

# MITTHEILUNGEN

AUS DEM

## MECHANISCH-TECHNISCHEN LABORATORIUM

DER

**K. TECHNISCHEN HOCHSCHULE**

IN

MÜNCHEN

VON

**J. BAUSCHINGER**

O. PROFESSOR DER TECHNISCHEN MECHANIK UND GRAPHISCHEN STATIK.

DREIZEHNTES HEFT,

ENTHALTEND:

MITTHEILUNG XV: ÜBER DIE VERÄNDERUNG DER ELASTICITÄTSGRENZE UND DER FESTIGKEIT DES EISENS UND STAHL'S DURCH STRECKEN UND QUETSCHEN, DURCH ERWÄRMEN UND ABKÜHLEN UND DURCH OFTMAL WIEDERHOLTE BEANSPRUCHUNG.

MIT 25 GRÖßEREN TABELLEN, 2 LITHOGRAPHIRTEN BLÄTTERN UND 1 LICHTDRUCKTAFEL.

---

MÜNCHEN

THEODOR ACKERMANN

KÖNIGLICHER HOF-BUCHHANDLER

1886.

**Ueber die Veränderung der Elasticitätsgrenze und der Festigkeit des Eisens und Stahls durch Strecken und Quetschen, durch Erwärmen und Abkühlen und durch oftmal wiederholte Beanspruchung.**

1. Abschnitt.

Dass bei Eisen und Stahl durch Belasten über die ursprüngliche Elasticitätsgrenze hinaus diese letztere erhöht wird, ist eine schon längst bekannte Thatsache. Uchatius\*) und ich\*\*) haben übrigens gezeigt, dass diese Eigenschaft auch anderen Metallen, wie Bronze, Zink, zukommt und mögen die von mir am citirten Orte mitgetheilten Versuchsergebnisse hier nochmal eine Stelle finden.

Von fünf Flachstäben, Nr. 1—5, aus Phosphorbronze und anderen Bronzesorten von ca. 7 cm Breite und 1,25 cm Dicke wurde die ursprüngliche Elasticitätsgrenze mittelst meines Spiegelapparates\*\*\*) bestimmt, indem die Verlängerungen, welche durch allmählich anwachsende Belastungen die ursprüngliche Länge von 20 cm erlitt, bis auf 0,0002 mm genau gemessen wurden. Nach Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze wurde jeder der Flachstäbe mit einer gewissen Belastung noch weiter gedehnt und unmittelbar, d. h. wenige Minuten darnach, die Elasticitätsgrenze auf's Neue bestimmt. So bekam ich die in der unten stehenden kleinen Tabelle 1 enthaltenen Resultate:

**Tabelle 1.**

Fünf Flachstäbe aus verschiedenen Bronzesorten, auf Zug geprüft.

Flachstab-Nr.	Ursprüngliche Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Angewandte Belastung über der Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Dadurch hervorgebrachte bleibende Dehnung für urspr. 20 cm Tausendstel <i>cm</i>	Erhöhte Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Zugfertigkeit <i>at</i>
1	705	1000	1,54 od. $\frac{1}{13000}$	940	2170
2	583	930	1,56 od. $\frac{1}{13000}$	874	2240
3	585	1000	1,70 od. $\frac{1}{11800}$	880	2030
4	535	890	1,38 od. $\frac{1}{14500}$	883	1975
5	576	920	1,46 od. $\frac{1}{13700}$	864	2020

988—993. Vers. 5.—8. Juni 1875.

\*) Dinglers Journal Bd. 223 S. 242.

\*\*) Dinglers Journal Bd. 224 S. 1.

\*\*\*) Dessen Abbildung und Beschreibung s. im V. Hefte der „Mittheilungen etc.“

Bauschinger, Mittheilungen, XIII.

Aehnliche Resultate ergaben fünf quadratische Prismen von  $4 \times 4$  cm Querschnitt und 12 cm Länge aus denselben Bronzesorten, welche auf Druck geprüft und wobei die Verkürzungen für eine Länge von 5 cm gemessen wurden. (Tabelle 2.)

**Tabelle 2.**

Fünf quadratische Prismen aus verschiedenen Bronzesorten, auf Druck geprüft.

Prisma-Nr.	Ursprüngliche Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Angewandte Belastung über der Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Dadurch hervor-gebrachte bleibende Verkürzung für ursprünglich 5 cm Tausendstel <i>cm</i>	Erhöhte Elasticitätsgrenze <i>at</i>
1	625	940	1,20 oder $\frac{1}{4167}$	875
2	684	1060	1,64 oder $\frac{1}{3050}$	933
3	568	1070	1,25 oder $\frac{1}{1000}$	1010
4	566	1070	1,27 oder $\frac{1}{1000}$	1000
5	686	1120	1,09 oder $\frac{1}{4600}$	1060

1001—1005. Vers. 18.—19. Juni 1875.

Ein Flachstab aus Belgischem Zink endlich von 6,02 cm Breite und 1,02 cm Dicke, dessen Verlängerungen für eine ursprüngliche Länge von 10 cm gemessen wurden, ergab die in Tabelle 3 niedergelegten Resultate:

**Tabelle 3.**

Flachstab aus Belgischem Zink, auf Zug geprüft.

Ursprüngliche Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Angewandte Belastung über der Elasticitätsgrenze <i>at</i>	Dadurch hervorgebrachte bleibende Dehnung für ursprünglich 10 cm Tausendstel <i>cm</i>	Erhöhte Elasticitätsgrenze <i>at</i>
24	32	0,04 od. $\frac{1}{250000}$	32
	65	0,47 „ $\frac{1}{21000}$	65
	98	0,84 „ $\frac{1}{12000}$	98

1765. Vers. 6. März 1877.

Bei allen den obigen Versuchen war die Zeit zwischen der Belastung über der Elasticitätsgrenze und der darauf vorgenommenen Messung zur Bestimmung der neuen nur klein, einige Minuten. Nach dem letzten in Tabelle 3 angegebenen Versuch mit dem Flachstab aus Belgischem Zink blieb dieser Stab, nachdem entlastet und die bleibende Verlängerung 0,86 Tausendstel *cm* constatirt worden war, 22 Stunden und 48 Minuten ruhig eingespannt, wobei jene bleibende Dehnung allmählich auf 0,73 Tausendstel *cm* zurückging. Als nun aufs Neue die Elasticitätsgrenze bestimmt wurde, zeigte sie sich erst bei  $0,67t = 106at$ , also über der Grenze, mit welcher vorher belastet worden war, während bei den vorhergehenden Versuchen mit demselben Stab die Elasticitätsgrenze immer nur bis zur vorher angewandten Maximalbelastung und bei den früheren Versuchen mit Bronze-Flachstäben und -Prismen nicht ganz bis zu dieser Maximalbelastung gestiegen war. Dadurch wurde ich auf den Einfluss, welchen die Zeit, die nach der Maximalbelastung verfließt, auf die Erhöhung der Elasticitätsgrenze durch jene Belastung ausübt, aufmerksam gemacht, ein Einfluss, der, wie ich nachträglich erfuhr, schon vor mir von Beardslee\*) und noch früher von Wöhler\*\*) beobachtet worden war.

Um diesen Einfluss näher kennen zu lernen, liess ich aus einer und derselben Stange von Bessemerstahl (Lab. Nr. 939) vier je 40 *cm* lange und ungefähr 2,50 *cm* im Durchmesser haltende Rundstäbe *c*, *d*, *e*, *f* und noch einen doppelt so langen, aber ebenso dicken fünften, *a*, herstellen. Die Enden waren mit konischen Verstärkungen zum Einspannen versehen. Die durch Belastung auf Zug hervorgebrachten Verlängerungen dieser Stäbe wurden auf eine Länge von 15 *cm* gemessen: innerhalb der Elasticitätsgrenze und etwas über dieselbe hinaus mit meinem Spiegelapparat und dann weiter mit Hülfe eines kleinen Instrumentes, das, nach denselben Principien wie jener construirt, die Verlängerungen mittelst eines Zeigers gibt, der in zehnfacher Uebersetzung auf einem, in ganze Grade von je 1 *mm* Länge getheilten Kreisbogen mittelst eines Nonius 0,005 *mm* ablesen lässt.

Die Resultate dieser Versuche habe ich gleichfalls an dem schon oben citirten Ort (\*\*\*) bereits früher mitgetheilt; auch sie sollen hier in abgekürzter Form und theilweise graphisch dargestellt nochmal wieder gegeben werden. (Tabelle V, Nr. 1—12 und Blatt I.)

Die ursprüngliche Elasticitätsgrenze lag bei den fünf Stäben verschieden hoch, zwischen 1780 und 2320 *at* (s. die

\*) Journal of the Franklin Institut 1874, I S. 150 u. S. 302.

\*\*) Erbkam, Zeitschrift für Bauwesen 1863, S. 245 u. 246.

\*\*\*) Dingler's Journal Bd. 224 S. 1 u. 129.

laufenden Nummern 1, 4, 6, 7 und 12 in Tab. V).\*) Bis zu ihr steigt das Diagramm, welches man erhält, wenn man die Verlängerungen als Abscissen und die Belastungen als Ordinaten aufträgt, wie es auf Blatt I für die Stäbe *a*, *d* und *e* geschehen ist, in einer geraden Linie steil an. Von da an wachsen die Verlängerungen rascher als die Belastungen und geht daher das Diagramm in eine, jene Gerade berührende Curve über, die sich an der Streckgrenze, die hier bei ca. 14 *t* Belastung oder 2800 *at* liegt, in einem mehr oder weniger scharfen Knie gegen die Abscissenaxe abbiegt. Bis dahin ist bei der geringen Genauigkeit, mit welcher die Verlängerungen in die Diagramme eingetragen werden konnten (0,005 *mm*), kein Unterschied im Verlaufe der letzteren für die drei Stäbe *a*, *d* und *e* bemerklich; sie fallen zusammen.

Der Einfluss der Zeit, der schon von Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze an durch ein schwaches Wachsen der Verlängerungen unter gleichbleibender Belastung beobachtet werden konnte, macht sich nun nach Ueberschreiten der Streckgrenze in hervorragender Weise geltend.

Bei den Stäben *d* und *e* wurde, nachdem von 14 *t* auf Null gegangen und dann der oben beschriebene Zeigerapparat angelegt worden war, sofort wieder die Belastung von 13 *t* aufgegeben und dann in Intervallen von je 1 *t*, ohne wieder auf Null zurückzugehen, bis 25 *t* fortgeschritten. (Die Diagramme auf Blatt I konnten des Raumes halber nur bis 24 *t* gezeichnet werden.) Bei 25 *t* wurde dann, ohne die Belastung zu ändern, der Messapparat abgenommen und hierauf in Intervallen von 0,5 *t* fortgeschritten, bis der Bruch erfolgte.

Bei dem Stabe *d* wurde dabei am Beginne jeder neuen Minute der bereits vorhandenen Belastung eine neue Tonne hinzugefügt, durch Nachpumpen der Waggelbalken rasch gehoben und am Ende der Minute die Verlängerung abgelesen und eine weitere Tonne zugelegt, ganz unbekümmert darum, dass die Verlängerung sich unter dem Einfluss der niedrigeren Belastung noch fortwährend vergrößert haben würde. Bei dem Stabe *e* dagegen wurde nach Auflegen jeder neuen Tonne die dadurch vergrößerte Belastung so lange belassen, bis der Zeiger des von Minute zu Minute abgelesenen Zeigerapparates innerhalb einer Minute keine merkliche Bewegung mehr machte, wozu anfangs, nach Ueberschreiten von 14 *t* Belastung, sieben, später 10 Minuten erforderlich waren. Man sieht, wie sich das Diagramm des Stabes *e* dem für den Stab *d* in treppenförmigen Absätzen anschmiegt, dass nach jeder, längere Zeit wirkenden Belastung

\*) Nach der schärferen Bestimmung der Elasticitäts- oder Proportionalitätsgrenze, die ich erst nach der Veröffentlichung dieser Versuche im Dingler'schen Journal zu Grunde legte (s. weiter unten).

beim Stabe e das Diagramm steiler ansteigt, um das des Stabes d wieder zu erreichen. Man kann also sagen, dass durch die längere Einwirkung einer Belastung die Elasticität erhöht wird.

Die Zugfestigkeit der beiden Stäbe ergaben sich als nahezu gleich: 5500 und 5560 *at*.

Beim dritten Stabe f wurde nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze noch bis 13,5 *t* fortgeschritten, dann auf Null gegangen, der Spiegelapparat abgenommen und der Zeigerapparat angesetzt, darauf sofort wieder die Belastung von 13 *t* gegeben und nun von Tonne zu Tonne bis 17 *t* fortgeschritten (s. Tabelle 4). Nachdem dann wieder auf Null gegangen war, wurde der Versuch um 4 Uhr 30 Min. Nachm. abgebrochen, der Stab ausgespannt und erst am nächsten Tage, um 10 Uhr 15 Min. wieder eingespannt. Der Zeigerapparat wurde auf die gestern abgelesene bleibende Verlängerung von 1,235 *mm* gestellt, die Belastung von 17 *t* aufgelegt und dann von Tonne zu Tonne fortgegangen. Dabei zeigte sich nun die aus Tabelle 4 deutlich sichtbare Erscheinung, dass nach der auf das Strecken mit 17 *t* folgenden, etwa 18 stündigen Ruhe der Stab durch die 18. Tonne nur um 0,02 *mm*, um etwa so viel verlängert wurde, als durch die Belastungszunahme um 1 *t* innerhalb der Elasticitätsgrenze (0,0147 *mm*), während bei den vorigen Stäben d und e, wo die 18. Tonne 1 oder 7 Minuten nach der 17. aufgelegt worden war, diese Belastungszunahme eine Vergrößerung der Verlängerung um 0,415 bzw. 0,40 *mm* hervorbrachte. Auch zeigte sich die Verlängerung während einer zwei Minuten dauernden Wirkung der 18. Tonne fast ganz constant, während sie beim Stab e in 6 Minuten um 0,08 *mm* zunahm. Und dass die in Rede stehende Erscheinung in der That durch die längere Ruhe bedingt ist, zeigen die Zahlen der Tabelle 4 nach der Belastung mit 23 *t*. Ein darnach vorgenommenes Entlasten und gleich darauf, nach etwa 9 Min. wieder erfolgtes Belasten mit 23 und hierauf mit 24 *t* ergab, dass die 24. Tonne eine Verlängerung von 0,73 *mm* hervorbrachte, ungefähr gleich derjenigen bei den Stäben d und e, bei denen nicht auf Null gegangen war.

Behufs weiterer Constatirung und näherer Untersuchung der Erscheinung wurden nun die in Tabelle 5 (S. 7 und 8) enthaltenen Messungen an einem vierten Stabe c angestellt. Auch hier brachte nach 24 stündiger Ruhe die 18. Tonne nur eine Verlängerung von 0,035 *mm* hervor und der Einfluss erstreckt sich noch bis in die 19. Tonne, die anfangs auch nur eine geringe Vergrößerung der Verlängerung von 0,035 *mm* erzeugt. Aber mit der Zeit wächst diese Verlängerung rasch, anfangs mit zunehmender, dann mit abnehmender Geschwindigkeit, bis sie endlich, erst nach 21 Minuten, ein Maximum von im Ganzen 0,390 *mm*, immerhin noch weniger als bei den Stäben d,

e und f, erreicht; erst bei der folgenden, 20. Tonne tritt eine so bedeutende Verlängerung von 0,805 *mm* ein, dass das vorher Versäumte beinahe vollständig wieder eingebracht wird.

**Tabelle 4.**

Rundstab von Bessemerstahl Lab.-Nr. 939<sup>1</sup>, auf Zug geprüft. Dchm.: 2,52 *cm*

Die Belastung von Tonnen	bringt in Minuten nach dem Auflegen	auf 15 <i>cm</i> die Verlängerung hervor: <i>mm</i>	Differenzen
13	1	0,195	
	2	0,195	
14	1	0,210	0,015
	2	0,210	
15	1	0,725	0,610
	5	0,820	
16	1	1,085	0,340
	5	1,160	
17	1	1,420	0,350
	5	1,510	
0	—	1,235	
18 Stunden entlastet.			
0	—	1,235	
17	1	1,530	
	2	1,530	
18	1	1,550	0,020
	2	1,550	
19	1	1,835	0,780
	9	2,330	
20	1	2,650	0,520
	7	2,850	
21	1	3,180	0,505
	5	3,355	
22	1	3,840	0,610
	6	3,965	
23	1	4,445	0,635
	8	4,600	
0	1	4,165	
	9	4,165	
23	1	4,700	
	4	4,730	
24	1	5,155	0,730
	9	5,460	
25	1	6,020	0,885
	10	6,345	
0	1	5,870	
	3	5,870	
25	1	6,380	
	4	6,420	
0	—	5,830	

Der Bruch erfolgte bei 26,5 *t* = 5300 *at*, die einige Minuten lang gehalten wurden.

1731. Vers. 16.—17. Febr. 1877.

Nachdem, wie in Tabelle 5 angegeben, die 20 Tonnen Belastung abgenommen und eine bleibende Verlängerung von 2,385 *mm* gemessen worden war, wurde behufs Neubestimmung der Elasticitätsgrenze der Spiegelapparat angebracht und mit demselben bis 14 *t* gemessen, worauf er durch den Zeigerapparat ersetzt wurde. Man sieht, der Stab verhält sich ganz steif bis zur Belastung mit 19 *t*;

erst bei der 20. Tonne streckt er sich etwas mehr, jedoch immerhin nur wenig, aber die 21. Tonne bringt wieder eine normale, grosse Streckung um 0,570 mm hervor. Das blosse Zurückgehen auf Null und das sofortige allmähliche Wiederaufwärtsschreiten, unterbrochen von mehrmaligem Zurückgehen auf Null, kann also über die letzte Belastung hinaus (hier 20t) keine Wirkung ausüben.

Es blieb nun noch übrig, zu constatiren, ob nicht etwa die Erschütterungen beim Ein- und Ausspannen des Stabes jene Erhöhung der Elasticität über die Streckbelastung hinaus hervorgebracht haben. Zu dem Behufe wurde, nachdem die Belastung von 21t abgenommen und

eine bleibende Verlängerung von 2,980 mm abgelesen war, der Stab aus- und sofort wieder eingespannt und die Messungen nach wieder angesetzttem Zeigerapparat fortgesetzt. Man sieht aus dem ferneren Verlauf der Messungen in Tab. 5, dass das blosse Aus- und Einspannen und die damit unvermeidlich verbundenen Erschütterungen nicht die Wirkung hervorbringen, wie die längere Ruhe. Und um diess nochmals bestimmt zu erreichen, wurde nach Abnahme der letzten Belastung von 22t Stab und Messapparat ganz ruhig und unberührt etwa 22 Stunden lang stehen gelassen, Der Zeigerapparat zeigte währenddem keinen merklichen Rückgang der bleibenden Ver-

**Tabelle 5.**

Rundstab von Bessemerstahl, Lab.-Nr. 939c, auf Zug geprüft. Dehm.: 2,50 cm.

Die Belastung von Tonnen	bringt in Minuten nach dem Auflegen	auf 15 cm die Verlängerung hervor: mm	Dif-ferenzen	Die Belastung von Tonnen	bringt in Minuten nach dem Auflegen	auf 15 cm die Verlängerung hervor: mm	Dif-ferenzen	Die Belastung von Tonnen	bringt in Minuten nach dem Auflegen	auf 15 cm die Verlängerung hervor: mm	Dif-ferenzen
12	1	0,200		4	—	2,4503	0,0156	0	1	2,980	
13	1	0,220	0,020	5	—	2,4659	162	Der Stab aus- und sofort wieder eingespannt.			
14	1	0,375	0,210	6	—	2,4821	166	0	—	2,980	
	8	0,460		7	—	2,4987	166	21	1	3,395	
15	1	0,795	0,405	8	—	2,5153		22	2	3,405	
	7	0,865		0	—	2,3886			1	3,795	0,545
16	1	1,140	0,335	8	—	2,5153	0,0082	0	8	3,950	
	7	1,200		8,5	—	2,5235	83	0	1	3,535	
17	1	1,495	0,370	9	—	2,5318	87		60	3,535	
	7	1,570		9,5	—	2,5405	88	22 Stunden Ruhe im entlasteten Zustande. Stab und Messapparat unberührt			
0	1	1,265		10	—	2,5493					
Messapparat abgenommen, Stab ausgespannt, dann nach ca. 24stündiger Ruhe wieder eingespannt und der Messapparat wieder angebracht.				0	—	2,3893		0	—	3,535	pro 1 t
				10	—	2,5492	0,0087	4	—	3,595	0,0150
				10,5	—	2,5579	89	8	—	3,660	160
				11	—	2,5668	93	12	—	3,725	175
0	—	1,265		11,5	—	2,5761	88	14	—	3,760	0,015
17	1	1,515		12	—	2,5849		15	—	3,775	10
	2	1,515		0	—	2,3895	0,0097	16	—	3,785	20
18	1	1,540	0,035	12	—	2,5840	88	17	—	3,805	15
	4	1,550		12,5	—	2,5937	90	18	—	3,820	15
19	1	1,585		13	—	2,6025	97	19	—	3,835	20
	5	1,620		13,5	—	2,6115		20	—	3,855	20
	10	1,690	0,390	14	—	2,6212		21	—	3,875	20
	15	1,860		0	—	2,3896		22	—	3,895	30
	20	1,930		Spiegelapparat abgenommen und Zeigerapparat angeschraubt.				23	1	3,925	
	21	1,940		14	—	2,645	0,020	35	—	3,940	
20	1	2,600	0,805	15	—	2,665	25	24	1	3,975	
	7	2,745		16	—	2,690	25		8	4,055	0,115
0	—	2,385		17	—	2,715	20	25	1	4,900	
Hierauf der Zeigerpparat abgenommen, der Spiegelapparat angebracht und sofort die Messung wieder fortgesetzt.				18	—	2,735	30		2	5,900	
0	—	2,3850	0,0166	19	—	2,765			3	6,040	
1	—	2,4016	161	20	1	2,815			4	6,130	2,250
2	—	2,4177	161		2	2,820	60		5	6,175	
3	—	2,4338	161		3	2,825	0,570		10	6,275	
4	—	2,4499	161	21	1	3,205			14	6,305	
0	—	2,3877			9	3,395					

Der Bruch erfolgt bei 25,5 t = 5100 at, die kaum 1 1/2 Minuten lang getragen werden.

längerung; er blieb unverrückt auf 3,535 mm stehen. \*) Aus dem weiteren Verlauf der Messungen aber sieht man, wie die Erhöhung der Elasticität während der Ruhe nach dem Strecken auch hier bis in die zweitnächste Tonne, die 24., hineinreicht und erst bei der 25. Tonne ein so starkes Strecken beginnt, im Ganzen um 2,250 mm, dass alles vorher Versäumte wieder eingeholt wird.

Hiemit ist also, wenigstens für das vorliegende Material, Bessemerstahl, der folgende Satz erwiesen:

Durch Strecken eines Stabes, d. h. durch Belasten desselben über die Streckgrenze hinaus, erhöht sich seine Elasticität nicht bloss während der Zeit, in der die Belastung wirkt, sondern auch noch während einer, auf die Entlastung folgenden längeren Ruhe (ohne Belastung) und diese Wirkung macht sich über die Belastung hinaus geltend, mit welcher vorher gestreckt wurde.

Es finden also in der Ruhezeit, die auf das Strecken folgt, Vorgänge in dem ruhig liegenden, entlasteten Stabe statt, Veränderungen in der gegenseitigen Lage der Moleküle u. dgl., die wahrscheinlich mit der bekannten Erscheinung der elastischen Nachwirkung zusammenhängen, auf welche ich aber hier nicht näher eingehen will. Ich werde mich überhaupt hier von allen Hypothesen zur Erklärung dieser und der noch weiterhin zu beschreibenden Erscheinungen fernhalten und mich lediglich darauf beschränken, die Thatsachen mitzuthellen, wie ich sie gefunden habe.

## 2. Abschnitt.

Nachdem durch die oben mitgetheilten Versuche nachgewiesen war, dass die Zeit längerer Ruhe nach einer Streckung so grossen Einfluss auf die Erhöhung der Elasticität, also auf die Cohäsion hat, lag die Frage nahe, ob ein solcher Einfluss nicht auch bezüglich der Wirkungen abwechselnder Belastungen constatirt werden könne, wenn zwischen denselben eine längere Pause der Ruhe stattfindet. Auch war es wünschenswerth zu constatiren, welche Wirkungen solche wechselnde Belastungen auf die Verlängerungen haben, die sie hervorbringen.

An dem fünften Stab aus Bessemer-Stahl, Lab. Nr. 939<sup>a</sup>, welcher doppelt so lang als die übrigen war, wurden beide Messapparate, der Spiegel- und Zeigerapparat, auf je 15 cm Länge angebracht und ersterer immer so lange abgelesen, als die Verlängerungen in seine Grenzen fielen. Grössere Ausdehnungen wurden dann mit dem Zeigerapparat allein weiter verfolgt und nach

\*) Daran ist übrigens nur die geringe Empfindlichkeit des Zeigerapparates schuld; mit dem Spiegelapparate kann man die Erscheinung der sog. elastischen Nachwirkung stundenlang verfolgen.

diesem der Spiegelapparat immer neu eingestellt, wenn er wieder gebraucht werden sollte. Das Diagramm der so erhaltenen totalen Verlängerungen ist auf Blatt I dargestellt; die sämtlichen während des Versuches beobachteten Vorgänge müssen aber hier genauer beschrieben werden.

Die Belastung von 15 t brachte an dem Stab nach 5 Minuten langer Wirkung eine totale Verlängerung von 0,775 mm hervor, ungefähr so viel wie bei den anderen Stäben auch. Nachdem der Spiegelapparat eingestellt worden war, konnte ein weiteres Fortschreiten jener Verlängerung, über eine halbe Stunde lang dauernd, beobachtet werden, das anfangs rascher war, dann aber langsamer und langsamer wurde. Während in der 7. Minute die Verlängerung um 0,0039 mm gewachsen war, nahm sie in der 34. Minute nur noch um 0,0001 bis 0,0002 mm zu; sie betrug schliesslich 0,8057 mm. Durch diese längere Einwirkung der Belastung von 15 t hat nun aber, obwohl während derselben die Verlängerung im Ganzen nicht viel gewachsen war, die Elasticität doch bedeutend zugenommen, denn die nun aufgelegte 16. Tonne brachte die totale Verlängerung nach 5 Minuten langem Wirken nur auf 1,055 mm, also nur um 0,250 mm weiter, während sie bei den Stäben c bis f einen Zuwachs von im Mittel 0,350 mm hervorgebracht hatte; das Diagramm steigt zwischen a<sub>2</sub> und a<sub>3</sub> merklich steiler an, als zwischen d<sub>1</sub> und d<sub>2</sub> bzw. e<sub>2</sub> und e<sub>3</sub> bei den Stäben d und e. Die neu zugelegte 17. Tonne holte dies noch nicht ein, denn sie erhob die totale Verlängerung nach 6 Minuten erst auf 1,410 mm, also um nur 0,355 mm weiter, um so viel ungefähr wie bei den andern Stäben auch.

Nun wurde zwischen den Belastungen 17 t und Null mehrmals, im Ganzen 23 mal, abgewechselt. Für jeden Wechsel, auf oder ab, wurde in der Regel 1 Minute verwendet, mehrmals wurde aber bei der obern oder untern Grenze auch länger gewartet und dabei von Minute zu Minute der Spiegelapparat abgelesen. Es zeigte sich dabei allemal ein anfangs schneller, dann langsamer Rückgang der bleibenden Ausdehnung bei der Belastung Null und ähnlich ein anfangs rasches, dann langsames Vorwärtsgen der Verlängerung bei der Belastung von 17 t. So war nach dem 6. Hin- und Hergang die bleibende Ausdehnung für die Belastung Null nach

1	2	3	4 Minuten
1,1957	1,1947	1,1945	1,1943 mm

und nach dem 17. Hin- und Hergang die totale Verlängerung für 17 t nach

1	2	3	4	5	6 Minuten
1,4964	1,4980	1,4988	1,4995	1,4997	1,5001 mm.

Im Ganzen wurde durch dieses 23 malige Hin- und Hergehen, zu welchem etwa 63 Minuten gebraucht worden waren, die bleibende Ausdehnung bei 0 t Belastung von

1.135 auf 1,2352 *mm* und die Verlängerung für 17 *t* von 1,410 auf 1,5067 *mm*, erstere also etwas mehr als letztere, gehoben, so dass die Differenz beider, die sogen. elastische Verlängerung etwas verringert wurde, von 0,275 auf 0,2717 *mm*. Damit wären aber die Wirkungen des Hin- und Hergehens noch nicht erschöpft gewesen, denn unmittelbar vorher, nach dem 22. Hin- und Hergang, waren die bleibende und totale Ausdehnung noch 1,2341 bezw. 1,5058 *mm*.

Dieser öftere und längere Zeit fortgesetzte Wechsel der Belastung hat nun ebenfalls eine Erhöhung der Elasticität zur Folge gehabt; denn die 18. Tonne bringt nun nach 8 Minuten langer Dauer nur eine totale Verlängerung von 1,745 *mm*, also eine Vergrößerung derselben um nur 0,24 *mm* hervor, während sie bei den Stäben *d* und *e* eine solche von 0,41 *mm* bewirkt hatte. Das Diagramm steigt von *a*, nach *a*, steil auf. Die totale Verlängerung ist nun um etwa 0,28 *mm* hinter der der letzteren Stäbe zurück.

Hierauf wurde die Belastung von 18 *t* abgenommen, eine bleibende Ausdehnung von 1,455 *mm* abgelesen, der Spiegelapparat eingestellt und Stab und Messapparate bis zum nächsten Tage, 21 Stunden lang, ruhig stehen gelassen. Der Spiegelapparat zeigte dabei einen Rückgang der totalen Ausdehnung auf 1,4527, also allerdings nur um 0,0023 *mm*, aber doch ganz gut messbar. Die neuerdings aufgelegten 18 *t* brachten nach 3 Minuten jetzt nur die totale Verlängerung 1,7346 *mm* hervor, während diese schon 1,745 *mm* gewesen war. und die 19. Tonne, welche nun zugelegt wurde, erhob dieselbe nur auf 1,7886 *mm* nach 3 Minuten langer Wirkung, also nur um 0,0540 *mm* gegenüber 0,45 *mm* bei den Stäben *d* und *e*.

Nun wurde wieder zwischen den Belastungen 19 und 0 *t* öfters hin und her gewechselt, je einmal in einer Minute, und es ergab sich

	das	1.	2.	3.	4.	5. Mal
für die 19 <i>t</i> :	1,7886	1,8042	1,8179	1,8479	1,8605	
Belastung   0 <i>t</i> :	1,4834	1,5021	1,5159	1,5379	--	<i>mm</i> .

Die vorausgegangene Ruhe hatte also die Folge, dass sich die bleibende und totale Ausdehnung für die Belastungen 0 und 19 *t* nur sehr wenig über diejenigen erheben, welche schon die Belastung von 18 *t* vor der Ruhe hervorgebracht hatte.

Es wurden nun 20 *t* aufgelegt und dadurch die totale Verlängerung nach 4 Minuten Dauer auf 2,635 *mm* gehoben, durch die 20. Tonne also um 0,775 *mm*, und dadurch ein guter Theil des vorher Versäumten wieder eingebracht, aber noch nicht Alles. Nach 23 maligem Hin- und Hergehen zwischen 20 und 0 *t*, wobei für jeden Wechsel anfangs immer nur eine, dann aber stets 2 Minuten verwendet wurden, so dass im Ganzen 82 Minuten ver-

gingen, war die bleibende Ausdehnung bei 0 *t* von 2,30 auf 2,4860 *mm* und die totale Ausdehnung bei 20 *t* von 2,635 auf 2,8268 *mm* gestiegen. Bei den letzten 18 Hin- und Hergängen, bei denen auf jeden Wechsel genau 2 Minuten verwendet wurden, nahm die elastische Verlängerung wieder ab, von 0,3440 bis 0,3408 *mm*. Dabei hatte der letzte Hin- und Hergang die bleibende Ausdehnung noch um 0,0022 *mm*, die totale um 0,0020 *mm* vergrößert.

