belastet, ergab er folgende Dehnungen (hier aus dem Beobachtungs-Journal ausführlicher wiedergegeben, als dort, in Heft XIII):

Nach . . . . .	1	5	9	13	17	21 Minuten
	1,585	1,62	1,665	1,80	1,895	1,94 mm
Differenzen für 4 Minuten . . . . .	0,035	0,045	0,135	0,095	0,045	

Tabelle I.

Flachstäbe aus Flusseisen, Nr. 3914<sup>a-d</sup>,

von einer Flacheisenstange von 36/14 mm Querschnitt und 1500 mm Länge hintereinander abgeschnitten; ausgeglüht.

Belastung <i>t</i>	3914 <sup>a</sup> (1) Querschn.: 2,15 × 1,37 = 2,945 <i>qcm</i>			3914 <sup>b</sup> (3) Querschn.: 2,15 × 1,37 = 2,945 <i>qcm</i>			3914 <sup>c</sup> (2) Querschn.: 2,15 × 1,37 = 2,945 <i>qcm</i>			3914 <sup>d</sup> (4) Querschn.: 2,135 × 1,37 = 2,92 <i>qcm</i>		
	Dehnung auf 15 <i>cm</i> <sup>1/1000</sup> <i>cm</i>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 <i>cm</i> <sup>1/1000</sup> <i>cm</i>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 <i>cm</i> <sup>1/1000</sup> <i>cm</i>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 <i>cm</i> <sup>1/1000</sup> <i>cm</i>	Differenzen	Bemerkungen
			6197. Vers.			6198. Vers.			6199. Vers.			6200. Vers.
0	0			0			0			0		
0,5	1,29	129	Wage genau.	1,14	114		1,18	118	Wage genau.	0,96	96	Wage genau.
1,0	2,50	121		2,39	115		2,39	121		2,13	117	
1,5	3,68	118		3,46	117		3,58	119		3,38	125	
2,0	4,88	120		4,59	113		4,74	116		4,58	120	
0	0,02			0,04			—0,01			—0,03		
2,0	4,82	115		4,58	113		4,77	114		4,65	114	
2,5	5,97	117		5,71	115		5,91	115		5,79	113	
3,0	7,14	117		6,86	117		7,06	114		6,92	115	
3,5	8,31	117		8,03	115		8,20	113		8,07	112	
4,0	9,48		Mittl. Elmd. = 2'185000 <i>at.</i>	9,18		Mittl. Elmd. = 2'220000 <i>at.</i>	9,33		Mittl. Elmod. = 2'197000 <i>at.</i>	9,19		Mittl. Elmd. = 2'265000 <i>at.</i>
0	0,04			0,09			0,03			—0,02		
4,0	9,49	116		9,18	115		9,34	115		9,15		
4,5	10,65	115		10,33	113		10,49	113		10,28	113	
5,0	11,80	116		11,46	115		11,62	115		11,43	115	
5,5	12,96	117		12,61	113		12,77	114		12,57	114	
6,0	14,13		unruhig.	13,74			13,91			13,71		
0	0,09			0,12			0,07			—0,02		
6,0	14,11	114		13,75	115		13,91	124	Elgr. bei 6,25 <i>t</i> = 2120 <i>at.</i>	13,60	114	
6,5	15,25	106		14,90			15,15			14,74		
7,0	16,31		s. unruhig. Elgr. bei 7,2 <i>t</i> = 2440 <i>at.</i>	16,10	120	Elgrz. bei 6,75 <i>t</i> = 2290 <i>at.</i>			Wird eine Zeit lang unter Un- ruhe gehalten, dann gehen die Scalen langsam fort, Streckgr. bei 7,0 <i>t</i> = 2380 <i>at.</i>	15,93	119	Elgr. bei 6,75 <i>t</i> = 2310 <i>at.</i>
7,5			nicht erreicht, Sca- len laufen beide rasch durch. Streckgr. bei 7,4 <i>t</i> 2510 <i>at.</i>			Wird erreicht u. längere Zeit ge- halten, dann lau- fen die Scalen durch; Streckgr.: bei 7,5 <i>t</i> = 2550 <i>at.</i>						Wird erreicht u. gehalten, dann laufen die Scalen durch. Streckgr. bei 7,5 <i>t</i> = 2570 <i>at.</i>
0	19,82			13,28			15,81			10,16		
			30 Min. Ruhe.			17 Min. Ruhe.			22 <sup>h</sup> 32' Ruhe.			22 Min. Ruhe.

Tabelle II.

Flachstäbe aus Schweisseisen, Nr. 3904<sup>a-d</sup>,

von einer Flacheisenstange von 40/14 mm Querschnitt und 2500 mm Länge neben einander abgeschnitten; ausgeglüht.

Belastung <i>t</i>	3904 <sup>a</sup> (1) Querschn.: $2,37 \times 1,39 = 3,29 \text{ qcm}$			3904 <sup>b</sup> (7) Querschn.: $2,37 \times 1,39 = 3,29 \text{ qcm}$			3904 <sup>c</sup> (6) Querschn.: $2,37 \times 1,39 = 3,29 \text{ qcm}$			3904 <sup>d</sup> (5) Querschn.: $2,37 \times 1,39 = 3,29 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen
			6404. Vers.			6405. Vers.			6406. Vers.			6407. Vers.
0	0			0			0			0		
0,5	1,02	102		1,10	110	Wage genau.	1,07	107		0,95	95	
1,0	2,08	106		2,11	101		2,11	104		2,01	106	
1,5	3,12	104		3,15	104		3,19	108		3,04	103	
2,0	4,19	107		4,21	106		4,26	107		4,05	101	
0	0,00			0,01			0,01			0,01		
2,0	4,18	104		4,21	103		4,25	103		4,04	105	
2,5	5,22	105		5,24	105		5,28	103		5,09	100	
3,0	6,27	104		6,29	103		6,31	103		6,09	101	
3,5	7,31	104		7,32	103		7,34	102		7,10	100	
4,0	8,35			8,35			8,36			8,10		
0	0,00		Mittl. Elmd. = 2'180000 at.	0,01		Mittl. Elmd. = 2'205000.	0,03		Mittl. Elmd. = 2'215000.	0,01		Mittl. Elmd. = 2'260000 at.
4,0	8,35	103		8,35	102		8,34	102		8,06	101	
4,5	9,38	103		9,37	102		9,36	102		9,07	101	
5,0	10,41	106		10,39	104		10,38	100		10,08	101	
5,5	11,47	105		11,43	102		11,38	101		11,09	103	
6,0	12,52			12,45			12,39			12,12		
0	0,02			-0,01			0,03			0,00		
6,0	12,52			12,41			12,37			12,09		
6,5	13,58	106		13,44	103		13,38	101		13,10	101	
7,0	14,68	110	Elgr. bei 6,75 <i>t</i> = 2050 at.	14,47	103	Elgr. bei 7,0 <i>t</i> = 2130 at.	14,41	103	Elgr. bei 7,0 <i>t</i> = 2130 at.	14,15	105	Elgr. bei 6,8 <i>t</i> = 2070 at.
7,5			Wird erreicht, aber die Waage fällt sofort und die Scalen laufen durch. Streckgr. b. 7,5 <i>t</i> = 2280 at.			Wird erreicht, aber die Scalen gehen langsam fort. Streckgr. bei 7,5 <i>t</i> = 2280 at.			Wird erreicht u. unter Unruhe ge- halten (Strecken beginnt ausser- halb der Mess- länge), dann lau- fen die Scalen durch. Streckgr. b. 7,5 <i>t</i> = 2280 at.			Nicht ganz, aber nahezu erreicht, dann laufen die Scalen durch; Streckgr. bei 7,4 <i>t</i> = 2250 at.
0	4,20			3,22			11,30			10,40		
			10 Min. Ruhe.			15 Min. Ruhe.			9 Min. Ruhe.			8 Min. Ruhe.

## Tabelle III.

Flachstäbe aus Schweisseisen, Nr. 3905<sup>e-e</sup>,  
 von einer Flacheisenstange von 36/14 mm Querschnitt und 2400 mm Länge nebeneinander abgeschnitten;  
 c und d ausgeglüht, e nicht.

Belastung <i>t</i>	3905 <sup>e</sup> (3) Querschnitt: 2,16 × 1,42 = 3,07 qcm			3905 <sup>d</sup> (4) Querschnitt: 2,15 × 1,42 = 3,05 qcm			3905 <sup>e</sup> (2) Querschnitt: 2,19 × 1,42 = 3,11 qcm		
	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000</sup> cm	Differenzen	Bemerkungen  6190. Vers.	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000</sup> cm	Differenzen	Bemerkungen  6191. Vers.	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000</sup> cm	Differenzen	Bemerkungen  6192. Vers.
0	0			0			0		
0,5	1,07	107		1,19	119	Wage zu hoch.	1,22	122	Wage richtig.
1,0	2,16	109		2,19	100		2,33	111	
1,5	3,32	116		3,25	106		3,48	115	
2,0	4,46	114		4,36	111		4,61	113	
0	0,05			0,00			0,08		
2,0	4,43			4,36			4,63	112	
2,5	5,55	112		5,47	111		5,75	111	
3,0	6,64	109		6,56	109		6,86	107	
3,5	7,72	108		7,65	109		7,93	110	
4,0	8,82	110		8,75	110		9,03		
0	0,04		Mittl. Elmd. = 2·230000 at.	0,00		Mittl. Elmd. = 2·200000 at	0,09		Mittl. Elmod. = 2·130000 at.
4,0	8,77			8,78			9,06		
4,5	9,85	108		9,90	112		10,14	108	
5,0	10,95	110		11,06	116		11,27	113	
5,5	12,04	109		12,21	115		12,36	109	
6,0	13,16	112		13,38	117		13,51	115	
0	0,05			0,05			0,15		
6,0	13,15			13,37		Elgr. bei 6,2 t = 2030 at	13,51		
6,5	14,26	111	Elgr. bei 6,5 t = 2120 at			Wird erreicht, aber die Scalen laufen durch.	14,65	114	
7,0			Wird nahezu erreicht, dann laufen die Scalen durch. Strekgr. bei 6,9 t = 2250 at			Strekgr. bei 6,5 t = 2130 at	15,80	115	
7,5							16,95	115	
8,0							18,17	122	Elgr. bei 7,75 t = 2490 at
0	14,06	—	15 Min. Ruhe.	18,74	—	13 Min. Ruhe.	0,35		
8,0							18,21		
8,5									Nicht erreicht, Scalen laufen durch; Streckgr. bei 8,25 t = 2650 at
0							10,89		9 Min. Ruhe.

Tabelle IV.

Flachstäbe aus Kupfer, Nr. 4053<sup>a-d</sup>,  
aus einer Feuerbüchsen-Platte nebeneinander herausgeschnitten.

Belastung $t$	Nr. 4053 <sup>a</sup> (3) Querschn.: $3,04 \times 1,40 = 4,26 \text{ qcm}$			Nr. 4053 <sup>b</sup> (4) Querschn.: $3,04 \times 1,40 = 4,26 \text{ qcm}$			Nr. 4053 <sup>c</sup> (2) Querschn.: $3,04 \times 1,40 = 4,26 \text{ qcm}$			Nr. 4053 <sup>d</sup> (1) Querschn.: $3,04 \times 1,40 = 4,26 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen
			6227. Vers.			6228. Vers.			6229. Vers.			6230. Vers.
0	0	51	Vorher mit 0,2 t belastet.	0	57	Vorher mit 0,2 t belastet.	0	54	Vorher mit 0,2 t belastet.	0	52	Vorher mit 0,2 t belastet.
0,2	0,51	53		0,57	47	Wage zu hoch.	0,54	57	Wage genau.	0,52	54	
0,4	1,04	57		1,04	55		1,11	56		1,06	60	
0,6	1,61	61		1,59	60		1,67	61		1,66	61	
0,8	2,22			2,19			2,28			2,27		
0	0,00			0,06			0,08			0,09		
0,8	2,24	67		2,21	62		2,30	64		2,25	71	
1,0	2,91	78		2,83	68		2,94	71		2,96	74	
1,2	3,69	91		3,51	76		3,65	81		3,70	84	
1,4	4,60	116		4,27	91		4,46	97		4,54	98	
1,6	5,76			5,18			5,43			5,52		
0	1,24			0,79			0,96			1,01		
1,6	5,94	136		5,30	94		5,55	103		5,65	109	
1,8	7,30	249		6,24	132		6,58	153		6,74	176	
2,0	9,79	435		7,56	194		8,11	215		8,50	279	
2,2	14,14	831	Unter starkem Nachgeben.	9,50	204	Unter Nachgeben.	10,26	376	Unter Nachgeben.	11,29	547	
2,4	22,45		desgl.	11,54			14,02		Unter Nachgeben.	16,76		Unter Nachgeben.
0	15,30			5,92			6,85			10,25		11 Min. Ruhe.
2,4			15 Min. Ruhe.	13,39	416		14,61	681				
2,6				17,55	1053	Unter starkem Nachgeben.	21,42					
2,8				28,08								
0				19,59		12 Min. Ruhe.	13,49		20 Min. Ruhe.			

### Tabelle V.

Flachstäbe aus Bleignuss, Nr. 4056<sup>a, e, f</sup>,  
e und f aus dem Material von d umgegossen.

Belastung t	Nr. 4056 <sup>a</sup> (2) Querschnitt: 2,87 × 0,87 cm = 2,51 gem				Nr. 4056 <sup>e</sup> (1) Querschnitt: 2,85 × 0,83 cm				Nr. 4056 <sup>f</sup> (3) Querschnitt: 2,85 × 0,83 cm							
	im ursprüngl. Zustande		unmittelbar nach d. vor. Messung		3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Std. n. Schluss d. vorig. Messung		6367. Vers.		6369. Vers.		6367. Vers.		6369. Vers.			
	Zwischen-Zeit Min.	Dehnung auf 15 cm 1/1000 cm	Differenzen	Bemerkungen	Zwischen-Zeit Min.	Dehnung auf 15 cm 1/1000 cm	Differenzen	Bemerkungen	Zwischen-Zeit Min.	Dehnung auf 15 cm 1/1000 cm	Differenzen	Bemerkungen	Zwischen-Zeit Min.	Dehnung auf 15 cm 1/1000 cm	Differenzen	Bemerkungen
0	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0	16		3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	18,47	43		5	22,60	52		2	0	72	Wage richtig.
0,01	2	0,16	49		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	18,90	33	Wage genau.	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23,12	40	Wage genau.	1	0,06	25	
0,02	2	0,65	54		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19,23	58	Desgl.	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23,52	53		1	0,31	48	
0,03	1	1,19	51		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19,81	40	Wage zuhoch.	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	24,05	53		1	0,79	56	
0,04	1	1,70			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,21			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	24,58			1	1,35		
0	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0,23			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		52		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		38		1	0,22		
0,04	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1,77	61		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	20,73	47		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	24,96	42	dazw. auf 0.	1	1,51	28	
0,05	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2,38	77		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	21,20	52		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	25,38	54		1	1,79	44	
0,06	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3,15	99		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	21,72	39		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	25,92	44		1	2,23	47	
0,07	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4,14	152		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22,11			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	26,36			1	2,70	56	
0,08		5,66			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		51		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		68		1	3,26		
0	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		229		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>				1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>				2	0,63		
0,08	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7,95			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22,72	65		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	27,04	52		1	3,36	52	
0,09	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12,37	442		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23,37	318		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	28,56	1150		1	4,70	82	
0,10	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22,84	1047		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	26,55			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	40,06			1	5,86	116	
0,11	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>				1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>				1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>				1	7,95	209	
0,12	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	18,47			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22,60			1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	36,68			1	4,36		
0								3 <sup>h</sup> 24 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Min. Ruhe.								14 Min. Ruhe.
																13 Min. Ruhe.
																13 Min. Ruhe.

**Tabelle VI.**

Flachstäbe von Zinn-guss, Nr. 4179<sup>a-d</sup>,

a u. b zuerst miteinander, c u. d einige Tage später gegossen.

Belastung <i>t</i>	Nr. 4179 <sup>a</sup> (2) Querschn.: $2,95 \times 0,94 = 2,77 \text{ qcm}$			Nr. 4179 <sup>b</sup> (3) Querschn.: $2,95 \times 0,94 = 2,77 \text{ qcm}$			Nr. 4179 <sup>c</sup> (1) Querschn.: $2,95 \times 0,94 = 2,77 \text{ qcm}$			Nr. 4179 <sup>d</sup> (4) Querschn.: $2,95 \times 1,94 = 2,77 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen
			6489. Vers.			6490. Vers.			6491. Vers.			6492. Vers.
0	0			0				0				
0,02	0,23	23	Elmod. = 450000 at.	—		Elast. Mod. = 460000 at.		—		Elast. Mod. = 460000 at.	0,38	38
0,04	0,47	24		—				—			0,61	23
0,06	0,72	25	Elast. Grenze bei 0,06 <i>t</i> = 21,5 at.	0,70		Elast. Grenze bei 0,06 <i>t</i> = 21,5 at.		0,70		Elast. Grenze bei 0,06 <i>t</i> = 21,5 at.	0,93	32
0,08	1,01	29		0,96	26			1,05	35		1,34	41
0	0,15			0,13				0,23			0,36	
0,08	1,34	18	Wage viel zuhoch.	1,00	43			1,10	46		1,46	47
0,10	1,52	37	Wage zml. richtig	1,43	92			1,56	70		1,93	74
0,12	1,89	70	sehr merkl. Nachg.	2,35	177			2,26	123		2,67	139
0,14	2,59	135		4,12	319			3,49	249		4,06	219
0,16	3,94			7,31				5,98			6,25	
0	2,40			6,14				4,73			4,21	
0,16	4,58	200		8,48	495			7,90	375		6,95	322
0,18	6,58		Unter starkem Nachgeben.	13,43				11,65			10,17	
0,20	11,90	532	Scalen gehen stetig fort.	24,00	1057	Scalen laufen schnell.		19,70	805	Scalen laufen schnell.	16,15	598
0	10,66			23,25				19,35			14,44	
			21 Min. Ruhe.			41 Min. Ruhe.				7 Min. Ruhe.		7 Min. Ruhe.