Hierauf blieb der Stab ohne Belastung 2 Tage lang ruhig liegen. Die bleibende Ausdehnung verringerte sich dabei von 2,4850 auf 2,4805 *mm*, um 0,0055 *mm*. Die alsdann vorgenommenen Belastungswechsel zwischen 0 und 20 *t* von je 2 Minuten Dauer gaben folgende Resultate:

	das	1.	2.	3. Mal
eine totale Verlängerung	2,7840	2,7857	2,7870	<i>mm</i>
„ bleibende von	2,4828	2,4831	2,4835	<i>mm</i>
	das	4.	5.	6. Mal
eine totale Verlängerung	2,7877	2,7882	2,7884	<i>mm</i>
„ bleibende von	2,4837	2,4838	<i>mm</i>	—

Durch die vorausgegangene 2 tägige Ruhe ist also die totale Verlängerung, welche 20 *t* hervorbringen, beträchtlich kleiner geworden, um etwa 0,04 *mm*, und die Zunahme dieser totalen Verlängerung mit jedem neuen Wechsel wird rasch kleiner, so dass sie nach 6 Wechseln schon fast unmerklich wird.

Auch die bleibende Verlängerung ist, wie oben gezeigt, etwas — aber nur wenig — zurückgegangen und wächst mit jedem neuen Wechsel nur sehr langsam, beim ersten um nur 0,0003, während sie beim letzten Wechsel vor der Ruhe um 0,0022 *mm* zugenommen hatte. Die elastische Ausdehnung endlich ist von 0,3408 *mm* vor der Ruhe auf 0,3044 *mm* nach derselben herabgegangen, beträgt also nur noch 0,0152 *mm* pro Tonne — ungefähr so viel wie vor der ursprünglichen Elasticitätsgrenze.

Unmittelbar nach jenem 6. Wechsel mit 0 und 20 *t* wurde noch 1 *t* zugelegt und dadurch nach je 2 Minuten langem Warten eine totale Verlängerung von 2,8080 *mm* und eine bleibende von 2,4855 *mm* hervorgebracht, während nach 5 maligem Hin- und Hergehen zwischen 0 und 21 *t* die totale Verlängerung auf 2,8136 *mm*, die bleibende auf 2,4882 *mm*, also nur ganz wenig, anwachsen; erstere hatte noch nicht einmal die Grösse erreicht, welche sie vor der Ruhe durch Strecken mit 20 *t* bekommen hatte. Nachdem das 6. Mal 21 *t* nach 2 Minuten langem Einwirken die totale Ausdehnung auf 2,8145 *mm* gebracht hatten, erhöhte die aufgelegte 22. Tonne auch nach je 2 Minuten die totale Verlängerung auf 2,8493 *mm* und die bleibende auf 2,5023 *mm* und nach 6 maligem Hin- und Hergehen die totale Verlängerung auf 2,8978 und die bleibende auf 2,5473 *mm*. Der Einfluss der Ruhe er-

streckte sich also sehr merklich bis in die 2. Tonne herein. Erst die nächste Tonne brachte wieder grössere Veränderungen hervor. Während das 7. Mal die 22 *t* die totale Verlängerung von 2,9081 *mm* nach 2 Minuten erzeugten, wuchs diese durch die 23. Tonne rasch auf 4,32 *mm* nach 5 Minuten und nach 10 maligem Hin- und Hergehen zwischen 0 und 23 *t* innerhalb 20 Minuten auf 4,48 *mm*, die bleibende auf 4,055 *mm*. Die 24. Tonne erhöhte alsdann nach 5 Minuten dauernder Einwirkung jene auf 5,215 *mm* und nach 10 maligem Hin- und Hergehen zwischen 0 und 24 *t* auf 5,39 *mm*, die bleibende Ausdehnung von 4,755 auf 4,945 *mm*. Die totale Ausdehnung ist nun wieder ungefähr ebenso gross wie bei den Stäben *d* und *e*. Der Bruch des Stabes *a* erfolgte bei 26,5 *t*, die nicht ganz erreicht wurden, also bei etwa 5200 *k* pro 1 *qcm*.

Damit ist für das vorliegende Material — Bessemerstahl — erwiesen, dass die Wirkung wechselnder Belastungen, von denen wenigstens die obere die ursprüngliche Elasticitätsgrenze übersteigt, sehr verschieden ist, ob diese Wechsel unmittelbar rasch hinter einander folgen, oder ob längere Ruhepausen dazwischen liegen. Nach einer solchen Pause ist die Wirkung derselben wechselnden Belastungen auf das Material bedeutend geringer als vorher.

### 3. Abschnitt.

Bei weiterer Verfolgung der in den beiden ersten Abschnitten behandelten Erscheinungen legte ich mir zunächst die Frage vor, welchen Einfluss die Länge der Ruhepause, welche auf eine, nach stattgefundener Streckung vorgenommene Entlastung folgt, auf die Grösse der in ihr sich vollziehenden Erhöhung der Elasticität hat? Für Beantwortung dieser Frage war es vor Allem erforderlich, den zu unbestimmten Begriff: „Erhöhung der Elasticität“ durch einen präciseren zu ersetzen. Diess suchte ich dadurch zu erreichen, dass ich in dem Vorgange der Dehnung eines Stabes durch allmählich anwachsende Zugkräfte (oder der Zusammendrückung eines prismatischen Probestückes durch Druckkräfte) zwei Stellen heraus hob: die Elasticitätsgrenze und die Streckgrenze (bezw. Quetschgrenze).

Die Elasticitätsgrenze wurde früher als diejenige Grenze definiert, innerhalb deren die Gestaltsveränderungen nach Beseitigung der Ursachen derselben vollständig wieder verschwinden, nach deren Ueberschreitung aber bleibende Gestaltsveränderungen beobachtet werden können. Nun ist aber die Constatirung von Gestaltsveränderungen, von Längenänderungen bei Zug oder Druck, wesentlich bedingt durch die Feinheit der Messinstrumente, die man anwendet. Die Anwendung meines Spiegelapparates, mit dem die Längenänderungen bis auf 1 Zehn-

tausendstel Millimeter gemessen werden können, zeigt, dass bleibende Längenänderungen schon durch verhältnissmässig kleine Belastungen an Stoffen hervorgebracht werden, welche als sehr elastisch galten und noch gelten, an den gebräuchlichsten Metallen, an Holz etc. Nur bei sehr hartem Stahl, Werkzeugstahl, sind diese bleibenden Aenderungen anfangs so klein, dass sie auch der Spiegelapparat nicht mehr zu erkennen gibt. Damit musste die obige Definition der Elasticitätsgrenze fallen.

Nun zeigen aber die Messungen mit meinem Spiegelapparat, dass bei den als elastisch bekannten Materialien, bei Schmiede- oder Schweisseisen, bei Flusseisen, Stahl, Holz u. s. w. der alte Hooke'sche Satz: *ut tensio sic vis*, oder die Proportionalität der Verlängerung (oder Verkürzung) mit der Belastung, durch welche sie hervorgebracht wird, stets bis zu einer gewissen Grenze der Belastung gilt. Wird diese Grenze, welche man kurz Proportionalitätsgrenze nennen kann, überschritten, so wachsen die Längenänderungen rascher, als die Belastungen, oder das Diagramm, welches man erhält, wenn man die Belastungen als Abscissen und die Längenänderungen als Ordinaten aufträgt, biegt von der geraden Linie, aus der es bis zu jener Grenze bestand, in eine Curve um, welche diese gerade Linie berührt und ihre concave Seite der Abscissenaxe zukehrt.

Die Bestimmung jener Proportionalitätsgrenze hängt allerdings wieder von der Feinheit der Messinstrumente ab, von dem Grade der Empfindlichkeit, mit dem sie die beginnende Abweichung von der Proportionalität erkennen lassen. Aber diese Schwierigkeit ist hier doch ganz anderer Art. Die Aufgabe läuft darauf hinaus, den Berührungspunkt einer gegebenen Geraden mit einer gegebenen Curve, deren Bildungsgesetz unbekannt ist, zu finden. Der Punkt ist da, aber man wird ihn nur annähernd und mit um so grösserer Genauigkeit finden, je feiner die Hilfsmittel sind, die man anwenden kann.

Glücklicherweise wird aber, nach meinen Erfahrungen, unter Umständen, insbesondere bei Probestücken, die frisch von der Bearbeitung kommen und nicht kurz vorher eine Streckung oder Verkürzung durch grössere Belastungen erfahren haben, das Ueberschreiten der Proportionalitätsgrenze von einigen gleichzeitig auftretenden Erscheinungen begleitet, die ihre Bestimmung wesentlich erleichtern: Während nämlich 1) die bleibenden Längenänderungen innerhalb der Proportionalitätsgrenze nur klein sind und nur ganz allmählich mit der Belastung wachsen, werden sie nach Ueberschreitung jener Grenze mit einem Male bedeutend grösser. 2) Während bei wiederholtem Hin- und Hergehen zwischen der Belastung Null und einer innerhalb der Proportionalitätsgrenze gelegenen immer wieder dieselben bleibenden und totalen Längen-

änderungen erhalten werden, steigen beide bei einer oberen Belastung, die über der Proportionalitätsgrenze liegt, bei jedem neuen Wechsel zwischen dieser Belastung und Null. 3) Während endlich innerhalb der Proportionalitätsgrenze die Zeit auch bei längerem Warten nach Auflegen einer neuen Belastung keinen Einfluss zeigt, während also die Scalen des doch so empfindlichen Spiegelapparates an der Stelle, die sie nach Erreichen der neuen Belastung einnehmen, stehen bleiben, so lange die Belastung constant erhalten wird, sieht man sie bei einer über die Proportionalitätsgrenze hinausgehenden Belastung allmählich weiter und weiter rücken und erst nach längerer Zeit zur Ruhe kommen: es zeigt sich eine elastische Nachwirkung. Ebenso werden die, nach Ueberschreitung der Proportionalitätsgrenze auftretenden bleibenden Längenänderungen mit der Zeit, die nach der Entlastung verfließt, kleiner, anfangs schneller, dann immer langsamer und langsamer.

Wenn diese letzteren begleitenden Erscheinungen präcis auftreten, dann wird man mit vollem Rechte die Proportionalitätsgrenze auch Elasticitätsgrenze nennen können, wie es von nun an immer geschehen soll. Manchmal bleiben freilich die eine oder die andere dieser Erscheinungen auch aus, besonders die ersteren beiden bei Probestücken, die unmittelbar oder kürzere Zeit vorher stark gestreckt (oder gedrückt, gequetscht) worden sind, bei denen sich also die elastische Nachwirkung noch geltend machen konnte, bei Probestücken also, mit denen wir es gerade bei vorliegenden Untersuchungen zu thun haben. Es bleiben dann auch nach Ueberschreiten der Proportionalitätsgrenze die bleibenden Längenänderungen, noch klein; dieselben sind anfangs, für kleine Belastungen, sogar manchmal negativ; und bei wiederholtem Belasten mit der gleichen Last ergeben sich keine grösseren, ja manchmal sogar kleinere totale Längenänderungen auch nach Ueberschreiten der Proportionalitätsgrenze. \*) Da aber solche

\*) Diese Erscheinung tritt in den Tabellen, in welchen ich die Resultate der in diesem Abschnitt zu besprechenden Untersuchungen zuerst im „Civilingenieur“ Bd. XXVII S. 289—348 veröffentlicht habe, besonders stark auch noch eines anderen Umstandes halber hervor: Der Spiegelapparat nämlich, mit dem ich alle diese Messungen vornahm, hatte damals gerade einen ziemlich grossen toden Gang. Die Wirkung desselben auf die Messungen suchte ich dadurch zu vermeiden, dass ich nach Anbringung des Apparates an dem Probestück die Federn durch in die Nähe gehaltene heisse Blechstückchen etwas erwärmte. Bei der darauf folgenden Abkühlung der Federn machen die Wälzchen, an denen jene anliegen, und die Spiegel eine Bewegung im Sinne derjenigen, welche bei einer Verlängerung des Probestückes stattfindet. Nachdem die Federn wieder die Temperatur der Umgebung angenommen hatten, was etwa nach 15 bis 20 Minuten der Fall war, begann ich mit der Messung. Dieselbe Manipulation musste natürlich jedesmal nach der Entlastung vorgenommen werden, wenn die bleibende

Abweichungen theils durch Messungsfehler, wenn sie nur klein sind, theils im obigen Falle, wo sie grösser sind, durch die elastische Nachwirkung, welche vielleicht gerade durch das neue Belasten und Entlasten unterstützt wird, erklärt werden können, so können sie nicht als Grund gegen das Zusammenlegen der Elasticitäts- mit der Proportionalitätsgrenze angeführt werden, um so weniger, als auch bei solchen Probestücken, wie sie vorhin angeführt wurden, die dritte Erscheinung stets auftritt, die nämlich, dass die Zeit gleich oder bald nach dem Ueberschreiten der Proportionalitätsgrenze Einfluss auf die Grösse der totalen Längenänderung ausübt.

Eine nothwendige Consequenz dieser Definition der Elasticitäts- als Proportionalitätsgrenze ist dann freilich die, dass für solche Materialien, wie Gusseisen, Steine (bei ihrer Prüfung auf Druck), welche von vornherein keine Proportionalität der Gestaltsveränderungen mit der Belastung erkennen lassen, auch keine Elasticitätsgrenze gefunden wird. Aber diess liegt eben in der Natur der Sache: solche Körper haben einfach keine Elasticitätsgrenze und die Bestimmung einer solchen mittelst willkürlicher künstlicher Definitionen, wie sie Wertheim\*) und Styffe\*\*) gegeben haben, hilft nicht darüber hinweg.

Eine andere Consequenz aus jener Definition der Elasticitätsgrenze ist die folgende, für die vorliegenden Untersuchungen besonders wichtige: Wenn in einem Stabe, welcher wechselnden Beanspruchungen zwischen einer unteren und oberen Grenze, von denen wenigstens die letztere über der ursprünglichen Elasticitätsgrenze liegt, ausgesetzt wird, die Lage der Elasticitätsgrenze nicht verändert oder erniedrigt wird, oder wenn dieselbe im Falle der Erhöhung unter jener oberen Grenze bleibt, so muss durch solche Anstrengungen, wenn sie nur oft genug wiederholt werden, schliesslich der Bruch erfolgen. Denn jede neue Anstrengung bringt eine neue Vergrösserung der Längenänderung hervor. — Wenn aber umgekehrt beide Grenzen der wechselnden Beanspruchungen unterhalb der Elasticitätsgrenze liegen und liegen bleiben, so kann auch durch noch so lange fortgesetzte Wiederholung der Anstrengungen der Bruch nicht erfolgen.

Verlängerung gemessen werden wollte. Dadurch wurde also bei jeder Entlastung eine Pause von 15 bis 20 Minuten nothwendig, in der die von der früheren Streckung des Stabes herrührende elastische Nachwirkung sich geltend machen konnte. Später wurde dieser Mangel meines Apparates durch sorgfältige Revision desselben beseitigt und seitdem waren jene Manipulationen nicht mehr nothwendig, wie sie auch früher (vgl. z. B. die Tabelle A auf S. 295 des oben citirten Bandes des „Civilingenieur“) nicht angewandt zu werden brauchten.

\*) Poggendorffs Annalen, Ergänzungsband II.

\*\*) Die Festigkeits-Eigenschaften von Eisen und Stahl, S. 30 der deutschen Ausgabe.

Bei manchen Stoffen, namentlich bei Schweiss- und Flusseisen, sowie bei den weicheren Stahlorten, tritt bei allmählicher Vergrößerung der Belastung über die Elastizitätsgrenze hinaus noch ein zweiter merkwürdiger Punkt auf, wo nämlich die Längenänderungen, die durch die fortwährend in gleichen Intervallen wachsenden Belastungen hervorgebracht werden, auf einmal sehr rasch wachsen, so rasch, dass die Scalenbilder in den Gesichtsfeldern der Fernrohre schnell durch dieselben hindurch laufen und ein Ablesen nicht mehr möglich ist. Das Diagramm, das bis dahin sich nur wenig und ganz allmählich von der geraden Linie, die es innerhalb der Elastizitätsgrenze bildet, abgelenkt hat, biegt sich nun plötzlich in einem mehr oder weniger scharfen Knie gegen die Abscissenaxe um. Ich nenne den dabei stattfindenden Vorgang „Strecken“ (den analogen beim Drücken: „Quetschen“) und den Punkt, wo er beginnt, kurz die Streck- (Quetsch-) Grenze. Unter einer Belastung, die über dieser Grenze liegt, kommen die Scalen in den Gesichtsfeldern der Fernrohre erst nach langer Zeit, frühestens nach mehreren Stunden, zur Ruhe; d. h. die elastische Nachwirkung, unter welcher die Längenänderung bei gleichbleibender Belastung immer grösser und grösser wird, dauert mindestens mehrere Stunden, ja unter Umständen, bei höheren Belastungen, mehrere Tage. Die nach der Entlastung bleibenden Längenänderungen sind dann immer auch sehr gross und verkleinern sich, wieder unter dem Einflusse der elastischen Nachwirkung, noch lange Zeit, oft während mehrerer Tage.

Die Streckgrenze ist nach obiger Definition nicht präcis zu bestimmen. Es liegt das in der Natur der Sache. Die betreffende Stelle ist eben nur ein U e b e r g a n g aus einem allmählicheren in ein rasches Anwachsen der Längenänderungen. Manchmal findet allerdings dieser Uebergang fast plötzlich statt und dann kennzeichnet sich auch die Streckgrenze genauer, aber manchmal ist der Uebergang recht allmählich und dann muss man sich auch mit einer sehr annähernden Bestimmung der Streckgrenze begnügen. Bei manchen Stoffen, wie z. B. bei Messing und Bronze, auch bei Holz, bei sehr hartem Stahl, fehlt sie ganz. Bei anderen fällt sie nahezu mit der Elastizitätsgrenze zusammen, wie z. B. häufig bei sehr weichem Flusseisen.

Der Elasticitätsmodul ist nur innerhalb der Elasticitätsgrenze eine constante Grösse und wurde bei allen folgenden Messungen nur für diese Periode der Längenänderungen bestimmt. Ueber diese hinaus nimmt er fort und fort, zuerst langsamer, dann rascher ab.

Die Untersuchungen zur Beantwortung der, am Anfange dieses Abschnittes aufgestellten Frage wurden zunächst an Normal-Rundstäben von 25 mm Durchmesser

aus Schweiss- und Flusseisen, sowie aus Bessemerstahl durchgeführt, indem dieselben auf Zug geprüft und ihre Verlängerungen auf 15 cm Länge mittelst des Spiegelapparates gemessen wurden. Dabei wurde in der Regel in Belastungsintervallen von je 1 Tonne oder 1000 kg in der Weise fortgeschritten, dass am Beginn jeder Minute eine neue Tonne zugelegt und die dadurch hervorgebrachte Verlängerung am Ende der Minute abgelesen wurde. Nach je vier solchen Intervallen wurde entlastet und die bleibende Verlängerung bestimmt.

In dieser Weise wurde jeder der Probestäbe zuerst in dem Zustande, in dem ich ihn vom Bearbeiten her in die Hände bekam und den ich kurz den ursprünglichen nennen werde, untersucht und seine Elasticitätsgrenze und damit auch sein Elasticitäts-Modul und die Streckgrenze bestimmt. Dann wurde er mit einer, über der letzteren liegenden Belastung gestreckt und hierauf wieder entlastet. Unmittelbar darauf oder nach verschiedenen langen Zwischenräumen von mehreren Stunden bis zu einigen Tagen und Jahren wurden dieselben Bestimmungen der Elasticitätsgrenze und des Elasticitätsmoduls, sowie der Streckgrenze wieder vorgenommen, alsdann der Stab, natürlich unter einer höheren Belastung als vorher, nochmals gestreckt und entlastet, dann wieder gemessen u. s. w. f.

Die Resultate dieser Versuche, welche ich grösstentheils schon früher, im XXVII. Bd. des „Civilingenieur“ S. 289—348, mitgetheilt habe, sind hier mit anderen, die im 4. Abschnitte zur Besprechung kommen werden, in den Tabellen I. bis V. nochmals in abgekürzter Form so wieder gegeben, dass für jeden Versuch nur die vorausgegangene Behandlung, bezw. der Zustand des Stabes (Columnne 2), dann dessen Dimensionen (Col. 4 und 5), die gefundene Elasticitätsgrenze und der Elasticitäts-Modul (Col. 6 und 7), die Streckgrenze (Col. 8), die Maximalbelastung, welche bei dem Versuch angewendet, mit welcher also eventuell der Stab getreckt wurde (Col. 9), endlich die bleibende Dehnung, welche jene Maximalbelastung hervorbrachte (Col. 10) in die Tabelle eingetragen wurde. Dabei sind die in Atmosphären (*at*) oder Kilogrammen pro Quadratcentimeter angegebenen Belastungen in den Columnnen 2 und 6 bis 9 stets auf die Querschnittsgrössen, wie sie aus den Angaben in der zugehörigen Columnne 4 bestimmt sind, berechnet.

Um ein genaueres Bild von dem Gange der Messungen bei einem einzelnen solchen Versuche zu geben, als es durch obige Beschreibung möglich war, führe ich in nebenstehender Tabelle 6 als Beispiel drei solche Messungsreihen in der Originalform auf. Sie sind beliebig herausgegriffen und mit dem ersten Rundstab aus Schweisseisen, Lab. Nr. 938<sup>c</sup>, der I. Tabelle angestellt worden. Die Bestimmung der Elasticitätsgrenze, welche durch einfach unter-

strichene Belastungszahlen ausgezeichnet ist, ist bei der ersten und dritten Messungsreihe nicht besonders scharf, die vorausgehenden Differenzen sind ziemlich verschieden, was hier hauptsächlich von der mangelhaften, jetzt längst verlassenen Einspannweise des Stabes mittelst konischer Enden herkommen mag. Bei der zweiten Messungsreihe ist eine Elasticitätsgrenze gar nicht mehr zu erkennen; die Differenzen der Verlängerungen nehmen schon von Anfang an merklich zu, oder die Elasticitätsgrenze ist durch das unmittelbar vorausgegangene Strecken des Stabes auf Null herabgeworfen worden. Dagegen ist die Streckgrenze, welche durch doppelt unterstrichene Zahlen hervorgehoben ist, bei allen drei Messungsreihen ziemlich scharf bestimmt. Während z. B. eine Zehenteltonne, welche zu 10,6 t Belastung hinzugelegt wurde, in 3 Minuten nur eine Vergrößerung der Verlängerung um  $0,95/1000$  Centimeter hervorbrachte, laufen nach Auflegen einer neuen Zehenteltonne die Scalen so rasch durch's Gesichtsfeld, dass nach 3 Minuten noch nicht abgelesen werden kann und nach 15 Minuten die Verlängerung um  $97,89/1000$  cm grösser geworden ist. — Die Messungen nach Ueberschreiten der Streckgrenze, wie sie in Tab. 6 wiedergegeben sind, wurden übrigens nur in seltenen Fällen gemacht; in der Regel wurde diejenige Belastung, welche unmittelbar vor dem raschen Durchlaufen der Scalen durch's Gesichtsfeld getragen worden war, als Streckgrenze genommen. Die Belastungen, mit welchen gestreckt wurde, sind in Tab. 6 dreimal unterstrichen.

Bei näherer Vergleichung der Resultate in den Tabellen I—V, soweit sie hieher gehören (nämlich von Tab. I die laufenden Nummern 1—15, 17, 19—23, 25, 27—31, 36, 38—42, von Tab. II die Nummern: 1—5, 7 und 8, von Tab. III die sämtlichen Nummern, von Tab. IV die Nummern 1—5, 8—12, 16—20, 25—29, 41—45, 58—63 und von Tab. V die Nummern 1—17) ergeben sich folgende Sätze:

1) Die Streckgrenze wird stets bis zu der Belastung hinaufgehoben, mit welcher gestreckt wurde und zwar schon unmittelbar nach dem Strecken. In der Zeit der Ruhe aber, die nach der auf das Strecken vorgenommenen Entlastung verstreicht, hebt sich die Streckgrenze über jene Maximalbelastung, mit welcher gestreckt worden ist, hinaus und zwar ist diese Hebung schon nach einem Tage sehr gut bemerkbar, dauert aber Wochen und Monate, vielleicht Jahre lang fort.

2) Die Elasticitätsgrenze wird durch das Strecken herabgeworfen, oft bis auf Null, sodass die Probestücke, wenn sie unmittelbar nach dem Strecken und Entlasten wieder gemessen

werden, gar keine oder eine bedeutend niedrigere Elasticitätsgrenze haben. In der Zeit der Ruhe aber, die nach der auf das Strecken vorgenommenen Entlastung verstreicht, hebt sich auch die Elasticitätsgrenze wieder, erreicht nach mehreren Tagen die Belastung, mit welcher gestreckt wurde und wird nach genügend langer Zeit, sicher nach mehreren Jahren, selbst über diese Belastung hinaus gehoben.

Diese Erhebung der Streckgrenze sowohl als der Elasticitätsgrenze scheint durch Erschüttern der Probestäbe, durch Hammerschläge z. B., die auf ihre Stirnflächen ausgeübt werden, während man sie in ungefähr senkrechter Stellung in der Hand hält, verzögert, doch nicht aufgehoben zu werden und zwar beim Schweisseisen mehr als beim Flusseisen.

Das Geradrichten eines Stabes durch Drücken und Biegen im Schraubstock scheint eine gehobene Elasticitätsgrenze sehr wirksam zu erniedrigen oder ihre Erhebung nach dem Strecken sehr wirksam zu verhindern (vgl. den nächsten Abschnitt.)

Oefter wiederholte Beanspruchung eines gestreckten Stabes zwischen den Belastungen 0 und einer, nicht über der ursprünglichen Elasticitätsgrenze gelegenen hindert die Hebung der Elasticitäts- und Streckgrenze nicht (Tab. I, Nr. 6; vgl. auch im vorigen Abschnitt die Versuche mit dem Stabe Lab. Nr. 939\*).

Oftmal wiederholte Beanspruchung eines noch nicht gestreckten Stabes zwischen den Belastungen 0 und eine unter oder knapp an der Elasticitätsgrenze gelegenen ändern diese Grenze und den Elasticitätsmodul nicht (Tab. I Nr. 5; vgl. dagegen die Wirkung von sehr oft, millionenmal, wiederholten Anstrengungen im 5. Abschnitt).

Nach sehr starken Streckungen mit Belastungen, die nahe an der Bruchgrenze liegen, scheint die Hebung der Elasticitätsgrenze nur sehr langsam vor sich zu gehen, (s. Tab. IV Nr. 38 und 39, Tab. V Nr. 16) aber aufgehoben wird sie dadurch nicht (Tab. V Nr. 17).

3) Mit der Elasticitätsgrenze wird in der Regel auch der Elasticitäts-Modul durch vorausgegangenes Strecken erniedrigt; er erhebt sich, wie jene, in der Zeit der Ruhe nach dem Strecken und Entlasten wieder, wahrscheinlich aber langsamer. Nach mehreren Jahren findet er sich stets beträchtlich über seine ursprüngliche Grösse hinaus gehoben. (Einige Ausnahmen s. Tab. IV Nr. 3, 17, 18 und 19).



Die in Satz 2) für die hier vorliegenden Materialien: Schweisseisen, Flusseisen und Bessemerstahl ausgesprochene Erniedrigung der Elasticitätsgrenze unmittelbar nach dem Strecken konnte bei den Versuchen mit Bronze- und Zinkflachstäben, deren Resultate im 1. Abschnitt in den Tabellen 1 und 3 mitgeteilt worden sind, nicht beobachtet werden, obwohl dort meistens unmittelbar oder nur wenige Stunden nach der Entlastung wieder gemessen wurde. Allerdings waren die dort mit der angewandten Maximalbelastung hervorgebrachten Verlängerungen nur sehr gering, keine Streckungen. Dass aber bei solchen Materialien auch bei bedeutenden Streckungen, ähnlich wie sie bei den Eisen- und Stahlstäben der Tabellen I—V angewendet worden sind, keine Senkung der Elasticitätsgrenze eintritt, habe ich in der schon oben citirten Abhandlung\*) für drei Flachstäbe aus gewalztem Kupfer und drei Rundstäbe aus Rothguss gezeigt.\*\*)

Immerhin aber forderten die angestellten Vergleichen auf, den Einfluss näher zu untersuchen, den die Grösse der Dehnung oder Streckung auf die Veränderung der Elasticitätsgrenze bei Eisen und Stahl ausübt, ein Einfluss, der auch aus den Tabellen I—V schon zu erkennen ist, obwohl bei den dort niedergelegten Versuchen die Probestücke fast immer wirklich „gestreckt“, d. h. über die Streckgrenze belastet wurden und dadurch in der Regel bedeutende bleibende Verlängerungen erfuhren.

Die in jener Absicht unternommenen Versuche wurden an zwei Rundstäben aus den Köpfen von Lokalbahn-Stahlschienen angestellt, in der Weise, dass man zuerst nur wenig über die ursprüngliche Elasticitätsgrenze hinaus ging, dann mit der Maximalbelastung Schritt vor Schritt höher ging, bis man nahe an die Streckgrenze kam und

\*) „Civilingenieur“ Bd. XVII. S. 289—348.

\*\*) Die dort gefundenen Resultate mögen hier kurz wiederholt werden (vgl. S. 305, 307 und 308 der citirten Abhandlung).

Beim Kupfer liegt, im Gegensatz zu Eisen und Stahl, die Elasticitätsgrenze schon unmittelbar nach dem ersten Strecken und Entlasten höher als ursprünglich und rückt durch wiederholtes Strecken noch höher hinauf. Einige Zeit der Ruhe nach dem Strecken und Entlasten hebt sie noch höher, so dass nach dreimaligem Strecken und jedesmaliger Ruhe von 2 Tagen nach demselben die Elasticitätsgrenze bis über die vorige Streckgrenze hinaus erhöht wird.

Ebenso wird beim Rothguss die Elasticitätsgrenze schon unmittelbar nach dem ersten Strecken höher gefunden, als im ursprünglichen Zustande, aber nach wiederholtem Strecken rückt sie nicht mehr höher hinauf, auch dann nicht, wenn nach dem Strecken und Entlasten eine längere Zeit der Ruhe, ein oder zwei Tage, folgen.

Beim Kupfer erhebt sich auch nach zweitägigem Warten die Streckgrenze nur wenig, fast gar nicht über die Streckbelastung und bei Rothguss bleibt sie auch nach 1—2 Tagen noch etwas hinter der Streckbelastung zurück, die Zeit hat hier gar keinen Einfluss mehr.

endlich diese überschritt und streckte. Jedesmal wurde, nachdem die Maximalbelastung gewirkt hatte, entlastet, die bleibende Dehnung gemessen und dann sofort die neue Lage der Elasticitätsgrenze gesucht.

Die so erhaltenen Resultate sind in der Tabelle VIII mitgeteilt, welche dieselbe Einrichtung hat, wie die I—VII. Es folgt aus ihnen:

4) Durch Dehnen mit Belastungen, die über der Elasticitäts- aber noch unter der Streckgrenze liegen, wird die Elasticitätsgrenze erhöht und zwar sofort nach dem Entlasten und um so mehr, je höher die Belastung war. Wenn letztere in die Nähe der Streckgrenze kommt, erreicht die Elasticitätsgrenze ein Maximum und wird bei Ueberschreiten der Streckgrenze herabgeworfen, entsprechend dem obigen zweiten Satze (S. 19).

Es scheint demnach ein Zusammenhang zwischen der merkwürdigen Erscheinung des Herabwerfens der Elasticitätsgrenze durch „Strecken“ und der plötzlichen Volumverringerung zu bestehen, welche bei Schweisseisen und Stahl während des Streckens eintritt, und welche ich in meiner Arbeit: „Ueber die Quer-Contraction und -Dilatation bei der Längen-Ausdehnung und -Zusammendrückung prismatischer Körper“\*) mit den gleichzeitig auftretenden Wärmeerscheinungen nachgewiesen habe.

Es war vorauszusehen, dass ähnliche Erscheinungen, wie sie oben für Dehnen und Strecken nachgewiesen worden sind, auch beim Drücken und Quetschen auftreten würden. Versuche, die ich bei einer anderen Gelegenheit mit je einem Probestück aus Schweisseisen und Bessemerstahl anstellte, haben das bestätigt. Die Resultate dieser Versuche sind in Tabelle XII Spalte 1—5 und Tabelle XVI Spalte 1—4 enthalten; auch die Spalten 3—5 der Tabelle IX können hieher genommen werden. Diese Tabellen geben die vollständigen Messungsreihen wieder, in ähnlicher Weise wie die obige Tabelle 6 (S. 21 u. 22). Die einmal unterstrichenen Zahlen für die Spannungen bezeichnen die Elasticitäts-, die doppelt unterstrichenen, die Quetschgrenze; die dreimal unterstrichenen die Spannung, mit welcher gequetscht wurde.

#### 4. Abschnitt.

Nachdem die im vorigen Abschnitt mitgetheilten Resultate constatirt waren, lag die Frage nahe, ob und durch welche Mittel die durch Strecken (oder Quetschen) erhöhte Elasticitätsgrenze sowie der Elasticitätsmodul wieder erniedrigt werden könnten?