**Tabelle VII.**

Flachstäbe von Bronze-Guss, Nr. 4057<sup>a-d</sup>.

Belastung <i>t</i>	Nr. 4057 <sup>a</sup> (4) Querschn.: $2,92 \times 0,89 = 2,60 \text{ qcm}$			Nr. 4057 <sup>b</sup> (5) Querschn.: $2,92 \times 0,89 = 2,60 \text{ qcm}$			Nr. 4057 <sup>c</sup> (1) Querschn.: $2,92 \times 0,89 = 2,60 \text{ qcm}$			Nr. 4057 <sup>d</sup> (6) Querschn.: $2,92 \times 0,89 = 2,60 \text{ qcm}$				
	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen		
			6397. Vers.			6401. Vers.			6402. Vers.			6403. Vers.		
0	0			0				0						
0,2	1,17	117	Starkes Zittern der Scalen durchweg. Elmod. = 974000 at.	1,13	113	Wage etw. zu hoch. Elmod. = 959000 at.		1,00	100	Wage etw. zu hoch. Elmod. = 976000 at.	1,29	129		
0,4	2,38	121		2,31	118		2,25	125	2,50		121	2,50	121	Wage richtig. Elmod. = 919000 at.
0,6	3,57	119		3,55	124		3,46	121	3,76		126	3,76	126	
0,8	4,74	117		4,81	126		4,73	127	5,02		126	5,02	126	
0	0,02			0,00				—0,04			0,09			
0,8	4,74			4,80				4,74			5,01			
1,0	5,97	123		6,05	125			6,00	126		6,29	128		
1,2	7,23	126	Elmod. = 923000 at.	7,34	129	Elmod. = 889000 at.		7,30	130	Elmod. = 882000 at.	7,56	127		
1,4	8,48	125		8,65	131		8,63	133	8,84		128	8,84	128	Elmod. = 891000 at.
1,6	9,74	126		9,99	134		9,97	134	10,19		135	10,19	135	
0	0,20			0,37			0,33		0,37			0,37		
1,6	9,73			10,06				10,01			10,18			
1,8	11,05	132		11,44	138			11,43	142		11,56	138		
2,0	12,46	141		13,00	156			13,01	158		13,11	151		
2,2	14,13	167		14,81	181			14,81	180		14,96	185		
2,4	16,11	198		17,07	226			17,27	246		17,26	230		
0	1,92			2,66				2,69			2,73			
			10 Min. Ruhe.			9 Min. Ruhe.				5 Min. Ruhe.		11 Min. Ruhe.		

Tabelle VIII.

Flachstäbe von Bronze-Guss, Nr. 4057<sup>e-g</sup>.

Be- lastung <i>t</i>	Nr. 4057 <sup>e</sup> (7) Querschnitt: $2,92 \times 0,89 \text{ cm} = 2,60 \text{ qcm}$			Nr. 4057 <sup>f</sup> (2) Querschnitt: $2,92 \times 0,89 \text{ cm} = 2,60 \text{ qcm}$			Nr. 4057 <sup>g</sup> (3) Querschnitt: $2,92 \times 0,89 \text{ cm} = 2,60 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6429. Vers.	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6430. Vers.	Dehnung auf 15 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6431. Vers.
0	0			0			0		
0,2	1,43	143	Elmod. = 864000 at.	1,27	127	Elmod. = 863000 at.	1,22	122	Elmod. = 968000 at.
0,4	2,76	133		2,52	125		2,33	111	
0,6	4,08	132		3,88	136		3,44	111	
0,8	5,34	126		5,35	147		4,77	133	
0	0,03			0,10			0,00		
0,8	5,26		5,41		4,79				
1,0	6,53	127	Elmod. = 910000 at.	6,82	141	Elmod. = 808000 at.	6,10	131	Elmod. = 861000 at.
1,2	7,76	123		8,26	144		7,48	138	
1,4	9,03	127		9,70	144		8,80	132	
1,6	10,33	130		11,12	142		10,15	135	
0	0,23			0,61			0,26		
1,6	10,34		11,17		10,20				
1,8	11,74	140			12,60	134			
2,0	13,25	151			14,21	140			
2,2	14,97	172			16,08	162			
2,4	17,12	215			18,30	199			
0	2,02				3,07		2,09		
			19 Min. Ruhe.			6 Min. Ruhe.			9 Min. Ruhe.

Tabelle IX.

Flachstäbe aus decorirtem Messingguss, Nr. 889<sup>a, b, c</sup>.

Be- lastung <i>t</i>	Nr. 889 <sup>a</sup> (3) Querschnitt: $4,00 \times 1,00 \text{ cm} = 4,00 \text{ qcm}$			Nr. 889 <sup>b</sup> (1) Querschnitt: $4,00 \times 1,00 \text{ cm} = 4,00 \text{ qcm}$			Nr. 889 <sup>c</sup> (2) Querschnitt: $4,00 \times 1,00 \text{ cm} = 4,00 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 10 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6204. Vers.	Dehnung auf 10 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6205. Vers.	Dehnung auf 10 cm $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6206. Vers.
0	0			0			0		
0,2	0,67	67	Wage zu hoch. Elmod. = 816000 at.	0,55	55	Elmod. = 955000 at.	0,63	63	Wage zu hoch. Elmod. = 852000 at.
0,4	1,24	57		1,06	51		1,14	51	
0,6	1,86	62		1,57	51		1,76	62	
0,8	2,45	59		2,16	59		2,48	72	
0	0,13			0,05			0,15		
0,8	2,44		2,17		2,54				
1,0	3,26	82			2,90	80			
1,2	4,33	107			3,95	106			
1,4	5,93	160			5,46	142			
1,6	8,72	279			8,09	228			
0	4,29				3,73		3,36		
1,6	9,04				8,30		8,50		
1,8	13,86	482			13,56	526	12,65	415	
2,0			Wird erreicht, aber die Scalen gehen langsam fort.			Wird erreicht, aber die Scalen gehen durch.	22,03	938	Unter starkem Nachgeben.
0	19,47			18,19			15,80		
			20 Min. Ruhe.			13 Min. Ruhe.			13 Min. Ruhe.

Tabelle X.

Flachstäbe von Messingblech, Nr. 4059<sup>a-d</sup>,  
aus einer und derselben Tafel von 6 mm Stärke.

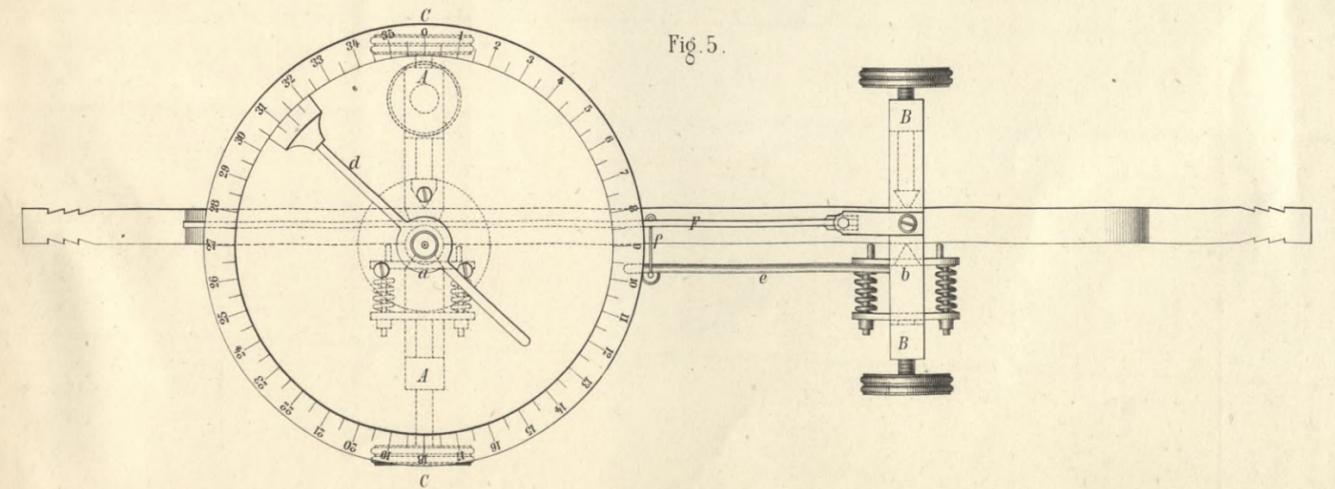
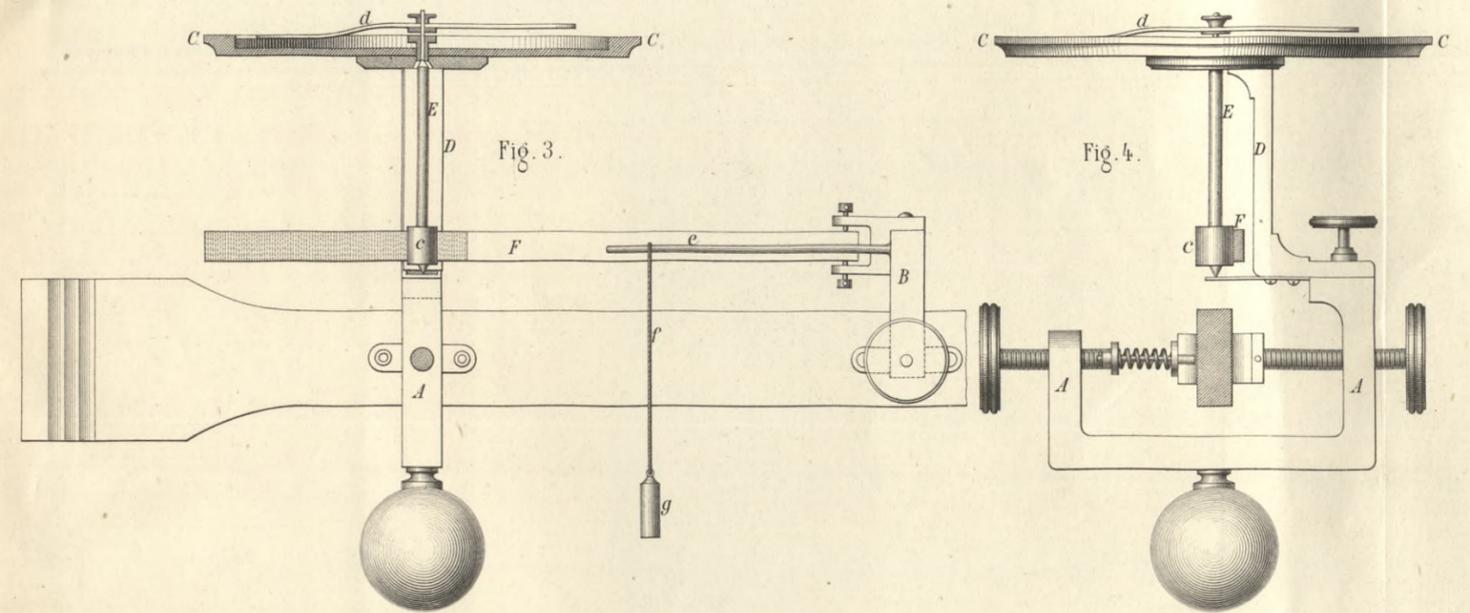
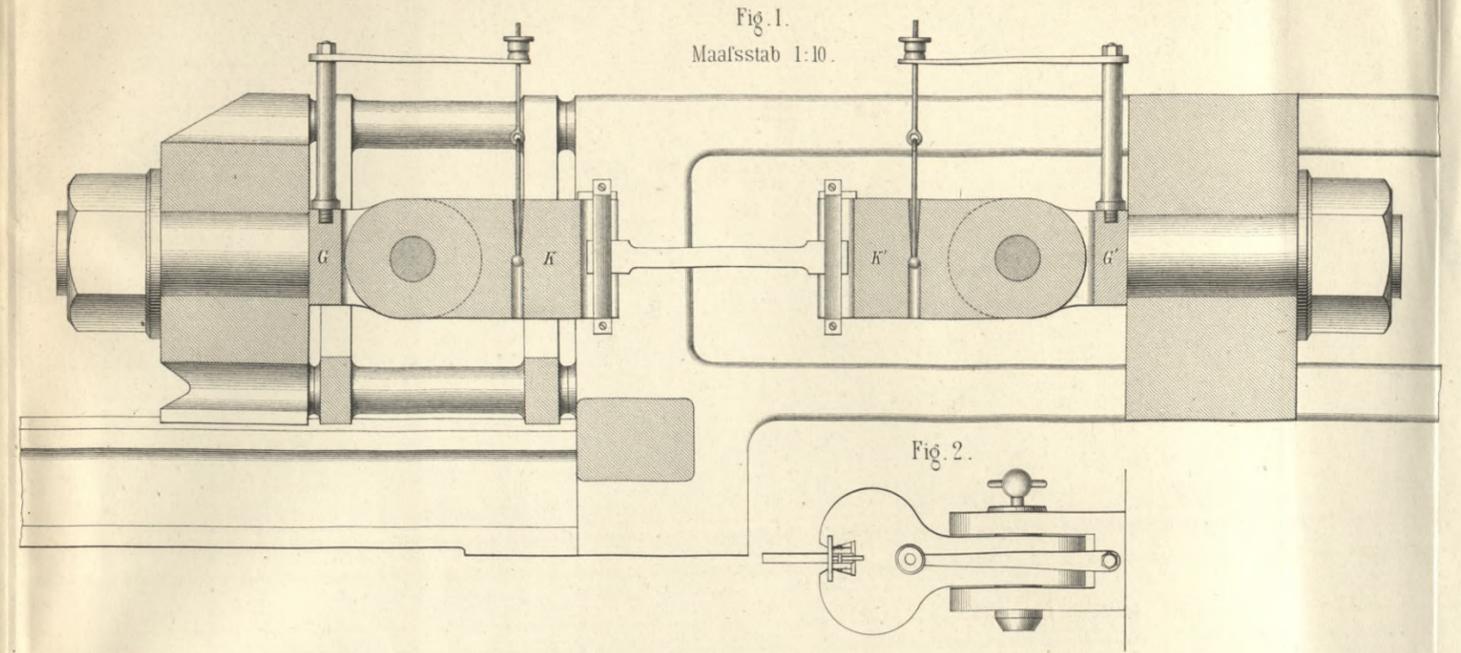
Belastung <i>t</i>	Nr. 4059 <sup>a</sup> (4) Querschn.: $3,02 \times 0,60 = 1,81 \text{ qcm}$			Nr. 5059 <sup>b</sup> (2) Querschn.: $3,02 \times 0,60 = 1,81 \text{ qcm}$			Nr. 4059 <sup>c</sup> (5) Querschn.: $3,02 \times 0,60 = 1,81 \text{ qcm}$			Nr. 4059 <sup>d</sup> (6) Querschn.: $3,02 \times 0,60 = 1,81 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 15 cm <sup>1/1000 cm</sup>	Differenzen	Bemerkungen									
			6234. Vers.			6237. Vers.			6238. Vers.			6239. Vers.
0	0			0			0			0		
0,1	0,80	80		0,74	74		0,84	84	Wage zu hoch.	0,80	80	
0,2	1,61	81		1,49	75		1,51	67		1,63	83	
0,3	2,41	80		2,31	82		2,24	73		2,40	77	
0,4	3,21	80		3,09	78		3,00	76		3,22	82	
0	0,09			0,07			0,02			0,04		
0,4	3,23	81		3,13	79		3,07	76		3,25	82	
0,5	4,04		Mittl. Elmod. = 1'038000 at.	3,92		Mittl. Elmod. = 1'032000 at.	3,83		Mittl. Elmod. = 1'057000 at.	4,07		Mittl. Elmod. = 1'013000 at.
0,6	4,84	80		4,74	82		4,61	78		4,88	81	
0,7	5,61	77		5,55	81		5,40	79		5,69	81	
0,8	6,37	76		6,36	81		6,20	80		6,50	81	
0	0,10			0,05			0,02			0,05		
0,8	6,37	82		6,35	82		6,22	81		6,51	82	
0,9	7,19	82		7,17	84		7,03	80		7,33	83	
1,0	8,01	82		8,01	82		7,83	80		8,16	83	
1,1	8,83	75		8,83	81		8,63	78		8,99	83	
1,2	9,58		Elast. Grenze bei 1,2 t = 660 at.	9,64		Elast. Grenze bei 1,2 t = 660 at.	9,41		Elast. Grenze bei 1,2 t = 660 at.	9,82		
0	0,13			0,11			0,05			0,03		
1,2	9,64	85		9,69	84		9,45	81		9,76	88	
1,3	10,49	87		10,53	92		10,26	84		10,64	88	Elast. Grenze bei 1,25 t = 690 at.
1,4	11,36	105		11,45	97		11,10	87		11,52	92	
1,5	12,41		Scalen sehr un- ruhig.	12,42			11,97			12,44		
1,6	13,63	122	Desgl.	13,51	109		12,92	95		13,37	93	
0	0,77			0,93			0,47			0,38		
			22 Min. Ruhe.			17 Min. Ruhe.			7 Min. Ruhe.			16 <sup>n</sup> 27' Ruhe.

Tabelle XI.

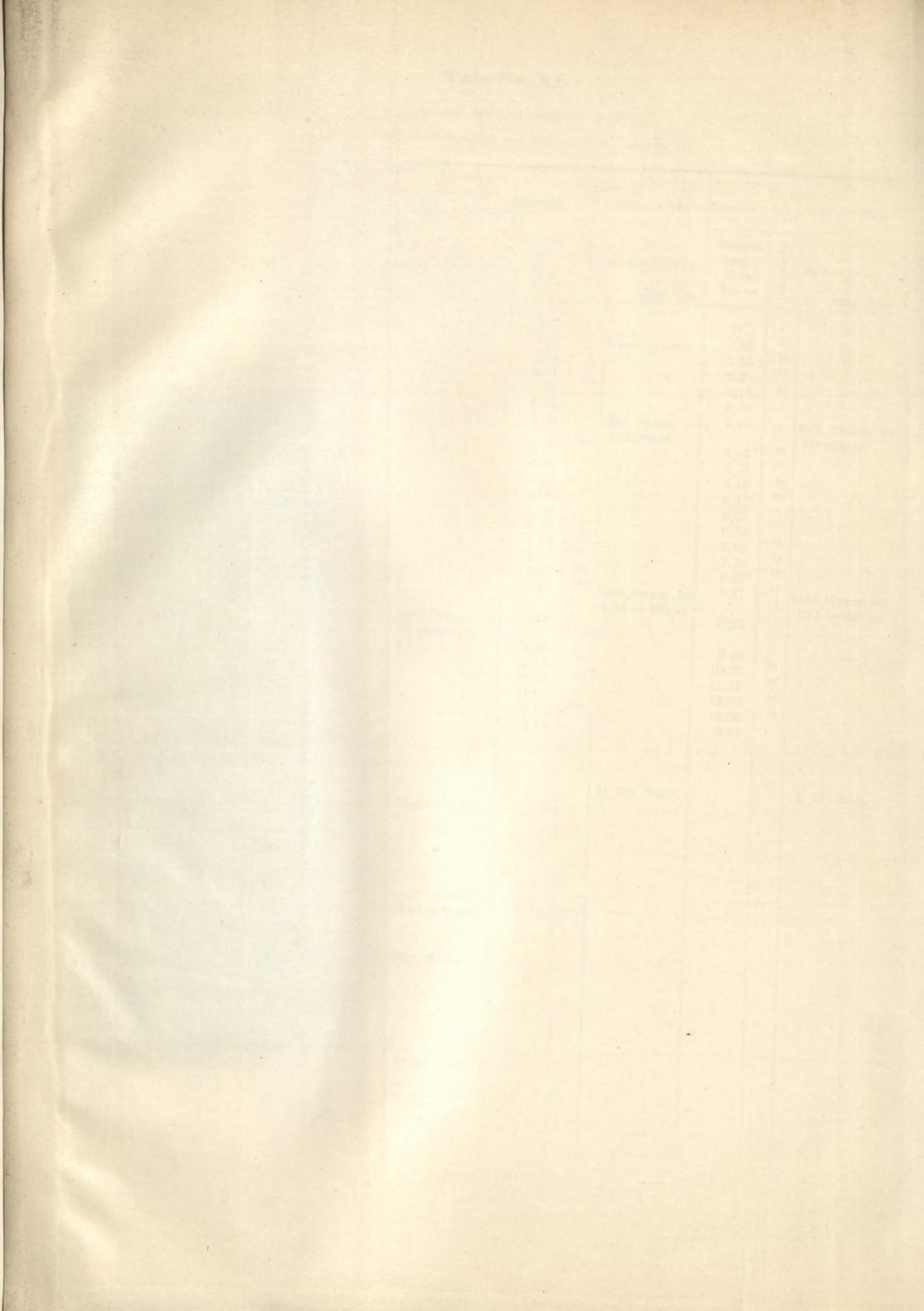
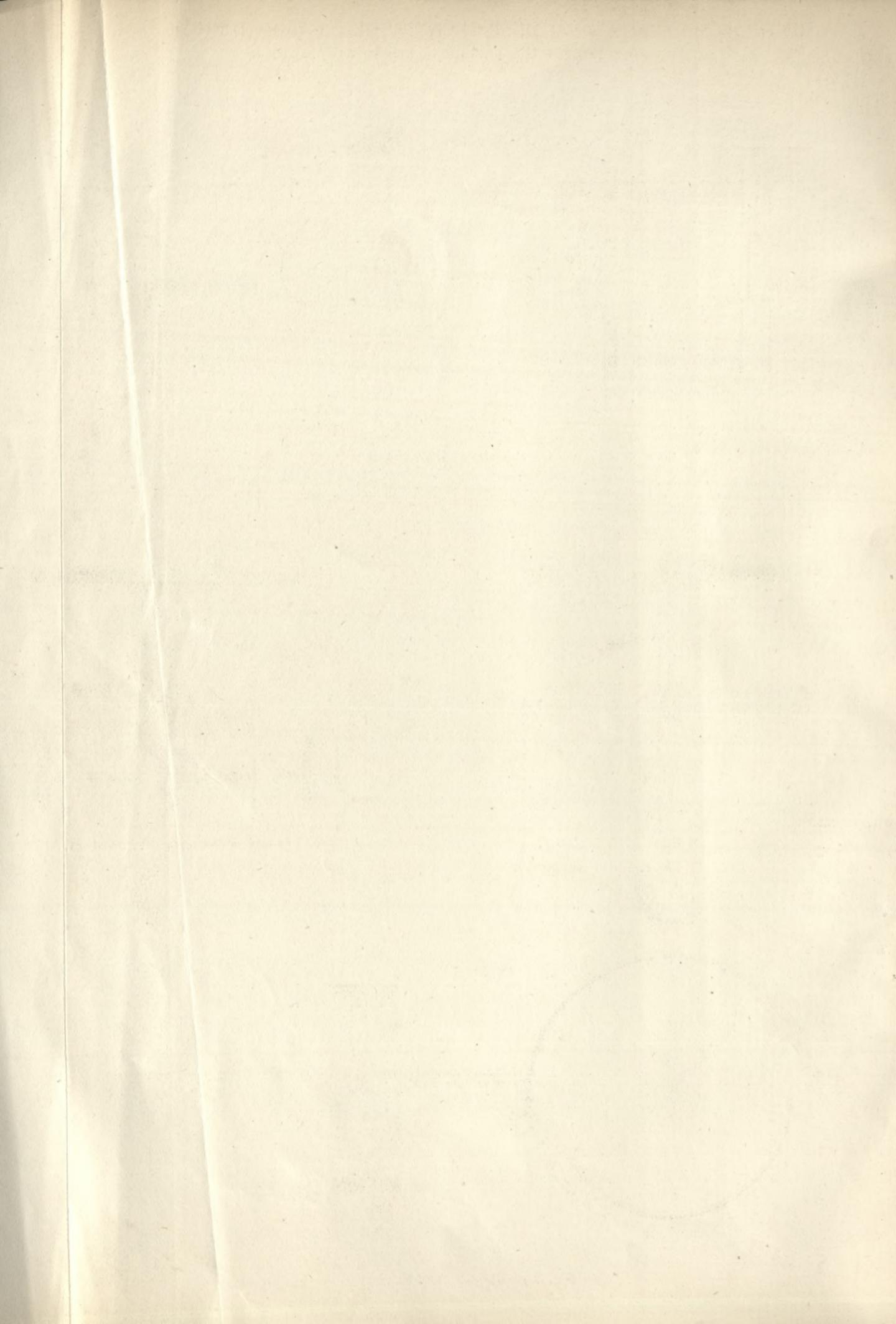
Flachstäbe von Messingblech, Nr. 4059<sup>e-g</sup>,  
aus derselben Blechtafel wie diejenigen in Tab. X.

Belastung <i>t</i>	Nr. 4059 <sup>e</sup> (3) Querschn.: $3,15 \times 0,60 = 1,89 \text{ qcm}$			4059 <sup>e</sup> (3) mit 2910 <i>at</i> gestreckt, 24 Stunden nach dem Strecken. Querschn.: $2,84 \times 0,55 = 1,56 \text{ qcm}$			Nr. 5059 <sup>f</sup> (1) Querschn.: $3,15 \times 0,60 = 1,89 \text{ qcm}$			Nr. 4059 <sup>g</sup> (7) Querschn.: $3,15 \times 0,60 = 1,89 \text{ qcm}$		
	Dehnung auf 15 <i>cm</i> $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6337. Vers.	Dehnung auf 15 <i>cm</i> $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6337. Vers.	Dehnung auf 15 <i>cm</i> $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6340. Vers.	Dehnung auf 15 <i>cm</i> $\frac{1}{1000} \text{ cm}$	Differenzen	Bemerkungen 6342. Vers.
0	0			0			0			0		
0,1	0,78	78		0,99	99	Wage zu hoch.	0,82	82	Wage zu hoch.	0,83	83	
0,2	1,50	72		1,91	92		1,55	73		1,66	83	
0,3	2,30	80		2,88	97		2,31	76		2,39	73	
0,4	3,09	79		3,88	100		3,05	74		3,14	75	
0	0,09			0,02			0,02			0,06		
0,4	3,16		Mittl. Elmod. = 1'018000 <i>at</i> .	4,13		Wage zu hoch.	3,06		Mittl. Elmod. = 1'029000 <i>at</i> .	3,15		Mittl. Elmod. = 1'016000 <i>at</i> .
0,5	3,96	80		4,92	79		3,79	73		3,95	80	
0,6	4,74	78		5,90	98		4,55	76		4,70	75	
0,7	5,49	75		6,86	96		5,32	77		5,48	78	
0,8	6,26	77		7,90	104		6,06	74		6,23	75	
0	0,11			0,07			0,06			0,07		
0,8	6,25			7,93			6,10			6,20		
0,9	7,03	78		8,99	106		6,85	75		6,97	77	
1,0	7,80	77		10,03	104		7,65	80		7,76	79	
1,1	8,57	77		11,05	102		8,46	81		8,57	81	
1,2	9,36	79	Elast. Grenze bei 1,2 <i>t</i> = 635 <i>at</i> .	12,06	101		9,26	80	Elast. Grenze bei 1,2 <i>t</i> = 635 <i>at</i> .	9,37	80	Elast. Grenze bei 1,2 <i>t</i> = 635 <i>at</i> .
0	0,18			0,09		Mittl. Elmod. = 1'120000 <i>at</i> .	0,15			0,23		
1,2	9,38			12,09			9,30			9,40		
1,3	10,18	80		13,10	101		10,13	83		10,23	83	
1,4	11,02	84		14,13	103		11,01	88		11,12	89	
1,5	11,92	90		15,17	104		11,93	92		12,07	95	
1,6	12,89	97		16,19	102		12,95	102		13,06	99	
0	0,68			0,10			0,73			0,84		
1,6	12,91			16,20								
1,7	13,95	104		17,21	101							
1,8	15,17	122		18,23	102							
1,9	16,72	155		19,26	103				11 Min. Ruhe.			4, 22' Ruhe.
2,0	18,76	204		20,32	106							
0				0,16		Wage richtig.						
2,0		263		20,32								
2,1	21,39			21,30	98							
2,2	25,25	386		22,38	108							
2,3	31,12	587		23,40	102							
2,4	41,06	994	Kein eigentliches Strecken.	24,46	106	Elast. Grenze bei 2,4 <i>t</i> = 1540 <i>at</i>						
0	21,12			0,18								
2,4				24,43								
2,5				25,55	112							
2,6				26,62	107	Wage richtig.						
2,7				27,67	105							
2,8				28,79	112							
0				0,23								
						18 Min. Ruhe.						

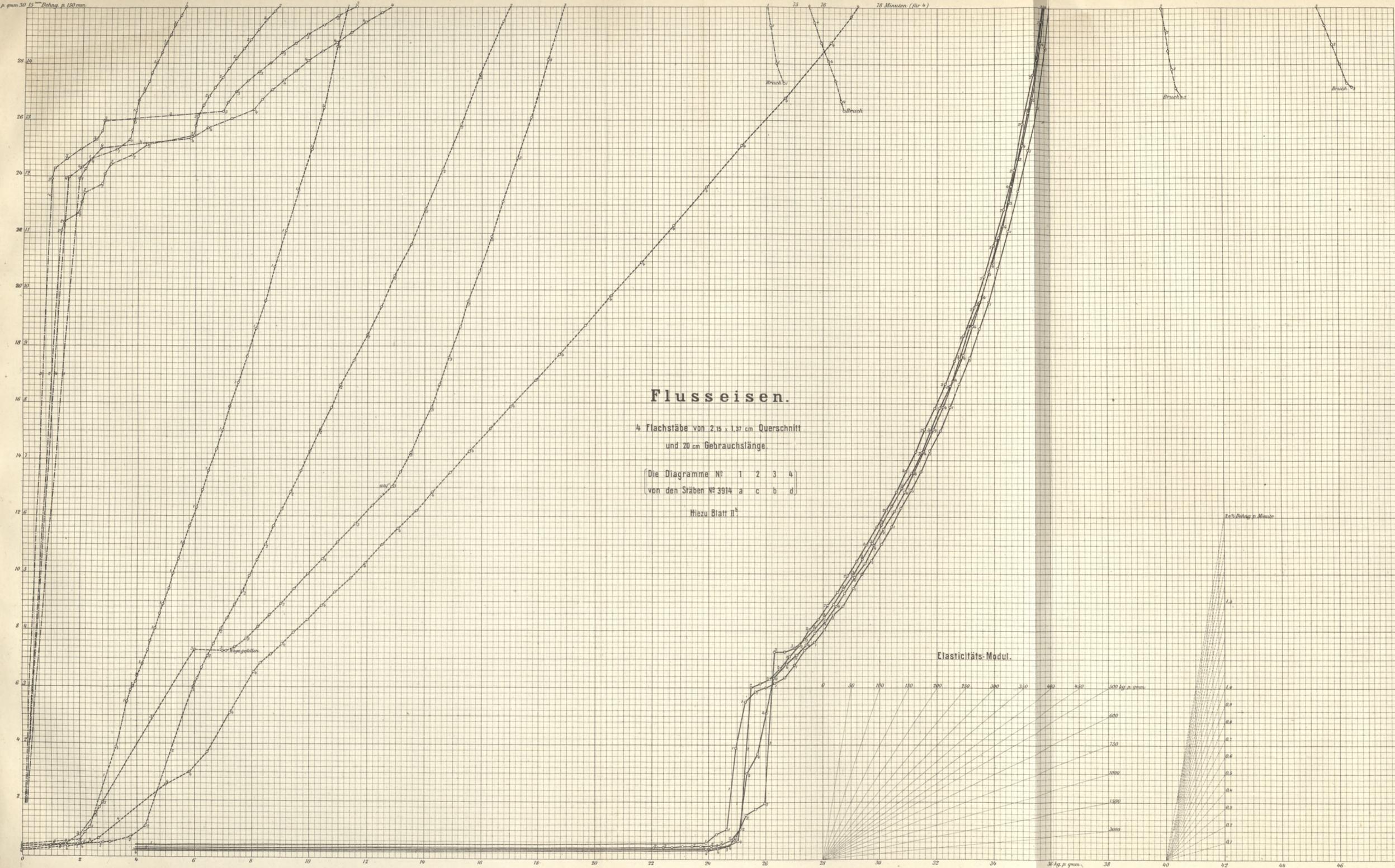




Maafsstab für Fig. 3-5 : 1/2 nat. Gröfse .



kg p. qmm 30 15 Drehung p. 180 mm



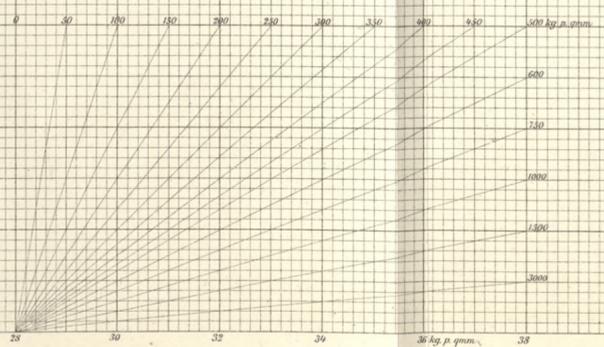
### Flusseisen.