\*) „Civilingenieur“ Bd. XXV. S. 81—124.

Zur Erörterung dieser Frage wurden zwei Behandlungsweisen der Probestücke angewendet, die von vornherein zum Ziele zu führen versprochen, nämlich:

- 1) Heftiges Erschüttern durch Ausschmieden mit schweren Hämmern in kaltem Zustande und nachheriges Bearbeiten (Abdrehen etc.).
- 2) Erwärmen auf verschiedene Temperaturen und darauf vorgenommenes langsames oder rasches Abkühlen.

Zu den Versuchen wurde ein Theil der Probestücke, Rundstäbe, verwendet, welche zu den im vorigen Abschnitt mitgetheilten Streckversuchen gedient hatten, nachdem sie längere Zeit, manche 2—3 Jahre, liegen geblieben waren; ausserdem noch Flachstäbe aus Flacheisen, wie es im Handel vorkommt, im ursprünglichen Zustande. Die Resultate der Versuche sind in den bisher noch nicht besprochenen Nummern der Tabellen I, II, IV, V und in den Tabellen VI und VII enthalten.

Die zwei Schweisseisenstäbe Nr. 938<sup>a</sup> und 938<sup>b</sup>, der Flusseisenstab Nr. 1850<sup>a</sup> und der Bessemerstahlstab Nr. 939<sup>b</sup> wurden nach 1 bis 3 Jahren ruhigen Liegens der ganzen Länge nach im kalten Zustande mit dem gewöhnlichen starken Handhammer, dann mit dem Schmiedehammer auf dem Ambos durchgehämmert und hierauf abgedreht. Die darnach mit ihnen angestellten Messungen ergaben die unter den Nummern 16 und 24 der Tabelle I, unter Nummer 64 der Tabelle IV und Nummer 18 der Tabelle V mitgetheilten Resultate, aus denen der Satz folgt:

1) Heftige Erschütterungen, wie sie beim Schmieden im kalten Zustande und nachfolgendem Bearbeiten vorkommen, erniedrigen die vorher durch Strecken und eine darauf verstrichene längere Ruhepause erhöhte Elasticitätsgrenze wieder. Die Streckgrenze wird durch eine solche Behandlung auch erniedrigt, aber nicht viel; sie bleibt noch weit über der Höhe, die sie im ursprünglichen Zustande des Probestückes hatte.

Wenn beim Ausschmieden keine Streckung des Stabes hervorgebracht wird, so sinkt die Elasticitätsgrenze bis zur ursprünglichen Höhe herab (s. Tab. I, 16 und V, 18), ausserdem bleibt sie darüber (Tab. I, 24 und IV, 64).

Bei den Versuchen über den Einfluss der Erwärmung und Abkühlung auf die Elasticitäts- und Streckgrenze wurden die Rundstäbe bis auf 50° im Wasserbade, bis 250° im Sandbade und von 300 bis 550° unter direkter Wirkung der Gasflamme in dem in chemischen Laboratorien gebräuchlichen Ofen für Elementar-Analysen erwärmt, das Glühen wurde im Kohlenfeuer vorgenommen. Die Temperaturen wurden unter 300° mit dem Quecksilberthermometer gemessen, die von 300 bis 550° mittelst Legirungen

aus Zinn und Silber, von denen Stückchen auf den Stab gelegt und zum Schmelzen gebracht wurden.

Die Abkühlung des Stabs wurde, wenn sie langsam erfolgen sollte, durch Liegenlassen des erhitzten Stabes an der Luft oder im Ofen vorgenommen, behufs rascher Abkühlung wurde der Stab in senkrechter Richtung in kaltes Wasser getaucht und eine Verkrümmung sorgfältig vermieden.

Die Versuche in Tab. IV unter Nr. 46 bis 51, dann 21, 22 und 30—33 zeigen zunächst,

2) dass die Wirkung der Erwärmung und darauf folgenden Abkühlung auf die Lage der Elasticitäts- und Streckgrenze beim Flusseisen erst von 350° an, wenn die Abkühlung rasch und vom 450° an, wenn die Abkühlung langsam erfolgt, bemerklich wird. Für Temperaturen, welche unter jenen liegen, bringen Erwärmungen und Abkühlungen, auch wenn sie öfter (10mal) nach einander erfolgen, keine Wirkung auf die Lage jener beiden Grenzen hervor (s. Tab. IV Nr. 22 und 49). — Bei Schweisseisen beginnt diese Wirkung in beiden Fällen, sowohl bei rascher als auch bei langsamer Abkühlung jedenfalls von 400° an (s. Tab. I, 32, 33 und 43).

Die übrigen in den Tabellen I—V enthaltenen, hierher gehörigen Versuche zeigen,

3) dass die Wirkung der Erwärmung über jene Temperaturen und der darauf folgenden langsamen oder raschen Abkühlung immer darin besteht, dass die Elasticitätsgrenze sowohl als auch die Streckgrenze erniedrigt wird, und zwar um so mehr, je höher erwärmt wurde, dass aber diese Einwirkung auf erstere Grenze bedeutend energischer ist, als auf letztere.

Einige scheinbare Ausnahmen hiervon, nämlich die in den Versuchen Nr. 44 in Tab. I, dann Nr. 9 in Tab. II und Nr. 14, 34 und 66 in Tab. IV bei langsamer Abkühlung lassen sich leicht daraus erklären, dass die durch das vorausgegangene Belasten über die Elasticitätsgrenze veranlasste Hebung der letzteren noch fort dauerte, über die Erwärmung und langsame Abkühlung hinaus. In der That zeigen die Versuche Nr. 17 und 18 in Tab. I und Nr. 38—40 in Tab. IV, dass eine Erwärmung (bis 500° C.) und darauf folgende langsame Abkühlung die mit der Zeit erfolgende Hebung der Elasticitätsgrenze eines vorher gestreckten Stabes (Satz 2 des vorigen Abschnittes) nicht verhindert, vielleicht sogar unterstützt. — Eine wirkliche Ausnahme, die ich bis jetzt nicht zu erklären vermag, bildet nur der Versuch Nr. 53 in Tab. IV, wo eine zweimalige Erwärmung auf 400° und darauffolgende rasche Abkühlung die Elasticitäts- und Streckgrenze hob.

während sie die Tags zuvor vorgenommene gleiche Behandlung gesenkt hatte.

Weiter folgt aus den hieher gehörigen Versuchen in den Tabellen I—V der folgende merkwürdige Satz, an dessen Richtigkeit ich lange nicht glauben wollte, der sich aber ausnahmslos als gültig erwiesen hat:

4. Rasches Abkühlen nach dem Erwärmen erniedrigt die Elasticitäts- und die Streckgrenze, besonders die erstere, weit energischer als langsames Abkühlen; rasches Abkühlen wirft die Elasticitätsgrenze meist schon bei einer Erwärmung auf 500°, sicher aber beim Kirschrothglühen auf Null oder nahezu auf Null herab, und zwar sowohl bei Schweiss- und Flusseisen, als auch beim Bessemerstahl\*) (vgl. die Versuche unter Nr. 18, 35, 37, 45 in Tab. I, Nr. 6 in Tab. II, Nr. 40 in Tab. IV und Nr. 19 in Tab. V und die dazu gehörigen Ergänzungen in Tab. VII\*), während langsame Abkühlung eine so tiefe Senkung der Elasticitätsgrenze selbst nach Kirschrothhitze nicht hervorbringen kann.

Bei langsamem Abkühlen konnte die Elasticitäts- und Streckgrenze nur bei dem Flusseisenstab 1850\* (s. Nr. 67 in Tab. IV) bis unter die ursprüngliche Höhe herabgedrückt werden und auch da nur bei vorausgegangener Kirschrothhitze; nicht aber bei einer Erwärmung auf 550° (Nr. 36 in Tab. IV). Bei Schweisseisen brachte unter gleichen Umständen auch vorausgegangene Glühhitze keine solche Wirkung hervor (Nr. 10 in Tab. II).

Die Zeit hatte bei den vorstehend beschriebenen Erscheinungen keinen Einfluss, d. h. die durch Erwärmen und Abkühlen gesunkenen Elasticitätsgrenze und Streckgrenze hoben sich in der Zeit der Ruhe nach dem Abkühlen nicht wieder, wenigstens in den nächsten 2—3 Tagen nicht (vgl. Nr. 26 und 37 in Tab. I, Nr. 24 und 57 in Tab. IV; die scheinbare Ausnahme in Nr. 7 der Tab. IV rührt von dem, durch vorausgegangenes Belasten verursachten Steigen der Elasticitätsgrenze her).

Es war interessant, die Wirkung der Erwärmung und darauf folgenden Abkühlung auf die Elasticitäts- und Streckgrenze auch bei solchen Probestücken zu untersuchen, die vorher nicht durch Strecken und darauf folgende längere Ruhe verändert worden waren. Ich liess desshalb aus zwei Flacheisen von  $\frac{80}{10}$  und  $\frac{40}{10}$  mm Querschnitt (Tab. Nr. 2335 und 2336) in dem Zustande, wie sie im Handel vorkommen, je zwei Flachstäbe, aus ersterem nebens. aus letzterem hintereinander, kalt heraus-

\*) Hieraus erklärt sich die im vorigen Hefte dieser „Mittheilungen“ nachgewiesene rasche Ausbiegung schmiedeiserner Säulen, wenn sie schon nach einer Erwärmung von unter 600° einseitig angespritzt und dadurch rasch abgekühlt werden.

schneiden und denselben die üblichen Dimensionen und Formen geben. Die bei einer anderen Gelegenheit beobachtete hohe Lage der Elasticitäts- und Streckgrenze (vgl. Abschnitt 6) liess vermuthen, dass bei diesem Eisen durch das Walzen jene Grenzen künstlich erhöht worden seien.

Je der eine dieser beiden Paare von Stäben wurde im ursprünglichen Zustande gemessen, d. h. dessen Elasticitäts- und Streckgrenze etc. gesucht, dann in Kirschrothhitze geglüht und rasch abgekühlt, während der zweite mit jenem sogleich in Kirschrothhitze geglüht und langsam im Feuer abgekühlt, dann gemessen, nach einigen Tagen nochmal geglüht, rasch abgekühlt und wieder gemessen wurde.

Es ergaben sich die in den Tabellen VI und VII niedergelegten, durchweg mit den obigen übereinstimmenden Resultate:

Durch rasches Abkühlen nach dem Glühen wurde die Elasticitätsgrenze bei den Stäben aus dem Flacheisen Nr. 2335 fast, bei denen aus dem Flacheisen Nr. 2336 ganz auf Null herabgeworfen (s. hiezu auch die Ergänzungstabelle VII\*), die Streckgrenze jedesmal erniedrigt, doch nicht bedeutend. Durch langsames Abkühlen dagegen werden Elasticitäts- und Streckgrenze nur wenig erniedrigt. (Die Erhöhung der ersteren im Versuch unter Nr. 3 in Tab. VII lässt sich recht wohl daraus erklären, dass die Elasticitätsgrenze im Stücke 2336\* schon ursprünglich höher war als in dem 2336\*; solche Verschiedenheiten der Elasticitätsgrenze und noch viel grössere kommen in Flacheisenstangen, Kesselblechtafeln etc. häufig vor und erklären sich ungezwungen aus der in diesem Abschnitt nachgewiesenen hohen Empfindlichkeit der Elasticitätsgrenze für die Art und Weise wie die Abkühlung vor sich geht).

Alle die Probestäbe, mit denen die in diesem und den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Versuche angestellt worden sind, wurden zuletzt abgerissen und ihre Zugfestigkeit, ihre Contraction und ihre Dehnung bestimmt, um dadurch zu erfahren, welchen Einfluss die vorausgegangene Behandlung des Stabes auf jene Faktoren ausübt. Für diejenigen Probestücke, bei denen eine Vergleichung mit dem ursprünglichen Zustande möglich war, sind der Uebersicht wegen diese Resultate in der auf S. 29 bis 32 stehenden Tabelle 7 aus den Tabellen I—VII zusammengestellt. Dabei sind in der dritten Columne die mit dem betr. Probestücke vorgenommenen Manipulationen nur kurz aus jenen Tabellen wiederholt und wird behufs ausführlicherer Information darüber auf diese verwiesen. Zugfestigkeit, Contraction und Dehnung beziehen sich auf die ursprünglichen Dimensionen, nur bei den kalt

ausgeschmiedeten und dann wieder abgedrehten Rundstäben sind die nach diesen Operationen abgemessenen, bzw. aufgetragenen Längen zu Grunde gelegt. Auch bei den kalt gehämmerten Flachstäben beziehen sich die Zugfestigkeit und Contraction auf den Querschnitt nach

dem Hämmern und unmittelbar vor dem Zerreißversuch, die Dehnung aber auf 15 cm, die schon ursprünglich aufgetragen worden waren. Doch wurden hier durch jene Operation die Dimensionen nur wenig geändert.

Tabelle 7.

Material	Bezeichnung des Probestückes	Behandlung vor dem Zerreißversuche	Zugfestigkeit at	Contraction Proc.	Dehnung		Bruchaussehen
					auf mm	Betrag Proc.	
Schweisseisen-Rundstäbe s. Tab. I.	938 <sup>c</sup>	Dreimal gestreckt, darauf abgerissen . . . . .	3870	43	250	24,8	Feinschnig mit einigen krystallinischen Punkten.
	938 <sup>d</sup>	Zweimal gestreckt, ausserdem über hundertmal theils unter, theils bis zur Elasticitäts- und Streckgrenze und einigemal auch etwas über letztere belastet, dann abgerissen.	3910	43	250	24,8	Wie vorhin.
	938 <sup>a</sup>	Dreimal gestreckt, dann im kalten Zustande ausgeschmiedet und wieder abgedreht, dann wieder gestreckt, dann auf 500° C erwärmt und langsam, endlich kirschroth geglüht und rasch abgekühlt.	4750	27	150	15,8	Fast durchaus grobkrystallinisch mit einigen kleinen schnigen Stellen.
	938 <sup>b</sup>	Dreimal gestreckt, dann kalt ausgeschmiedet und wieder abgedreht und noch einmal gestreckt, endlich bis 500° C erwärmt und rasch abgekühlt.	4900	27	150	12,7	Krystallinisch mit kleiner schniger Stelle auf einer Seite; auf dieser Seite äusserlich aufgerissen.
	938 <sup>e</sup>	Dreimal gestreckt und dann zweimal auf 400° C erwärmt und einmal langsam, einmal rasch abgekühlt, dann zweimal auf 500° C erwärmt und rasch abgekühlt.	4400	36	250	20,3	Zur Hälfte schnig, zur anderen Hälfte, jene halbmondformig umgebend, krystallinisch; äusserlich ein Langspalt auf der schnigen Seite.
	938 <sup>d</sup>	Dreimal gestreckt, dann auf 400° C erwärmt und rasch, hierauf auf 500° C erwärmt und langsam, endlich wieder auf 500° C erwärmt und rasch abgekühlt.	4090	41	250	23,0	Wie bei e und f.
	2335	Ursprünglicher Zustand . . . . .	4050	24	150	12,6	Feinschnig, feingeschichtet, etwas zerrissen. Äusserlich aufgerissen. Vergl. Tab. XXI Nr. 1.
Schweisseisen, Flacheisen s. Tab. VI u. VII.	2335 <sup>b</sup>	Zehnmahl geglüht und einmal bis 250° C erwärmt und theils rasch, theils langsam abgekühlt, zuletzt langsam, endlich noch mit 60 mässig starken Hammerschlägen mittelst des Schmiedhammers unter dem Vorsetzhammer auf der Breitseite bearbeitet.	4670	25	150	15,8	Feinschnig, feingeschichtet.
	2335 <sup>a</sup>	Ähnlich wie beim vorigen Stab, jedoch zuletzt mit 60 starken Hammerschlägen bearbeitet.	4380	22	—	—	Wie vorhin.
	2336	Ursprünglicher Zustand . . . . .	4020	33	—	—	Feinschnig, feingeschichtet, dicht, vgl. Tab. XXII Nr. 1.
	2336 <sup>b</sup>	Behandlung ähnlich wie bei den Stäben 2335 <sup>a</sup> und <sup>b</sup> , jedoch nicht gehämmert; zuletzt kirschroth geglüht und langsam abgekühlt.	4290	36	150	20,3	Wie vorhin.
	2336 <sup>a</sup>	Behandlung ähnlich wie bei dem Stab 2335 <sup>a</sup> . . . . .	4790	34	150	18,7	Wie vorhin.
Flusseisen-Rundstäbe s. Tab. IV.	1850 <sup>c</sup>	Ursprünglicher Zustand . . . . .	4610	62	250	28,9	Ausserordentl. feinkörnig, fast schnig, mit aufgezogenem Rande.
	1850 <sup>b</sup>	Ursprünglicher Zustand . . . . .	4610	60	250	28,5	Wie vorhin.
	1850 <sup>f</sup>	Dreimal gestreckt, dann einmal auf 500° C erwärmt und rasch abgekühlt, endlich, kurz vor dem Abreissen, kirschroth geglüht und langsam abgekühlt.	4420	66	250	25,3	Schnig, mit hoch aufgezogenem Rand.
	1850 <sup>e</sup>	Dreimal gestreckt, dann dreimal auf 500° C erwärmt und die beiden erstenmale langsam, das letztmal rasch abgekühlt; endlich kurz vor dem Abreissen kirschroth geglüht und langsam abgekühlt.	4700	63	250	23,0	Wie vorhin.
	1850 <sup>d</sup>	Dreimal gestreckt, dann einmal auf 300, einmal auf 350, einmal auf 400, zweimal auf 450, einmal auf 500, einmal auf 550° C erwärmt und stets langsam abgekühlt, dann wieder auf 500° C erwärmt und rasch, hierauf wieder auf 500° C erwärmt und langsam, endlich kirschroth geglüht und rasch abgekühlt.	5120	62	250	21,7	Bruch wie bei g und h.
	1850 <sup>c</sup>	Dreimal gestreckt, dann elfmal auf 250° erwärmt und allemal langsam, endlich auf 500° C erwärmt und rasch abgekühlt.	5200	62	250	23,3	Wie vorhin.

Material	Bezeichnung des Probestückes	Behandlung vor dem Zerreiß-Versuche	Zugfestigkeit at	Contraction Proc.	Dehnung		Bruchaussehen
					auf mm	Betrag Proc.	
Bessemerstahl-Rundstäbe s. Tab. V.	1850 <sup>b</sup>	Dreimal gestreckt, dann elfmal auf 50°, elfmal auf 250°, einmal auf 300°, einmal auf 350°, zweimal auf 400°, einmal auf 450°, zweimal auf 500° erwärmt und jedesmal rasch abgekühlt.	5270	62	250	24,8	Wie vorhin.
	1850 <sup>a</sup>	Dreimal gestreckt, dann kalt geschmiedet und wieder abgedreht, dann auf 500° erwärmt und langsam, hierauf kirschroth geglüht und gleichfalls langsam abgekühlt.	4590	65	250	15,1	Feinsehnig, mit hoch aufgezogenem Rand.
	939 <sup>a</sup>	Einmal gestreckt	5310	5	—	—	Grobkörnig mit sehnigem Kerne.
	939 <sup>a</sup>	Ursprünglicher Zustand: Dauer des Zerreißversuches einige Stunden	5560	5	—	—	Wie vorhin.
	939 <sup>d</sup>	„ „ Dauer des Zerreißversuches ca. 37 Minuten	5500	5	—	—	Wie vorhin.
	939 <sup>c</sup>	„ „ Dauer des Zerreißversuches einige Tage	5200	5	—	—	Wie vorhin.
	939 <sup>e</sup>	„ „ Dauer des Zerreißversuches einige Tage	5300	5	—	—	Wie vorhin.
	939 <sup>b</sup>	Dreimal gestreckt, dann kalt ausgeschmiedet und wieder abgedreht, später kirschroth geglüht und rasch abgekühlt.	5480	1	150	0,5	Wie vorhin.

### 5. Abschnitt.

Die in den vorausgehenden Abschnitten mitgetheilten Versuche wurden sämmtlich mit Belastungen angestellt, die von Null aus nur nach einer Seite hinwirkten, entweder auf Zug oder auf Druck. In den Anwendungen kommt es aber vor, dass ein und dasselbe Stück, ein Maschinen- oder Brückentheil, abwechselnd auf Zug und Druck angegriffen wird, direkt oder bei hin- und hergehender Biegung, wie sie z. B. die Eisenbahnwagenachsen oder die Probestäbe bei einem grossen Theil der Wöhler'schen Dauerversuche erfahren. Um die Wirkung solcher wechselnder Anstrengungen auf die Elasticitätsgrenze zu untersuchen, liess ich Probestücke von der in Fig. 1 auf Blatt II abgebildeten Gestalt herstellen und zwar zunächst 4 aus Schweisseisen, Lab. Nr. 2867<sup>a-d</sup>, und 4 aus Bessemerstahl, Lab. Nr. 2868<sup>a-d</sup>. Dieselben passten mit ihren trapezförmig profilirten Enden in die ebenso gestalteten Mäuler der Zugköpfe der Werder'schen Prüfungsmaschine, konnten aber auch auf ihre genau eben und parallel abgeglichenen Stirnflächen gedrückt werden. Die durch punktirte Linien angedeuteten Löcher wurden nicht weiter verwendet, sie rührten nur davon her, dass ursprünglich beabsichtigt war, die Einspannung auf Zug mittelst dieser Löcher und durch sie gesteckter Bolzen zu bewerkstelligen.

Die Resultate der mit diesen Stücken angestellten Versuche sind in den Tabellen IX—XVI enthalten und zwar mussten hier, der bedeutenden Aenderungen halber, welche die Elasticitätsgrenze erleidet, und behufs kräftigerer Beweisführung für die daraus abgeleiteten, merkwürdigen

Sätze die Messungsreihen selbst in ihrer ganzen Ausdehnung vorgeführt werden. Die Einrichtung der Tabellen ist ähnlich wie die der Tabelle 6 auf S. 21 u. 22. Die fortlaufende Nummerirung der Spalten in jeder Tabelle gibt die Reihenfolge, in welcher die Messreihen an dem in der Ueberschrift genannten Probestück angestellt worden sind. Darunter ist die zwischen dem betreffenden und dem vorausgegangenen Versuch verstrichene Zeit und die Behandlung, die das Probestück gegebenen Falles erfahren hat, angemerkt, dann ob die Prüfung auf Zug oder Druck geschah und endlich Durchmesser und Länge des der Messung unterworfenen Theils des Probestückes, der selbstverständlich die Mitte des cylindrischen Theils dieses letzteren einnahm.

Die vorn (links) an jeder Seite befindliche Columne, welche für alle die nebenstehenden Spalten gemeinschaftlich ist, enthält die angewandte Zug- oder Druckbelastung für den ganzen Querschnitt und die erste Columne jeder Spalte die dadurch hervorgebrachten Zug- oder Druckspannungen in Atmosphären oder *kg pro qcm*. Die einfach unterstrichenen Ziffern in diesen Columnen bedeuten die Elasticitätsgrenze, die doppelt unterstrichenen die Streck- oder Quetschgrenze; die letzte Zahl ist immer die angewendete Maximalbelastung.

Die 2. Columne in jeder Spalte enthält die mittelst des Spiegelapparates gemessenen Verlängerungen oder Verkürzungen in Tausendstel-Centimetern für die Länge, wie sie im Kopf der Spalte angegeben ist (ca. 6 cm), die dritte die Differenzen dieser Längenänderungen und die vierte den Elasticitätsmodul innerhalb der Elasticitätsgrenze.

Wir folgen nun den einzelnen Versuchen in den

Tabellen ungefähr in der Ordnung, in der sie angestellt worden sind.

Probestück aus Schweisseisen, Lab. Nr. 2867<sup>a</sup>, Tabelle IX, Spalte 1—14. Die 2. Spalte in Vergleichung zur 1. zeigt nur, dass durch die vorausgehende Belastung auf Zug bis zur Elasticitätsgrenze der Elasticitätsmodul für Zug vergrößert worden ist. Durch Ueberschreiten der bei 2091 *at* gefundenen Elasticitätsgrenze für Zug um nur 123 *at* wird aber die in der 3. Spalte bestimmte Elasticitätsgrenze für Druck bis 738 *at* erniedrigt. Sie erhebt sich durch wiederholtes Drücken, entsprechend den im vorigen Abschnitt angeführten Resultaten, allmählich wieder (Spalte 4 und 5); nachdem aber die so gehobene Elasticitätsgrenze für Druck um nur weniges überschritten worden war, sinkt die, eine Stunde nachher bestimmte Elasticitätsgrenze für Zug ganz auf Null herab (6. Spalte), und als hierbei wieder nur mit derselben, bisher angewandten Maximalbelastung gestreckt worden war, sank die, kurze Zeit darauf bestimmte Elasticitätsgrenze für Druck bis Null herunter (7. Spalte). Durch wiederholten Druck, 30<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden nachher angewandt, hebt sich diese Elasticitätsgrenze wieder (8. Spalte), aber die für Zug bleibt auf Null (9. Spalte) und kann nur durch wiederholt angewandten Zug (10. und 11. Spalte) allmählich gehoben werden. Durch geringe Ueberschreitung aber fällt sofort die Elasticitätsgrenze für Druck wieder auf Null herab. Nachdem dann durch wiederholten Druck die Elasticitätsgrenze wieder erhöht, aber überschritten worden (13. Spalte), wurde die Elasticitätsgrenze für Zug wieder ganz auf Null heruntergeworfen und zwar bleibend, wenigstens zeigte sie sich noch nach 3 Tagen auf dieser niedrigsten Stufe (14. Spalte).

Ganz ähnliche Resultate ergaben die in Tab. X, Spalte 1—14 enthaltenen Messungen an dem Stücke Nr. 2867<sup>b</sup>, bei dem mit Druck begonnen wurde, und ebenso die Messungen an den Bessemerstahlstücken 2868<sup>a</sup> und 2868<sup>b</sup>, wie die Spalten 1—3 in Tab. XIII und 1—4 in Tabelle XIV zeigen. Es folgt daraus:

1) Durch Belasten auf Zug oder Druck über die Elasticitätsgrenze hinaus wird die Elasticitätsgrenze für Druck oder bezw. Zug bedeutend erniedrigt, um so mehr, je höher jene Belastungen über der betr. Elasticitätsgrenze liegen, und werfen schon verhältnissmäßig geringe Ueberschreitungen der Elasticitätsgrenze für eine Belastungsart die Elasticitätsgrenze für die Belastung im entgegengesetzten Sinne bis auf Null herab. Wenn eine so erniedrigte Elasticitätsgrenze durch Belasten im gleichen Sinn wieder gehoben wurde und dann überschritten wird, so fällt sofort die Elasticitäts-

grenze für die Belastung im entgegengesetzten Sinn wieder auf Null oder fast auf Null herab. — Die Zeit ist bei diesen Vorgängen ohne, oder doch nur von geringem Einfluss, d. h. die durch Zug oder Druck erniedrigte Elasticitätsgrenze für bezw. Druck oder Zug hebt sich, wenigstens im Verlaufe der nächsten 3—4 Tage, nicht wieder, und im Verlaufe der nächsten Wochen, wenn überhaupt, doch nur wenig.

Zum völligen Beweise des letzten Satzes habe ich noch die Versuche in den Spalten 11, 12 und 13 der Tab. XI, 6 und 7 der Tab. XII, 13 der Tab. XV und 5 und 6 der Tab. XVI angestellt, welche zeigen, dass die durch vorausgegangene Belastung im entgegengesetzten Sinne erniedrigte Elasticitätsgrenze auch noch nach 3—4 Tagen und selbst nach mehreren Wochen einen sehr niederen Stand einnimmt oder ganz bei Null liegt.

Die Stücke 2867<sup>a</sup> und 2868<sup>a</sup> wurden dazu verwendet, um zu untersuchen, ob durch allmähliches Wachsen der zwischen Zug und Druck wechselnden Belastungen von unten herauf nicht etwa eine frühere als die ursprüngliche Elasticitätsgrenze erreicht werden kann, durch deren Ueberschreiten die Elasticitätsgrenze für die Belastung im entgegengesetzten Sinne erniedrigt werden würde. Die in den Tabellen XI und XV niedergelegten Resultate zeigen, dass das nicht der Fall ist.

2) Durch allmählich anwachsende, zwischen Zug und Druck wechselnde Spannungen kann die Elasticitätsgrenze für entgegengesetzte Beanspruchung erst dann erniedrigt werden, wenn jene Spannungen die ursprüngliche Elasticitätsgrenze überschreiten.

Die Stücke 2867<sup>a</sup> und 2867<sup>b</sup>, 2868<sup>a</sup> und 2868<sup>b</sup>, bei denen durch die vorausgegangene, oben beschriebene Behandlung die Elasticitätsgrenze für Zug und Druck auf Null oder fast bis Null erniedrigt war, wurden nun weiter dazu verwendet, um zu untersuchen, ob durch allmähliche, von unten auf wachsende und zwischen Zug und Druck wechselnde Belastungen die Elasticitätsgrenze wieder gehoben werden könne. Die in diesem Sinne angestellten Beobachtungen sind in den Spalten 15—23 der Tab. IX, 15—24 der Tab. X, 4—12 der Tab. XIII und 5—12 der Tab. XIV enthalten. Sie zeigen, dass durch die angegebenen Manipulationen die Elasticitätsgrenze des Stückes 2867<sup>a</sup> bis auf ca. 1214 *at*, die des Stückes 2867<sup>b</sup> auf etwa 1193 *at*, die des Stückes 2868<sup>a</sup> auf ca. 1476 *at* und die des Stückes 2868<sup>b</sup> auf höchstens 1486 *at* gehoben werden konnte, dass aber Ueberschreitungen dieser Grenzen in dem einen Sinne ein Herabfallen der Elasticitätsgrenze für Belastungen im entgegengesetzten Sinne hervorbringen würden. Jene

Grenzen liegen aber bedeutend unter den ursprünglichen Elasticitätsgrenzen der Probestücke.

3. Wenn die Elasticitätsgrenze für Zug oder Druck durch vorausgegangene Belastung auf Druck, bezw. Zug, die über der ursprünglichen Elasticitätsgrenze lag, erniedrigt worden ist, so kann sie durch allmählich anwachsende, zwischen Zug und Druck wechselnde Belastungen wieder gehoben werden, aber nur bis zu einer Grenze, die beträchtlich unter der ursprünglichen Elasticitätsgrenze liegt.

Es war mir, später anzustellenden Betrachtungen halber (vgl. den 7. Abschnitt), von Wichtigkeit, die Gültigkeit dieses Satzes noch für zwei andere Probestücke nachzuweisen, die ich in derselben Form, wie sie Fig. 1 auf Blatt II zeigt (das eine nur in etwas geringeren Dimensionen), aus einer Achswelle von Thomasstahl, A II, und Schienenstücken C, D aus dem gleichen Material, Bruchstücke, die bei früheren Biegungsversuchen erhalten worden waren, anfertigen liess. Die damit angestellten Versuche sind in den Tabellen XVII und XVIII enthalten. Man sieht, wie die durch Ueberschreiten der ursprünglich bei 2914, bezw. 2899 *at* gelegenen Elasticitätsgrenze für Zug erniedrigte Elasticitätsgrenze durch abwechselnde Anstrengungen auf Druck und Zug nicht über 1457 bezw. 1561 *at* hinauf gebracht werden kann.

## 6. Abschnitt.

Im Jahre 1881 wurde es mir durch Gewährung besonderer Mittel von Seiten der kgl. bayerischen Staatsregierung, welcher ich auch an dieser Stelle meinen Dank für ihre stets bereitwilligst geleistete Unterstützung meiner Bestrebungen ausspreche, möglich, eine der bekannten Wöhler'schen Maschinen für oftmals wiederholte Anstrengungen (Dauerversuche) für das mechanisch-technische Laboratorium anzuschaffen. Ich wählte, aus Gründen, die sogleich einleuchten werden, die Maschine für wiederholte Beanspruchung auf Zug, welche in der Wöhler'schen Schrift: »Ueber die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl« Berlin 1870. auf Blatt III und in Erbkam's »Zeitschrift für Bauwesen«, Jahrgang 1870, Blatt G im Text, abgebildet ist. Sie wurde, mit einigen unwesentlichen Abänderungen, nach einer grösseren und genaueren Zeichnung, die mir der verstorbene Professor Spangenberg gütigst besorgt hatte, im Laboratorium selbst hergestellt natürlich unter Benützung hiesiger Maschinenfabriken und Giessereien und kam im Oktober 1881 in Gang. Es können 4 Probestäbchen, jedes von ungefähr 1 *cm* Querschnitt zugleich eingespannt werden: die Maschine wird neben den Arbeitsmaschinen des Laboratoriums

durch einen Otto'schen Gasmotor von 2 Pferdekräften betrieben. Sie ist immer nur am Tage im Gange, über Nacht steht sie still, auch über Mittag in der Regel 2 Stunden.

Der Plan, den ich bei den Versuchen zu Grunde legte, ist der folgende: Aus einem grösseren Stück Material sollten auf kaltem Wege mindestens 4, unter Umständen auch mehr Probestäbchen für die Wöhler'sche Maschine nebeneinander herausgearbeitet werden. Das eine derselben sollte in der Werder'schen Prüfungsmaschine auf seine Elasticitätsgrenze und seine Zugfestigkeit untersucht, die andern aber in die Wöhler'sche Maschine so eingespannt werden, dass die obere Grenze der wiederholten Beanspruchung bei dem ersten in der Nähe der Elasticitätsgrenze lag, bei dem zweiten etwas höher u. s. w. Die untere Grenze war bei all meinen bisherigen Versuchen immer Null. Von Zeit zu Zeit sollten dann die Stäbchen, nachdem sie einige Hunderttausende oder Millionen Anstrengungen erlitten hatten, aus der Wöhler'schen Maschine genommen und in der Werder'schen ihre Elasticitätsgrenze bestimmt werden. Zu diesem Behufe musste die Einspannweise in beiden Prüfungsmaschinen die gleiche sein, was ja auch leicht zu erreichen war.

Ich habe bis jetzt 49 Probestäbchen auf die eben beschriebene Weise geprüft, nämlich:

1) Sechs Vierkantstäbchen (Nr. 1—5 und 49), aus einer Schweisseisen-Blechtefel von 11 *mm* Dicke (Lab. Nr. 2330) so herausgeschnitten und von solcher Form, wie es Fig. 2 auf Blatt II zeigt.

2) Siebenzehn ebensolche Vierkantstäbchen (Nr. 6—19 und 46—48), aus einer Stahl- oder besser Flusseisen-Blechtefel von 11 *mm* Dicke (Lab. Nr. 2333) so herausgeschnitten, wie Fig. 3 auf Blatt II darstellt.

3) Sechs Vierkantstäbchen (Nr. 20—25), aus einem  $\frac{80}{10}$  *mm* Flacheisen (Lab. Nr. 2335) neben und hintereinander so herausgeschnitten, wie Fig. 4 auf Blatt II zeigt.

4) Vier Vierkantstäbchen (Nr. 26—29), aus einem  $\frac{40}{10}$  *mm* Flacheisen (Lab. Nr. 2336) hintereinander so herausgeschnitten, wie Fig. 5 auf Blatt II angibt.

5) Vier Rundstäbchen (Nr. 30—33), aus dem einen Bruchstück einer 12,8 *cm* dicken, auf Biegungsfestigkeit geprüften Achswelle aus Thomasstahl (bez. mit A II) so herausgeschnitten, wie Fig. 6 auf Blatt II zeigt.

6) Vier Rundstäbchen (Nr. 34—37), aus den Köpfen der Bruchstücke einer auf Biegungsfestigkeit geprüften Eisenbahnschiene aus Thomasstahl (bez. mit C, D) so herausgeschnitten, wie Fig. 7 auf Blatt II darstellt.

7) Acht Vierkantstäbchen (Nr. 38—45), aus einer 12 *mm* dicken Kesselblechtefel von Thomasflusseisen so herausgeschnitten, wie Fig. 8 auf Blatt II zeigt.

Die Resultate der Versuche sind in den sieben Ta-

bellens XIX—XXV niedergelegt, deren Einrichtung keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Ich ziehe aus diesen Resultaten folgende Schlüsse:

1) Wenn bei wiederholten Anstrengungen auf Zug, deren untere Grenze Null ist, die obere Grenze in der Nähe der ursprünglichen Elasticitätsgrenze liegt, so wird auch durch 5—16 Millionen malige Wiederholung dieser Anstrengungen der Bruch nicht erreicht (vgl. die Stäbchen Nr. 1 in Tab. XIX, Nr. 47 in Tab. XX, Nr. 21 in Tab. XXI, Nr. 27 in Tab. XXII, Nr. 30 in Tab. XXIII, Nr. 34 in Tab. XXIV und Nr. 44 in Tab. XXV).

Bei Anwendungen dieses Satzes auf die Praxis sind aber zwei wichtige Punkte nicht zu übersehen: Erstens muss das Material vollständig fehlerfrei sein. Die geringsten Fehler, die ursprünglich nicht oder kaum bemerklich sein konnten, veranlassen, namentlich bei den homogenen Materialien (Flusseisen und Flussstahl), den Bruch schon nach einer verhältnissmässig geringen Zahl von Wiederholungen auch bei Anstrengungen, die unter oder nur wenig über der Elasticitätsgrenze liegen.

So zerrissen die Stäbchen Nr. 9, 46 und 48 aus Flusseisenblech (Tab. XX) schon nach 6, bzw. 3 und 7 Millionen Anstrengungen zwischen 0 und 2440 *at*, während ihre ursprüngliche Elasticitätsgrenze bei 2400 *at* lag, zeigten aber auch auf ihren Bruchflächen sämmtlich wenn auch nur sehr geringe Fehler, namentlich eingewalzte Schiefer u. dgl. die äusserlich oft kaum bemerkbar waren. Erst durch vollständiges Polieren der äusseren Oberfläche (Stäbchen Nr. 47 in Tab. XX) konnte eine längere Dauer dieser Stäbchen aus dem Flusseisenblech erzielt werden. Aehnlich verhält sich das Kesselblech von Thomas-Flusseisen (Tab. XXV). Hier zerrissen die Stäbchen Nr. 38, 42 und 43 schon nach bzw. 4,8, 6,3 und 0,4 Millionen Anstrengungen zwischen 0 und bzw. 2800, 2500 und 2850 *at*, während die ursprüngliche Elasticitätsgrenze bei 2580 bis 2800 *at* liegt. Auch hier waren es Materialfehler, hauptsächlich auf der Oberfläche liegend, die den Bruch herbeiführten. Die Stäbchen Nr. 44 und 45, deren Oberflächen allerseits blank polirt wurden, haben bis heute 5,8 Millionen bzw. 4,2 Millionen Anstrengungen zwischen 0 und 2500, bzw. 2850 *at* ausgehalten, ohne zu zerreißen.

Ich glaube, hier nochmal besonders hervorheben zu sollen, dass besonders das homogene Material, Flusseisen und Flussstahl, sehr empfindlich gegen kleine Materialfehler zu sein scheint, und unter diesem wieder besonders das Blech mit seiner grossen, kleinen Beschädigungen so leicht ausgesetzten Oberfläche. Die kleinsten eingewalzten Schiefer und sonstigen Fehler an dieser Oberfläche führen einen baldigen Bruch herbei. Bei den Rundstäbchen aus der Achswelle A II (Tab. XXIII) und der Schiene C,D (Tab.

XXIV), welche aus dem Innern dieser Stücke herausgeschnitten und deren Oberflächen ohnehin polirt wurden, kann sich natürlich der Einfluss solcher Oberflächenfehler nicht bemerkbar machen. — Schweisseisen dagegen, sowohl in Stab- als in Blechform (Tabellen XIX, XXI und XXII), scheint für kleine Oberflächenfehler fast unempfindlich zu sein. Für dieses Material darf also in dieser Hinsicht der oben ausgesprochene Satz unbedenklich angewendet werden.

Der zweite Punkt, der bei der Anwendung jenes Satzes nicht übersehen werden darf, ist der, dass die sog. ursprüngliche Elasticitätsgrenze eines Materials, wie in den vorigen Abschnitten gezeigt worden ist, sehr veränderlich, sehr abhängig von der vorausgegangenen Behandlung des betr. Probestücks ist. Sie kann sehr tief liegen, kann aber auch bis nahe an die Bruchgrenze gehoben werden. So liegt sie gewiss bei all den Materialien der Tabellen XX bis XXV ungewöhnlich hoch. Man muss sich also erst Rechenschaft darüber zu geben wissen, ob die für ein bestimmtes Material gefundene Elasticitätsgrenze nicht künstlich, durch Strecken, Walzen, Schmieden etc. gar zu hoch gehoben worden ist, bevor man sicher sein kann, dass es Anstrengungen, deren obere Grenze in der Nähe der Elasticitätsgrenze liegt, auf unbeschränkte Dauer auszuhalten vermag (vgl. weiter unten).

2) Durch oftmal wiederholte Anstrengungen zwischen Null und einer oberen Spannung, welche in der Nähe oder auch mehr oder weniger über der ursprünglichen Elasticitätsgrenze gelegen ist, wird diese gehoben und zwar bis über, manchmal weit über die obere Grenze der Anstrengungen hinaus und um so höher, je grösser die Anzahl der Anstrengungen ist, ohne jedoch eine gewisse Höhe überschreiten zu können.

Den Beweis dieses wichtigen Satzes findet man unter den laufenden Nummern 1—16 der Tabelle XIX, 1—7, 14—15 und 16—18 der Tabelle XX, 2—6 der Tab. XXI, 2—5, 6—9 und 10—13 der Tab. XXII, 1—4 und 7—9 der Tabelle XXIII, 1—4 der Tabelle XXIV und 11—12 der Tabelle XXV. — Ausnahmen geben nur die Versuche unter Nr. 13 der Tabelle XX, Nr. 6 der Tab. XXII und Nr. 10 der Tabelle XXV. Ich kann mir dieselben nur durch die bedeutende Höhe der bereits gehobenen Elasticitätsgrenzen erklären; ausserdem hebt sich in den beiden ersten Fällen die Elasticitätsgrenze durch fortgesetzte Anstrengungen wieder und sehr wahrscheinlich auch in dem letzten. — Andere in den Tabellen vorkommenden Fälle von Senkungen der Elasticitätsgrenze durch wiederholte Anstrengungen fallen in das Gebiet des folgenden Satzes.

Der obige Satz steht offenbar in gewisser Analogie zu dem 2. Satze des 3. Abschnittes. Wie dort eine vorher durch Strecken erniedrigte Elasticitätsgrenze sich im Laufe der Zeit von selber wieder hebt und zwar unter Umständen über die Belastung hinaus, mit welcher gestreckt wurde, und jedenfalls über ihre ursprüngliche Lage hinaus, so ist jetzt eine Hebung der Elasticitätsgrenze durch oft wiederholte Anstrengungen und zwar unter Umständen über die obere Grenze dieser Anstrengungen hinaus constatirt. Mir erscheint aber der obige Satz besonders deshalb von grosser Wichtigkeit, weil die in ihm ausgesprochene Eigenschaft der hier in Rede stehenden Materialien die Erklärung dafür gibt, warum dieselben Anstrengungen, deren obere Grenze über ihrer ursprünglichen Elasticitätsgrenze liegt, doch in unbegrenzter Anzahl auszuhalten vermögen, eine durch Wöhler nachgewiesene Thatsache, die ausserdem in Widerspruch mit dem oben (S. 16) aus der Definition der Elasticitätsgrenze gezogenen Schlusse stünde. Denn nach dieser Definition, die im Ganzen doch mit der früher schon allgemein verbreiteten Ansicht über das Wesen der Elasticitätsgrenze übereinstimmt, ist eigentlich der erste Theil des von Wöhler entdeckten Gesetzes: „Der Bruch des Materials lässt sich auch durch vielfach wiederholte Schwingungen, von denen keine die absolute Bruchgrenze erreicht, herbeiführen,“ selbstverständlich. Das merkwürdige Resultat der Wöhler'schen Versuche war eigentlich das, dass Schwingungen, deren obere Grenze über der Elasticitätsgrenze liegt, den Bruch nicht nothwendig herbeiführen müssen, sondern, wenn sie nur in gewissen Schranken blieben, in unbeschränkter Zahl ausgehalten werden.

In Uebereinstimmung mit dem Vorstehenden folgt aus den Resultaten der Tabellen XIX—XXV der folgende Satz, der eigentlich nur eine Umschreibung des aus der Definition der Elasticitätsgrenze (S. 16) gefolgerten Schlusses oder Grundsatzes ist:

3) Wiederholte Anstrengungen (Schwingungen) zwischen 0 und einer oberen Grenze, welche die ursprüngliche Elasticitätsgrenze noch über ihre obere Spannung hinaus zu heben vermögen, führen den Bruch nicht herbei; wenn aber ihre obere Grenze so hoch liegt, dass die Elasticitätsgrenze nicht mehr darüber hinaus gehoben werden kann, so muss der Bruch nach einer beschränkten Anzahl solcher Anstrengungen erfolgen.

Die praktische Wichtigkeit dieses Satzes, wenn er sich bestätigt, liegt auf der Hand: er gibt ein Mittel an die Hand, durch Dauerversuche, die sich auf eine verhältnissmässig kleine Anzahl von Anstrengungen beschränken, auf vielleicht 5—10 Millionen, beurtheilen zu

können, welche obere Grenze (die untere immer als 0 genommen) solche wiederholte Anstrengungen höchstens haben dürfen, wenn sie in unbeschränkter Anzahl ertragen werden sollen.

Suchen wir diesen Satz aus unseren 7 Tabellen nachzuweisen und die soeben angedeutete Folgerung aus ihm zu ziehen.

Aus Tab. XIX ist sofort ersichtlich, dass noch durch Anstrengungen zwischen 0 und 2000 *at* nach 5,2 Millionen maliger Wiederholung die Elasticitätsgrenze über jene obere Spannung, wenn auch nicht viel, nämlich auf 2200 *at* gehoben wird, dass aber Anstrengungen zwischen 0 und 2500 *at* nach 2,1 Millionen Wiederholungen die Elasticitätsgrenze nicht mehr über 2500 *at* hinaus bringen und nach 2,3 Millionen Wiederholungen in der That den Bruch herbeiführen. Ich schliesse daraus, dass von dem vorliegenden Materiale, Schweisseisenblech, Anstrengungen zwischen den Grenzen 0 und 2000 *at* in unbegrenzter Dauer ertragen werden können, obwohl die ursprüngliche Elasticitätsgrenze bei 1040 *at* liegt.

Aehnliche Betrachtungen werden bei den folgenden Tabellen erschwert durch die schon einmal erwähnte hohe Lage der ursprünglichen Elasticitätsgrenze der betreffenden Materialien und bei den Tabellen XX und XXV noch besonders durch den ebenfalls schon oben hervorgehobenen grossen Einfluss, den die in reichlicher Anzahl vorkommenden Material- und Fabrikationsfehler auf das Resultat der Dauerversuche ausüben. Setzen wir sie demungeachtet fort.

Aus Tab. XX folgt, dass Anstrengungen zwischen 0 und 2440 *at* die Elasticitätsgrenze bis auf 2960 *at* hinaufheben können, dass sie aber doch schon den Bruch herbeiführen im Stande sind (vgl. laufende Nr. 8, 11, 19), wobei freilich allemal ein Materialfehler als wahrscheinliche Ursache nachgewiesen werden konnte. Das Stäbchen Nr. 47 dagegen (lauf. Nr. 12—15) mit allerseits polirter Oberfläche ist nach 10,3 Millionen Anstrengungen zwischen jenen Grenzen noch intakt. Aber Schwingungen zwischen 0 und 3000 oder gar 3500 und 4000 *at* vermochten die Elasticitätsgrenze nicht mehr über die obere Spannung hinaus zu heben und führten immer den Bruch herbei, auch ohne dass äusserlich ein Fehler zu erkennen war.

Es folgt hieraus, dass vom vorliegenden Material, Bessemer-Flusseisenblech, Schwingungen zwischen 0 und 2400 *at* sicher in unbegrenzter Anzahl ertragen werden, vorausgesetzt, dass es fehlerfrei ist.

Tab. XXI zeigt, dass durch Schwingungen zwischen 0 und 2000 *at* die Elasticitätsgrenze bis 3270 *at* gehoben wurde, ohne dass nach 9,1 Millionen Wiederholungen der Bruch herbeigeführt worden wäre, dass aber Schwingungen zwischen 0 und 2500 *at* die Elasticitätsgrenze kaum noch

über sich hinaus heben und nach 7,4 Millionen Wiederholungen auch den Bruch herbeiführen. Daraus folgt, dass das vorliegende Material, Flacheisen 80/10 *mm*, Anstrengungen zwischen 0 und etwa 2200 *at* in unbegrenzter Anzahl aushalten kann.

Aus Tab. XXII folgt, dass Schwingungen zwischen 0 und 2100 *at* die Elasticitätsgrenze des betr. Materials bis zum Maximum von 2480 *at* hinaufrücken und nach 16,5 Millionen Wiederholungen den Bruch noch nicht herbeiführen, dass aber Schwingungen zwischen 0 und 2630 *at* die Elasticitätsgrenze nicht mehr mit Sicherheit über ihre obere Grenze hinaus heben können, immerhin aber noch in 9,3 Millionen maliger Wiederholung ertragen wurden. Das vorliegende Material, Flacheisen von 40/10 *mm*, vermag also Anstrengungen zwischen 0 und etwa 2400 *at* in unbeschränkter Anzahl zu ertragen.

Tabelle XXIII zeigt ferner, dass durch Schwingungen zwischen 0 und 2480 *at* die Elasticitätsgrenze im Maximum bis auf 3120 *at* erhoben wird und 9,6 Millionen solcher Schwingungen auch wirklich ausgehalten werden, dass Schwingungen zwischen 0 und 3000 *at* die Elasticitätsgrenze noch bis 3180 *at* erheben und über 9 Millionen mal ausgehalten werden, dass aber Anstrengungen zwischen 0 und 4000 *at* schon nach einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Wiederholungen den Bruch herbeiführen. Das vorliegende Material, Thomasstahl in Form von Achswellen (Eisenbahmaxen), vermag also sehr wahrscheinlich Schwingungen zwischen 0 und 3000 *at* in unbegrenzter Dauer zu ertragen.

Tab. XXIV zeigt, dass Schwingungen zwischen 0 und 2500 *at* die Elasticitätsgrenze bis 3650 *at* im Max. hoben und in mehr als 10 Millionen maliger Wiederholung ertragen wurden, dass aber Schwingungen zwischen 0 und 3000 *at* selbst nach 7,9 Millionen Wiederholungen die Elasticitätsgrenze nur bis 2690 *at* brachten. (Wahrscheinlich lag sie bei dem Stäbchen Nr. 35 ursprünglich doch tiefer als bei den im Kopf der Tabelle angeführten Normal-Rundstäben). Es dürfte also das vorliegende Material, Thomas-Stahl in Eisenbahnschienenform, Anstrengungen zwischen 0 und 2800 *at* in unbeschränkter Anzahl zu ertragen im Stande sein.

Aus Tab. XXV endlich folgt, dass Anstrengungen zwischen 0 und 2500 *at* die Elasticitätsgrenze nicht mehr mit Sicherheit über sich hinausheben können (Nr. 10) und solche zwischen 0 und 2800 und 2850 *at* überhaupt nicht mehr, auch nach 3 bzw. 2,7 Millionen Wiederholungen (Nr. 1 und 12). Da aber Schwingungen zwischen 0 und 2500 *at* von dem Stäbchen Nr. 44 mit allerseits blank polirter Oberfläche bis jetzt doch in 5,8 Millionen Wiederholungen ertragen wurden, so wird wohl geschlossen

werden dürfen, dass das vorliegende Material, Kesselblech aus Thomas-Flusseisen, Schwingungen zwischen 0 und 2400 *at* in unbegrenzter Anzahl ertragen kann, vorausgesetzt, dass es fehlerfrei ist.\*)

Aus meinen Dauerversuchen im Zusammenhange mit den, an denselben Materialien angestellten Proben mit ruhender Belastung geht ferner der Satz hervor:

4) Die Zugfestigkeit zeigt sich durch Millionen mal wiederholte Anstrengungen nicht vermindert, eher erhöht, wenn das Probestück nach jenen Anstrengungen mit ruhender Belastung abgerissen wird.

Die Richtigkeit dieses Satzes beweisen alle die Versuche der Tabellen XIX--XXV, wo Probestäbchen nach einer grossen Anzahl von Schwingungen, welche sie ausgehalten hatten, mit ruhender Belastung abgerissen wurden, nämlich die Versuche unter Nr. 6, 11 und 16 in Tab. XIX, unter Nr. 6 in Tab. XXI, 9 und 14 in Tab. XXII, 9 in Tab. XXIII, sowie 4 und 5 in Tab. XXIV. Im Versuch 9 der Tabelle XX wurde das eine Bruchstück des Stäbchens Nr. 9, nachdem dieses 6,6 Millionen Anstrengungen zwischen 0 und 2440 *at* erlitten und in der Wöhler'schen Maschine abgerissen war, nochmal in der Werder'schen Maschine eingespannt, natürlich nachdem sein Querschnitt verschwächt worden war, und abgerissen. Die Festigkeit ergab sich zwar etwas kleiner, als bei dem Stäbchen Nr. 10, das vorher gar keine Anstrengungen erlitten hatte, aber nicht so viel, dass der Unterschied nicht auch aus Ungleichmässigkeiten im Material erklärt werden könnte.

Bei allen den soeben angeführten Versuchen ist das Aussehen der Bruchfläche genau so, wie bei denjenigen Stäbchen aus gleichem Material, die abgerissen wurden, ohne vorher Dauerversuchen unterworfen worden zu sein. Dagegen zeigen alle diejenigen Stäbchen, die während der Dauerversuche in der Wöhler'schen Maschine abgerissen sind, die von Spangenberg\*\*\*) hervorgehobenen charakteristischen Zeichnungen, welche in der letzten Columne der Tabellen XIX--XXV näher beschrieben und auf der Lichtdrucktafel Blatt III ersichtlich sind. Daraus folgt, dass die Struktur-Veränderungen, welche das Aussehen der letzteren Brüche zeigt, nur in der Bruchfläche selbst stattgefunden haben, und das wird auch noch direkt bewiesen dadurch, dass man jene Bruchflächen in der bekannten

\*) Diese Voraussetzung muss selbstverständlich bei allen Materialien erfüllt sein; aber hier und oben beim Bessemer-Flusseisenblech glaubte ich es noch besonders hervorheben zu müssen.

\*\*) Ueber das Verhalten der Metalle bei wiederholten Anstrengungen, Berlin 1875.

Weise ätzt. In der geringsten Tiefe unter der Bruchoberfläche kommt die ursprüngliche Struktur wieder zum Vorschein. Solche Aetzversuche habe ich, mit dem gleichen Erfolg, auch an einigen Bruchflächen von S Federn der Wöhler'schen Maschine angestellt, die mir nach einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Anstrengungen (Biegungen) während des Ganges der Maschine gebrochen waren und die Spangenberg'schen Figuren sehr schön zeigten.

Damit ist nun, meine ich, die immer noch von Vielen gehegte Ansicht über die Struktur-Veränderung des Eisens und Stahls durch oft wiederholte Anstrengungen gründlich widerlegt und der Satz erwiesen:

5) Oftmal, millionenmal wiederholte Anstrengungen des Eisens und Stahls bringen **keine** Aenderung der Struktur hervor. Die eigenthümlichen Zeichnungen, welche an Brüchen ersichtlich sind, die während solcher wiederholter Anstrengungen entstehen, rühren von einer Struktur-Aenderung her, die sich lediglich auf die äusserste Oberfläche der Bruchstellen beschränkt.

Wann diese letzteren Struktur-Aenderungen sich vollziehen, ist freilich schwer zu sagen. Ich glaube, erst im Momente des Bruches oder unmittelbar vorher. Der Versuch No. 14 in Tabelle XXII mit dem Stäbchen No. 28, welches nach den 9,3 Millionen Anstrengungen zwischen 0 und 2630 *at.*, wie seine tief herabgesunkene Elasticitätsgrenze zeigt, wahrscheinlich nahe daran war, in der Wöhler'schen Maschine abzureissen, scheint dafür zu sprechen, dass sich jene Struktur-Aenderung der Bruchfläche längere Zeit vorher vorbereitet, weil die Fläche des mit ruhender Belastung erhaltenen Bruches schon einen Anklang an die charakteristische Zeichnung der Brüche in der Wöhler'schen Maschine zeigte. Aber dem widerspricht doch wieder der Umstand, dass die Zugfestigkeit des Stäbchens nicht verringert worden war.

Die Contraction des Querschnitts ist bei den Brüchen, welche bei den Dauerversuchen erfolgen, wesentlich kleiner, als bei den unter ruhender Belastung erhaltenen, besonders auf der Seite, wo die charakteristischen Zeichnungen jener Brüche auftreten. Das Gleiche gilt von der Verlängerung nach dem Bruch. Solche Probestäbchen dagegen, welche nach einer grossen Anzahl Anstrengungen, die sie erlitten haben, mit ruhender Belastung abgerissen werden, zeigen, wie dieselbe Zugfestigkeit und dasselbe Bruchaussehen, auch nahezu die gleiche Querschnittscontraction und Dehnung nach dem Bruche, wie die Stäbchen aus gleichem Material, die vorher keine Anstrengungen erlitten haben.

## 7. Abschnitt.

Wöhler spricht das von ihm entdeckte Gesetz in folgenden Sätzen aus:\*)

„Der Bruch des Materials lässt sich auch durch vielfach wiederholte Schwingungen, von denen keine die absolute Bruchgrenze erreicht, herbeiführen. Die Differenzen der Spannungen, welche die Schwingungen eingrenzen, sind dabei für die Zerstörung des Zusammenhanges massgebend.“

„Die absolute Grösse der Grenzspannungen ist nur insoweit von Einfluss, als mit wachsender Spannung die Differenzen, welche den Bruch herbeiführen, sich verringern.“

„Für solche Schwingungen, bei denen dieselbe Faser aus Zugspannung in Druckspannung übergeht und umgekehrt, werden die Zugspannungen als positiv, die Druckspannungen als negativ betrachtet, so dass also in diesem Falle die Differenz der äussersten Faserspannungen gleich der grössten Zugspannung plus der grössten Druckspannung ist.“

Wöhler gibt dann folgende aus seinen Versuchsergebnissen entnommene Zusammenstellung\*\*) von Schwingungsgrenzen, bei denen der Bruch nicht mehr eingetreten ist:

1) Bei Stäben aus Achsen, die im Jahre 1857 von der Gesellschaft Phönix geliefert worden waren:

Schwingungen zwischen	
+ 160 Ctr. u. — 160 Ctr. pro □ Zoll Faserspannung***)	
+ 300 „ „ Null „ „ „	
+ 440 „ „ 240 Ctr. „ „ „	

2) Bei Stäben aus Gussstahlachsen, die Krupp im Jahre 1862 geliefert hatte:

Schwingungen zwischen	
+ 280 Ctr. u. — 280 Ctr. pro □ Zoll Faserspannung	
+ 480 „ „ Null „ „ „	
+ 800 „ „ + 350 Ctr. „ „ „	

3) Bei Stäben aus ungehärtetem Gussfederstahl:

Schwingungen zwischen	
+ 500 Ctr. u. Null Ctr. pro □ Zoll Faserspannung	
+ 700 „ „ 250 „ „ „	
+ 800 „ „ 400 „ „ „	
+ 900 „ „ 600 „ „ „	

Wenn man diese Resultate graphisch aufzeichnet, indem man die untere Spannungsgrenze  $\alpha_p$  als Abscisse und die Spannungsdifferenz  $\alpha_k$  als Ordinate senkrecht zur Abscisse abträgt, so erhält man Punkte, welche, wie Gerber zuerst gezeigt hat, sich am besten durch eine

\*) „Die Festigkeits-Versuche mit Eisen und Stahl“ Berlin 1870 S. 6 oder Erbkam's „Zeitschrift für Bauwesen“ Jahrgang 1870 S. 83.

\*\*) Ebenda, S. 7 bzw. S. 85.

\*\*\*) 1 Ctr. (Handelscentner) = 46, 77 kg, 1 □ Zoll = 6,8406 qcm. folglich 1 Ctr. pro □ Zoll = 6,84 kg pro qcm oder *at.*

Parabel verbinden lassen, deren zur Abscissenaxe conjugirter Durchmesser durch den Anfangspunkt des Coordinatensystems geht und durch den Punkt, der gleichen + und - Spannungen ( $\sigma$ ) entspricht, so dass die tg. seines Winkels mit der Abscissenaxe gleich 2 ist.

Die Gleichung dieser Parabel ist:

$$(\alpha_p + \frac{1}{2} \alpha_k)^2 + \alpha_k \alpha_p = \alpha_0^2 \quad 1)$$

wo die Constanten  $\alpha$  und  $\alpha_0$  folgende Bedeutung haben:

Für  $\alpha_k = 0$  wird  $\alpha_p = \pm \alpha_0$ , also ist  $\alpha_0$  nichts anderes als die Zug- (bezw. Druck-)festigkeit, diejenige Spannungsgrenze, bei welcher keine Schwingungen mehr stattfinden dürfen, um den Bruch herbeizuführen.

Für  $\alpha_p = -\frac{1}{2} \alpha_k = -\sigma$ , so dass  $\alpha_p + \frac{1}{2} \alpha_k = 0$  und die obere Grenze  $\alpha_p + \alpha_k = +\sigma$  wird, ergibt sich

$$\alpha = \frac{\alpha_0^2}{\alpha_k} = \frac{\alpha_0^2}{2\sigma}$$

und umgekehrt, die Grenze der Schwingungen zwischen gleich grossen + und - Spannungen:

$$\sigma = \frac{\alpha_0^2}{2\alpha} \quad 2$$

$\alpha_p = -160$	Ctr.;	$\alpha_k = 320$	Ctr. pro □Zoll	und daraus:	$\alpha_0^2 - 320\alpha = 0$
$\alpha_p = 0$	„ ;	$\alpha_k = 300$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 300\alpha - 22500 = 0$
$\alpha_p = 240$	„ ;	$\alpha_k = 200$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 200\alpha - 115600 = 0$
$\alpha_p = 445$	„ ;	$\alpha_k = 0$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 198025 = 0$

woraus sich  $\alpha = 607$  und  $\alpha_0 = 456$  Ctr. pro □Zoll und aus diesen beiden wieder  $\sigma = 172$  Ctr. per □Zoll ergeben, welch' letztere beide Werthe hinlänglich mit den für  $\alpha_k = 0$  und  $\alpha_k = 320$  Ctr. direkt gefundenen Werthen von  $\alpha_p$ , nämlich 445 und 160 Ctr. pro □Zoll stimmen. Die durch  $\alpha$  und  $\alpha_0$  bestimmte Parabelgleichung:

$$(\alpha_p + \frac{1}{2} \alpha_k)^2 + 607 \alpha_k = 456^2$$

ergibt dann für die Werthe:

$$\alpha_p = 0 \text{ und } 240 \text{ Ctr. pro □Zoll}$$

die Werthe  $\alpha_k = 305$  „ 170 „ „ „

$\alpha_p = -280$	Ctr.;	$\alpha_k = 560$	Ctr. pro □Zoll	und daraus:	$\alpha_0^2 - 560\alpha = 0$
$\alpha_p = 0$	„ ;	$\alpha_k = 480$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 480\alpha - 57600 = 0$
$\alpha_p = 350$	„ ;	$\alpha_k = 450$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 450\alpha - 330625 = 0$
$\alpha_p = 1040$	„ ;	$\alpha_k = 0$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 1081600 = 0$

woraus sich  $\alpha = 1938$ ,  $\alpha_0 = 1044$  Ctr. pro □Zoll und aus diesen beiden  $\sigma = 281$  Ctr. pro □Zoll ergeben. Letztere beiden Werthe stimmen wieder recht gut mit den direkt beobachteten 1040 und 280 Ctr. pro □Zoll. Aus der durch  $\alpha$  und  $\alpha_0$  bestimmten Gleichung der Gerber'schen Parabel:

$$(\alpha_p + \frac{1}{2} \alpha_k)^2 + 1938 \alpha_k = 1044^2$$

$\alpha_p = 0$	Ctr.;	$\alpha_k = 500$	Ctr. pro □Zoll	und daraus:	$\alpha_0^2 - 500\alpha - 62500 = 0$
$\alpha_p = 250$	„ ;	$\alpha_k = 450$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 450\alpha - 225625 = 0$
$\alpha_p = 400$	„ ;	$\alpha_k = 400$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 400\alpha - 360000 = 0$
$\alpha_p = 600$	„ ;	$\alpha_k = 300$	„ „ „ „	„ „	$\alpha_0^2 - 300\alpha - 562500 = 0$

Die Werthe von  $\alpha_p$  für  $\alpha_k = 0$ , d. h. die Zugfestigkeiten, finde ich nur für die beiden ersten der drei obigen, von Wöhler geprüften Materialien angegeben, nämlich für die Stäbe aus den Phoenix-Achsen zu 440—450, im Mittel 445 Ctr. pro □Zoll (Tab. XIV a. der obigen Schrift) und für die Stäbe aus Gussstahlachsen zu 1025—1050—1050, im Mittel 1040 Ctr. pro □Zoll (Tab. XVI a.).