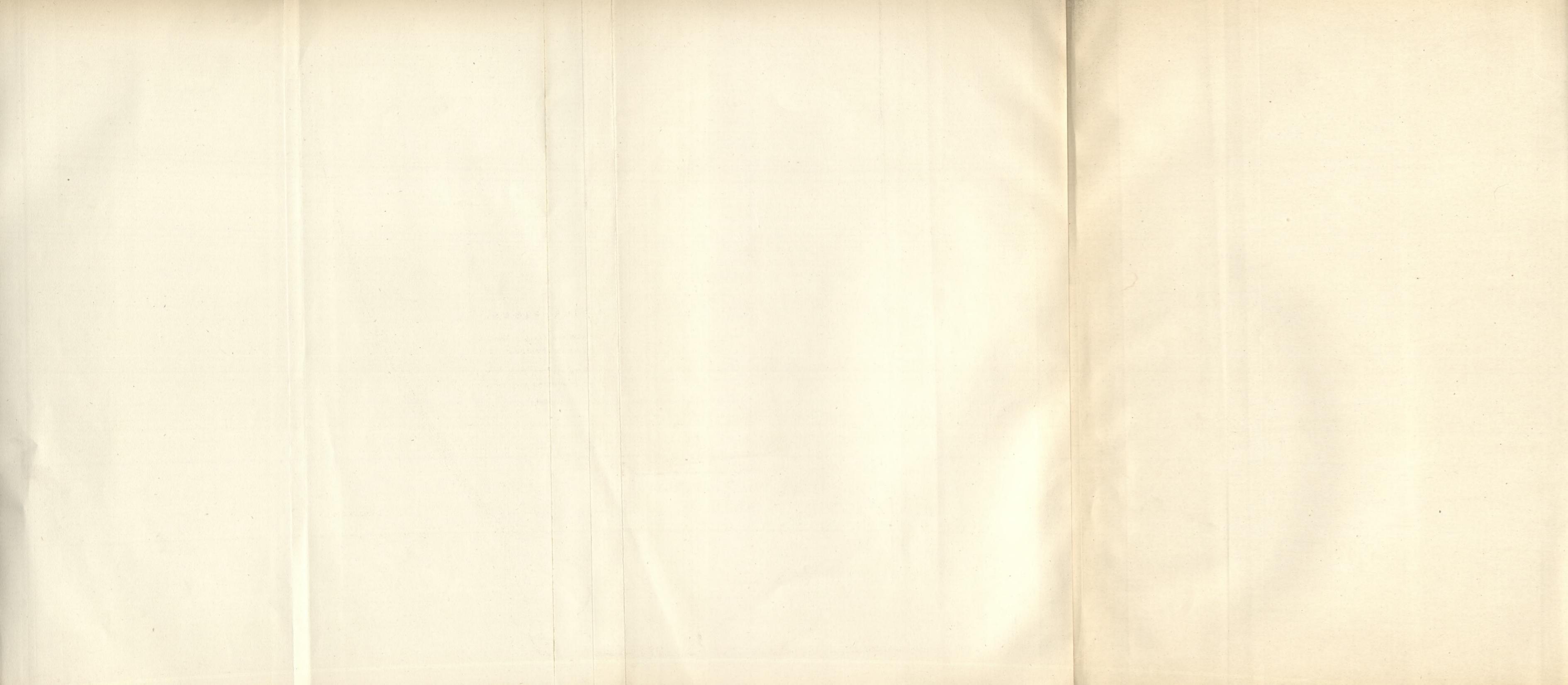
4 Flachstäbe von 2,15 x 1,37 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

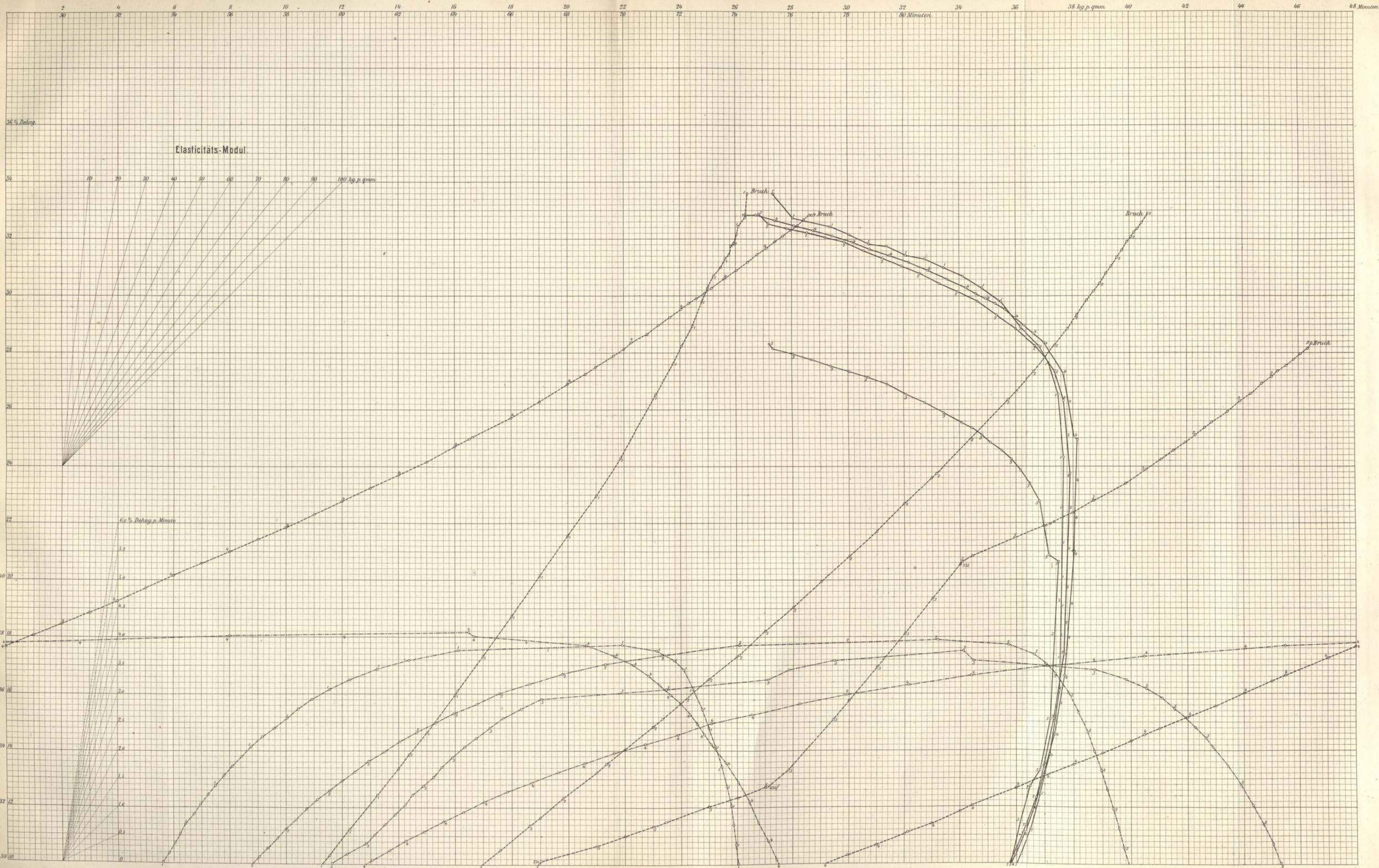
(Die Diagramme Nr. 1 2 3 4  
von den Stäben Nr. 3914 a c b d)

Hierzu Blatt II

Elasticitäts-Modul.

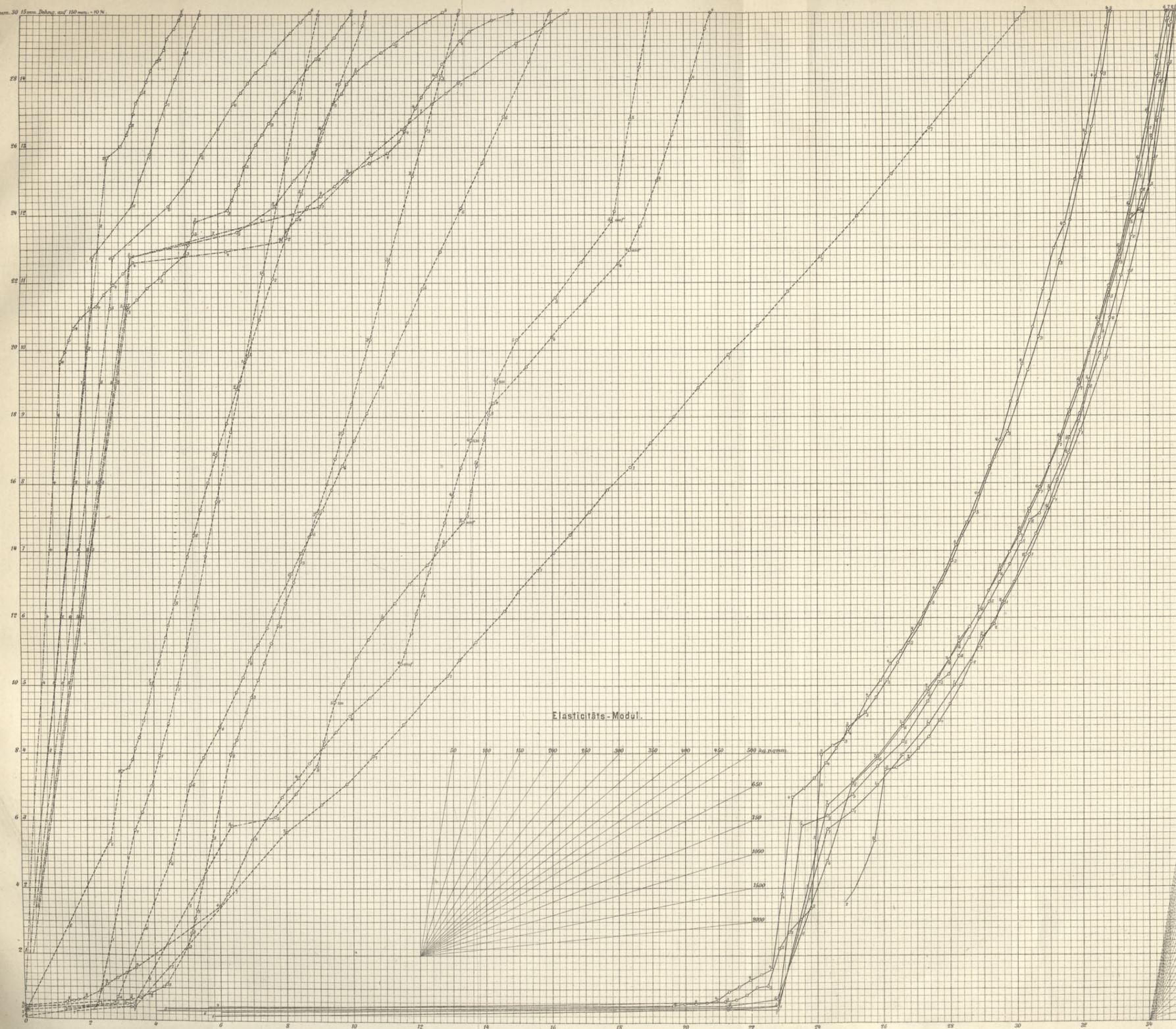






S. 61

kg p. qmm. 30 15 mm Dehnung auf 150 mm. - 10 %



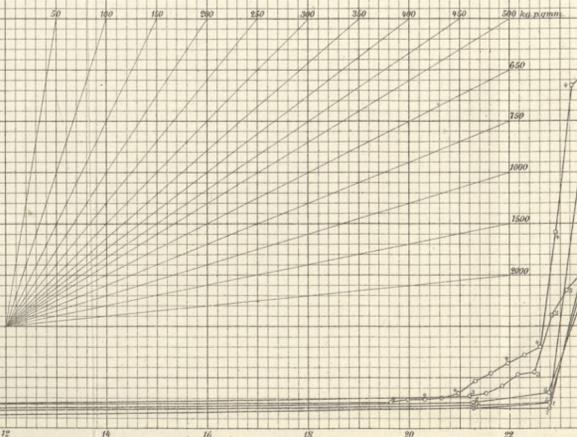
### Schweiß Eisen.

7 Flachstäbe von 23 x 1,30 cm und 22 x 1,4 cm Querschnitt und 20 cm Gebrauchslänge.

Die Diagramme Nr 1 7 6 5 3 4 2 von den Stäben Nr 3904 a b c d u. 3905 c d e

Hiezu Blatt III<sup>b</sup>

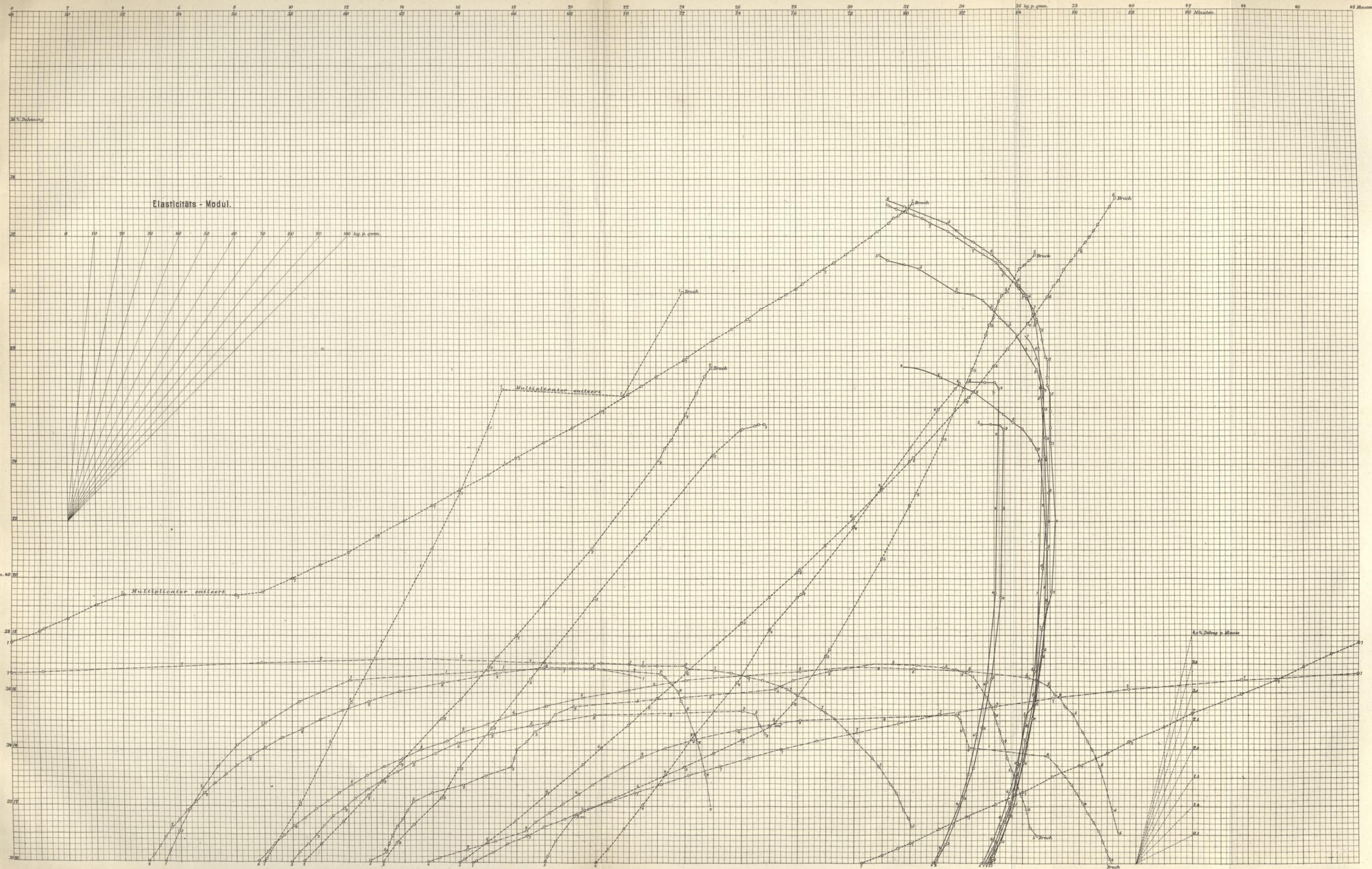
#### Elastizitäts-Modul.