Fügt man diese Werthe den oben von Wöhler gegebenen Werthen von  $\alpha_p$  und  $\alpha_k$  hinzu und setzt dann sämtliche Werthe in die Gleichung 1) der Gerber'schen Parabel ein, so erhält man für jedes der drei obigen Materialien 4 Gleichungen zwischen den Constanten  $\alpha$  und  $\alpha_0$ , aus denen man mittelst der Methode der kleinsten Quadrate diese Constanten bestimmen kann, so dass alsdann die Parabel, welche sich mit möglichst grosser Genauigkeit jenen 4 Punkten anschliessen, gezeichnet werden können. Man erhält so:

1. Für die Stäbe aus Phoenixachsen:

statt der von Wöhler direkt beobachteten:

$$\alpha_k = 300 \text{ und } 200 \text{ Ctr. pro □Zoll,}$$

eine Uebereinstimmung, die auch genügend erscheinen dürfte, wenn man erwägt, dass in dem 2. Fall der Werth von  $\alpha_k = 200$  oder der oberen Schwingungsgrenze zu 440 Ctr. pro □Zoll von Wöhler in seinen Ausführungen auf S. 6 der oben citirten Schrift gegenüber den vorhergehenden etwas zu hoch gegriffen erscheint.

2. Für die Stäbe aus Krupp'schen Gussstahlachsen:

folgt dann für  $\alpha_p = 0$  und 350 Ctr. pro □Zoll

$$\alpha_k = 530 \text{ „ } 405 \text{ „ „ „}$$

$$\text{statt } 480 \text{ „ } 450 \text{ „ „ „}$$

welche Wöhler direkt beobachtet hat.

3. Für die Stäbe aus Gussfederstahl:

woraus sich  $z = 2462$ ,  $\alpha_0 = 1150$  Ctr. pro □Zoll und aus diesen beiden  $\tau = 2677$  Ctr. pro □Zoll ergeben. Aus der durch  $z$  und  $\alpha_0$  bestimmten Parabelgleichung:

$$(z_p + \frac{1}{2} \alpha_0)^2 + 2462 \alpha_0 = 1150^2$$

folgen dann für die Werthe von

$$z_p = 0, 250, 400 \text{ und } 600 \text{ Ctr. pro } \square\text{Zoll}$$

die Werthe von

$$z_0 = 510, 445, 395, \dots, 305, \dots, \dots$$

welche mit den direkt von Wöhler beobachteten

$$z_0 = 500, 450, 400 \text{ und } 300 \text{ Ctr. pro } \square\text{Zoll}$$

so gut übereinstimmen, als nur erwartet werden kann.

Meine Dauerversuche ergeben durchweg nur den Werth von  $z_0$  für  $z_p = 0$ ; ich will ihn kurz mit  $z$  bezeichnen und habe ihn bei den im vorigen Abschnitt, S. 40—42, angestellten Betrachtungen aus den Versuchen der Tabellen XIX—XXV ermittelt. Da ich für jedes der geprüften Materialien auch die Zugfestigkeit  $\alpha_0$  bestimmt habe, so kann in der Formel 1) der Gerber'schen Parabel die Constante  $z$  berechnet werden, nämlich

$$z = \frac{\alpha_0^2 - \frac{1}{2} \alpha^2}{\alpha},$$

und hieraus die Parabel construirt, sowie

$$\tau = \frac{\alpha_0^2}{2z} = \frac{\frac{1}{2} \alpha^2}{1 - \left(\frac{\frac{1}{2} \alpha}{\alpha_0}\right)^2}$$

berechnet werden.

Auf diese Weise findet sich:

1) Für das Schweisseisenblech, Tab. XIX:

aus  $z = 2000 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 3480 \text{ at}$

$$z = \frac{\alpha_0^2 - \frac{1}{2} \alpha^2}{\alpha} = 5555 \text{ at}$$

$$\tau = \frac{\alpha_0^2}{2z} = 1090 \text{ at.}$$

2) Für das Bessemerflusseisenblech, Tab. XX:

aus  $z = 2400 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 4360 \text{ at}$

$$z = 7320 \text{ at}$$

$$\tau = 1300 \text{ at.}$$

3) Für das Flacheisen  $^{80/10} \text{ mm}$ , Tab. XXI:

aus  $z = 2200 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 4050 \text{ at}$

$$z = 6900 \text{ at}$$

$$\tau = 1190 \text{ at.}$$

4) Für das Flacheisen  $^{10/10} \text{ mm}$ , Tab. XXII:

aus  $z = 2400 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 4020 \text{ at}$

$$z = 6130 \text{ at}$$

$$\tau = 1320 \text{ at.}$$

5) Für die Achswelle aus Thomasstahl, Tab. XXIII:

aus  $z = 3000 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 6120 \text{ at}$

$$z = 11730 \text{ at}$$

$$\tau = 1600 \text{ at.}$$

6) Für die Eisenbahnschiene aus Thomasstahl, Tab. XXIV: aus  $z = 2800 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 5940 \text{ at}$

$$z = 11900 \text{ at}$$

$$\tau = 1480 \text{ at.}$$

7) Für das Kesselblech aus Thomasflusseisen, Tab. XXV aus  $z = 2400 \text{ at}$  und  $\alpha_0 = 4050 \text{ at}$

$$z = 6230 \text{ at}$$

$$\tau = 1320 \text{ at.}$$

Aus den im 5. Abschnitt mitgetheilten und besprochenen Versuchen folgt, dass die Grenze von Schwingungen zwischen gleichgrossen + und - Spannungen die Elasticitätsgrenze nicht überschreiten darf, wenn solche Schwingungen in unbegrenzter Anzahl ertragen werden sollen, da durch jede Ueberschreitung in dem einen Sinne sofort die Elasticitätsgrenze für den entgegengesetzten erniedrigt wird.

Ich habe den Maximalvorrath jener Schwingungsgrenzen oben mit  $\tau$  bezeichnet; er wurde von Wöhler für die beiden ersten oben aufgeführten Materialien direkt bestimmt; ausserdem habe ich ihn für diese, wie für alle anderen obigen Materialien auch aus der Gerber'schen Parabel berechnet, in welcher er dem Anfangspunkt des zur Abscissenaxe conjugirten Durchmessers entspricht. Prüfen wir obige Schlussfolgerung an den Werthen für die Elasticitätsgrenze, so weit diese bekannt sind.

Für das Eisen aus Phönix-Achsen findet sich aus dem in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 1860 S. 611—612 mitgetheilten Biegungsversuche Wöhlers an einem Stabe aus einer auf Biegung hin und her geprüften und gebrochenen Achse die Elasticitätsgrenze bei 160 Ctr. pro □Zoll, also genau derselbe Werth, den Wöhler durch Dauerversuche mit diesem Material für  $\tau$  gefunden hat; die Parabel ergibt  $\tau = 172$  Ctr. pro □Zoll.

Für einen Stab aus einer ungehärteten Gussstahlachse, welche 1861 von Krupp geliefert worden war und im Betriebe 4980 Meilen zurückgelegt hatte, findet sich aus dem von Wöhler in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen angeführten Biegungsversuche die Elasticitätsgrenze bei ca. 300 Ctr., während Wöhler durch Dauerversuche an Stäben aus ebensolchen, freilich erst im Jahre 1862 gelieferten Achsen  $\tau$  direkt zu 280 Ctr. fand und die Parabel 281 Ctr. pro □Zoll ergibt. Die Uebereinstimmung ist immerhin befriedigend.

Für das dritte Material, den Gussfederstahl habe ich nirgends eine Angabe betreffend dessen Elasticitätsgrenze finden können und Reste jenes Materials waren auf mein Nachfragen in Berlin leider nicht mehr vorhanden.

Die Elasticitätsgrenze des von mir geprüften Schweisseisenbleches (Tab. XIX) liegt bei 1040 at, während sich

aus der Gerber'schen Parabel  $\sigma = 1090 \text{ at}$  ergab, in genügender Uebereinstimmung damit.

Aber bei allen 6 anderen von mir geprüften Materialien liegt die „ursprüngliche“ Elasticitätsgrenze bedeutend höher als das aus der Gerber'schen Parabel oben berechnete  $\sigma$ . Nun habe ich schon verschiedenemale darauf aufmerksam gemacht, dass die Elasticitätsgrenze bei jenen Materialien sehr hoch liegt, auf künstliche Weise durch Strecken, Walzen, Schmieden erhöht worden sein muss. Man muss sich also bei Anwendung der obigen, aus den Versuchen des 5. Abschnitts gezogenen Schlussfolgerung ebenso, wie bei der Anwendung des 1. Satzes des vorigen Abschnitts, immer zuerst Rechenschaft darüber geben, welche von den vielen Elasticitätsgrenzen, die einem Material gegeben werden können, dabei zu nehmen sei.

Ueberlegt man nun, dass eine durch Strecken erniedrigte Elasticitätsgrenze für Zug sich im Laufe der Zeit von selbst wieder hebt (3. Abschnitt), und dass die Elasticitätsgrenze für Zug durch oftmal wiederholte Anstrengungen zwischen 0 und einer oberen Zugspannung gehoben wird, auch über diese obere Zugspannung (6. Abschnitt), dass dagegen bei abwechselnder Beanspruchung auf Zug und Druck die Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze für die Beanspruchung in einem Sinne diese Grenze für den entgegengesetzten Sinn tief und bleibend herunterwirft, so liegt die Analogie nahe, dass abwechselnde Anstrengungen auf Zug und Druck, welche unterhalb einer künstlich gehobenen Elasticitätsgrenze liegen und sehr oft wiederholt werden, diese Elasticitätsgrenze bis zu einer gewissen Grenze herab wieder erniedrigen und zwar bis zu derjenigen, welche sie nach dem 3. Satz des 5. Abschnittes nicht mehr überschreitet, wenn durch allmählich anwachsende, zwischen Zug und Druck regelmässig wechselnde Belastungen eine ganz herabgesunkene Elasticitätsgrenze wieder nach und nach gehoben wird. Dass einige wenige Wechsel zwischen Zug und Druck, wie sie bei den Versuchen in Tab. XI und XV angewendet worden sind, die über ihnen liegende Elasticitätsgrenze nicht erniedrigen, kann hiegegen so wenig als Beweis angeführt werden, als die Nichterhebung der Elasticitätsgrenze durch einige wenige Schwingungen zwischen 0 und einer oberen Zugspannung gegen den vollständigen erwiesenen Satz 1 des 6. Abschnittes.

Ich möchte jene Grenze, dieselbe also, die auch im 3. Satze des 5. Abschnittes gemeint ist, in Erinnerung daran, dass sie auf künstliche Weise durch Strecken, Walzen etc. gehoben, ebenso aber auch durch Beanspruchung des Materials im entgegengesetzten Sinne oder durch Erwärmen und plötzliches Abkühlen künstlich gesenkt werden kann, natürliche Elasticitätsgrenze nennen und diese ist es eigentlich, mit der  $\sigma$ , der Maximalwerth

gleichgrosser Zug- und Druckspannungen, übereinstimmen müsste.

Bei den von Wöhler auf ihre Elasticitätsgrenze etc. geprüften Stäben aus einer Phönixachse und aus einer Krupp'schen Gussstahlachse, welche beide, die eine bei Dauerversuchungen, die andere im Betrieb, eine grosse Anzahl Hin- und Herbiegungen erlitten hatten, war sehr wahrscheinlich die gefundene Elasticitätsgrenze die natürliche. Sie stimmt in der That nahe genug mit  $\sigma$  überein. Bei dem von mir geprüften Schweisseisenblech liegt die Elasticitätsgrenze so tief, dass sie wahrscheinlich ebenfalls die natürliche ist; auch sie stimmt mit  $\sigma$  nahe genug überein. Hiernach scheint also der folgende Satz ausgesprochen werden zu dürfen.

Die Grenzen  $\sigma$  der Schwingungen zwischen gleich grossen Zug- und Druck-Spannungen dürfen die natürliche Elasticitätsgrenze nicht überschreiten, wenn das Material eine unbegrenzte Anzahl solcher Schwingungen soll ertragen können.

Die Richtigkeit dieses, allerdings vorerst noch mit Vorsicht aufzunehmenden Satzes müsste zunächst noch dadurch geprüft werden, dass passende Stäbchen aus den sechs anderen Materialien, welche ich durch Dauerversuche auf Zug zwischen den Spannungen 0 und einer oberen Zugspannung geprüft habe, auf abwechselnden Zug und Druck, also auf Biegung hin und her probirt und darauf untersucht würden: 1) ob dadurch ihre Elasticitätsgrenze bis auf eine gewisse Höhe, die dann eben die natürliche Elasticitätsgrenze sein würde, erniedrigt wird, und 2) ob diese so gefundene Elasticitätsgrenze mit dem oben durch Berechnung erhaltenen Werth von  $\sigma$  in Uebereinstimmung ist. Diese Versuche werde ich vornehmen, sobald die Wöhler'sche Maschine für Hin- und Herbiegungen (continuirliche Drehungen), welche ich eben anfertigen lasse, vollendet sein wird. (Die Construction einer solchen Maschine für direkten abwechselnden Zug und Druck unterliegt zu grossen Schwierigkeiten, als dass man hoffen dürfte, darüber Herr werden zu können.)

Der oben ausgesprochene Satz, wenn er sich bestätigt, würde noch eine weit höhere Bedeutung für die Prüfung der Materialien auf ihren Widerstand gegen wiederholte Beanspruchung erlangen, wenn es gelänge, die natürliche Elasticitätsgrenze eines Materials, anstatt durch oftmals wiederholte Schwingungen zwischen Zug- und Druckspannungen, durch solche Manipulationen herzustellen und zu bestimmen, die in kürzerer Zeit und durch ruhende Belastungen, also mit den gewöhnlichen Prüfungs-maschinen ausgeführt werden könnten. Denn in diesem Falle würde man durch solche Versuche neben dem Schnittpunkt der Gerber'schen Parabel mit der Abscissenachse,

welcher sich aus der Zugfestigkeit  $\alpha_0$  ergibt, auch noch den Endpunkt des zur Abscissenachse conjugirten Durchmessers erhalten mit den Coordinaten  $-\sigma$  und  $+2\sigma$ , gleich der einfachen und doppelten natürlichen Elasticitätsgrenze, also diese Parabel selbst und würde daher graphisch oder durch Rechnung aus der Gleichung

$$(\alpha_0 + \frac{1}{2}\alpha_k)^2 + \frac{\alpha_0^2}{2\sigma} \alpha_k - \alpha_0^2$$

für jede untere Grenze  $\alpha_0$ , die Differenz  $\alpha_k$  und folglich die obere Grenze der Schwingungen erhalten können, welche das Material in unbeschränkter Dauer aushalten kann.

Einen Weg zur Ermittlung der natürlichen Elasticitätsgrenze auf jene Weise habe ich schon oben (S. 49) angedeutet. Man wirft die Elasticitätsgrenze für Zug oder Druck durch Belasten auf bezw. Druck oder Zug über die Elasticitätsgrenze hinaus auf Null oder fast auf Null herab und hebt sie dann durch allmählich wachsende, regelmässig zwischen Druck und Zug abwechselnde Belastungen wieder, so weit es möglich ist. Ich habe diesen Weg an zwei „Probestücken für Zug und Druck,“ die ich in Gestalt der Fig. 1 auf Blatt II aus Bruchstücken der Achswelle A II (Tab. XXIII) und der Eisenbahnschiene C, D (Tab. XXIV) aus Thomasstahl herstellen liess, erprobt. Die angestellten Versuche sind in den Tabellen XVII und XVIII enthalten, die schon am Schlusse des 5. Abschnittes besprochen worden sind. Sie ergeben die natürliche Elasticitätsgrenze bei 1457 bezw. 1561 *at* während  $\sigma$  durch die oben angestellten Berechnungen gleich 1600 bezw. 1480 *at* gefunden wurde, eine Uebereinstimmung, die vorläufig wohl befriedigen dürfte.

Aber solche Probestücke, die sowohl gezogen als auch gedrückt werden sollen, lassen sich aus manchen Materialien, wie aus Blechen, Flacheisen, Façoneisen u. dgl. nur sehr schwer herstellen. Wegen ihrer geringen Querdimension in einer Richtung darf ihre Länge nicht gross werden, wenn bei Druck nicht sehr bald schon eine Ausbiegung eintreten soll, und so kurze Stücke lassen sich in den gewöhnlichen Vorrichtungen nicht mehr auf Zug einspannen, zumal wenn auch der Messapparat angebracht werden muss.

Ich dachte desshalb zuerst daran, die im 4. Abschnitt beschriebenen Aenderungen der Elasticitätsgrenze durch Erwärmen und Abkühlen oder durch Erschüttern beim Schmieden dazu zu benützen, eine künstlich erhöhte Elasticitätsgrenze auf die Höhe der „natürlichen“ herabzubringen. Aber die Versuche, die ich in dieser Richtung anstellte, führten nicht zum Ziel. Zwar kann man durch Erwärmen und darauf folgendes rasches Abkühlen oder durch Erschüttern mit Hammerschlägen die Elasticitätsgrenze herunter werfen und durch wiederholtes Erwärmen und langsames Abkühlen wieder erhöhen, aber die Grösse der Veränderungen der Elasticitätsgrenze hierbei ist ausserordentlich abhängig von der Zahl und Stärke der Hammerschläge, von der Höhe der Temperatur, von der Art der Abkühlung etc., und dann fehlt auch, was die Hauptsache ist, jedes sichere Kriterium darüber, ob eine so erreichte Elasticitätsgrenze auch die natürliche ist. Bei dem Schweisseisenblech E 11 (Tab. XIX) zwar erhielt ich, nachdem ein Stäbchen davon kirschroth geglüht, dann rasch abgekühlt, hierauf wieder ebenso geglüht und langsam abgekühlt worden war, dieselbe Elasticitätsgrenze von 1040 *at* wieder, die es ursprünglich hatte, und diess spricht auch dafür, dass diese die natürliche ist. Aber Lamellen aus den Flacheisen Lab. Nr. 2335 und 2336 (Tab. XXI und XXII) ergaben, auf gleiche Weise behandelt, bald bedeutend geringere, bald bedeutend höhere, bald wieder ungefähr ebenso hohe Elasticitätsgrenzen als das oben berechnete  $\sigma$ , und bei Probestäbchen aus den Flusseisenblechen der Tabellen XX und XXV konnte auf dieselbe Weise die Elasticitätsgrenze nicht erniedrigt werden, obwohl, wie ich mich direkt überzeugte, auch bei ihnen durch das erstmalige Erwärmen und darauf vorgenommene rasche Abkühlen die Elasticitätsgrenze ganz bis auf Null herabgeworfen worden war.

Es bleibt also doch nichts Anderes übrig, als solche Formen von Probestücken aus Blechen, Flacheisen etc. und solche Einspannvorrichtungen zu ersinnen, dass jene Stücke sowohl auf Druck, als auch auf Zug geprüft werden können.

Tabelle I.

Sechs Rundstäbe aus Schweisseisen, Lab. Nr. 938<sup>a-c</sup>, auf Zug geprüft.

Die Stäbe c—f Normalstäbe von 25 mm Durchm. und 250 mm Gebrauchslänge, a und b von doppelter Länge.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
		3. Ver- such Nr.	4. Vor dem Versuch		6. Elasticitäts- Modul at	7. Elast. Grenze at	8. Streckgrenze at	9. Max. Belast. am Ende at	10. Bleibende Dehnung 1/1000 cm
			4. Dehm. cm	5. Länge f. d. Messung cm					
Rundstab 938 <sup>c</sup> .									
1	Ursprünglicher Zustand	3202	2,50	15,00	2'120000	1830	2180	2200	97,30
2	7 Minuten nach obigen Strecken mit 2200 at	3202	2,50	15,10	—	0	2240	2310	35,69
3	62 Stunden nach dem Strecken mit 2310 at. Hierauf wurde der Stab mit 19,0 t abgerissen. Zugfestigkeit = 3870 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 43%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 24,8% für ursprünglich 25 cm. Bruch feinschnig mit einigen krystallinischen Punkten.	3202	2,49%	15,13	2'040000	1890	2590	2590	120,32
Rundstab 938 <sup>f</sup> .									
4	Nach 7maliger Belastung mit 4 t und 2maliger Belastung mit 8 t (unterhalb der Elasticitätsgrenze)	3209	2,50	15,00	2'070000	—	—	1630	0,33
5	An demselben Tage wurde der Stab noch 2mal mit 4, dann 2mal mit 8 t, dann wieder 2mal mit 4 und 2mal mit 8 t; am folgenden Tage 2mal mit 4 und 2mal mit 8 t belastet, hierauf durch das Ausspannen ziemlich stark und dann absichtlich noch dadurch erschüttert, dass man den Stab öfter aus einer Höhe von 20 cm in vertikaler Stellung auf dem Ambos fallen liess; dann wurde er am gleichen Tage noch 3mal mit 4 und 2mal mit 8 t, am nächsten Tage 2mal mit 4 und 2mal mit 8, 2mal mit 4, 2mal mit 8, 1mal mit 4 und 7mal mit 8 t, hierauf 29mal mit 9 t und am dritten Tage nachher endlich noch 11mal mit 9 t belastet, ohne dass die Elasticitätsgrenze, die (s. die nächste Messung) gerade bei 9 t liegt, überschritten worden wäre. Die hierauf fortgesetzte Messung ergab	3213	2,50	15,00	2'070000	1830	>2040	2040	0,36
6	Am gleichen Tage wurde der Stab 2mal mit 4, 4mal mit 10 und dann 2mal mit 13 t = 2670 at belastet und dadurch so gestreckt, dass die Entfernung der Marken von 15,00 auf 15,35 cm wuchs. Nachdem dann am 2. Tag darnach noch 2mal mit 4, 9mal mit 8, 25mal mit 9, 8mal mit 8 und endlich noch 2mal mit 9 t belastet worden war, ergab die Messung	3214	2,49	15,35	2'010000	2050	>2670	2670	0,31
7	Drei Tage nachher, inzwischen nur einigemal bis 4 t belastet und wieder entlastet	3216	2,49	15,35	2'030000	2670	3020	3040	188,09
8	Unmittelbar nachdem zu Ende des vorigen Versuches noch mit 15 t = 3110 at belastet, dann entlastet und wieder mit 15 t belastet worden war	3216	2,48	15,54	2'000000	830	>3110	3110	2,16
9	21 Stunden nachher, nachdem inzwischen nur 3mal mit 4 t belastet worden war	3216	2,48	15,54	—	sehr ver- wisch	>3310	3310	0,97
10	4 Tage darnach, nachdem inzwischen der Stab, der eingespannt geblieben war, viermal mit je 20 Hammerschlägen, in seiner Längsrichtung auf die Backen der Einspannköpfe gegeben, erschüttert worden war. Hierauf wurde der Stab mit 19,2 t abgerissen. Zugfestigkeit = 3910 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 43%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 24,8% für ursprünglich 25 cm. Bruch feinschnig mit einigen krystallinischen Punkten.	3218	2,48	15,58	2'100000	3000	3470	—	—
Rundstab 938 <sup>a</sup> .									
11	Ursprünglicher Zustand	3279	2,51	15,00	2'050000	1410	1920	2220	180
12	20 Minuten nach dem Strecken mit 11 t = 2220 at am Ende des vorigen Versuches	3279	2,51	15,18	1'950000	1010	2220	2830	420
13	20 Minuten nach dem Strecken mit 14 t = 2935 at am Ende des vorigen Versuches	3279	2,465	15,60	1'940000	1050	2935	3350	600
14	20 Minuten nach dem Strecken mit 16 t = 3480 at am Ende des vorigen Versuches	3279	2,42	16,20	1'930000	1090	3480	3480	0,67
15	3 Jahre und 31 Tage nach dem letzten Versuch ruhig liegen geblieben	3851	2,43	16,19	2'130000	3670	>3880	3880	0,12

Tabelle I. Fortsetzung.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug								
		Ver- such Nr.	Vor dem Versuch		Elasticitäts- Modul at	Elast. Grenze at	Streckgrenze at	Max. Belast. am Ende at	Bleibende Dehnung 1/1000 cm	
			Dehm. cm	Länge f. d. Messung cm						
16	Einen Tag nach dem letzten Versuch wurde der Stab im kalten Zustande der Länge nach mit dem gewöhnlichen starken Handhammer, dann mit dem Schmiedehammer auf dem Ambos durchgehämmert, ohne dass sich jedoch die Entfernung der Marken (ursprünglich 15 cm) vergrösserte. Hierauf wurde der Stab wieder nachgedreht und im Ganzen drei Tage nach dem letzten Versuch gemessen.	3855	2,30	15,00	2'150000	1450	3610	3610	5,90	
17	Zwei Jahre und 58 Tage nach dem letzten Versuch blieb der Stab ruhig liegen, dann wurde er mit 18 t = 4340 at gestreckt und einen Tag darauf gemessen.	4392	2,30	15,14	1'970000	480	4220	4340	—	
18	Unmittelbar nach der letzten Messung wurde der Stab auf 500° C. erwärmt, dann langsam abgekühlt und 2 Tage darauf wieder gemessen.	4399	2,30	15,15	1'980000	3370	4000	4100	—	
18a	19 Tage nachher: Tags zuvor in Kirschrothhitze gezlüht und rasch im kalten Wasser abgekühlt (s. Tab. VII <sup>a</sup> 1. Spalte) 39 Tage nachher bei einem Durchmesser von 2,29 cm mit 19,75 t abgerissen.	4506	2,29	15,15	—	0	2670	2800	—	
	Zugfestigkeit = 4750 at, auf den Durchmesser 2,30 cm nach dem Hämmern und Abdrehen bezogen. Contraction = 27% <sub>0</sub> , auf den Durchmesser 2,30 cm nach dem Hämmern und Abdrehen bezogen. Dehnung = 15,8% für 15 cm nach dem Hämmern und Abdrehen. Bruchaussehen: fast durchaus grobkristallinisch mit einigen kleinen sehnigen Stellen.	4596								
Rundstab 938 <sup>a</sup>										
19	Ursprünglicher Zustand	3290	2,51	15,00	2'030000	1410	2020	2220	140	
20	19 Stunden nach dem Strecken mit 11 t = 2240 at	3292	2,50	15,14	2'025000	2040	2440	2850	350	
21	27 Stunden nach dem Strecken mit 14 t = 2910 at	3295	2,47	15,49	1'980000	2490	3120	3330	350	
22	24 Stunden nach dem Strecken mit 16 t = 3380 at	3297	2,45	15,84	1'980000	2800	>3380	3380	0,32	
23	Drei Jahre und 23 Tage nach dem letzten Versuche ruhig liegen geblieben	3852	2,45	15,83	2'140000	3500	>3820	3820	0,10	
24	Nach dem letzten Versuch wurde der Stab ebenso behandelt wie der 938 <sup>a</sup> Nr. 16 und dadurch die Länge von 15,83 cm auf 15,85 cm gebracht; hierauf wurde der Stab abgedreht und 17 Stunden nach Beendigung der letzten Messung wieder geprüft.	3854	2,36	15,00	2'150000	1720	3550	3660	8,73	
25	Zwei Jahre und 60 Tage ruhig liegen gelassen, dann mit 18 t = 4120 at gestreckt und 2 Tage darauf gemessen.	4398	2,36	15,05	1'970000	2170	4230	4350	—	
26	Unmittelbar nach Beendigung der letzten Messung auf 500° C. erwärmt, dann im Wasser von circa 15° C. rasch abgekühlt und sofort wieder gemessen.	4398	2,36	15,05	1'960000	1370	3200	3220	—	
	58 Tage nachher bei einem Durchmesser von 2,36 cm mit 21,4 t abgerissen.	4596								
	Zugfestigkeit = 4900 at, auf den Durchmesser 2,36 cm nach dem Hämmern und Abdrehen bezogen. Contraction = 27% <sub>0</sub> , auf denselben Querschnitt bezogen. Dehnung = 12,7% <sub>0</sub> für 15 cm nach dem Hämmern und Abdrehen. Bruchaussehen: krystallinisch mit kleiner sehniger Stelle auf einer Seite; auf dieser Seite äusserlich aufgerissen.									
Rundstab 938 <sup>b</sup>										
27	Ursprünglicher Zustand	3276	2,50	15,00	2'045000	1630	2040	2240	100	
28	51 Stunden nach dem Strecken mit 11 t = 2240 at	3280	2,50	15,10	1'990000	1990	2440	2850	440	
29	41 Stunden nach dem Strecken mit 14 t = 2960 at	3284	2,45	15,54	1'990000	2750	3170	3380	300	
30	45 Stunden nach dem Strecken mit 16 t = 3240 at	3286	2,44	15,84	1'970000	3200	>3420	3420	0,34	
31	Drei Jahre und 21 Tage nach dem letzten Versuch ruhig liegen geblieben	3835	2,44	15,84	2'140000	3750	>3850	3850	0,07	
32	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 400° C. erwärmt, dann langsam an der Luft abgekühlt und 24 Stunden nach Beendigung jenes Versuches gemessen.	3837	2,44	15,84	2'150000	3000	>3400	3400	0,43	
33	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 400° C. erwärmt, dann im Wasser von circa 15° C. rasch abgekühlt und sofort wieder gemessen.	3838	2,44	15,84	2'120000	1930	>2550	2550	0,37	
34	18 Stunden nach dem vorigen Versuch ruhig liegen geblieben.	3840	2,44	15,84	2'140000	2550	>3000	3000	0,33	
35	Einige Stunden nach dem vorigen Versuch auf 500° C. erwärmt, dann rasch abgekühlt und nach im Ganzen 48 Stunden gemessen.	3845	2,44	15,84	2'120000	430	>1710	1710	1,51	



Tabelle III.

Zwei Rundstäbe aus Schweisseisen, Lab. Nr. 1907<sup>a, b</sup>, Eisenbahnbetriebs-Material, auf Zug geprüft.  
Normalrundstäbe von 25 mm Durchm. und 250 mm Gebrauchslänge.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
		3. Ver- such Nr.	4. Vor dem Versuch Dehm. cm	5. Vor dem Versuch Länge f. d. Messung cm	6. Elasticitäts- Modul at	7. Elast. Grenze at	8. Streckgrenze at	9. Max. Belast. am Ende at	10. Bleibende Dehnung 1/1000 cm
Rundstab 1907 <sup>a</sup>									
1	Ursprünglicher Zustand	3277	2,49	15,00	2'080000	1950	2260	2460	330
2	48 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 12 t = 2510 at; am Zwischentage durch je 10 Hammerschläge auf jede der beiden Stirnflächen erschüttert, wobei der Stab in ungefähr senkrechter Richtung in der Hand gehalten wurde.	3281	2,47	15,33	2'005000	1880	2610	3030	300
3	44 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 14,5 t = 3090 at; am Zwischentage erschüttert wie vorhin	3285	2,445	15,63	1'995000	2345	3200	3625	600
4	49 Stunden nach dem Strecken mit 17 t = 3730 at, am Zwischentage erschüttert wie vorhin	3288	2,41	16,23	2'020000	1750	>3730	3730	0,57
5	3 Jahre und 23 Tage nach dem letzten Versuche ruhig liegen geblieben, dann in den 2 nächsten Tagen wiederholt im Schraubstock durch Drücken und Biegen gerade gerichtet und an den Einspannköpfen durch Nachdrehen adjustirt	3843	2,41	16,23	2'150000	1750	>2190	2190	0,27
6	7 Monate nach dem letzten Versuch, inzwischen ruhig liegen geblieben Hierauf wurde der Stab mit 20,4 t abgerissen. Zugfestigkeit = 4190 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 33 %, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 13,5 % für ursprünglich 25 cm. Bruchaussehen: feinschnig mit krystallinischen Punkten, stark zerklüftet.	3947	2,41	16,23	2'070000	2200	>3070	—	—
Rundstab 1907 <sup>b</sup>									
7	Ursprünglicher Zustand	3289	2,51	15,00	2'010000	1410	2120	2420	340
8	47 Stunden nach dem Strecken mit 12 t = 2510 at und dann sogleich darauf in der gleichen Weise wie bei Stab a vorgenommenem Erschüttern	3294	2,47	15,34	2'000000	1880	2710	3030	250
9	50 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 14,5 t = 3080 at und dann sogleich darauf, wie vorhin, vorgenommenem Erschüttern	3299	2,45	15,59	2'000000	1910	3185	3610	510
10	42 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 17 t = 3700 at und dann sogleich darauf, wie vorhin, vorgenommenem Erschüttern Hierauf wurde der Stab mit 20,5 t abgerissen. Zugfestigkeit = 4140 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 32 %, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 14,6 % für ursprünglich 25 cm.	3302	2,42	16,10	2'070000	1300 sehr ver- wischt	>3700	3700	0,99

Tabelle IV.