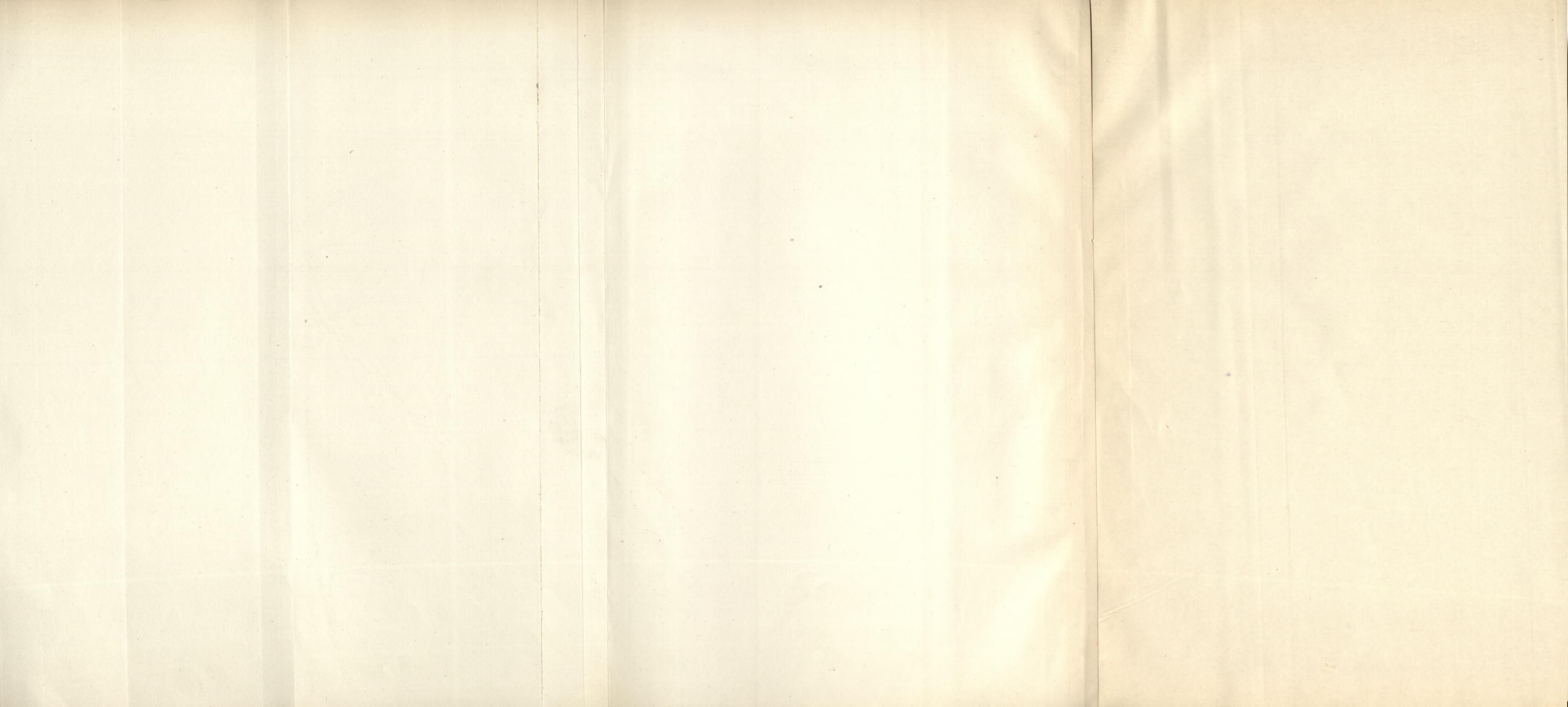


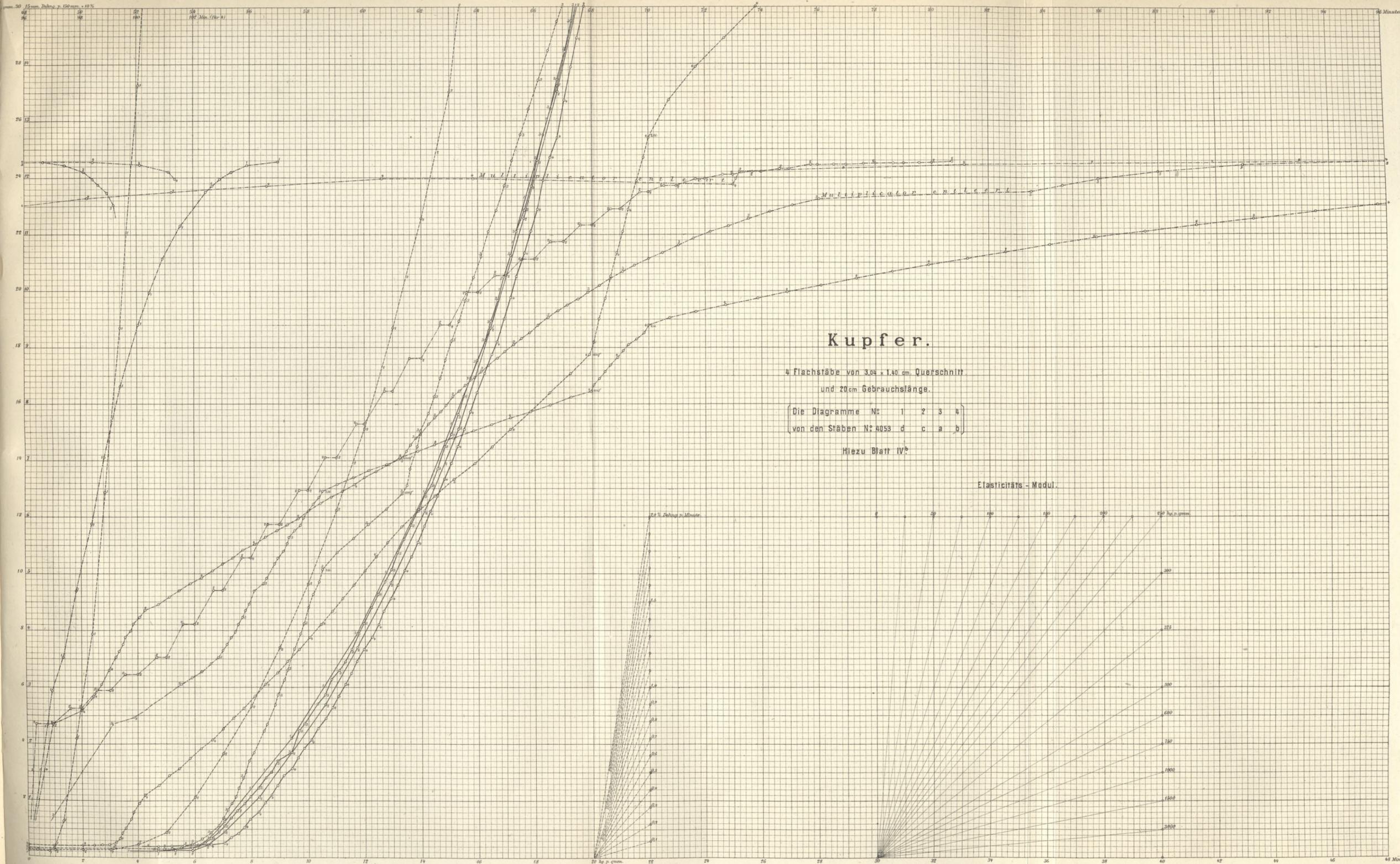
mm Dehnung, 10 Minuten

kg p. qmm.

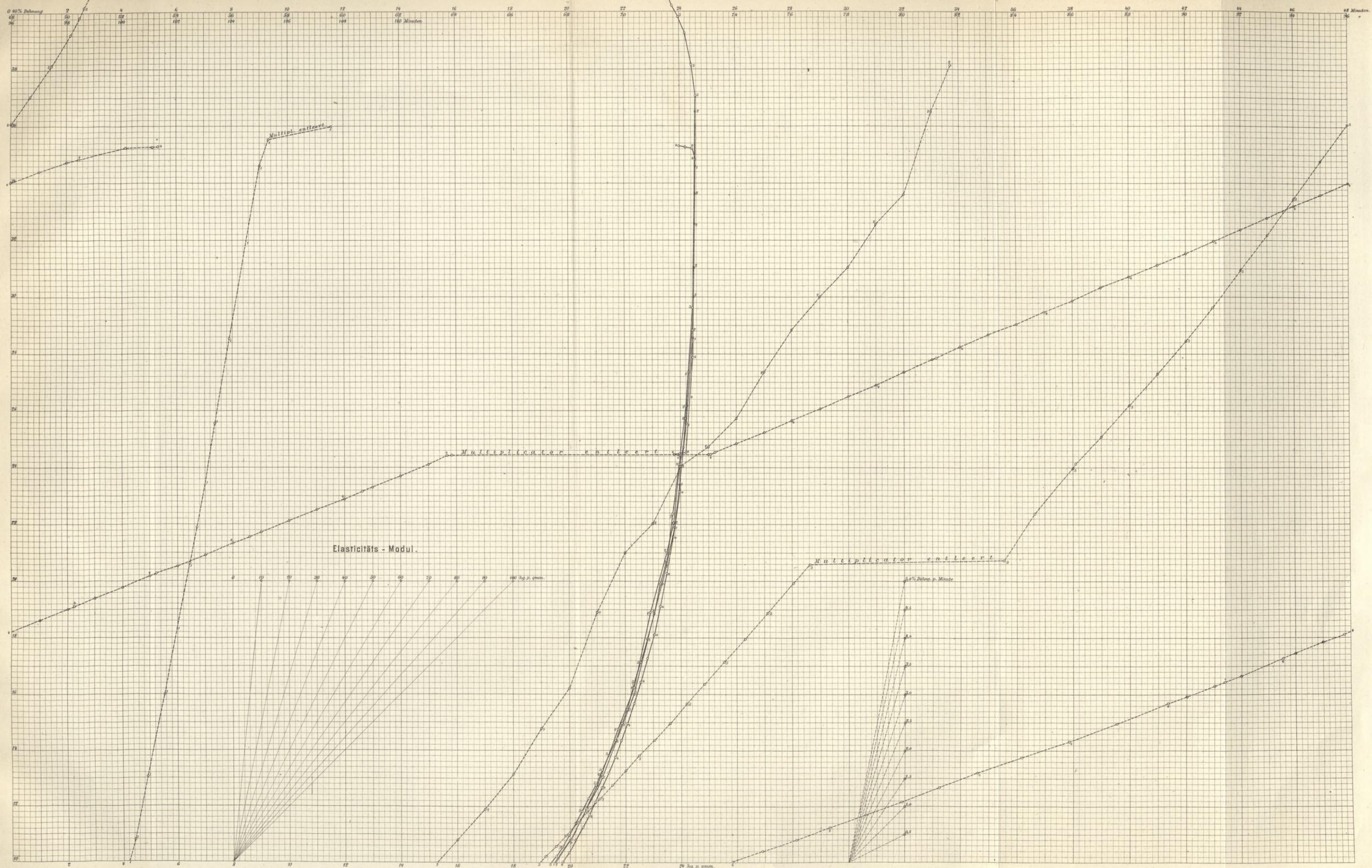


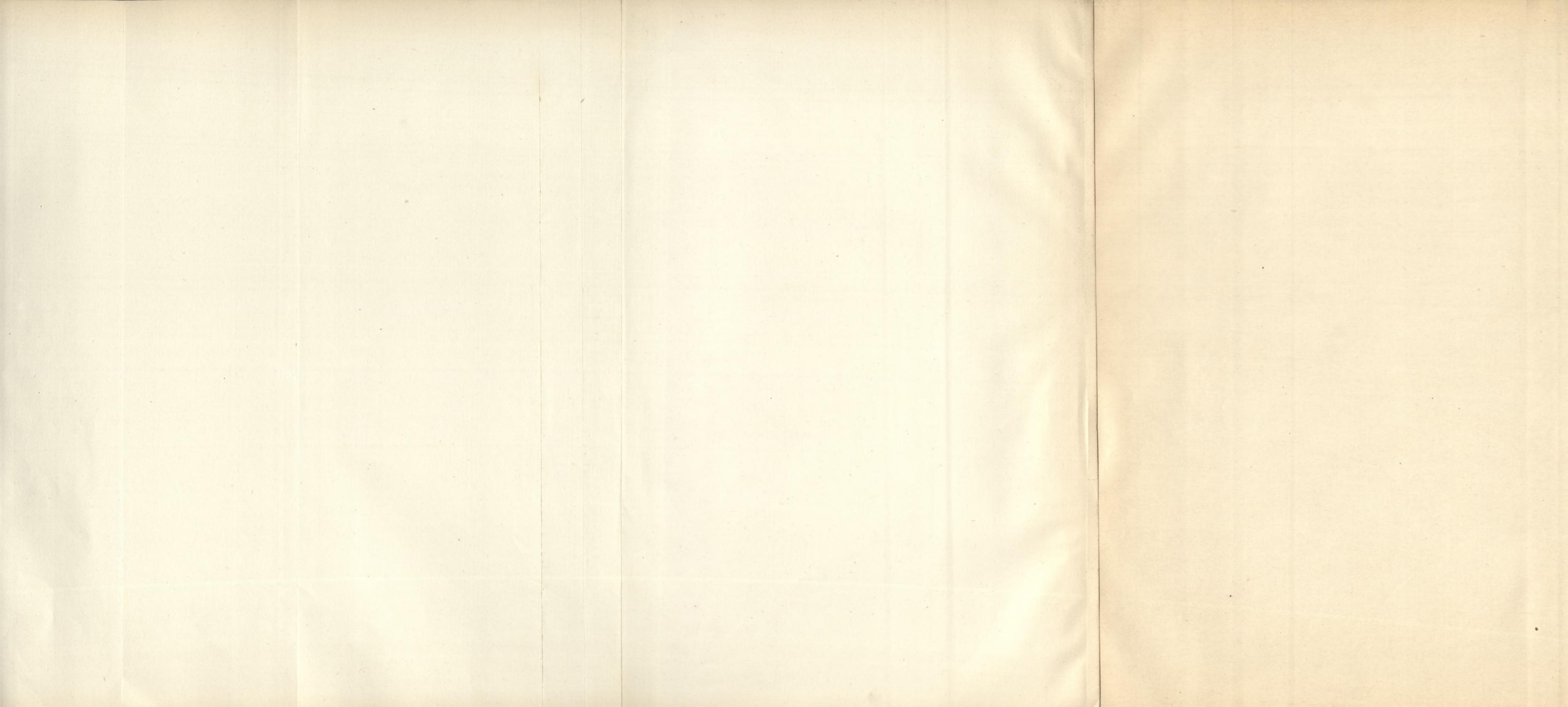












# Zinkgußs.

4 Flachstäbe von 2,85 x 0,80 u. 2,85 x 0,93 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

(Die Diagramme № 1 2 3 4)  
(von den Stäben № 4054 d e g f)

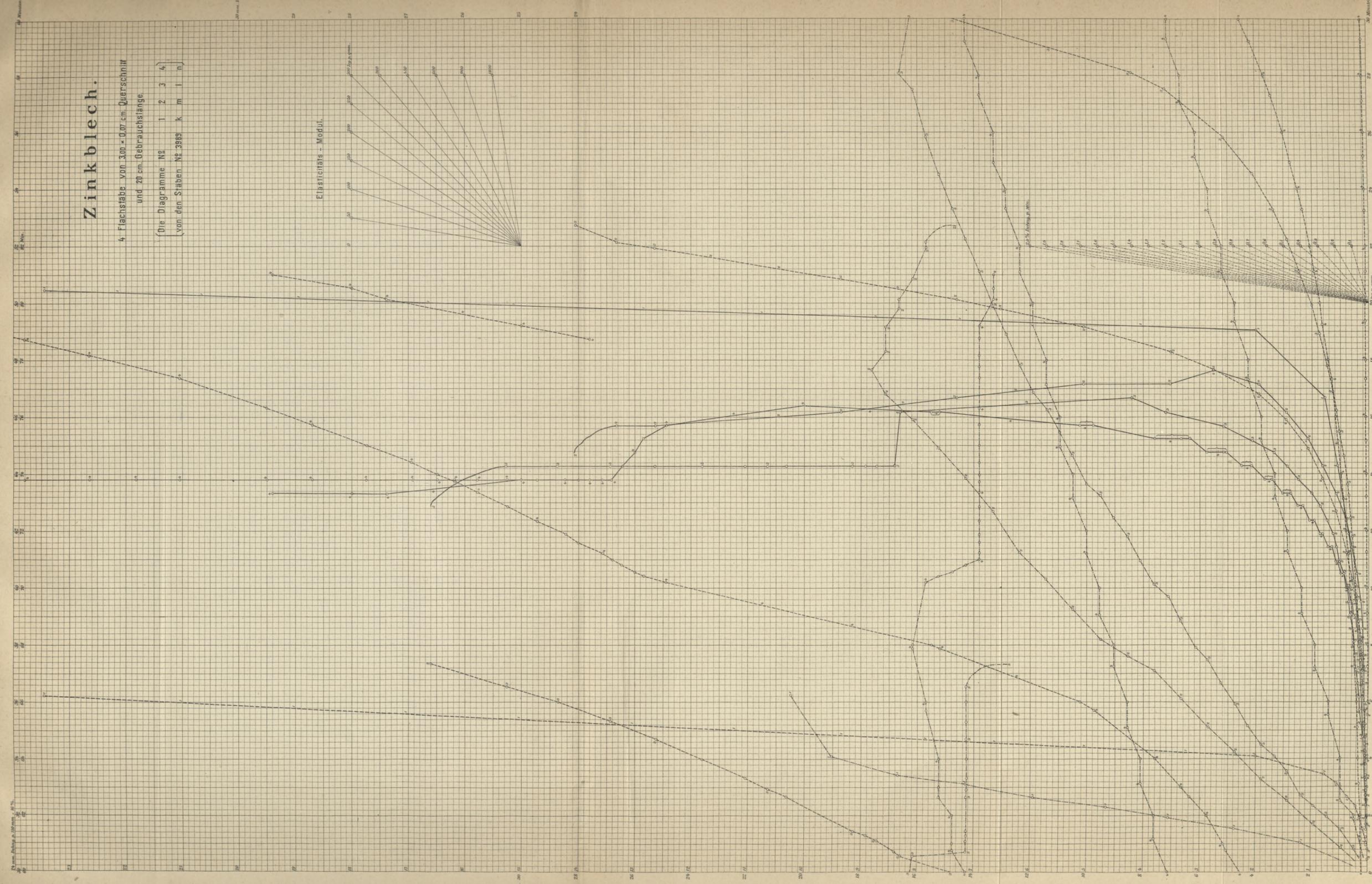




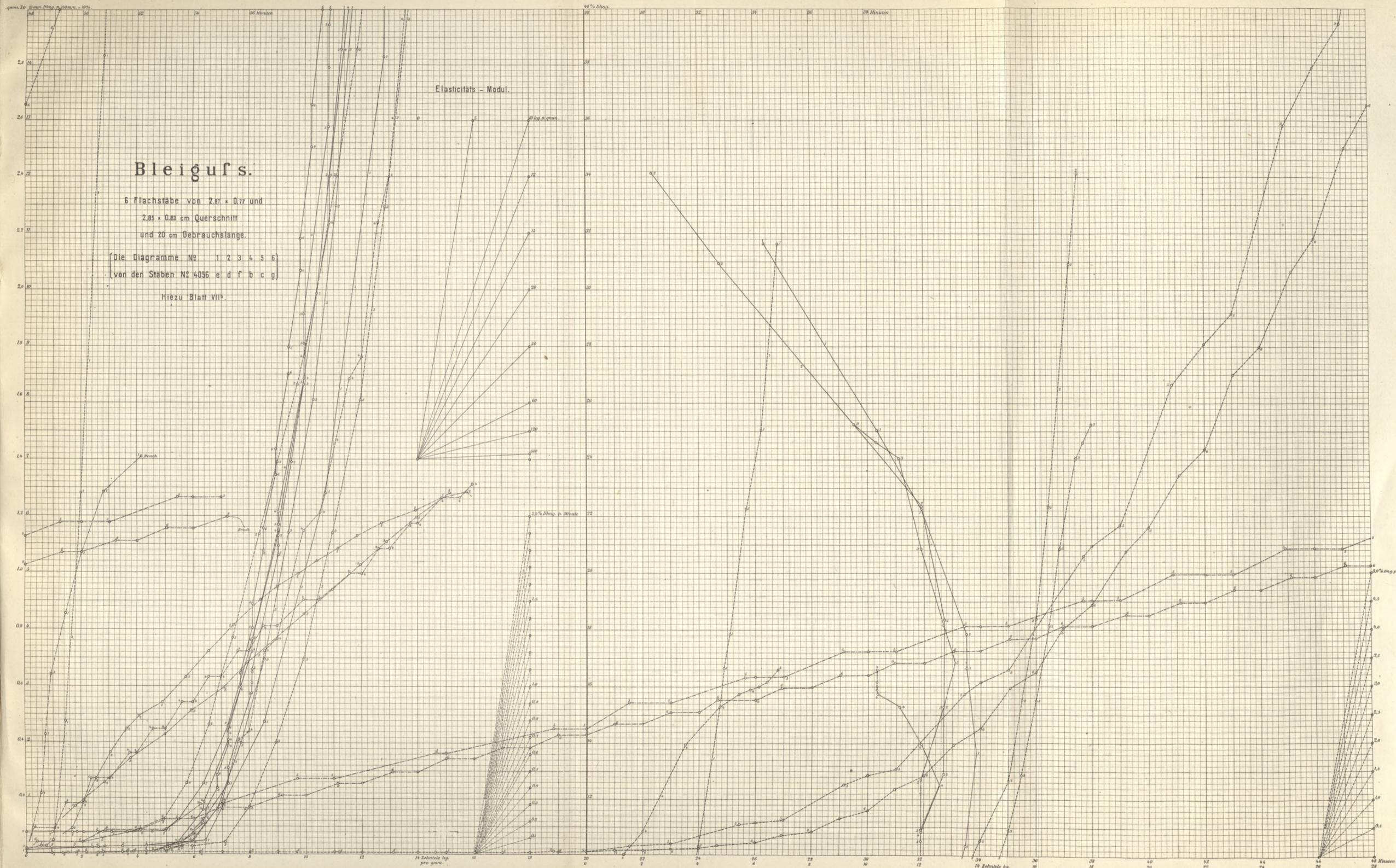
### Zinkblech.

4 Flachstäbe von 3,00 x 0,07 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

(Die Diagramme Nr. 1 2 3 4  
von den Stäben Nr. 3949 k m l n.)







### Bleigufs.

5 Flachstäbe von 2,87 × 0,27 und  
2,85 × 0,83 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

(Die Diagramme Nr. 1 2 3 4 5 6  
von den Stäben Nr. 4056 e d f b c g)

Hierzu Blatt VII<sup>b</sup>.

Elasticitäts - Modul.



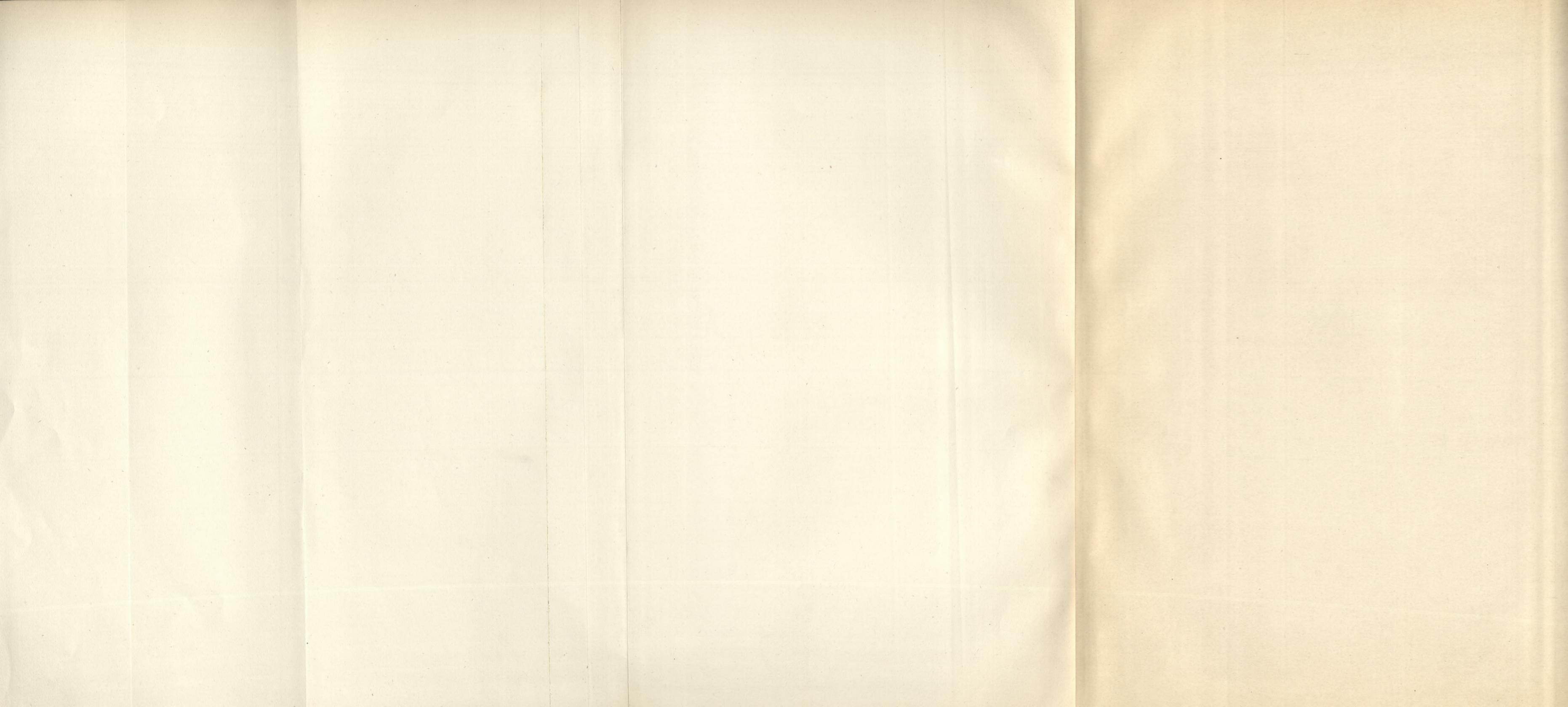


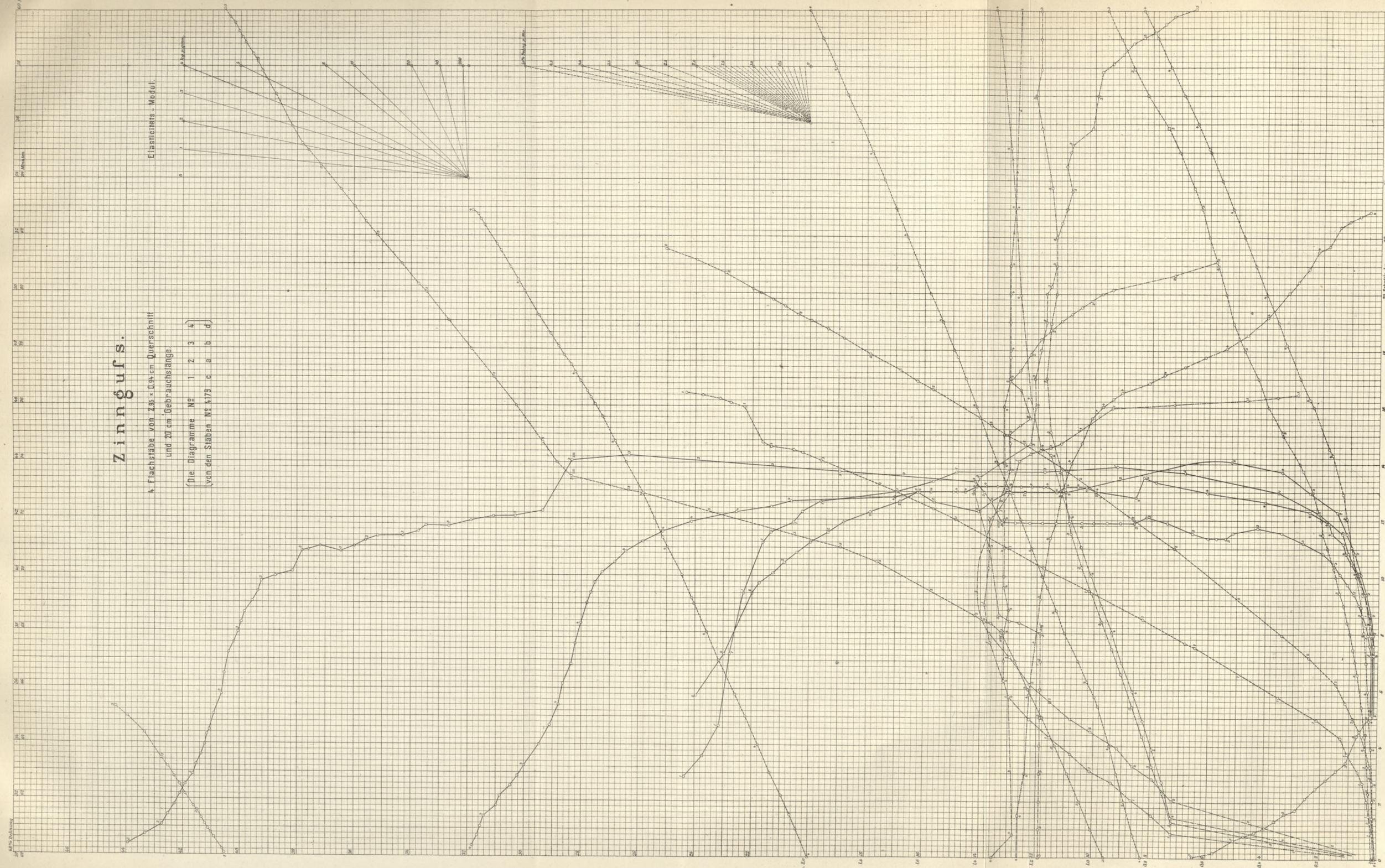
### Walz - Blei.

4 Flachstäbe von 3,15 x 0,40 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

(Die Diagramme N<sup>o</sup> 1 2 3 4)  
von den Stäben N<sup>o</sup> 4150 a d b c)

Hiezu Blatt VII<sup>a</sup>.





### Zinnzugs.

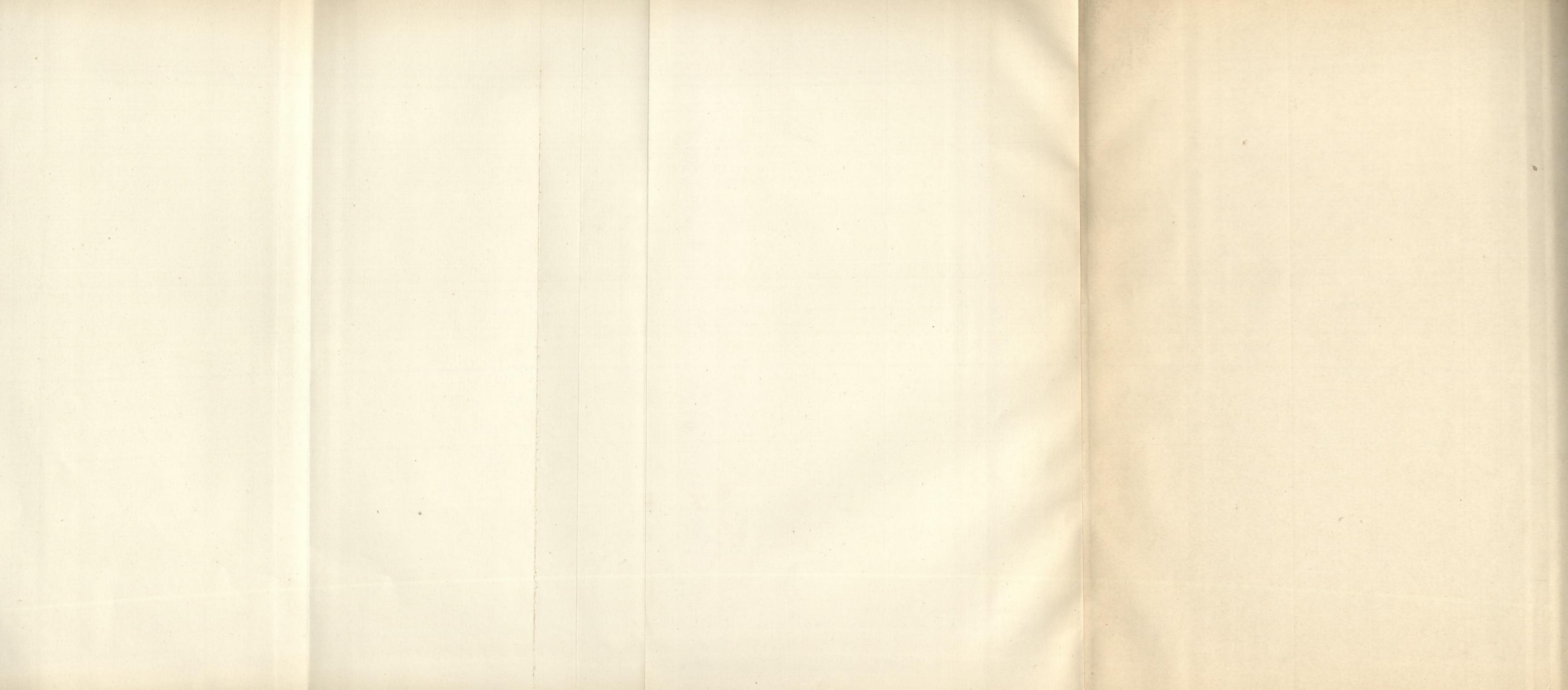
A. Flachstäbe von 2,86 x 0,34 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

(Die Diagramme Nr. 1 2 3 4  
von den Stäben Nr. 473 c a b d.)

Elastizitäts-Modul.