Sechs Rundstäbe aus Bessemer-Flusseisen, Lab. Nr. 1850<sup>a-f</sup>, aus einer und derselben Stange gedreht, auf Zug geprüft.  
Normalstäbe von 25 mm Durchm. und 250 mm Gebrauchslänge.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
		3. Ver- such Nr.	4. Vor dem Versuch Dehm. cm	5. Vor dem Versuch Länge f. d. Messung cm	6. Elasticitäts- Modul at	7. Elast. Grenze at	8. Streckgrenze at	9. Max. Belast. am Ende at	10. Bleibende Dehnung 1/1000 cm
Rundstab 1850 <sup>a</sup>									
1	Ursprünglicher Zustand	3274	2,53	15,00	2'190000	2485	2580	3180	560
2	30 Minuten nach dem Strecken mit 16 t = 3300 at	3274	2,485	15,56	2'160000	930	3300	3710	280
3	30 Minuten nach dem Strecken mit 18 t = 3790 at	3274	2,46	15,84	2'205000	630	3790	4210	570
4	30 Minuten nach dem Strecken mit 20 t = 4330 at	3274	2,425	16,41	2'135000	870	4330	4330	6,06
5	3 Jahre und 30 Tage nach dem vorigen Versuch ruhig liegen geblieben	3832	2,425	16,43	2'340000	>4330	>4330	4330	0,07
6	21 Stunden nach dem vorigen Versuch auf 500° C. erwärmt, dann in Wasser von 15° C. rasch abgekühlt und sofort geprüft	3833	2,425	16,43	2'340000	1190	>1720	1720	0,32

Tabelle IV. Fortsetzung.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ver- such Nr.	Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							10. Bleibende Dehnung 1/1000 cm
			Vor dem Versuch		Elasticitäts- Modul at	Elast. Grenze at	Streckgrenze at	Max. Belast. am Ende am Ende at		
			4. Dchm. cm	5. Länge f. d. Messung cm						
7	41 Stunden nach dem vorigen Versuch ruhig liegen geblieben . 2 Jahre und 97 Tage nach dem letzten Versuch und nachdem der Stab unmittelbar vorher kirschroth gegläht und langsam abgekühlt war, wurde er bei einem Durchmesser von 2,41 cm mit 22,25 t abgerissen Zugfestigkeit = 4420 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 66%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 25,3% für ursprünglich 25 cm. Bruchaussehen: sehnig mit hochaufgezogenem Rande.	3839	2,42	16,43	2'320000	1950	>2380	2380	0,61	
	Rundstab 1850 <sup>c</sup>	4596								
8	Ursprünglicher Zustand	3246	2,54	15,00	2'270000	2660	2960	3160	450	
9	25 Minuten nach dem Strecken mit 16 t = 3245 at und Er- schüttern mit je 10 Hammerschlägen auf die beiden Stirn- flächen, wobei der Stab in ungefähr senkrechter Richtung in der Hand gehalten wurde.	3246	2,50	15,45	2'220000	410	3245	3650	220	
10	25 Minuten nach dem Strecken mit 18 t = 3730 at und Er- schüttern wie vorhin	3246	2,48	15,67	2'100000	1035	3730	4140	400	
11	25 Minuten nach dem Strecken mit 20 t = 4260 at und Er- schüttern wie vorhin	3246	2,44	16,07	1'975000	1070	4260	4260	8,63	
12	3 Jahre und 58 Tage nach dem letzten Versuch ruhig liegen ge- blieben .	3829	2,44	16,07	2'370000	>4260	>4260	4260	— 0,20	
13	Sofort nach dem vorigen Versuch auf 500° C. erwärmt, dann langsam an der Luft abgekühlt und am nächsten Tage gemessen	3830	2,44	16,07	2'360000	4050	>4260	4260	0,10	
14	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch nochmal auf 500° C. er- wärmt, über Nacht im Ofen langsam abgekühlt und dann am Nachmittage geprüft .	3831	2,44	16,07	2'340000	>4260	>4260	4260	0,08	
15	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch nochmal auf 500° C. er- wärmt, dann rasch in Wasser von 15° C. abgekühlt und am nächsten Nachmittage gemessen	3834	2,44	16,07	2'330000	2780	>3410	3410	0,38	
	2 Jahre und 99 Tage nach dem letzten Versuch und nachdem der Stab unmittelbar vorher kirschroth gegläht und langsam abgekühlt war, wurde er bei einem Durchmesser von 2,44 cm mit 23,8 t abgerissen Zugfestigkeit = 4700 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 63%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 23,0% für ursprünglich 25 cm. Bruchaussehen: sehnig mit hochaufgezogenem Rande.	4596								
	Rundstab 1850 <sup>c</sup>									
16	Ursprünglicher Zustand	3239	2,53	15,00	2'230000	2470	2570	2970	350	
17	2 Stunden nach dem Strecken mit 15 t = 3030 at	3239	2,51	15,35	2'240000	810	3030	3640	400	
18	15 Stunden nach dem Strecken mit 18 t = 3740 at	3239	2,47	15,75	2'230000	1250	3740	4160	450	
19	7 Stunden nach dem Strecken mit 20 t = 4290 at	3241	2,43	16,20	2'270000	1070	4290	4290	3,67	
20	3 Jahre und 53 Tage ruhig liegen geblieben	3806	2,43	16,20	2'330000	>4290	>4290	4290	0,11	
21	Drei Tage nachher im Sandbade auf 250° C. erwärmt und langsam an der Luft abgekühlt, wodurch der Stab tiefblau geworden war; 8 Stunden nach dem Erwärmen gemessen	3811	2,43	16,20	2'360000	>4290	>4290	4290	— 0,03	
22	Nach 5 Tagen, nachdem der Stab in der Zwischenzeit 10mal auf 250° C. erwärmt und jedesmal langsam abgekühlt war.	3814	2,43	16,20	2'350000	>4290	>4290	4290	0,11	
23	2 Jahre und 79 Tage ruhig liegen geblieben	4390	2,45	16,21	2'200000	4350	4780	4880	—	
24	Unmittelbar hierauf bis 500° erwärmt, rasch abgekühlt und nach 2 Tagen wieder gemessen	4397	2,45	16,21	2'180000	2550	3860	3930	—	
	48 Tage darnach bei einem Durchmesser von 2,44 cm mit 26,25 t abgerissen Zugfestigkeit = 5200 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 62%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 23,3% für ursprünglich 25 cm. Bruchaussehen: ausserordentlich feinkörnig, fast sehnig, mit aufgezogenem Rand.	4596								
	Rundstab 1850 <sup>d</sup>									
25	Ursprünglicher Zustand	3240	2,53	15,00	2'280000	2390	2780	2980	360	
26	2 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 15 t = 3055 at und unmit- telbar darnach vorgenommenem Erschüttern mit 20 Hammer- schläge auf die Stirnfläche, wobei der Stab ungefähr senk- recht in der Hand gehalten wurde.	3240	2,50	15,36	2'260000	815	3055	3670	340	
27	15 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 18 t = 3730 at und Er- schüttern wie vorhin	3242	2,48	15,70	2'260000	830	3730	4140	390	

Tabelle IV. Fortsetzung.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ver- such Nr.	4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug						
			Vordem Versuch		Elasticitäts- Modul at	Elast. Grenze at	Streckgrenze at	Max. Belast. am Ende at	Bleibende Dehnung 1/1000 cm
			Dchm. cm	Länge f. d. Messung cm					
28	5 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 20t = 4250 at und Erschüttern wie vorher	3244	2,45	16,09	2'180000	850	4250	4250	5,95
29	3 Jahre und 53 Tage ruhig liegen geblieben	3807	2,44	16,12	2'360000	>4270	>4270	4270	0,02
30	9 Tage ruhig liegen geblieben, dann auf 300° C. erwärmt und langsam abgekühlt, 6 Stunden darauf gemessen	3815	2,44	16,12	2'360000	>4270	>4270	4270	— 0,02
31	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 350° C. erwärmt, dann langsam abgekühlt und am Tage darauf gemessen	3817	2,44	16,12	2'356000	>4270	>4270	4270	0,05
32	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 400° C. erwärmt, dann langsam abgekühlt und Tags darauf gemessen	3819	2,44	16,12	2'370000	>4270	>4270	4270	0,00
33	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 450° C. erwärmt, dann langsam abgekühlt und am Tage darnach gemessen	3821	2,44	16,12	2'340000	4060	>4270	4270	0,07
34	6 Stunden nach dem vorigen Versuch, nachdem der Stab zum zweitenmal auf 450° C. erwärmt und langsam abgekühlt war	3823	2,44	16,12	2'350000	4170	>4270	4270	0,10
35	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 500° C. erwärmt und langsam abgekühlt; am Tage darauf gemessen	3825	2,44	16,12	2'360000	3950	4270	4270	0,36
36	27 Stunden nach dem vorigen Versuch, nachdem der Stab in der Zwischenzeit auf 550° C. erwärmt und langsam abgekühlt war	3827	2,44	16,12	2'350000	3630	4040	4270	23,19
37	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 500° C. erwärmt, dann im Wasser von 15° C. rasch abgekühlt und 2 Tage darnach gemessen	3828	2,445	16,14	2'360000	2800	>3440	3440	0,86
38	2 Jahre 69 Tage ruhig liegen geblieben, dann mit 20t = 4390 at gestreckt und 2 Tage darauf gemessen	4393	2,41	16,58	2'150000	1860	4390	4600	—
39	3 Tage unverändert liegen geblieben	4400	2,41	16,58	2'180000	1860	4600	4820	—
40	Unmittelbar nach dem letzten Versuch auf 500° C. erwärmt, langsam abgekühlt und dann sofort wieder gemessen	4402	2,41	16,58	2'200000	4600	4600	4820	—
40a	17 Tage nachher: Tags zuvor in Kirschrothhitze geglüht und dann rasch in kaltem Wasser abgekühlt	4504	2,40	16,64	2'240000	660	3650	3800	—
	39 Tage nach dem letzten Versuch bei einem Durchmesser von 2,40 cm mit 25,75 t abgerissen Zugfestigkeit = 5120 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 62%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 24,7% für ursprünglich 25 cm. Bruchaussehen: ausserordentlich feinkörnig, fast sehnig, mit aufgezogenem Rand.	4596							
	Rundstab 1850 <sup>b</sup>								
41	Ursprünglicher Zustand	3238	2,525	15,00	2'275000	2690	2790	2990	360
42	51 Stunden nach dem Strecken mit 15t = 3080 at; am Zwischentage durch Hammerschläge erschüttert, wie die Stäbe e und d	3243	2,49	15,36	2'220000	3080	3490	3700	340
43	47 Stunden nach dem Strecken mit 18t = 3730 at; am Zwischentage erschüttert wie vorher	3245	2,48	15,70	2'220000	2900	3930	4140	370
44	46 Stunden nach dem Strecken mit 20t = 4260 at; am Zwischentage erschüttert wie vorher	3245	2,445	16,07	2'210000	2880	>4260	4260	0,40
45	Drei Jahre und 50 Tage ruhig liegen geblieben	3805	2,445	16,07	2'330000	>4260	>4260	4260	0,06
46	Einen Tag darnach, nachdem circa 3/4 Stunden vor der neuen Messung der Stab im Wasserbade auf 50° C. erwärmt und hierauf in 14° C. warmem Wasser rasch abgekühlt worden war	3808	2,445	16,07	2'330000	>4260	>4260	4260	— 0,08
47	Zwei Tage nachher, in der Zwischenzeit 10mal nacheinander auf 50° C. erwärmt und jedesmal in Wasser von 15° C. rasch abgekühlt	3809	2,445	16,07	2'330000	>4260	>4260	4260	— 0,06
48	6 Stunden nach dem vorigen Versuch im Sandbade bis zu 250° C. erwärmt, dann in Wasser von 15° C. rasch abgekühlt und 19 Stunden darnach gemessen	3812	2,445	16,07	2'330000	>4260	>4260	4260	— 0,04
49	4 Tage nachher, nachdem der Stab in der Zwischenzeit 10mal nacheinander bis 250° C. erwärmt und jedesmal rasch abgekühlt worden war	3813	2,445	16,07	2'330000	>4260	>4260	4260	0,07
50	2 Tage nachher, nachdem der Stab unmittelbar vor der neuen Messung auf 300° C. erwärmt und dann rasch abgekühlt worden war	3816	2,445	16,07	2'330000	>4260	>4260	4260	0,04
51	15 Stunden nach dem vorigen Versuch auf 350° C. erwärmt, in Wasser von 15° C. rasch abgekühlt und 6 Stunden darnach gemessen	3818	2,445	16,07	2'340000	3840	>4260	4260	0,25
52	24 Stunden nach dem vorigen Versuch und nachdem sogleich nach diesem der Stab auf 400° C. erwärmt und rasch abgekühlt worden war	3820	2,445	16,07	2'340000	3630	4050	4050	0,31
53	24 Stunden nach dem vorigen Versuch und nachdem der Stab zum zweitenmal auf 400° C. erwärmt und rasch abgekühlt worden war	3822	2,445	16,07	2'340000	>4260	>4260	>4260	0,02
54	17 Stunden nach dem vorigen Versuch und nachdem unmittelbar vor der neuen Messung auf 450° C. erwärmt und rasch abgekühlt worden war	3824	2,445	16,07	2'330000	3630	>4050	4050	0,21

Tabelle IV. Schluss.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ver- such Nr.	4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
			4. Vor dem Versuch Dehm. cm	5. Länge f. d. Messung cm	6. Elasticitäts- Modul at	7. Elast. Grenze at	8. Streckgrenze at	9. Max. Belast. am Ende at	10. Bleibende Dehnung 1/1000 cm	
55	24 Stunden nach dem vorigen Versuch, nachdem der Stab 16 Stunden vor der neuen Messung auf 500° C. erwärmt und rasch abgekühlt worden war	3826	2,44	16,07	2:340000	1920	3200	4260	230	
56	2 Jahre und 72 Tage nach jenem Strecken mit 20 t = 4310 at ruhig liegen geblieben	4389	2,43	16,30	2:190000	4420	4530	4530	—	
57	Unmittelbar hierauf auf 500° C. erwärmt, rasch abgekühlt und sogleich wieder gemessen	4389	2,43	16,30	2:180000	3020	3880	4000	—	
	60 Tage darnach bei einem Durchmesser von 2,42 cm mit 26,4 t abgerissen Zugfestigkeit = 5270 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Contraction = 62%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Dehnung = 24,8% für ursprünglich 25 cm. Bruchaussehen: ausserordentlich feinkörnig, fast sehnig, mit aufgezo-genem Rande.	4596								
	Rundstab 1850 <sup>a</sup>									
58	Nachdem innerhalb 43 1/2 Stunden der Stab 4mal mit 4, 4mal mit 8, dann 6mal mit 4, 2mal mit 8, 8mal mit 4, 5mal mit 8 t belastet worden war.	3821	2,53	15,00	2:250000	2485	2580	2980	430	
59	54 Stunden nach dem Strecken mit 15 t = 3000 at	3222	2,50	15,43	2:190000	2740	3350	3650	380	
60	44 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 18 t = 3770 at	3225	2,46	15,81	2:200000	2935	3980	4190	410	
61	45 1/2 Stunden nach dem Strecken mit 20 t = 4290 at	3226	2,43	16,22	2:200000	3000	>4290	4290	0,31	
62	Unmittelbar nach dem letzten Versuch noch 4mal nach einander mit 20 t belastet, dann 10 Tage ruhig gelegen	3236	2,43	16,23	2:270000	4330	>4330	4330	0,00	
63	1 Jahr und 36 Tage ruhig liegen geblieben	3440	2,43	16,22	2:340000	>4290	>4290	4290	-0,02	
64	Nach Beendigung der letzten Messung wurde der Stab der ganzen Länge nach im kalten Zustande zuerst mit dem gewöhnlichen starken Handhammer, dann mit dem Schmiedehammer durchgehämmert und dadurch die letzte Messlänge von 16,22 cm auf 16,27 cm gebracht, hierauf wurde er abgedreht und blieb dann 2 Jahre und 19 Tage ruhig liegen	3804	2,34	15,00	2:360000	2790	>4650	4650	2,74	
65	2 Jahre und 88 Tage ruhig liegen geblieben	4391	2,35	15,00	2:190000	4610	5000	5000	—	
66	Unmittelbar nach dem vorigen Versuch auf 500° C. erwärmt, langsam abgekühlt und dann 2 Tage ruhig gelegen	4396	2,35	15,00	2:180000	4720	4720	4840	—	
67	19 Tage nachher; Tags zuvor in Kirschrothhitze geglüht und langsam über Nacht im Feuer abgekühlt	4505	2,36	15,00	2:190000	2060	2290	2520	—	
	39 Tage nach dem letzten Versuche wurde der Stab, dessen Drehm. 2,34 cm war, mit 19,75 t abgerissen Zugfestigkeit = 4590 at, auf den Querschnitt (d = 2,34 cm) nach dem Hämmern und Abdrehen bezogen Contraction = 65%, auf denselben Querschnitt bezogen. Dehnung = 15,1% für ursprünglich 25 cm nach dem Hämmern. Bruchaussehen: feinsehnig mit hoch aufgezo-genem Rand.	4596								

Tabelle V.

Sechs Rundstäbe aus Bessemerstahl, Lab. Nr. 939<sup>a-f</sup>, auf Zug geprüft.

Die Stäbe c—f sind Normalstäbe von 25 mm Durchm. und 250 mm Gebrauchslänge; a und b haben die doppelte Länge.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ver- such Nr.	4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
			4. Vor dem Versuch Dehm. cm	5. Länge f. d. Messung cm	6. Elasticitäts- Modul at	7. Elast. Grenze at	8. Streckgrenze at	9. Max. Belast. am Ende at	10. Bleibende Dehnung 1/1000 cm	
	Rundstab 939 <sup>a</sup>									
1	Ursprünglicher Zustand	1731	2,52	15,00	2,050000	1960	>2710	2710	1,18	
2	Unmittelbar nach dem Entlasten von 13,5 t = 2710 at	1731	2,52	15,00	—	—	2810	3410	123,5	
3	18 Stunden nach dem Strecken mit 17 t = 3420 at Bei fortgesteigerter Belastung erfolgt der Bruch mit 26,5 t plötzlich mit starkem Schlag. Zugfestigkeit: 5310 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Bruchaussehen und Contraction wie bei e.	1731	2,51	15,12	—	—	3620	—	—	

Tabelle V. Schluss.

1. Laufende Nr.	2. Zustand und Behandlung des Probestückes	3. Ver- such Nr.	Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							10. Bleibende Dehnung $\frac{1}{1000} \text{ cm}$
			Vor dem Versuch		Elasticitäts- Modul at	Elast. Grenze at	Streckgrenze at	Max. Belast. am Ende at		
			4. Dehm. cm	5. Länge f. d. Messung cm						
Rundstab 939 <sup>a</sup>										
4	Ursprünglicher Zustand . . . . .	1732	2,51	15,00	2'080000	2320	>2830	2830	1,31	
5	Unmittelbar nach dem Entlasten von 14 t = 2830 at . . . . . Von 14 bis 18 t wurde alle 7 Minuten je eine Tonne, von 19 bis 24 t alle 10 Minuten je eine weitere Tonne zugelegt, nach Auflegen der 25. Tonne 13 Minuten gewartet und von da an die Belastung alle 3 Minuten um eine halbe Tonne gesteigert. So erfolgte der Bruch mit 27,5 t. Zugfestigkeit: 5560 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Kontraktion: 5%, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Bruch grobkörnig mit sehnigem Kern.	1732	2,51	15,00	—	—	2930	—	—	
vgl. die graphische Darstellung auf Blatt I										
Rundstab 939 <sup>b</sup>										
6	Ursprünglicher Zustand . . . . . Bei 24 t wurde nach je 1 Minute eine neue Tonne zugelegt, die 25. Tonne wirkte 5 Minuten, jede weitere zugelegte halbe Tonne 2 Minuten. Bruch mit 27 t. Zugfestigkeit: 5500 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Bruchaussehen und Kontraktion wie bei e.	1738	2,50	15,00	2'080000	1980	2850	—	—	
vgl. die graphische Darstellung auf Blatt I										
Rundstab 939 <sup>c</sup>										
7	Ursprünglicher Zustand . . . . .	1739	2,50	15,00	1'990000	1780	2650	3460	126,5	
8	Einen Tag nach dem Strecken mit 17 t = 3480 at und nachdem der Stab aus- und wieder eingespannt worden war . . . . .	1739	2,49 <sub>5</sub>	15,13	—	—	3790	4090	112,0	
9	Unmittelbar nach dem Entlasten von 20 t = 4110 at; der Stab nicht ausgespannt . . . . .	1739	2,49	15,24	1'930000	1230	4110	4310	59,5	
10	Unmittelbar nach dem Entlasten von 21 t = 4310 at; der Stab aus- und sogleich wieder eingespannt und gemessen . . . . .	1739	2,49	15,30	—	—	4310	4520	55,0	
11	Einen Tag nach dem Entlasten von 22 t = 4540 at; inzwischen Alles ruhig stehen gelassen . . . . . Nach dem Auflegen von 25 t fällt der Wagebalken plötzlich herunter; es werden kaum mehr 24 t getragen. Doch erhebt er sich durch Nachpumpen wieder und erfolgt der Bruch erst bei 25,5 t mit starkem Schläge. Zugfestigkeit: 5200 at, auf den ursprünglichen Querschnitt bezogen. Bruchaussehen und Kontraktion wie bei e.	1739	2,48 <sub>5</sub>	15,35	—	—	4950	—	—	
Rundstab 939 <sup>d</sup>										
12	Ursprünglicher Zustand . . . . . Der weitere Gang der Messung ist auf Blatt I graphisch dargestellt. Der Bruch erfolgt bei 26,25 t mit starkem Schlag. Zugfestigkeit: 5300 at. Bruchaussehen und Kontraktion wie bei e.	1742	2,51	15,00	2'130000	1870	2830	—	—	
Rundstab 939 <sup>e</sup>										
13	Ursprünglicher Zustand . . . . .	3278	2,50 <sub>5</sub>	15,00	2'090000	1830	2840	3245	80	
14	69 Stunden nach dem Strecken mit 16 t = 3245 at ruhig liegen geblieben . . . . .	3282	2,50 <sub>5</sub>	15,08	2'060000	3040	3650	4060	170	
15	1/2 Stunde nach dem Strecken mit 20 t = 4110 at und Geraderichten, blos durch Druck auf der Drehbank . . . . .	3282	2,49	15,25	2'030000	620	3900	4930	260	
16	68 Stunden nach dem Strecken mit 24 t = 4930 at ruhig liegen geblieben . . . . .	3287	2,46	15,51	2'110000	1050	>5050	5050	2,37	
17	3 Jahre und 27 Tage nach dem letzten Versuch ruhig liegen geblieben . . . . .	3853	2,45 <sub>5</sub>	15,51	2'280000	>5070	>5070	5070	— 0,16	
18	Nach dem vorigen Versuch ebenso behandelt, wie der Stab 1850 <sup>a</sup> (s. Tab. IV Nro. 64), nämlich der ganzen Länge nach im kalten Zustande zuerst mit dem gewöhnlichen starken Handhammer, dann mit dem Schmiedehammer durchgehämmert, wodurch jedoch die Messlänge 15,51 cm unverändert blieb. Hierauf wurde der Stab abgedreht und im Ganzen 2 Tage nach Beendigung des letzten Versuchs gemessen . . . . .	3856	2,39 <sub>5</sub>	15,00	2'250000	1900	4890	4890	5,19	
19	Nach 2 Jahren und 70 Tagen, Tags zuvor in Kirschrothhitze geglüht und in kaltem Wasser rasch abgekühlt (s. Tab. VII <sup>a</sup> 5. Spalte) . . . . . 39 Tage nachher bei einem Durchmesser von 2,41 cm mit 2,50 t abgerissen. Zugfestigkeit = 5480 at, auf den Durchmesser 2,41 cm bezogen. Kontraktion = 1%, auf den Durchmesser 2,41 cm bezogen. Dehnung = 0,5% für 15 cm nach dem Hämmern und Abdrehen. Bruchaussehen: grobkörnig mit sehnigem Kern.	4507	2,41	15,00	—	0	3730	3840	—	
		4596								

Tabelle VI.

Zwei Flachstäbe, aus einem  $80/10$  mm Flacheisen, Lab. Nr. 2335<sup>a, b</sup>, neben einander herausgeschnitten, auf Zug geprüft.  
Querschnitt  $24 \times 10$  mm; Gebrauchslänge 150 mm.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Laufende Nr.	Zustand und Behandlung des Probestückes	Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
		Ver- such Nr.	Vor dem Versuch		Elasticitäts- Modul at	Elast.-Grenze at	Streckgrenze at	Max. Belast. am Ende at	Bleibende Dehnung 1/1000 cm
			Querschn. cm	Länge f. d. Messung cm					
Flachstab 2335 <sup>b</sup>									
1	Ursprünglicher Zustand	4454	$2,44 \times 1,00$	10,00	2210000	1740	3380	3180	—
2	In Kirschrothhitze ausgeglüht und rasch in kaltem Wasser abgekühlt	4494	$2,44 \times 1,00$	10,00	2440000	110	2870	3070	—
	Nach 41 Tagen bei einem Querschnitt von $2,41 \times 1,00$ cm mit 11,25 t abgerissen	4596							
	In der Zwischenzeit noch 9mal geglüht und 1mal bis 250° erwärmt und theils langsam, theils rasch abgekühlt; zuletzt mit 60 mässig starken Schlägen des Schmiedehammers unter dem Vorsetzhammer bearbeitet.								
	Zugfestigkeit = 4670 at; Contraction = 25% (auf obigen Querschnitt bezogen); Dehnung = 15,8% für 15 cm (vor dem Hämmern aufgetragen).								
	Bruchaussehen: feinschnig, feingeschichtet.								
Flachstab 2335 <sup>a</sup>									
3	In Kirschrothhitze ausgeglüht und langsam im Feuer abgekühlt	4456	$2,38 \times 1,00$	10,00	2300000	1680	2630	2730	—
4	Nochmals in Kirschrothhitze ausgeglüht und rasch im kalten Wasser abgekühlt	4493	$2,38 \times 1,00$	10,00	2280000	420	2310	2520	—
	Nach 41 Tagen bei einem Querschnitt von $2,38 \times 0,98$ cm mit 10,2 t abgerissen	4596							
	Inzwischen ähnlich behandelt, wie den vorigen Stab, jedoch zuletzt mit 60 starken Schlägen mit dem Schmiedehammer bearbeitet.								
	Zugfestigkeit = 4380 at; Contraction = 22% (auf obigen Querschnitt bezogen).								
	Bruchaussehen wie beim vorigen Stab.								

Tabelle VII.

Zwei Flachstäbe, aus einem  $40/10$  mm Flacheisen, Lab. Nr. 2336<sup>a, b</sup>, hintereinander herausgeschnitten, auf Zug geprüft.  
Querschnitt  $24 \times 10$  mm; Gebrauchslänge 150 mm.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Laufende Nr.	Zustand und Behandlung des Probestückes	Ergebnisse der vorgenommenen Prüfung auf Zug							
		Ver- such Nr.	Vor dem Versuch		Elasticitäts- Modul at	Elast.-Grenze at	Streckgrenze at	Max. Belast. am Ende at	Bleibende Dehnung 1/1000 cm
			Querschn. cm	Länge f. d. Messung cm					
Flachstab 2336 <sup>b</sup>									
1	Ursprünglicher Zustand	4453	$2,39 \times 1,00$	10,00	2120000	1680	2720	2930	—
2	In Kirschrothhitze ausgeglüht und in kaltem Wasser rasch abgekühlt (s. Tab. VII <sup>a</sup> 6. Spalte)	4492	$2,39 \times 1,00$	10,00	—	0	2510	2720	—
	Nach 41 Tagen bei einem Querschnitt von $2,33 \times 1,00$ cm mit 10,0 t abgerissen	4596							
	In der Zwischenzeit so behandelt, wie die Stäbe 2335 <sup>a, b</sup> , aber nicht gehämmert. Zuletzt kirschroth geglüht und langsam abgekühlt.								
	Zugfestigkeit = 4290 at; Contraction = 36% (auf obigen Querschnitt bezogen); Dehnung 20,3% für 15 cm. Bruchaussehen: feinschnig, feingeschichtet.								
Flachstab 2336 <sup>a</sup>									
3	In Kirschrothhitze ausgeglüht und langsam im Feuer abgekühlt	4455	$2,39 \times 1,00$	10,00	2240000	1780	2620	2720	—
4	Nochmal in Kirschrothhitze ausgeglüht und im kalten Wasser rasch abgekühlt (s. Tab. VII <sup>a</sup> 7. Spalte)	4491	$2,39 \times 1,00$	10,00	—	0	2510	2720	—
	Nach 41 Tagen bei einem Querschnitt von $2,32 \times 1,00$ cm mit 11,1 t abgerissen	4596							
	In der Zwischenzeit ebenso behandelt, wie der Stab 2335 <sup>b</sup> in voriger Tabelle.								
	Zugfestigkeit = 4790 at; Contraction = 34% (auf obigen Querschnitt bezogen); Dehnung 18,7% für 15 cm (vor dem Hämmern aufgetragen). Bruchaussehen: feinschnig, feingeschichtet.								

**Tabelle VII<sup>a</sup>.**  
Ergänzungen zu den Tabellen I bis VII.

Belastung in Tonnen	1. Zu Tab. I Nr. 18 <sup>a</sup> Rundstab aus Schweiss- eisen Lab.-Nr. 938 <sup>a</sup> Nach dem Ausglühen in Kirschrothhitze und raschem Abkühlen in kal- tem Wasser d = 2,29 cm; l = 15,15 cm			2. Zu Tab. Nr. 37 Rundstab aus Schweiss- eisen Lab.-Nr. 938 <sup>c</sup> 2 Tage nach dem Erwärmen auf 500° C. und raschem Abkühlen in kaltem Wasser d = 2,43 cm; l = 16,07 cm			3. Zu Tab. I Nr. 45 Rundstab aus Schweiss- eisen Lab.-Nr. 938 <sup>d</sup> Unmittelbar nach dem Erwärmen auf 500° C. und raschem Abkühlen in kaltem Wasser d = 2,445 cm; l = 15,76 cm			4. Zu Tab. II Nr. 6 Rundstab aus Schweiss- eisen Lab.-Nr. 1908 2 Tage nach dem Erwärmen auf 500° C. und raschem Abkühlen in kaltem Wasser d = 2,435 cm; l = 16,06 cm			5. Zu Tab. V Nr. 19 Rundstab aus Bessemer- stahl Lab.-Nr. 939 <sup>b</sup> 1 Tag nach dem Glühen in Kirschrothhitze und raschem Abkühlen in kaltem Wasser d = 2,41 cm; l = 15,00 cm			Belastung in Tonnen	6. Zu Tab. VII Nr. 2 Flachstab aus Flacheisen Lab.-Nr. 2336 <sup>b</sup> Nach dem Ausglühen in Kirschrothhitze und raschem Abkühlen in kaltem Wasser Qu. = 2,39 × 1,00 cm; l = 10,00 cm			7. Zu Tab. VII Nr. 6 Flachstab aus Flacheisen Lab.-Nr. 2336 <sup>a</sup> Nachdem er zum 2. mal in Kirschrothhitze geglüht und rasch abgekühlt wor- den war Qu. = 2,39 × 1,00 cm; l = 10,00 cm		
	Spann- ung at	Verläng. Tausend- stel cm	Diff.	Spann- ung at	Verläng. Tausend- stel cm	Diff.	Spann- ung at	Verläng. Tausend- stel cm	Diff.	Spann- ung at	Verläng. Tausend- stel cm	Diff.	Spann- ung at	Verläng. Tausend- stel cm	Diff.		Spann- ung at	Verläng. Tausend- stel at	Diff.			
0	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0					
1	243	1,97	197	216	1,72	172	213	1,59	159	215	1,71	171	219	1,61	161	0,5	209	0,95	95			
2	485	4,61	264	431	3,52	180	426	3,35	176	430	3,67	196	439	3,25	164	1	418	1,91	96			
3	728	7,52	291	647	5,35	183	639	5,19	184	644	5,70	203	658	5,01	176	1,5	628	2,89	98			
4	971	10,50	298	862	6,28	193	852	7,01	182	859	7,74	204	877	7,01	200	2	837	4,19	130			
0	0	3,35		0	0,32		0	0,84		0	0,74		0	0,74		0	0	0,31				
4	971	10,62		862	7,30		852	7,07		877	7,02		877	7,02		2	837	4,22				
5	1214	13,56	294	1078	9,22	192	1065	8,95	188	1096	9,12	210	1096	9,12	210	2,5	1046	5,78	156			
6	1456	17,00	344	1293	11,20	198	1278	11,04	209	1316	11,32	220	1316	11,32	220	3	1255	7,60	182			
7	1699	20,58	358	1509	13,28	208	1491	13,21	217	1535	13,57	225	1535	13,57	225	3,5	1465	9,69	203			
8	1942	24,60	402	1724	15,49	221	1704	15,72	251	1754	15,90	233	1754	15,90	233	4	1674	11,95	226			
0	0	9,95		0	1,54		0	3,26		0	3,40		0	3,40		4	0	3,81				
8	1942	24,78		1724	15,53		1754	16,02		1754	16,02		1754	16,02		4	1674	12,16				
9	2184	29,10	432	1940	17,88	235	1974	18,32		1974	18,32	230	1974	18,32	230	4,5	1883	14,60	244			
10	2427	35,25	615	2155	20,49	261	2193	21,00		2193	21,00	268	2193	21,00	268	5	2092	18,10	350			
11	2670	43,82	847	2371	23,72	323	2412	23,77		2412	23,77	277	2412	23,77	277	5,5	2302	23,32	582			
12	2913	Scalen ver- schwinden		2586	28,23	451	2632	26,74		2632	26,74	297	2632	26,74	297	6	2511	33,43	1011			
0	0			0	7,05		0	7,79		0	7,79		0	7,79		6	0	19,59				
12				2586	28,55		2632	26,97		2632	26,97		2632	26,97		6	2511	34,70				
13				2802	36,16	761	2851	29,70		2851	29,70	273	2851	29,70	273	6,5	2511	Scalen ver- schwinden				
14				3017	Scalen laufen durch		3070	33,43		3070	33,43	373	3070	33,43	373		2720	Scalen ver- schwinden				
15							3289	37,33		3289	37,33	390	3289	37,33	390							
16							3509	41,73		3509	41,73	440	3509	41,73	440							
0							0	16,15		0	16,15		0	16,15								
16		4506. Vers. 29. Oct. 1885.			4395. Vers. 9. Oct. 1885.		3509	42,17		3509	42,17	506	3509	42,17	506		4492. Vers. 27. Oct. 1885.		4491. Vers. 27. Oct. 1885.			
17							3728	47,23		3728	47,23		3728	47,23								
18							3947	Scalen sind verschwunden		3947	Scalen sind verschwunden		3947	Scalen sind verschwunden								
														4507. Vers. 29. Oct. 1885.								