42% Dehnung

20000 kg/cm²



20 mm Schick P. 20 mm. 10%

20 mm Schick

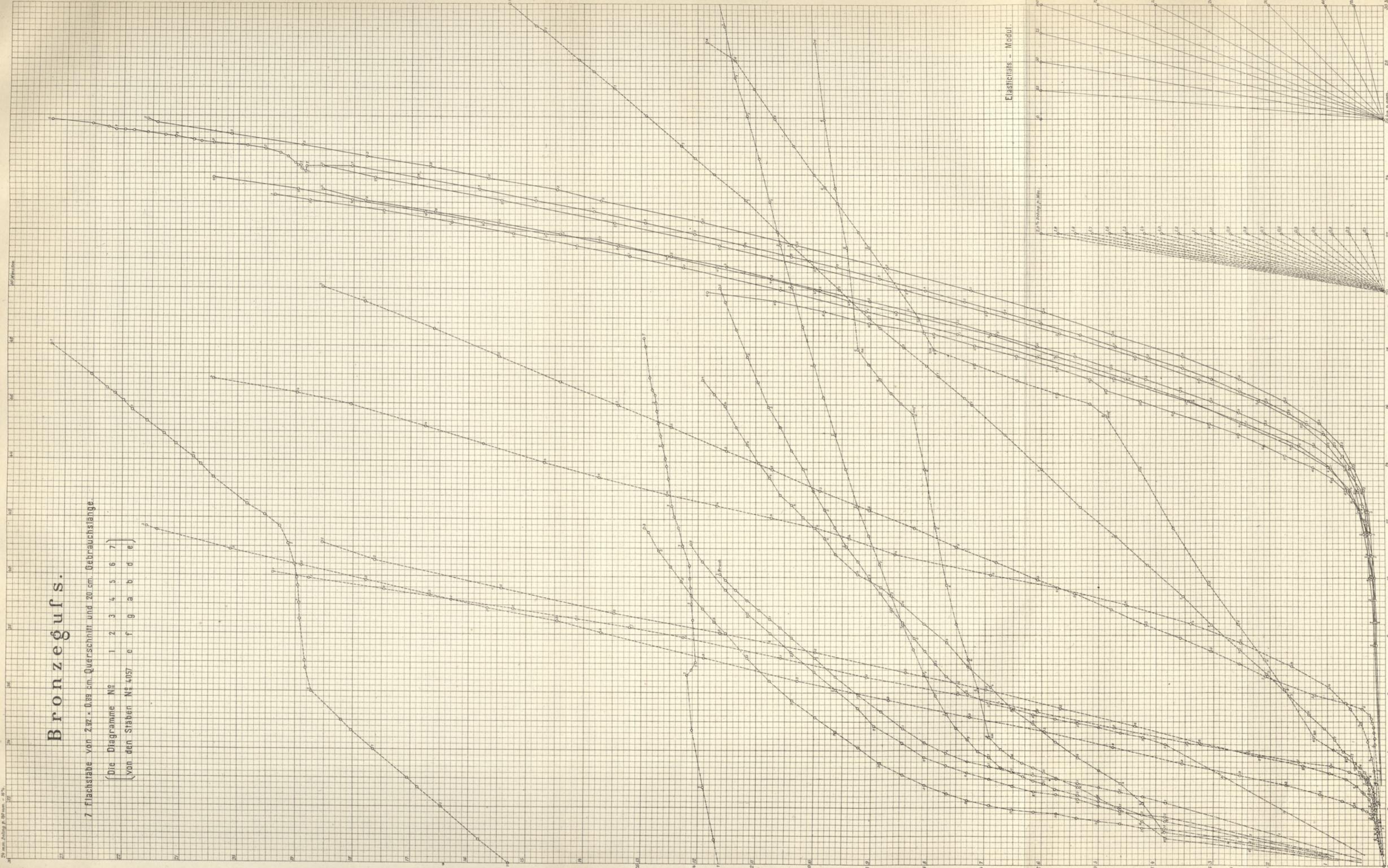
20 mm Schick P. 20 mm. 10%

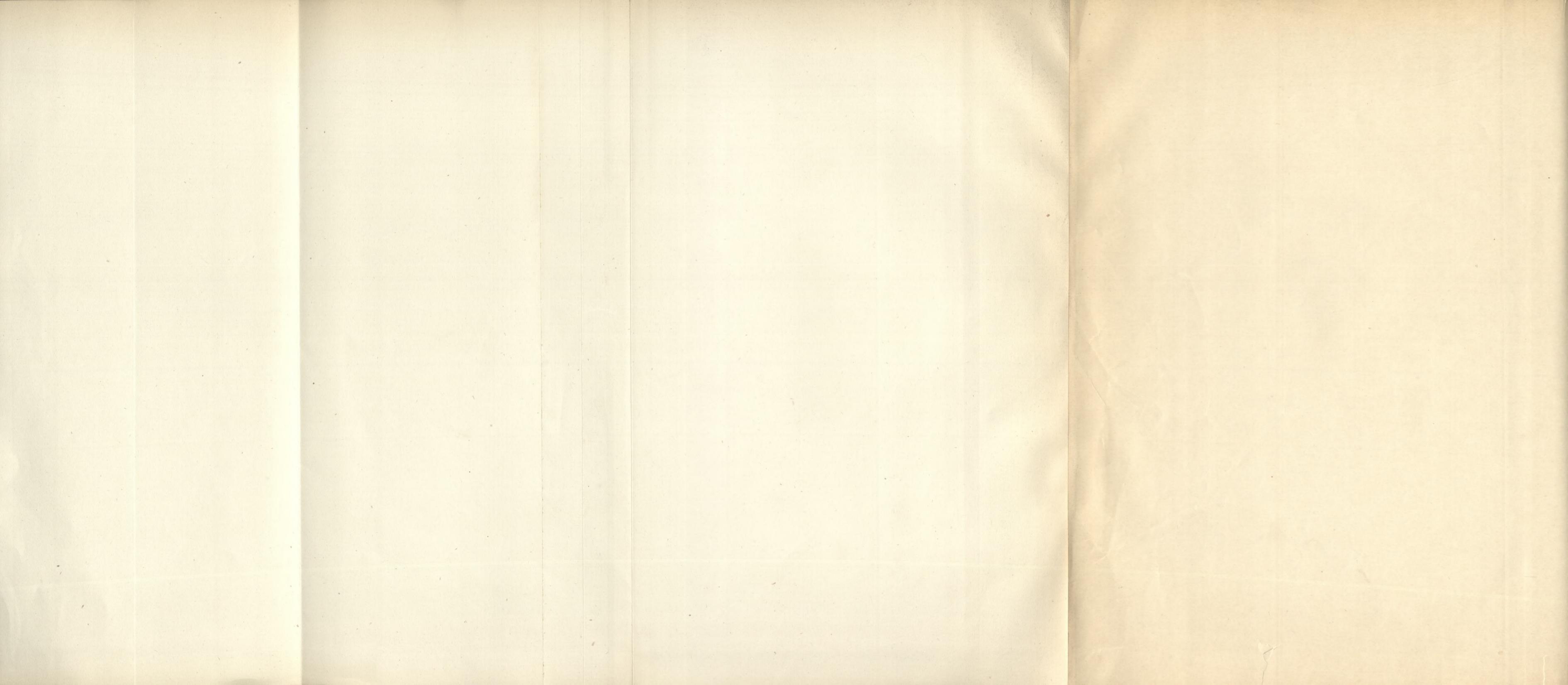
20 mm Schick

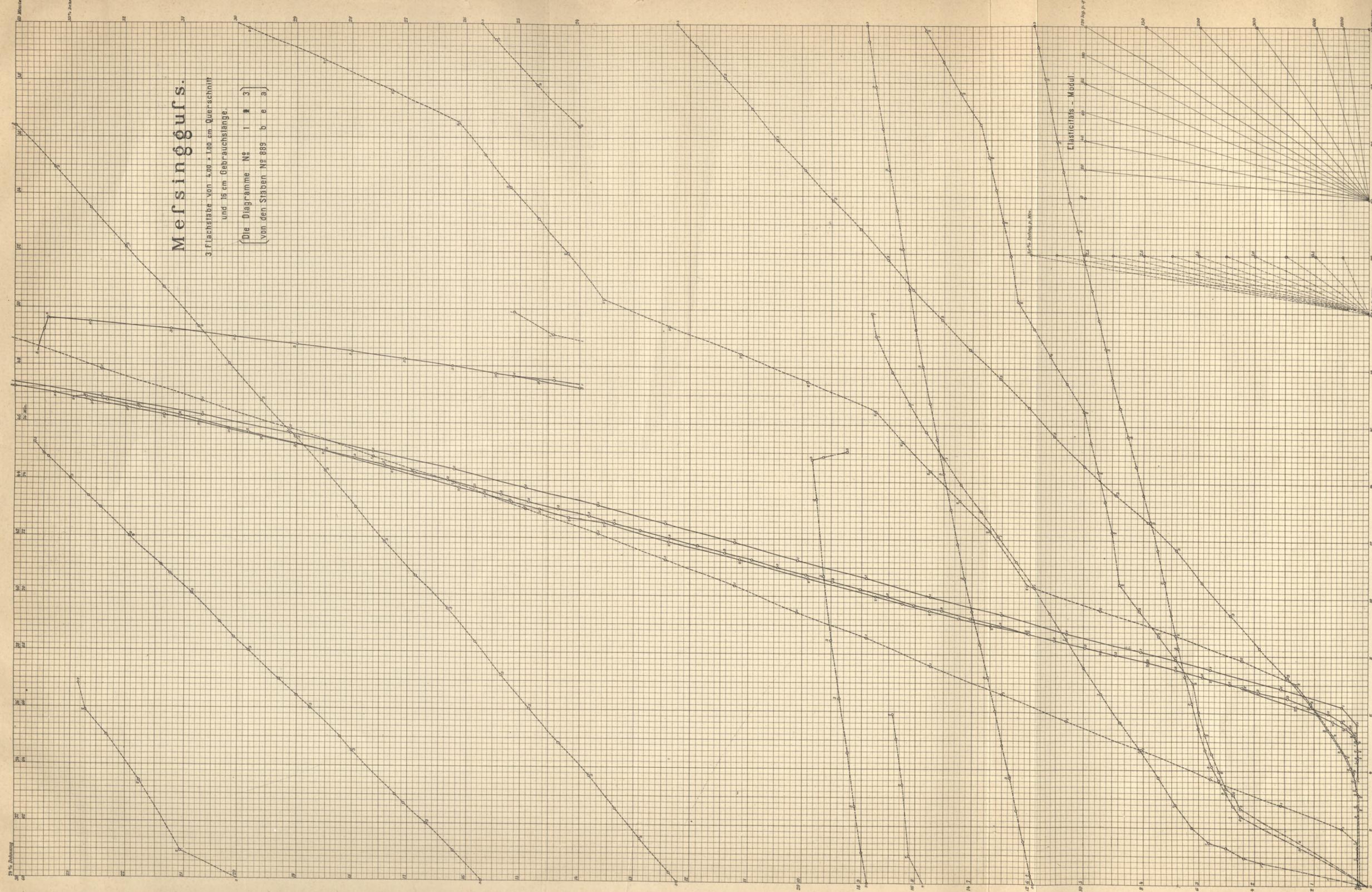
### Bronzegußs.

7 flachstäbe von 2,32 x 0,88 cm. Querschnitt und 20 cm. Gebrauchslänge.

(Die Diagramme Nr. 1 2 3 4 5 6 7  
von den Stäben Nr. 4057 e f g a b d e.)





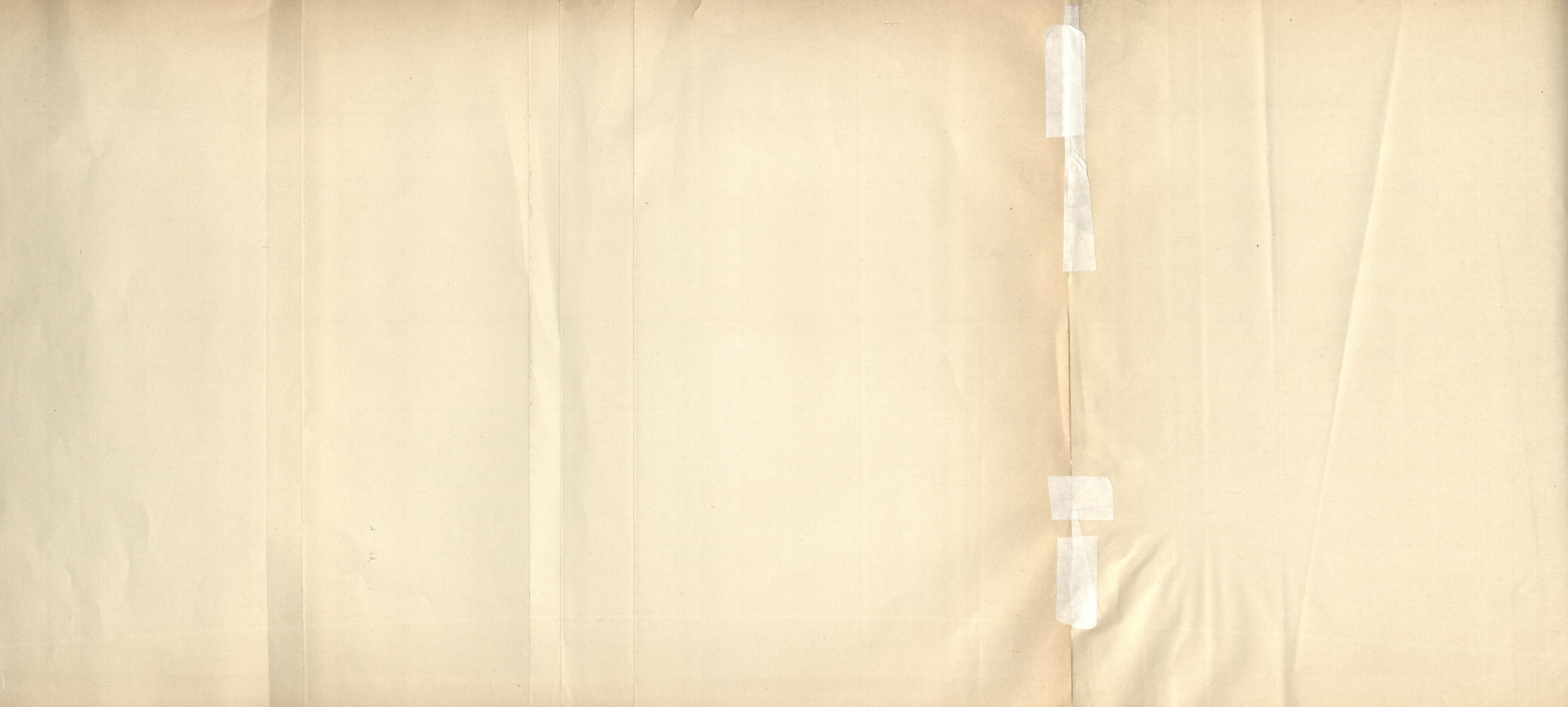


### Messinggußs.

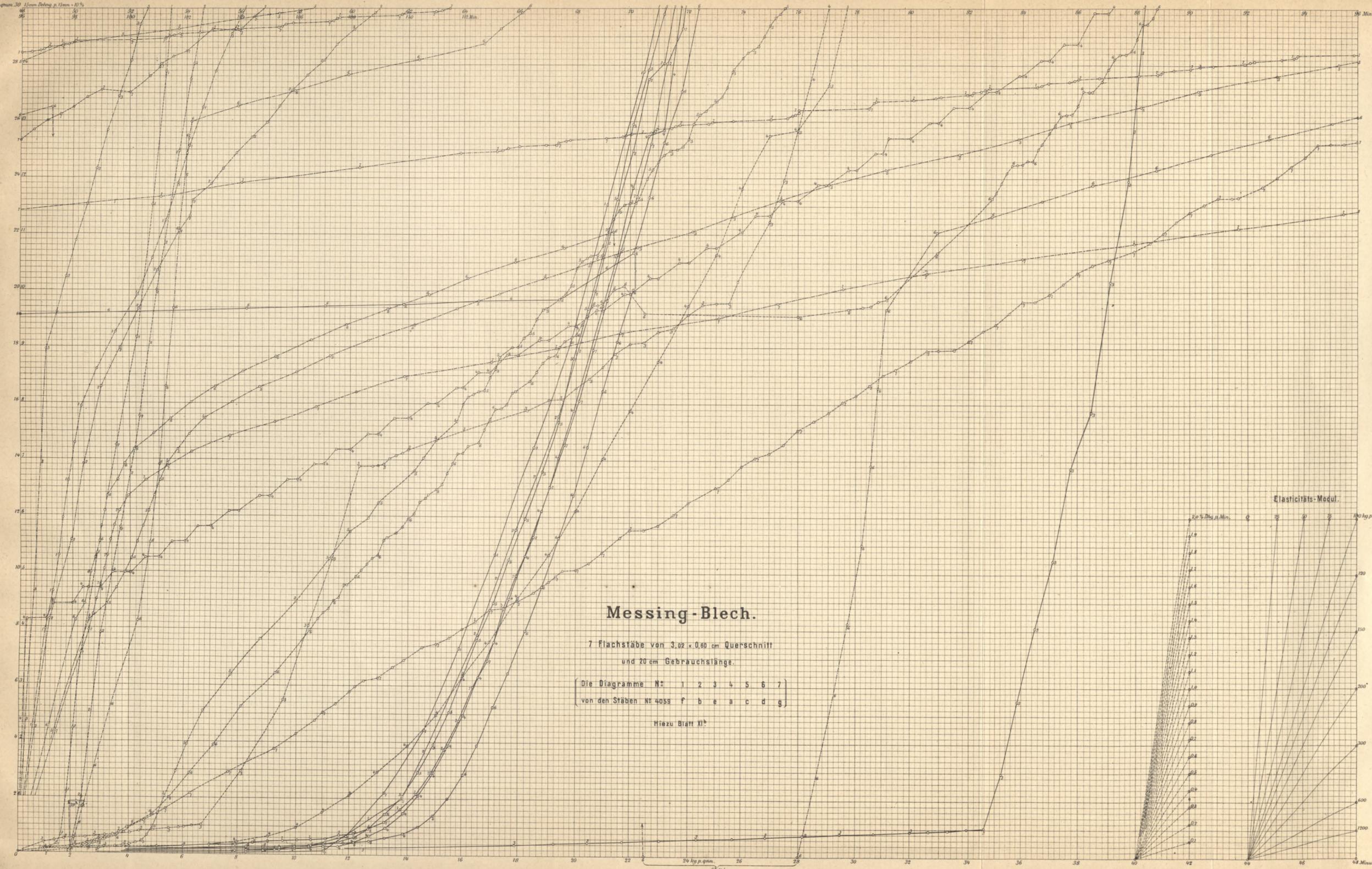
3 Flachstäbe von 100 x 100 mm Querschnitt  
und 16 cm Gebrauchslänge.

(Die Diagramme № 1 bis 3)  
(von den Stäben № 889, b e a)

Elastizitäts-Modul.



HEFT XX  
Kup. p. qmm. 30 15mm. Dehnung p. 15mm. - 10%

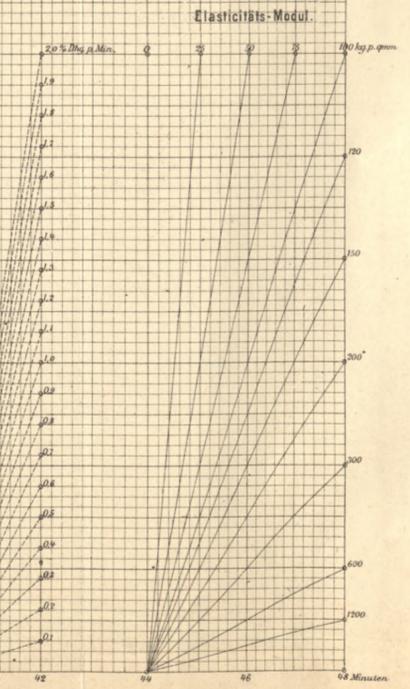


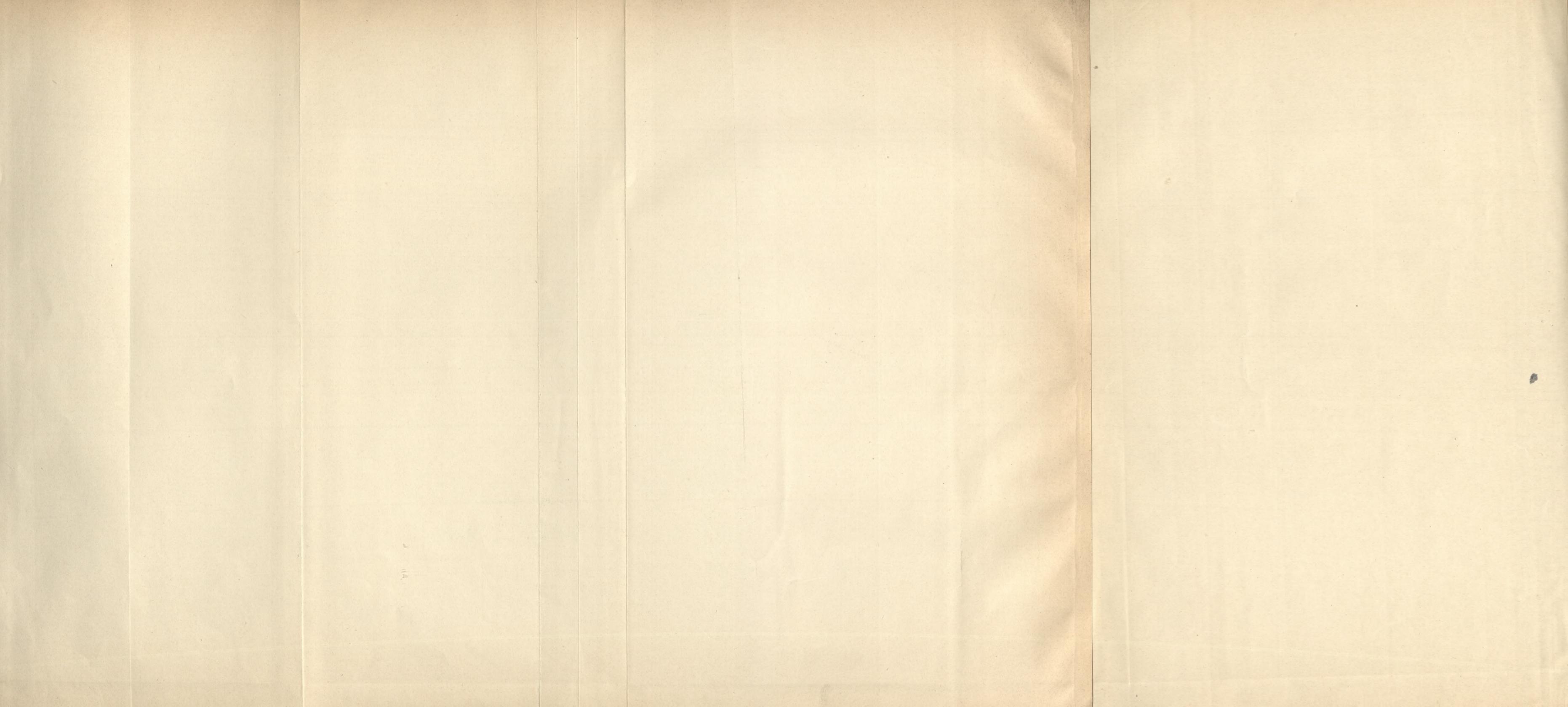
### Messing-Blech.