Tabelle IX.

Probestück für Zug und Druck aus Schweisseisen, Lab. Nr. 2867, von der Form der Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1.				2.				3.				4.				5.				6.			
	Im ursprüngl. Zustande				6 Tage nachher				51 Minuten nachher				5 Minuten nachher				20 Stunden nachher				1 Stunde nachher			
	Zug				Zug				Druck				Druck				Druck				Zug			
	d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm			
	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	246	0,66	0,03	2160000	246	0,63	0,03	2160000	246	0,69	0,03	2170000	246	0,60	0,03	2190000	246	0,63	0,03	2160000	246	0,12	0,03	2160000
8	492	1,34	0,06	2160000	492	1,31	0,06	2160000	492	1,36	0,06	2170000	492	1,26	0,06	2190000	492	1,29	0,06	2160000	492	1,55	0,06	2160000
12	738	2,02	0,09	2160000	738	1,95	0,09	2160000	738	2,04	0,09	2170000	738	1,90	0,09	2190000	738	1,98	0,09	2160000	738	2,41	0,09	2160000
16	984	2,70	0,12	2160000	984	2,62	0,12	2160000	984	2,76	0,12	2170000	984	2,58	0,12	2190000	984	2,59	0,12	2160000	984	3,34	0,12	2160000
0	0	0,07	0,03	2160000	0	0,02	0,03	2160000	0	0,18	0,03	2170000	0	-0,02	0,03	2190000	0	0,02	0,03	2160000	0	0,76	0,03	2160000
16	984	2,72	0,12	2160000	984	2,63	0,12	2160000	984	2,79	0,12	2170000	984	2,55	0,12	2190000	984	2,57	0,12	2160000	984	3,37	0,12	2160000
20	1230	3,39	0,15	2160000	1230	3,28	0,15	2160000	1230	3,51	0,15	2170000	1230	3,23	0,15	2190000	1230	3,24	0,15	2160000	1230	4,37	0,15	2160000
24	1476	4,04	0,18	2160000	1476	3,92	0,18	2160000	1476	4,24	0,18	2170000	1476	3,87	0,18	2190000	1476	3,90	0,18	2160000	1476	5,48	0,18	2160000
28	1722	4,74	0,21	2160000	1722	4,58	0,21	2160000	1722	5,07	0,21	2170000	1722	4,57	0,21	2190000	1722	4,57	0,21	2160000	1722	6,67	0,21	2160000
32	1968	5,42	0,24	2160000	1968	5,24	0,24	2160000	1968	6,16	0,24	2170000	1968	5,27	0,24	2190000	1968	5,25	0,24	2160000	1968	7,99	0,24	2160000
0	0	0,15	0,06	2160000	0	0,01	0,06	2160000	0	0,94	0,06	2170000	0	0,02	0,06	2190000	0	0,05	0,06	2160000	0	2,88	0,06	2160000
32	1968	5,46	0,24	2160000	1968	5,22	0,24	2160000	1968	6,31	0,24	2170000	1968	5,29	0,24	2190000	1968	5,28	0,24	2160000	1968	8,12	0,24	2160000
34	2091	5,80	0,25	2160000	2091	5,63	0,25	2160000	2091	6,45	0,25	2170000	2091	5,37	0,25	2190000	2091	5,36	0,25	2160000	2091	9,56	0,25	2160000
36	4857. Vers. 6. Oct. 1885.				2214	6,15	0,26	2160000	2214	8,76	0,26	2170000	2214	8,02	0,26	2190000	2214	6,25	0,26	2160000	2214	9,56	0,26	2160000
40					0	0,41	0,16	2160000	0	2,90	0,16	2170000	0	1,15	0,16	2190000	0	0,28	0,16	2160000	0	3,71	0,16	2160000
0					4404. Vers. 12. Oct. 1885.				4404. Vers. 12. Oct. 1885.				0	1,06 n. 20 Std.	0,16	2190000	4404. Vers. 13. Oct. 1885.				4404. Vers. 13. Oct. 1885.			

Belastung in Tonnen	7.				8.				9.				10.				11.				12.				
	46 Minuten nachher				30 1/2 Stunden nachher				15 1/2 Stunden nachher				2 Stunden nachher				9 Minuten nachher, nachdem inzwischen 4 mal zwischen 0 u. 18 t Belastg. gewechselt und dadurch die totale Verlängerung auf 3,65, die bleibende auf 0,72/1000 erhöht worden war				27 Stunden nachher				
	Druck				Druck				Zug				Zug				Zug				Druck				
	d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				
	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	Spannung	Verlängerung	Differenzen	Elast. Modul	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	246	0,77	0,03	2160000	246	0,66	0,03	2250000	246	0,82	0,03	2160000	246	0,69	0,03	2160000	246	0,69	0,03	2160000	246	0,68	0,03	2160000	
8	492	1,65	0,06	2160000	492	1,31	0,06	2250000	492	1,79	0,06	2160000	492	1,33	0,06	2160000	492	1,32	0,06	2160000	492	1,35	0,06	2160000	
12	738	2,62	0,09	2160000	738	1,96	0,09	2250000	738	2,93	0,09	2160000	738	2,00	0,09	2160000	738	1,96	0,09	2160000	738	2,14	0,09	2160000	
16	984	3,63	0,12	2160000	984	2,62	0,12	2250000	984	4,33	0,12	2160000	984	2,76	0,12	2160000	984	2,61	0,12	2160000	984	2,90	0,12	2160000	
0	0	0,99	0,04	2160000	0	0,00	0,04	2160000	0	1,70	0,04	2160000	1107	3,42	0,04	2160000	1107	2,98	0,04	2160000	1107	3,30	0,04	2160000	
16	984	3,65	0,12	2160000	0			2160000	0	1,70	0,12	2160000	0	0,48	0,12	2160000	0	0,06	0,12	2160000	0	0,31	0,12	2160000	
20	1230	4,71	0,15	2160000	4406. Vers. 14. Oct. 1885.			2160000	4406. Vers. 15. Oct. 1885.				4406. Vers. 15. Oct. 1885.				4406. Vers. 15. Oct. 1885.				1107	3,31	0,15	2160000	
24	1476	5,82	0,18	2160000				2160000														1230	3,78	0,18	2160000
28	1722	7,12	0,21	2160000				2160000														1476	4,73	0,21	2160000
32	1968	9,03	0,24	2160000				2160000														1722	5,83	0,24	2160000
0	0	3,68	0,12	2160000				2160000														1968	7,18	0,12	2160000
32	1968	9,36	0,24	2160000				2160000														0	1,79	0,24	2160000
36	2214	seelen laufen durch schwach quetschen	0,27	2160000				2160000														1968	7,93	0,27	2160000
	4406. Vers. 14. Oct. 1885.							2160000														2214	10,40	0,27	2160000
								2160000														2460	25,15	0,27	2160000
								2160000														2644	stark gequetscht	0,27	2160000
								2160000														4406. Vers. 16. Oct. 1885.			

Tabelle IX. Schluss.

Belastung in Tonnen	13.				14.				15.				16.				17.				18.			
	30 Minuten nachher				3 Tage nachher				2 Tage nachher				2 Tage nachher				5 Stunden nachher				Am folgenden Tage			
	D r u c k				Z u g				D r u c k				Z u g				D r u c k				Z u g			
	d = 4,58 cm; l = 5,93 cm				d = 4,58 cm; l = 5,93 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm			
	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at
0	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
4	243	0,69			243	0,74			243	0,66		2190000	243	0,64		2250000	243	0,62			243	0,65		
8	486	1,37			486	1,82			486	1,32			486	1,29			486	1,25			486	1,32		
12	729	2,05			729	3,09			729	1,98			729	1,92			729	1,88			729	1,96		
16	971	2,70			971	4,74			971	2,81			971	2,57			971	2,50			971	2,63		
0	0	0,00			0	2,11			0	0,15			0	0,02			0	0,00			0	0,03		
16	971	2,70		2100000	971	5,01			444. Vers. 21. Oct. 1885.				4457. Vers. 23. Oct. 1885.				971	2,56			971	2,65		
20	1214	3,40			1214	7,14							1092	2,84			1092	2,84			1092	2,99		
24	1457	4,10			1457	10,07							0	0,00			0	0,00			0	0,13		
28	1700	4,80			1700	13,31																		
32	1943	5,49			1943	20,00											4462. Vers. 23. Oct. 1885.			4468. Vers. 23. Oct. 1885.				
0	0	0,09			0	14,61																		
32	1943	5,52			1943	20,62																		
36	2186	6,38			2186	28,25																		
40	2429	8,02			2429	42,25																		
42	2550	9,90																						
44	2671	Scalen laufen durch			2671	Scalen laufen durch																		
	4406. Vers. 16. Oct. 1885.				4423. Vers. 19. Oct. 1885.																			

Belastung in Tonnen	19.				20.				21.				22.				23.							
	2 Tage nachher				2 1/2 Stunden nachher				4 1/2 Stunden später				1 Tag nachher				9 Stunden darnach							
	D r u c k				Z u g				D r u c k				Z u g				D r u c k							
	d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm				d = 4,58 cm; l = 5,94 cm							
	Spannung at	Verkürzung cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung cm	Differenzen	Elast. Modul at
0	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
4	243	0,63			243	0,68			243	0,67			243	0,67			243	0,65			243	0,65		
8	486	1,25			486	1,36			486	1,30			486	1,35			486	1,30			486	1,30		
12	729	1,87			729	2,00			729	1,94			729	2,01			729	1,96			729	1,96		
16	971	2,49			971	2,64			971	2,57			971	2,68			971	2,60			971	2,60		
0	0	0,00			0	0,06			0	0,00			0	0,06			0	0,01			0	0,01		
16	971	2,49			971	2,64			971	2,57			971	2,68			971	2,58			971	2,58		
18	1092	2,81			1092																			
20	0	0,00			1214	3,32			1214	3,20			1214	3,36			1214	3,22			1214	3,22		
22					0	0,08			1335	3,65			1335	3,69										
24									0	0,10			0	0,10			1457	4,07			0	0,25		
	4474. Vers. 26. Oct. 1885.				4478. Vers. 26. Oct. 1885.				4482. Vers. 26. Oct. 1885.				4486. Vers. 27. Oct. 1885.				4495. Vers. 27. Oct. 1885.							

Tabelle X.

Probestück für Zug und Druck aus Schweisseisen, Lab. Nr. 2867<sup>b</sup>, von der Form der Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1.			2.			3.			4.			5.			6.				
	Ursprüngl. Zustand			1½ Stunden nachher			6 Minuten darnach			15 Stunden nachher			45 Minuten nachher			45 Minuten nachher				
	Druck			Zug			Zug			Zug			Druck			Zug				
d = 4,63 cm; l = 6,00 cm			d = 4,63 cm; l = 6,00 cm			d = 4,63 cm; l = 6,00 cm			d = 4,63 cm; l = 6,00 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm		
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4	238	0,62	62	238	0,59	59	238	0,60	60	238	0,64	64	239	0,83	83	239	0,66	66		
8	475	1,25	63	475	1,26	67	475	1,22	62	475	1,27	63	477	1,89	100	477	1,50	84		
12	713	1,90	65	713	1,91	65	713	1,85	61	713	1,93	66	716	3,16	127	716	2,41	91		
16	950	2,54	64	950	2,57	65	950	2,50	65	950	2,57	64	955	4,75	150	955	3,42	101		
0	0	0,03	2200000	0	0,08	2220000	0	0,00	2250000	0	0,00	2180000	0	2,06		0	0,78			
16	950	2,55	64	950	2,58	67	950	2,50	65	950	2,56	67	955	4,90	196	955	3,48	105		
20	1188	3,19	67	1188	3,25	68	1188	3,15	65	1188	3,23	64	1193	6,86	283	1193	4,53	136		
24	1425	3,86	65	1425	3,93	70	1425	3,80	63	1425	3,87	64	1432	9,69	419	1432	5,89	168		
28	1663	4,51	65	1663	4,63	70	1663	4,42	63	1663	4,55	67	1671	13,88	645	1671	7,57	215		
32	1900	5,17	66	1900	5,33	70	1900	5,12	70	1900	5,22	67	1909	20,33	645	1909	9,72			
0	0	0,11		0	0,24		0	0,01	Stossen in der Maschine	0	0,02		0	14,81		0	4,20			
32	1900	5,18	62	1900	5,31	69	1900	5,10	67	1900	5,22	74								
36	2138	6,00	62	2138	6,00	66	2138	5,77	67	2138	5,96		4405. Vers. 14. Oct. 1885.			4405. Vers. 14. Oct. 1885.				
40	0	0,28		2375	6,96		2375	Sealen laufen rasch durch		2375	Sealen laufen duren. Strecken									
			4405. Vers. 13. Oct. 1885.						4405. Vers. 13. Oct. 1885.										4405. Vers. 14. Oct. 1885.	

Belastung in Tonnen	7.			8.			9.			10.			11.			12.			
	5½ Stunden darnach			5 Minuten nachher			30 Minuten nachher			15½ Minuten nachher			1 Stunde nachher			37 Minuten darnach			
	Zug			Zug			Druck			Zug			Druck			Zug			
d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	239	0,66	66	239	0,66	66	239	0,68	68	239	0,66	66	239	0,66	66	239	0,67	67	
8	477	1,36	71	477	1,34	68	477	1,35	67	477	1,21	65	477	1,32	66	477	1,33	66	
12	716	2,07	73	716	2,03	69	716	2,08	73	716	1,98	67	716	1,99	67	716	2,00	67	
16	955	2,80	73	955	2,71	68	955	2,90	82	955	2,66	68	955	2,67	68	955	2,66	66	
0	0	0,04		0	0,01		0	0,26		0	0,02		0	0,05		0		34	
16	955	2,77	73	955	2,71	70	955	2,93		955	2,66		955	2,66	35	955			
18	1074			1074			0	0,32		1074	3,01		1074	3,01		1074	3,00		
20	1193	3,50		1193	3,41		955	2,97											
0	0	0,04		0	0,02		0	0,33				4405. Vers. 15. Oct. 1885.	0	0,06		0	0,05		
			4405. Vers. 14. Oct. 1885.						4405. Vers. 14. Oct. 1885.										4405. Vers. 15. Oct. 1885.

Tabelle X. Schluss.

Belastung in Tonnen	13. Einen Tag nachher Druck				14. Drei Tage nachher Druck				15. Zwei Tage später Zug				16. 1 Stunde nachher Druck				17. Zwei Tage später Zug				18. 5 1/2 Stunden nachher Druck			
	d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			
	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	239	0,68	68	239	0,62	62		239	0,65	65		239	0,64	64		239	0,62	62		239	0,62	62		
8	477	1,33	65	477	1,24	62		477	1,27	62		477	1,30	66		477	1,25	63		477	1,25	63		
12	716	1,97	64	716	1,89	65		716	1,91	64		716	1,95	65		716	1,88	63		716	1,89	64		
16	955	2,63	60	955	2,51	62		955	2,54	63		955	2,60	65		955	2,51	63		955	2,51	62		
0	0	0,00		0	0,00			0	0,02			0	0,00			0	0,01			0	0,01			
16	955	2,63		955	2,51											955	2,51			955	2,51			
18																1074	2,86	35		1074	2,82	31		
20	1193	3,28	65	1193	3,13	62									0	0,05				0	0,01			
24	1432	4,00	72	1432	3,74	61																		
28	1671	5,01	101	1671	4,39	65																		
32	1909	6,85	184	1909	5,06	67																		
0	0	1,58		0	0,02																			
32	1909	7,05		1909	5,06																			
36	2148	13,14	609	2148	5,70	64																		
40	2387	34,18	2104	2387	6,45	75																		
42	2506	Scalen laufen durch																						
44				2625	8,15	170																		
48				2864	Scalen laufen durch																			
	4410. Vers. 16. Oct. 1885.				4424. Vers. 19. Oct. 1885.				4442. Vers. 21. Oct. 1885.				4445. Vers. 21. Oct. 1885.				4458. Vers. 23. Oct. 1885.				4463. Vers. 23. Oct. 1885.			

Belastung in Tonnen	19. Einen Tag später Zug				20. Zwei Tage nachher Druck				21. 2 1/2 Stunden darnach Zug				22. 4 Stunden später Druck				23. 16 1/2 Stunden darnach Zug				24. 9 Stunden darnach Druck			
	d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm				d = 4,62 cm; l = 6,05 cm			
	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	239	0,64	64	239	0,63	63		239	0,62	62		239	0,65	65		239	0,64	64		239	0,63	63		
8	477	1,29	65	477	1,24	61		477	1,27	65		477	1,28	63		477	1,28	64		477	1,27	64		
12	716	1,92	63	716	1,86	62		716	1,91	64		716	1,91	63		716	1,95	67		716	1,92	65		
16	955	2,57	65	955	2,49	63		955	2,56	65		955	2,54	63		955	2,60	65		955	2,58	65		
0	0	0,04		0	0,00			0	0,02			0	0,00			0	0,05			0	0,01			
16	955	2,60		955	2,49			955	2,58			955	2,53			955	2,60			955	2,58			
20	1193	3,25	65	1193	3,09	64		1193	3,20	62		1193	3,17	64		1193	3,26	66		1193	3,20	62		
22	1312			0	0,00			1312	3,59	36														
24	1432	3,92	67					0	0,19			1432	3,84	67		1432	4,14	64		1432	3,83	65		
0	0	0,09										0	0,03			0	0,34			0	0,01			
	4470. Vers. 24. Oct. 1885.				4475. Vers. 26. Oct. 1885.				4479. Vers. 26. Oct. 1885.				4482. Vers. 26. Oct. 1885.				4487. Vers. 27. Oct. 1885.				4496. Vers. 27. Oct. 1885.			

Tabelle XI.

Probestück für Zug und Druck aus Schweisseisen, Lab. Nr. 2867°, von der Form der Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1.				2.				3.				4.				5.				6.			
	Das Probestück war 3 Tage vorher zuerst mit 16 t 950 at auf Zug, dann ebenso weit auf Druck belastet worden, ohne dass die Elastizitätsgrenze überschritten worden wäre.				5 1/2 Std. nach Beendigung des vorig. Versuchs				2 Stunden nachher				15 Stunden nachher				2 Stunden nachher				1 3/4 Stunden nachher			
	Zug				Druck				Zug				Druck				Zug				Druck			
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	238	0,63	63	238	0,63	63		238	0,62	62		238	0,65	65		238	0,61	61		238	0,64	64		
8	475	1,26	64	475	1,27	64		475	1,26	64		475	1,30	65		475	1,22	61		475	1,28	64		
12	713	1,90	63	713	1,91	63		713	1,90	62		713	1,95	65		713	1,86	64		713	1,92	64		
16	950	2,53		950	2,54			950	2,52			950	2,60			950	2,50			950	2,56			
0	0	0,02		0	0,00			0	0,00			0	0,00			0	0,00			0	0,01			
16	950	2,54	64	950	2,55	62		950	2,52	62		950	2,60	63		950	2,50	63		950	2,57	63		
20	1188	3,18		1188	3,17			1188	3,14	62		1188	3,23	63		1188	3,13	65		1188	3,20	62		
24	0	0,02		0	0,00			1425	3,76	62		1425	3,86	32		1425	3,78	62		1425	3,82	63		
26								0	0,00			1544	4,18			1663	4,40			1663	4,45	63		
28												0	0,00			0	0,02			1781	4,77	32		
30																				0	0,01			
0																								

Belastung in Tonnen	7.				8.				9.				10.				11.				12.				13.			
	1 Stunde nachher				1 1/2 Std. nachher				15 Stunden nachher				6 Stunden nachher				3 Tage nachher				4 Tage nachher				22 Tage nachher			
	Zug				Druck				Zug				Druck				Zug				Druck				Zug			
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at					
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0							
4	238	0,62	62	238	0,65	65		238	0,64	64		238	0,68	68		238	0,62	62		239	0,64	64						
8	475	1,25	64	475	1,30	64		475	1,29	65		475	1,36	66		475	1,31	66		477	1,29	75						
12	713	1,89	63	713	1,94	62		713	1,94	63		713	2,02	65		713	2,17	111		716	2,04	109						
16	950	2,52		950	2,56			950	2,57			950	2,67			950	3,28			955	3,13							
0	0	0,00		0	0,01			0	0,00			0	0,03			0	0,81			0	0,63							
16	950	2,51	62	950	2,57	61		950	2,56	64		950	2,67	64		950	3,39	131		955	3,23	153						
20	1188	3,13	63	1188	3,18	62		1188	3,20	63		1188	3,31	62		1188	4,70	180		1193	4,76	244						
24	1425	3,76	64	1425	3,80	61		1425	3,83	63		1425	3,93	62		1425	6,50	240		1432	7,20	380						
28	1663	4,40	64	1663	4,41	61		1663	4,45	62		1663	4,55	62		1663	8,90	305		1671	11,00	540						
32	1900	5,04		1900	5,02	61		1900	5,09	64		1900	5,17	62		1900	11,95			1909	16,40							
0	0	0,03		0	0,01			0	0,04			0	0,03			0	6,80			0	11,04							
32				1900	5,02			1900	5,09			1900	5,18			1900	12,15			1909	16,95							
34				2019	5,36	34																						
36				0	0,05			2138	5,76			2138	5,81			2138	15,90			2148	24,63							
38								0	0,05			2256	16,88															
40												0	11,65			2375	24,96			2387	37,25							
42																2494	Strecken											
44																					2625	Seal. verschwind.						

**Tabelle XII.**

Probestück für Zug und Druck aus Schweisseisen, Lab. Nr. 2867<sup>d</sup>, von der Form der Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1. Vor 5 Tagen auf Druck und vor 2 Tagen auf Zug mit 167 = 984 at belastet, ohne die Elasticitäts-grenze zu überschreiten. Druck d = 4,55 cm; l = 6,00 cm				2. 3 Tage nachher Druck d = 4,57 cm; l = 5,96 cm				3. 50 Min. nach Beendigung des vorigen Versuchs Druck d = 4,59 cm; l = 5,85 cm				4. 4 Tage später Druck d = 4,60 cm; l = 5,80 cm				5. 6 1/2 Stunden später Druck d = 4,61 cm; l = 5,79 cm				6. 3 Tage nachher Zug d = 4,62 cm; l = 5,78 cm				7. 19 Tage später Druck d = 4,61 cm; l = 5,83 cm			
	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Diff. Elast. Modul at		Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at		Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at		Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at		Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at		Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at					
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	246	0,67	67	244	0,63	63		242	0,64	64	2240000	241	0,59	59	240	0,61	61	238	0,63	63	240	0,60	60	240	0,60	60	2380000	
8	492	1,35	68	488	1,26	63		483	1,26	62		481	1,17	58	479	1,26	65	476	1,25	62	479	1,18	54	479	1,18	54		
12	738	2,04	69	732	1,90	64		725	1,92	66		722	1,76	59	719	1,88	62	714	1,90	65	719	1,76	58	719	1,76	58		
16	984	2,70	66	976	2,52	62	2300000	967	2,61	69		963	2,40	64	959	2,50	62	952	2,68	78	959	2,35	59	959	2,35	59		
0	0	0,00		0	0,00			0	0,04			0	0,00		0	0,00		0	0,27		0	0,00		0	0,00			
16	984	2,70		976	2,52		2300000	967	2,61			963	2,40		959	2,50		952	2,72		959	2,35		959	2,35			
20	1230	3,33	63	1219	3,16	64		1208	3,29	68		1203	3,04	64	1198	3,13	64	1190	3,78	106	1198	3,01	66	1198	3,01	66		
24	1476	3,98	65	1463	3,80	64		1450	3,99	70		1444	3,65	61	1438	3,82	63	1429	5,39	161	1438	3,76	75	1438	3,76	75		
28	1722	4,61	63	1707	4,43	63		1692	4,70	71		1685	4,29	64	1678	4,49	67	1667	7,67	225	1678	4,62	86	1678	4,62	86		
32	1968	5,25	64	1951	5,05	62		1934	5,41	71		1925	4,92	63	1917	5,17	68	1905	11,22	355	1917	5,17		1905	11,22			
0	0	0,02		0	0,00			0	0,12			0	0,00		0	0,09		0	6,27		0	0,00		0	0,00			
32	1968	5,25		1951	5,05			1934	5,39			1925	4,92		1917	5,19		1905	11,65		1917	5,19		1905	11,65		4554. Vers. 19. Nov. 1885.	
36	2214	6,01	76	2195	5,71	66		2175	6,13	74		2166	5,53	61	2157	5,89	70	2143	16,00	435	2157	5,89		2143	16,00			
40	2460	32,06	2005	2439	6,40	69		2417	6,89	76		2407	6,18	65	2397	6,60	71	2381	23,02	762	2397	6,60		2381	23,02			
42	2583					76				82										314								
44			Sealen verschwinden unter Quetschen	2683	7,16	264		2659	7,71	82		2647	6,83	65	2636	7,38	78	2619	32,16	314	2636	7,38		2619	32,16			
48				2927	9,80	264		2900	8,62	91		2888	7,67	64	2876	8,17	79	2857	46,83	1467	2876	8,17		2857	46,83			
0				0	2,35			0	0,34			0	0,09		0	0,17		0	38,01		0	0,17		0	38,01			
18	1150. Vers. 21. Oct. 1885.			2927	10,80			2900	8,63	117		2888	7,66	79	2876	8,18	82	2857	47,62		2876	8,18		2857	47,62			
52				3171				3142	9,80			3129	8,45		3116	9,00		3095	Sealen verschwinden		3116	9,00		3095	Sealen verschwinden			
56								3384				3369	9,85	110	3355	10,10	316				3355	10,10						
60								3610	Sealen laufen durch unter Quetschen			3610	Sealen verschwinden langsam		3595	13,26	316				3595	13,26						
64															3835	Sealen verschwinden					3835	Sealen verschwinden						
				4166. Vers. 21. Oct. 1885.				4166. Vers. 21. Oct. 1885.				4500. Vers. 28. Oct. 1885.			4502. Vers. 23. Oct. 1885.			4509. Vers. 31. Oct. 1885.										

**Tabelle XIII.**

Probestück für Zug und Druck aus Bessemerstahl, Lab. Nr. 2868<sup>a</sup>, von der Form wie Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1. Ursprüngl. Zustand Zug d = 4,56 cm; l = 6,00 cm				2. 22 1/4 Stunden nachher Druck d = 4,54 cm; l = 6,05 cm				3. 5 Stunden später Zug d = 4,56 cm; l = 6,00 cm				4. 4 Tage nachher Druck d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				5. 2 Tage nachher Zug d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				6. 5 1/2 Stunden später Druck d = 4,55 cm; l = 6,03 cm			
	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at
	0	0	0			0	0		2'280000	0	0		2'260000	0	0		2'250000	0	0		2'310000	0	0	
4	245	0,66	66		247	0,66	66		245	0,65	65		246	0,65	65		246	0,64	64		246	0,62	62	
8	490	1,32	66		494	1,31	65		490	1,40	75		492	1,32	67		492	1,29	65		492	1,24	62	
12	735	1,99	67		741	2,07	76		735	2,30	90		738	1,98	66		738	1,93	64		738	1,89	65	
16	980	2,66	67		988	3,19	112		980	3,46	116		984	2,69	71		984	2,60	67		984	2,52	63	
0	0	0,03		2'230000	0	0,63			0	0,81			0	0,12			0	0,04			0	0,00		
16	980	2,66			988	3,37			980	3,50			984	2,72			984	2,60			984	2,52		
20	1225	3,33	67		1235	4,86	149		1225	4,64	114		1230	3,50	78		1230	3,27	67					
24	1470	3,99	66		1482	6,91	205		1470	6,02	138		0	0,30			0	0,04			1230	3,17	65	
28	1715	4,66	67		1729	9,26	235		1715	7,64	162										1476	3,84	67	
32	1960	5,31	65		1977	12,30	304		1960	9,59	195										0	0,10		
0	0	0,06			0	8,03			0	4,28														
32	1960	5,32			1977	12,65			1960	9,79														
36	2205	5,98	66		2224	15,63	298		2205	11,78	199		446. Vers. 21. Oct. 1885.				4459. Vers. 23. Oct. 1885.						4464. Vers. 23. Oct. 1885.	
40	2450	6,63	65		2471	19,68	405		2450	14,69	291													
44	2694	7,28	65		2718	24,50	482		2694	18,31	362													
48	2939	7,96	68		2965	30,17	567		2939	22,36	405													
0	0	0,05			0	22,00			0	14,08														
48	2939	7,96	57		2965	30,64			2939	22,92														
52	3184	8,53	68		3212	36,14	550		3184	27,33	441													
56	3429	9,21	68		3459	44,87	873		3429	34,60	727													
60	3674			Scalen laufen durch	3706			Scalen verschwinden rasch	3674			Scalen laufen durch												
64																								
0																								
	4408. Vers. 16. Oct. 1885.				4415. Vers. 17. Oct. 1885.				4417. Vers. 17. Oct. 1885.															

Belastung in Tonnen	7. 21 1/2 Stunden nach Beendigung des vorigen Versuchs Zug d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				8. 2 Tage nachher Druck d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				9. 4 Stunden nachher Zug d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				10. 2 1/4 Stunden später Druck d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				11. 16 Stunden später Zug d = 4,55 cm; l = 6,03 cm				12. 23 Stunden nachher Druck d = 4,55 cm; l = 6,03 cm			
	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at
	0	0	0	63		0	0	64		0	0	67		0	0	64		0	0	70		0	0	67
4	246	0,63	64		246	0,64	64		246	0,67	67		246	0,64	65		246	0,70	70		246	0,67	67	
8	492	1,27	64		492	1,29	64		492	1,34	66		492	1,29	65		492	1,37	67		492	1,32	65	
12	738	1,91	67		738	1,93	64		738	2,00	68		738	1,94	67		738	2,04	67		738	1,98	66	
16	984	2,58	67	2'300000	984	2,57	64	2'300000	984	2,68	68	2'300000	984	2,61	67	2'250000	984	2,71	67	2'200000	984	2,62	64	2'260000
0	0	0,02			0	0,00			0	0,01			0	0,01			0	0,06			0	0,00		
16	984	2,57			984	2,57			984	2,67			984	2,62			984	2,71			984	2,62		
20	1230	3,22	65		1230	3,22	65		1230	3,33	66		1230	3,28	66		1230	3,36	65		1230	3,26	64	
24	1476	3,89	67		1476	3,87	65		1476	4,00	67		1476	3,95	67		1476	4,01	65		1476	3,94	68	
28	0	0,06			0	0,00			1722	4,69	69		1722	4,71	76		1722	4,75	74		1722	4,67	73	
									0	0,05			0	0,14			0	0,10			0	0,07		
	4469. Vers. 24. Oct. 1885.				4476. Vers. 26. Oct. 1885.				4489. Vers. 26. Oct. 1885.				4484. Vers. 26. Oct. 1885.				4488. Vers. 27. Oct. 1885.				4497. Vers. 28. Oct. 1885.			