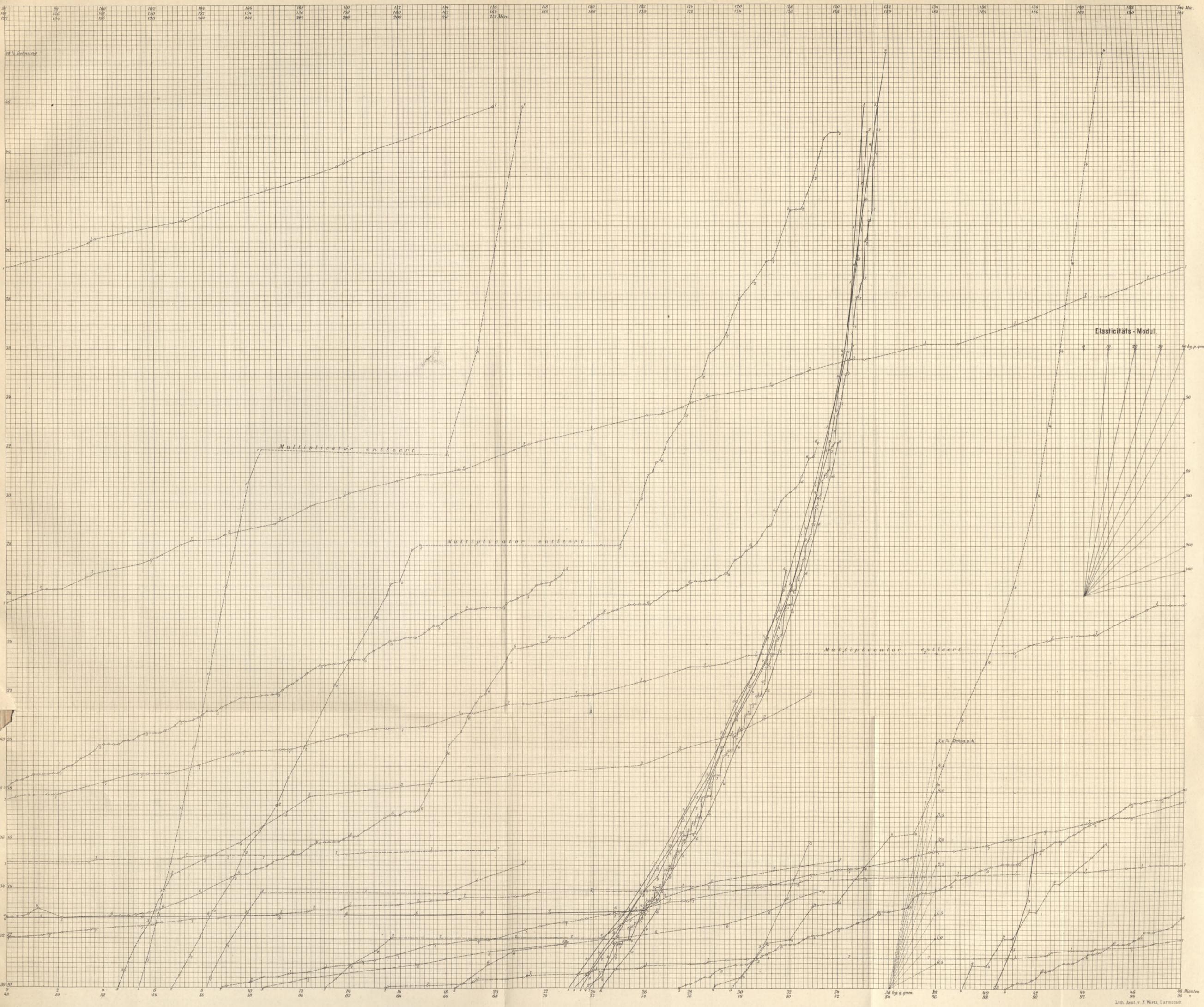
7 Flachstäbe von 3,02 x 0,60 cm Querschnitt  
und 20 cm Gebrauchslänge.

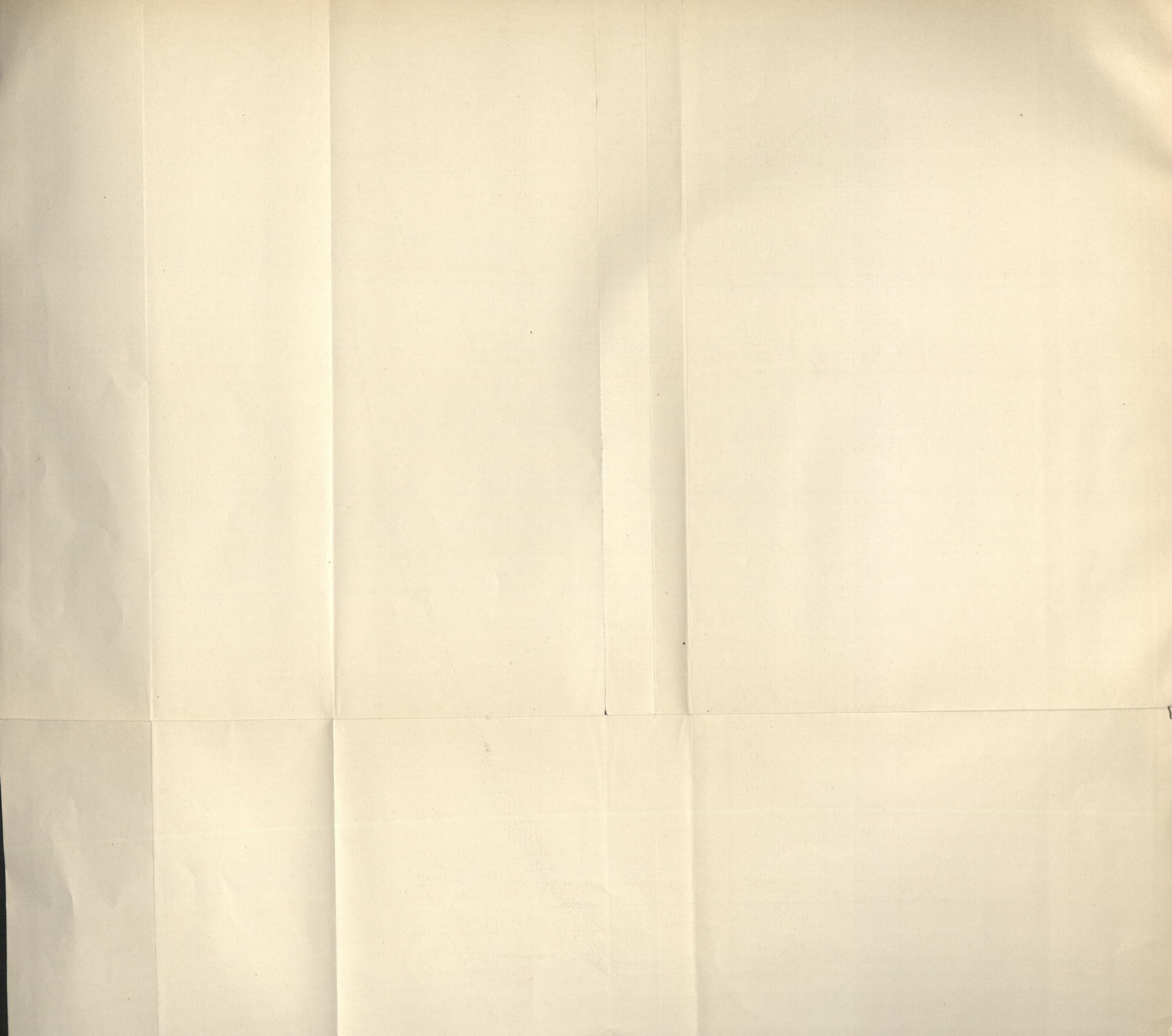
(Die Diagramme Nr: 1 2 3 4 5 6 7  
von den Stäben Nr 4053 f b e a c d g)

Hierzu Blatt XI<sup>1</sup>



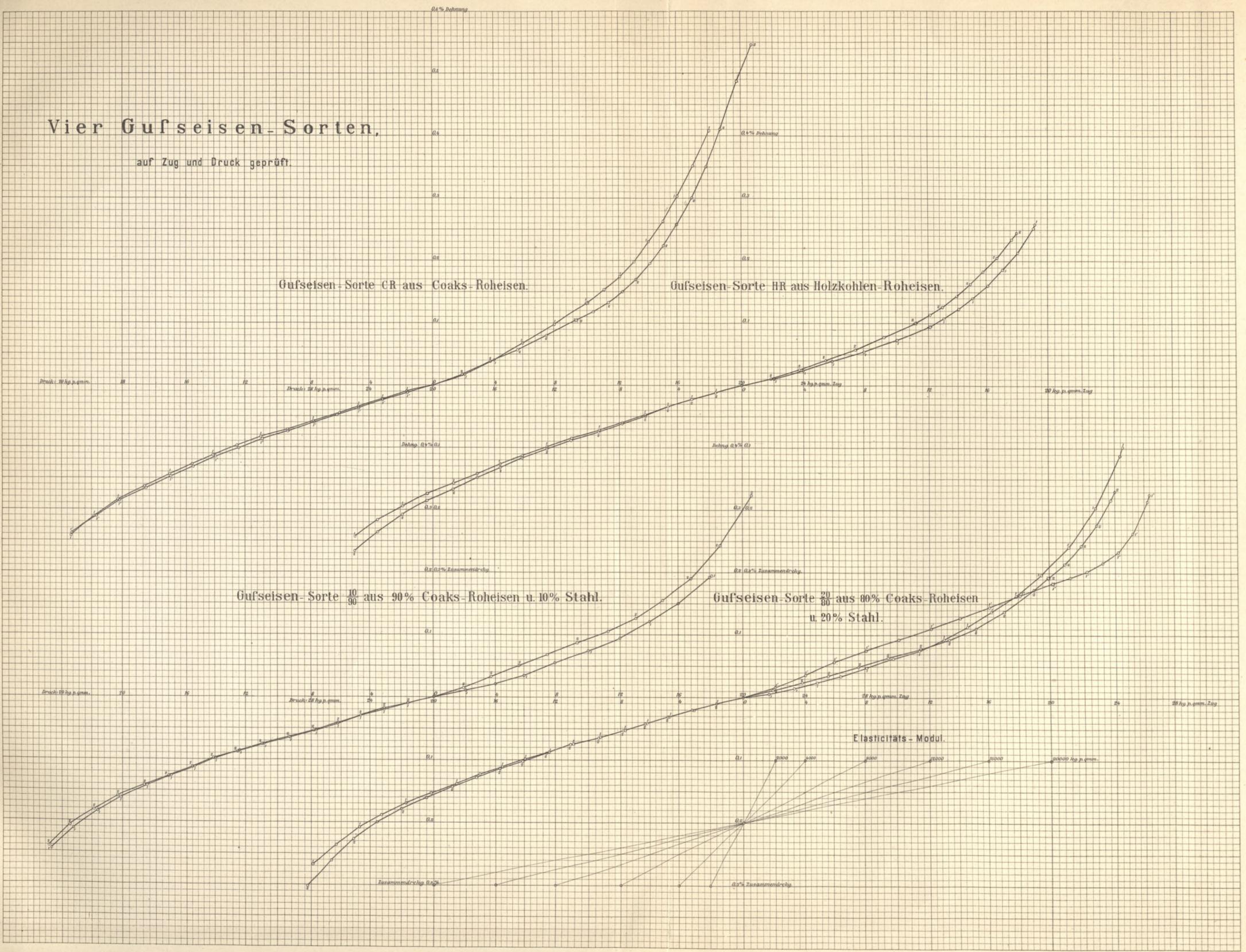






# Vier Gufseisen-Sorten,

auf Zug und Druck geprüft.



Gufseisen-Sorte CR aus Coaks-Roheisen.

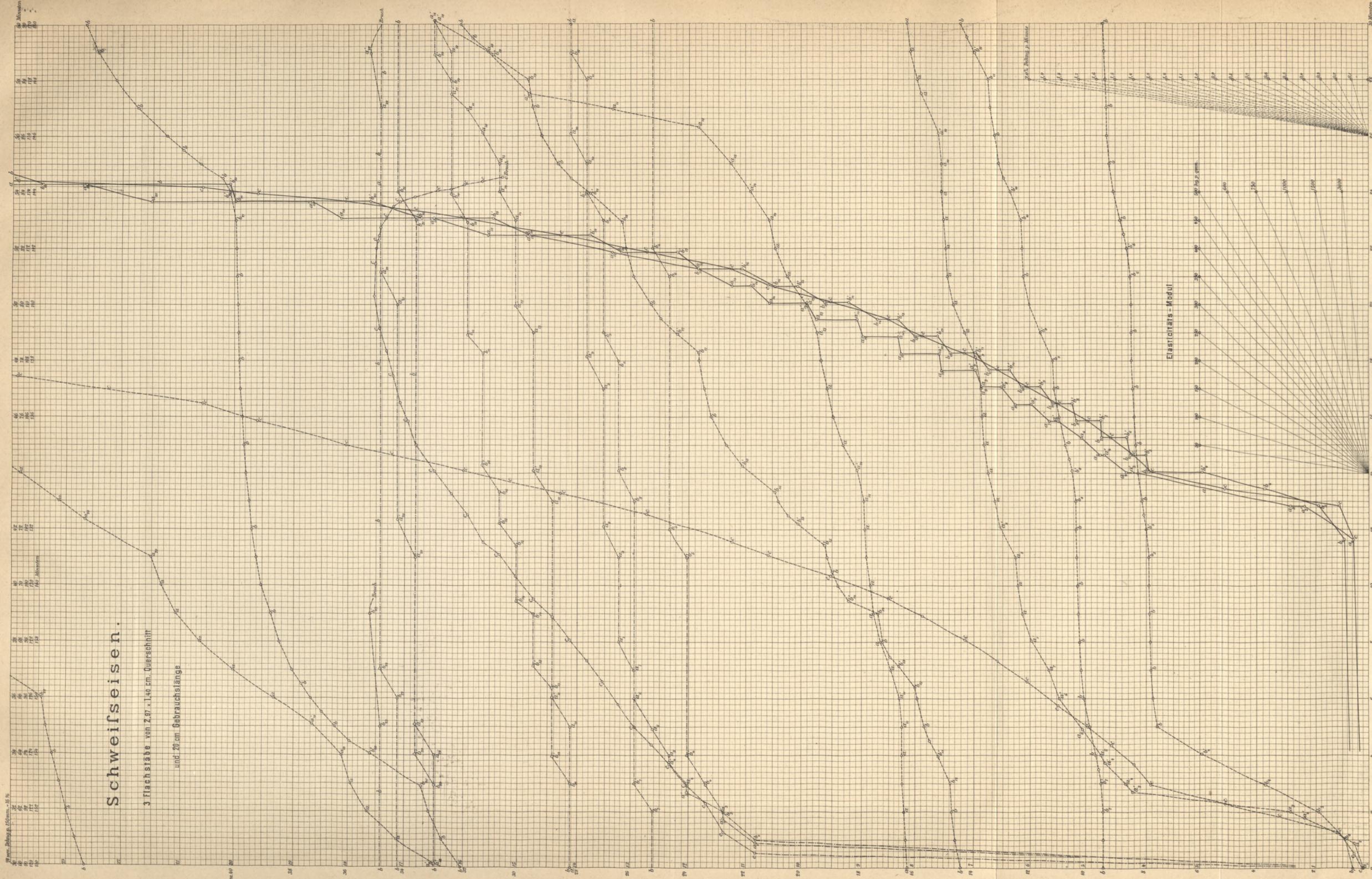
Gufseisen-Sorte HR aus Holzkohlen-Roheisen.

Gufseisen-Sorte  $\frac{10}{90}$  aus 90% Coaks-Roheisen u. 10% Stahl.

Gufseisen-Sorte  $\frac{20}{80}$  aus 80% Coaks-Roheisen u. 20% Stahl.

Elastizitäts-Modul.







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315040

1884

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315041

1885

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315042

1886

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315043

1887

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315044

1888

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315045

1889

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315046

1891

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315047

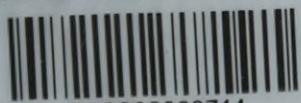
1892

Biblioteka PK

J.X.47

/ 1883/1892

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300714

1883