Tabelle XIV.

Probstück für Zug und Druck aus Bessemerstahl, Lab.-Nr. 2868<sup>b</sup>, von der Form wie Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1. Ursprünglicher Zustand Druck <i>d</i> = 4,53 cm; <i>l</i> = 6,00 cm				2. 25 Minuten nach Beendigung des vorigen Versuchs Druck <i>d</i> = 4,55 cm; <i>l</i> = 5,95 cm				3. 4 Stunden darnach Zug <i>d</i> = 4,55 cm; <i>l</i> = 5,93 cm				4. 3 Tage nachher Druck <i>d</i> = 4,53 cm; <i>l</i> = 6,00 cm				5. 24 Stunden darnach Zug <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm				6. 1 1/2 Stunden darnach mit 20 at auf Druck, dann 2 Tage später mit 217 auf Zug belastet, endlich 4 1/2 Stunden nachher auf Druck <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm								
	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	
0	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	248	0,67	67		246	0,65	65	2250000	246	0,65	65	2240000	248	0,68	68		248	0,64	64		248	0,60	60		248	0,60	60		
8	496	1,34	67		492	1,30	65		492	1,35	70		496	1,34	66		495	1,32	68		495	1,21	61		495	1,21	61		
12	744	2,02	68		738	1,95	65		738	2,57	122		744	1,99	65		743	2,00	68		743	1,84	63		743	1,84	63		
16	993	2,70	68		984	2,62	67		984	3,84	127		993	2,64	65		991	2,83	83		991	2,48	64		991	2,48	64		
0	0	0,00			0	0,10			0	1,29			0	0,02			0	0,21			0	0,00			0	0,00			
16	993	2,71			984	2,62	69		984	3,94	139		993	2,66	77		991	2,85	94		991	2,47	63		991	2,47	63		
20	1241	3,37	66		1230	3,31	69		1230	5,33	172		1241	3,43	97		1238	3,79			1238	3,10	63		1238	3,10	63		
24	1489	4,05	68		1476	4,00	69		1476	7,05	215		1489	4,40	119		0	0,50			1486	3,76	66		1486	3,76	66		
28	1737	4,69	64		1722	4,65	65		1722	9,20	261		1737	5,59	154		0	0,01			0	0,01			0	0,01			
32	1985	5,33	64		1968	5,35	70		1968	11,81	361		1985	7,13			4443. Vers. 21. Oct. 1885.				4445. Vers. 23. Oct. 1885.				4445. Vers. 23. Oct. 1885.				
0	0	0,00			0	0,16			0	6,46			0	1,10															
32	1985	5,33			1968	5,38	70		1968	12,08	372		1985	7,38	181														
36	2233	5,98	62		2214	6,08	68		2214	14,80	414		2233	9,10	270														
40	2481	6,60	66		2460	6,76	75		2460	18,94	468		2481	11,89	334														
44	2730	7,26	72		2706	7,51	83		2706	23,62	570		2730	15,23	414														
48	2978	7,98			2952	8,34			2952	29,32			2978	19,37															
0	0	0,03			0	0,21			0	20,91			0	11,24															
48	2978	7,96			2952	8,33	78		2952	29,81	611		2978	19,92	409														
52	3226	8,59	63		3198	9,11	105		3198	35,92	892		3226	24,01	652														
56	3474	14,60	601		3444	10,16			3444	44,84			3474	30,53															
60	3722				3690				3690				3722																
		Scalen ver-schwinden				Scalen laufen langsam durch					Scalen ver-schwinden				Scalen ver-schwinden														
		4416. Vers. 17. Oct. 1885.				4416. Vers. 17. Oct. 1885.					4418. Vers. 17. Oct. 1885.				4432. Vers. 20. Oct. 1885.														

Belastung in Tonnen	7. 22 Stunden nachher Zug <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm				8. 2 Tage darnach Druck <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm				9. 4 Stunden nachher Zug <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm				10. 2 1/2 Stunden nachher Druck <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm				11. 16 Stunden später Zug <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm				12. Einen Tag später Druck <i>d</i> = 4,535 cm; <i>l</i> = 5,98 cm								
	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	
0	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	248	0,64	64		248	0,66	65		248	0,65	65		248	0,65	65		248	0,62	62		248	0,66	66		248	0,66	66		
8	495	1,29	63		495	1,31	65		495	1,38	89		495	1,31	69		495	1,31	69		495	1,30	66		495	1,30	66		
12	743	1,92	65		743	1,97	66		743	2,18	86		743	2,00	67		743	2,00	68		743	1,96	65		743	1,96	65		
16	991	2,57			991	2,63			991	3,04			991	2,67			991	2,68			991	2,62			991	2,62			
0	0	0,04			0	0,03			0	0,39			0	0,03			0	0,08			0	0,00			0	0,00			
16	991	2,60			991	2,64			991	3,11			991	2,66			991	2,68			991	2,62			991	2,62			
20	1238	3,25	67		1238	3,30	67		1238	4,03	92		1238	3,33	69		1238	3,32	69		1238	3,27	68		1238	3,27	68		
24	1486	3,92			1486	3,97			1486	5,10	107		1486	4,02	69		1486	4,01	79		1486	3,95	69		1486	3,95	69		
28	0	0,09			0	0,05			1734	6,30	120		1734	4,71			1734	4,80			1734	4,64			1734	4,64			
		4471. Vers. 24. Oct. 1885.				4477. Vers. 26. Oct. 1885.					4481. Vers. 26. Oct. 1885.				4485. Vers. 26. Oct. 1885.				4489. Vers. 27. Oct. 1885.				4498. Vers. 28. Oct. 1885.						

Tabelle XV.

Probestück für Zug und Druck aus Bessemerstahl, Lab. Nr. 2868<sup>c</sup>, von der Form wie Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1.				2.				3.				4.				5.				6.			
	3 Tage vorher mit 20 t zuerst auf Zug, dann auf Druck belastet, ohne dass die Elastizitätsgrenze erreicht worden wäre				5 Stunden nachher Druck				2 Stunden nachher Zug				15 Stunden nachher Druck				2 Stunden nachher Zug				4 Stunden nachher Druck			
	Zug d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm			
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	244	0,67		244	0,68			244	0,64			244	0,64			244	0,67			244	0,64			
8	488	1,32		488	1,35			488	1,32			488	1,26			488	1,32			488	1,29			
12	732	1,98		732	2,00			732	1,99			732	1,91			732	1,98			732	1,94			
16	976	2,67		976	2,63			976	2,65			976	2,55			976	2,66			976	2,61			
0	0	0,03		0	0,03			0	0,01			0	0,00			0	0,02			0	0,00			
16	976	2,73		976	2,65			976	2,65			976	2,55			976	2,64			976	2,62			
20	1220	3,39		1220	3,30			1220	3,29			1220	3,20			1220	3,31			1220	3,25			
24	1463	4,08		1463	3,93			1463	3,96			1463	3,84			1463	3,98			1463	3,91			
28	0	0,06		0	0,03			1707	4,61			1707	4,49			1707	4,64			1707	4,55			
30								0	0,02			1829	4,81			1951	5,29			1951	5,19			
32								0				0	0,00			0	0,02			0	0,01			
32	4422. Vers. 19. Oct. 1885.											4431. Vers. 20. Oct. 1885.				4434. Vers. 20. Oct. 1885.				4436. Vers. 20. Oct. 1885.				
36																								

Belastung in Tonnen	7.				8.				9.				10.				11.				12.				13.			
	1 3/4 Std. nachher Zug				3/4 Stunden nachher Druck				21 Stunden nachher Zug				5 3/4 Std. nachher Druck				2 Tage nachher Zug				1 Tag nachher Druck				26 Tage nachher Zug			
	d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,57 cm; l = 6,00 cm				d = 4,59 cm; l = 5,94 cm			
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen	Elast. Modul at					
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0							
4	244	0,66		244	0,67			244	0,66			244	0,64			244	0,62			244	0,61							
8	488	1,30		488	1,31			488	1,32			488	1,27			488	1,29			488	1,23							
12	732	1,96		732	1,98			732	1,99			732	1,91			732	1,92			732	1,84							
16	976	2,64		976	2,61			976	2,66			976	2,55			976	2,54			976	2,52							
0	0	0,00		0	0,00			0	0,01			0	0,00			0	0,00			0	0,00							
16	976	2,62		976	2,62			976	2,67			976	2,55			976	2,52			976	2,55							
20	1220	3,28		1220	3,24			1220	3,32			1220	3,20			1220	3,13			1220	3,17							
24	1463	3,92		1463	3,90			1463	3,97			1463	3,83			1463	3,75			1463	3,76							
28	1707	4,57		1707	4,55			1707	4,63			1707	4,45			1707	4,37			1707	4,36							
32	1951	5,22		1951	5,19			1951	5,26			1951	5,09			1951	4,98			1951	5,00							
0	0	0,02		0	0,00			0	0,01			0	0,01			0	0,02			0	0,00							
32	1951	5,22		1951	5,19			1951	5,26			1951	5,10			1951	5,00			1951	5,02							
36	2195	5,88		2195	5,83			2195	5,92			2195	5,75			2195	5,62			2195	5,63							
40	2439	6,51		2439	6,46			2439	6,55			2439	6,39			2439	6,23			2439	6,25							
44	0	0,02		2683	7,09			2683	7,19			2683	7,02			2683	6,86			2683	6,82							
48				0	0,01			2927	7,82			2927	7,66			2927	7,46			2927	7,45							
0	4438. Vers. 20. Oct. 1885.							0	0,02			0	0,03			0	0,03			0	0,02							
48				4439. Vers. 20. Oct. 1885.				2927	7,66			3171	8,31			2927	7,50			2927	7,52							
52								4441. Vers. 21. Oct. 1885.				0	0,05			3171	8,12			3171	8,13							
56												0				3415	8,74			3415	8,60							
60												0				0	0,09			3659	9,12							
64												4449. Vers. 21. Oct. 1885.			4461. Vers. 23. Oct. 1885.	0			0	-0,18	auf 0,00 gestellt							
68																48	2927	7,45		48	2927	7,45						
																52	3171	8,06		52	3171	8,06						
																56	3415	8,67		56	3415	8,67						
																60	3659	9,26		60	3659	9,26						
																0	0	0,00		0	0	0,00						
																60	3659	9,27		60	3659	9,27						
																64	3902	9,75		64	3902	9,75						
																68	4146	1 Minute ruhig, dann laufen die Scalen durch. Quetschen.		68	4146	1 Minute ruhig, dann laufen die Scalen durch. Quetschen.						
																70	4268			70	4268							
																4473. Vers. 24. Oct. 1885.			4473. Vers. 24. Oct. 1885.									

**Tabelle XVI.**

Probestück für Zug und Druck aus Bessemerstahl, Lab. Nr. 2868<sup>d</sup>, von der Form wie Fig. 1 auf Blatt II.

Belastung in Tonnen	1. Nachdem das Probestück vor 4 Tagen mit 20 t zuerst auf Druck dann auf Zug und vor 2 Tagen mit 24 t auf Druck belastet worden war, ohne Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze				2. 25 Minuten nach Beendigung des vorigen Versuches				3. Drei Tage nachher				4. 8 Minuten nach Beendigung des vorigen Versuches				5. Drei Tage nachher				6. 23 Tage später			
	Druck				Druck				Druck				Druck				Zug				Druck			
	d = 4,53 cm; l = 6,00 cm				d = 4,55 cm; l = 5,95 cm				d = 4,56 cm; l = 5,91 cm				d = 4,58 cm; l = 5,87 cm				d = 4,59 cm; l = 5,84 cm				d = 4,58 cm; l = 5,89 cm			
	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung $\frac{1}{1000}$ cm	Differenzen	Elast. Modul at
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			
4	248	0,65	<sup>65</sup>	246	0,70	<sup>70</sup>		245	0,61	<sup>61</sup>		242	0,62	<sup>62</sup>	2310000	242	0,60	<sup>60</sup>		242	0,60	<sup>60</sup>		
8	496	1,33	<sup>68</sup>	492	1,39	<sup>69</sup>		490	1,22	<sup>61</sup>		486	1,22	<sup>61</sup>	2310000	483	1,20	<sup>60</sup>		486	1,19	<sup>59</sup>		
12	744	1,98	<sup>65</sup>	738	2,06	<sup>67</sup>		735	1,85	<sup>63</sup>		729	1,85	<sup>63</sup>	2310000	725	1,80	<sup>60</sup>		729	1,78	<sup>59</sup>		
16	993	2,67	<sup>69</sup>	984	2,72	<sup>68</sup>		980	2,47	<sup>62</sup>		971	2,48	<sup>63</sup>	2310000	967	2,40	<sup>61</sup>		971	2,39	<sup>61</sup>		
0	0	0,00		0	0,00		2180000	0	0,00		2340000	0	0,00		2310000	0	0,16			0	0,00		2390000	
16	993	2,66		984	2,71		2180000	980	2,48		2340000	971	2,48		2310000	967	2,40			971	2,39		2390000	
20	1241	2,31	<sup>65</sup>	1230	3,37	<sup>66</sup>		1225	3,09	<sup>61</sup>		1214	3,09	<sup>61</sup>	2310000	1208	3,13	<sup>73</sup>		1214	3,00	<sup>61</sup>		
24	1489	3,95	<sup>64</sup>	1476	4,05	<sup>68</sup>		1470	3,71	<sup>62</sup>		1457	3,71	<sup>62</sup>	2310000	1450	4,39	<sup>126</sup>		1457	3,68	<sup>68</sup>		
28	1737	4,63	<sup>68</sup>	1722	4,72	<sup>67</sup>		1715	4,32	<sup>61</sup>		1700	4,35	<sup>64</sup>	2310000	1692	6,39	<sup>200</sup>		1700	4,33	<sup>65</sup>		
32	1985	5,28	<sup>65</sup>	1968	5,40	<sup>68</sup>		1960	4,94	<sup>62</sup>		1943	5,00	<sup>65</sup>	2310000	1934	8,93	<sup>254</sup>		1943	5,00	<sup>67</sup>		
0	0	0,02		0	0,01		2310000	0	0,04		2340000	0	0,07		2310000	0	4,16			0	0,10		2390000	
32	1985	5,29		1968	5,37		2310000	1960	4,93		2340000	1943	5,00		2310000	1934	9,29			1943	5,01		2390000	
36	2233	5,93	<sup>64</sup>	2214	6,04	<sup>67</sup>		2205	5,55	<sup>62</sup>		2186	5,63	<sup>63</sup>	2310000	2175	12,10	<sup>281</sup>		2186	5,71	<sup>70</sup>		
40	2461	6,54	<sup>61</sup>	2460	6,78	<sup>74</sup>		2450	6,20	<sup>65</sup>		2429	6,32	<sup>69</sup>	2310000	2417	16,29	<sup>419</sup>		2429	6,51	<sup>80</sup>		
44	2730	7,16	<sup>62</sup>	2706	7,50	<sup>72</sup>		2694	6,82	<sup>62</sup>		2672	7,00	<sup>68</sup>	2310000	2659	21,19	<sup>490</sup>		2672	7,36	<sup>85</sup>		
48	2978	7,78	<sup>62</sup>	2952	8,23	<sup>73</sup>		2939	7,48	<sup>66</sup>		2914	7,70	<sup>70</sup>	2310000	2900	27,03	<sup>584</sup>		2914	8,31	<sup>95</sup>		
0	0	0,03		0	0,09			0	0,07			0	0,10			0	18,92			0	0,85			
48	2978	7,83	<sup>61</sup>	2952	8,23			2939	7,49	<sup>62</sup>		2914	7,70	<sup>66</sup>	2310000	2900	27,63			2900	27,63		4555. Vers. 19. Nov. 1885.	
52	3226	8,44	<sup>60</sup>	3198	8,99	<sup>76</sup>		3185	8,11	<sup>71</sup>		3157	8,36	<sup>73</sup>	2310000	3142	33,92	<sup>629</sup>		3142	33,92	<sup>629</sup>		
56	3474	9,04	<sup>61</sup>	3444	9,88	<sup>89</sup>		3429	8,82	<sup>68</sup>		3400	9,09	<sup>74</sup>	2310000	3384	43,30	<sup>939</sup>		3384	43,30	<sup>939</sup>		
60	3722	9,65		3690	11,03	<sup>115</sup>		3674	9,50	<sup>70</sup>		3643	9,83	<sup>77</sup>	2310000	3625				3625			Scalen sind verschwunden.	
64	3970			3936	15,15	<sup>412</sup>		3919	10,20			3886	10,60		2310000	3886				3886			4490. Vers. 27. Oct. 1885.	
0	0			0	3,92			0	0,11			0	0,20		2310000	0				0				
64				3936	16,10			3919	10,24			3886	10,61		2310000	3886				3886				
68	4451. Vers. 21. Oct. 1885.			4182	29,16	<sup>1306</sup>		4164	10,95	<sup>87</sup>		4129	11,34	<sup>87</sup>	2310000	4129				4129				
72				4428			Scalen verschwinden, Quetschen.	4409	11,82	<sup>129</sup>		4372	12,21	<sup>87</sup>	2310000	4372				4372				
76				4654				4654	13,11	<sup>1868</sup>		4615	13,08	<sup>115</sup>	2310000	4615				4615				
80				4899			4451. Vers. 21. Oct. 1885.	4899	31,79			4857	14,23		2310000	4857				4857				
0				0	18,61			0	18,61			0	0,77		2310000	0				0				
80				4899	34,12			4899	34,12			4857	14,34	<sup>225</sup>	2310000	4857				4857				
84				5144				5144				5100	16,59		2310000	5100				5100				
88				5343				5343				5343			2310000	5343				5343			Scalen laufen durch Quetschen.	
				4467. Vers. 24. Oct. 1885.				4467. Vers. 24. Oct. 1885.				4467. Vers. 24. Oct. 1885.			2310000	4467. Vers. 24. Oct. 1885.				4467. Vers. 24. Oct. 1885.				



Tabelle XVIII.

Probestück für Zug und Druck aus dem einen Bruchstück D einer auf Biegezugfestigkeit geprüften Eisenbahnschiene aus Thomas-Stahl (Fig 7, Blatt II).

Belastung in Tonnen	1.			2.			3.			4.			5.			6.		
	Im ursprüngl. Zustande			15 Stunden nachher			2 Stunden nachher			5¼ Stunden nachher			17 Stunden nachher			2 Stunden nachher		
	Zug			Druck			Zug			Druck			Zug			Druck		
	d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,01 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm		
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	223	0,50	50	223	0,47	50	223	0,50	57	223	0,52	52	223	0,50	50	223	0,45	47
4	446	1,00	49	446	0,97	49	446	1,07	57	446	1,04	59	446	1,00	49	446	0,92	47
6	669	1,49	47	669	1,46	49	669	1,64	59	669	1,53	49	669	1,49	50	669	1,40	49
8	892	1,96	47	892	1,95	49	892	2,23	59	892	2,02	51	892	1,99	50	892	1,89	49
0	0	0,00	2:280000	0	0,05		0	0,26		0	0,03		0	0,01		0	0,00	
8	892	1,97	50	892	1,98	53	892	2,28	62	892	2,03	50	892	2,00	51	892	1,89	49
10	1115	2,47	48	1115	2,51	63	1115	2,90	63	1115	2,53	56	1115	2,51	50	1115	2,38	49
12	1338	2,95	49	1338	3,14	61	1338	3,53	56	1338	3,09	56	1338	3,01	49	1338	2,87	49
14	1561	3,44	48	1561	3,75	102	1561	4,29		0	0,10		1561	3,50	56	1561	3,34	47
16	1784	3,92	48	1784	4,77		0	0,80					1784	4,06	56	1784	3,84	53
0	0	0,01		0	0,84							0	0,08		0	0,03		
16	1784	3,92	49	1784	4,87	111									1784	3,84	55	
18	2007	4,41	48	2007	5,98	154									2007	4,39		
20	2230	4,90	45	2230	7,52	178									0	0,10		
22	2453	6,35	50	2453	9,30	243												
24	2676	5,85	50	2676	11,73													
0	0	0,02		0	5,38													
24	2676	5,85	49															
26	2899	6,34	56															
28	3122	6,90																
30	3345	Sealen laufen durch																
	0	9,68																

Belastung in Tonnen	7.			8.			9.			10.			11.			12.			13.		
	¾ Stunden nachher			3 Stunden nachher			1 Stunde nachher			1¼ Std. nachher			14 Stunden nachher			1¾ Std. nachher			3¾ Std. nachher		
	Zug			Druck			Zug			Druck			Zug			Druck			Zug		
	d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm			d = 3,38 cm; l = 5,00 cm		
Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verkürzung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	Spannung at	Verlängerung 1/1000 cm	Differenzen Elast. Modul at	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	223	0,52	52	223	0,48	48	223	0,52	52	223	0,49	49	223	0,48	48	223	0,47	47	223	0,51	51
4	446	1,04	51	446	0,97	48	446	1,05	51	446	0,98	49	446	0,98	49	446	0,95	48	446	1,01	50
6	669	1,55	51	669	1,47	50	669	1,56	51	669	1,47	49	669	1,45	49	669	1,45	49	669	1,51	50
8	892	2,06	51	892	1,99	52	892	2,08	52	892	1,94	47	892	1,97	50	892	1,95	50	892	2,03	52
0	0	0,07	2:150000	0	0,02		0	0,07	2:140000	0	0,00	2:300000	0	0,02	2:230000	0	0,02	2:280000	0	0,01	2:210000
8	892	2,09		892	1,98		892	2,12		892	1,94		892	1,99		892	1,95		892	2,01	
10	1115	2,61	52	1115	2,49	51	1115	2,67	55	1115	2,44	50	1115	2,48	49	1115	2,43	48	1115	2,51	50
12	1338	3,11	52	1338	3,00	51	1338	3,20	53	1338	2,96	52	1338	2,99	51	1338	2,92	49	1338	3,01	50
14	1561	3,63	55	1561	3,52	53	1561	3,76	55	1561	3,51	55	1561	3,49	52	1561	3,41	51	1561	3,56	55
16	1784	4,18		1784	4,05		1784	4,31		0	0,11		1784	4,01		1784	3,92		0	0,06	
0	0	0,13		0	0,09		0	0,38					0	0,08		0	0,07				
16	1784	4,21		1784	4,06		1784	4,38					1784	4,02		1784	3,93				
18	2007	4,77	56	2007	4,57	51	2007	4,96	58				2007	4,58	56	2007	4,46	53			
20	0	0,30		2230	5,11	54	2230	5,62	56				0	0,14		0	0,10				
22				2453	5,70	50	0	0,68													
				0	0,31																

**Tabelle XIX.**

Dauer-Versuche mit 6 Vierkantstäben (Nr. 1—5 und 49), welche aus einer 11 mm dicken Schweissenblechtafel so herausgeschnitten wurden, wie Fig. 2 auf Blatt II zeigt.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at'	nach Ruhetagen	erfolgt bei wechschender Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung								Nach d. Brüche mit wechschender oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.	
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschnitt cm X cm	und der Länge für die Messung cm	Elasticitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Bleibende Dehnung dabei, 1 <sub>1000</sub> cm	Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung für die Länge mm		Betrag in Proc.
1 5	0				3178	1,12 X 1,03	10,00	2'090000	1043	—	—	3840	20	150	15,5	Feingeschichtet mit feinem Spalt in der Richtung der Schichtung.
2 1	378971	0—1080	0	—	3503	1,16 X 1,01	10,00	2'090000	1620	1710	0,17	—	—	—	—	
3 1	1'043422	0—1080	0	—	3513	1,16 X 1,01	10,00	2'010000	1620	1710	0,28	—	—	—	—	
4 1	1'096141	0—1080	5	—	3517	1,16 X 1,01	10,00	2'000000	1710	1880	0,13	—	—	—	—	
5 1	2'085884	0—1080	0	—	3534	1,16 X 1,01	10,00	2'050000	1620	1880	0,20	—	—	—	—	
6 1	5'170523	0—1080	50	—	3571	1,16 X 1,01	10,00	2'090000	1880	2051	0,22	3600	24	150	8,1	Bruch wie bei Nr. 5.
7 2	369800	0—1500	0	—	3502	1,16 X 1,04	10,00	2'030000	>1670	1670	0,09	—	—	—	—	
8 2	1'029189	0—1500	0	—	3512	1,16 X 1,04	10,00	2'065000	>1670	1670	0,01	—	—	—	—	
9 2	1'114623	0—1500	4	—	3516	1,16 X 1,04	10,00	2'020000	>1670	1670	0,24	—	—	—	—	
10 2	2'104366	0—1500	0	—	3533	1,16 X 1,04	10,00	2'025000	>1670	1670	0,08	—	—	—	—	
11 2	5'189005	0—1500	50	—	3570	1,16 X 1,04	10,00	2'100000	2020	2270	0,55	3710	28	150	10,4	Bruch wie bei Nr. 5.
12 3	364456	0—2000	0	—	3501	1,16 X 1,02	10,00	2'030000	1525	2030	0,66	—	—	—	—	
13 3	1'025506	0—2000	0	—	3511	1,16 X 1,02	10,00	2'070000	>2030	2030	0,07	—	—	—	—	
14 3	1'110940	0—2000	4	—	3515	1,16 X 1,02	10,00	2'020000	>2030	2030	0,11	—	—	—	—	
15 3	2'098014	0—2000	0	—	3532	1,16 X 1,02	10,00	2'020000	>2030	2030	0,08	—	—	—	—	
16 3	5'182653	0—2000	48	—	3569	1,16 X 1,02	10,00	2'100000	2200	2460	0,49	3730	19	150	12,5	Bruch wie bei Nr. 5.
17 4	353569	0—2500	0	—	3500	1,15 X 1,05	10,00	2'055000	2310	2480	0,42	—	—	—	—	
18 4	992525	0—2500	0	—	3510	1,15 X 1,04	10,00	1'985000	2330	2500	—	—	—	—	—	
19 4	1'086227	0—2500	4	—	3514	1,15 X 1,04	10,00	2'050000	2290	2500	0,21	—	—	—	—	
20 4	2'066685	0—2500	0	—	3531	1,15 X 1,04	10,00	2'050000	2500	2500	0,25	—	—	—	—	
21 4	2'288446	0—2500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	10	150	0,9	Bruch, ausserhalb der 150 mm liegend, ist zum grösseren Theil eigenthümlich hell, glänzend und krystallinisch, gegen den übrigen kleineren, sehnigen Theil scharf abgegrenzt.	
22 49	1'708010	0—2000	1 4	—	4514	1,12 X 1,10	10,00	2'060000	1790	2110	0,62	—	—	—	—	Die Walzoberfläche nur leicht abgeschliffen.
23 49	3'872604	0—2000	3 4	—	4612	1,12 X 1,10	10,00	2'160000	2190	2440	0,78	—	—	—	—	Noch im Betrieb.

Tabelle XX.

Dauer-Versuche mit 17 Vierkantstäbchen (Nr. 6—19 und 46—48), welche aus einer 11 mm dicken Flusseisenblechtafel so herausgeschnitten wurden, wie Fig. 3, Blatt II zeigt.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at	und Kubetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung								Nach d. Bruche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.	
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschnitt cm × cm	und der Länge für die Messung cm	Elasticitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Bruchhöhe Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}$ cm	Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung für die Länge mm Betrag in Proc.		
1 10	0	—	—	—	3541	1,05 × 1,03	10,00	2160000	2385	—	—	4330	60	150	21,3	Feinschnitz. mit Spalt.
2 9	0	—	—	—	3540	1,05 × 1,03	10,00	2120000	2410	2780	0,46	—	—	—	—	
3 9	1859826	0—2440	48	—	3568	1,05 × 1,03	10,00	2050000	2500	2780	0,37	—	—	—	—	
4 9	3666435	0—2440	1	—	3605	1,05 × 1,03	10,00	2190000	2870	3150	—	—	—	—	—	
5 9	4422300	0—2440	54	—	3621	1,05 × 1,03	10,00	2150000	2870	2960	0,19	—	—	—	—	
6 9	5568081	0—2440	0	—	3730	1,05 × 1,03	10,00	2160000	2870	2960	0,08	—	—	—	—	
7 9	6235000	0—2440	4	—	3763	1,05 × 1,03	10,00	2195000	2960	3150	1,82	—	—	—	—	
8 9	6675923	0—2440	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	16	150	0,8	Bruch, von einer Stelle ausgehend, wo ein Schiefer an der Oberfläche war, zeigt um diese Stelle herum die charakteristische matte und feinkörnige Struktur innerhalb einer Viertelsellipse, die gegen den übrigen feinschnitzigen Theil scharf abgegrenzt ist. Zwei feine Spalten. Einschnürung nur an der schnitzigen Seite.
9 9	6675923	0—2440	—	—	—	1,06 × 0,51	—	—	—	—	—	4080	59	50	25,8	Feinschnitz. wie Nr. 10.
10 46	2197786	0—2440	1/8	—	4341	1,09 × 0,93	10,00	2110000	2745	2940	0,17	—	—	—	—	
11 46	3553388	0—2440	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	21	—	—	Das Stäbchen hatte ursprünglich eine Walzdalle; der Bruch erfolgt aber nicht durch diese. Die Bruchfläche zeigt an einer Ecke eine schwärzliche Stelle und von dieser ausgehend das charakteristische Ansehen der Brüche in der Wohler'schen Maschine, nämlich eine mattgläserige, durch einen Ellipsenbogen scharf begrenzte Fläche; der aussenhalb derselben liegende Theil ist feinschnitzig, wie bei Nr. 10. Feine Spalten, Einschnürung nur an der schnitzigen Seite.
12 47	2290801	0—2440	1 3/4	—	4295	1,07 × 1,01	10,00	2220000	2685	3060	0,29	—	—	—	—	Mit allerselts gut polierter Oberfl.
13 47	4488587	0—2440	1/6	—	4342	1,07 × 1,01	10,00	2145000	1670	2220	0,52	—	—	—	—	Das Stäbchen zeigte beim Anspannen aus der Wohler'schen Maschine die flammigen Zeichnungen, welche beim Beginn des Streckens auftreten.
14 47	4488587	0—2440	2 1/8	—	4344	1,07 × 1,01	10,00	2185000	2410	2780	0,30	—	—	—	—	
14 47	6567489	0—2440	1/16	—	4371	1,07 × 1,01	10,00	2160000	2590	2960	0,24	—	—	—	—	
15 47	8864182	0—2440	1/6	—	4512	1,07 × 1,01	10,00	2160000	2780	2980	0,10	—	—	—	—	
— 47	11028776	0—2440	3/4	—	4613	1,07 × 1,01	10,00	2270000	3060	3330	0,22	—	—	—	—	Noch im Betrieb.
16 48	2891519	0—2440	2	—	4297	1,09 × 0,99	10,00	2060000	2500	2780	0,28	—	—	—	—	Mit ursprünglicher, rauher, aber dem Anscheine nach unverletzter Oberfläche.
17 48	5089305	0—2440	1/5	—	4343	1,09 × 0,99	10,00	2180000	2685	2960	0,28	—	—	—	—	
18 48	7168207	0—2440	1/4	—	4374	1,09 × 0,99	10,00	2150000	2500	2960	3,91	—	—	—	—	
19 48	7348246	0—2440	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	21	—	—	Aussehen der Bruchfl. fast genau so, wie bei Nr. 46, nur liegt das Centrum des schwärzl. Fleckens ca. 2 mm von der Ecke der Bruchfl. entfernt. Ein eingewalzter Schiefer an dies. Stelle bemerkbar.

Tabelle XX. Fortsetzung.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at	und Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	unter Versuch Nr.	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung							Nach d. Bruche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.		
						bei dem Querschnitt cm × cm	und der Länge für die Messung cm	Elastizitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Bleibende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}$ cm	Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung für die Länge mm Betrag in Proc.			
20 7	675128	0—3000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	23	150	1,3 bis 2,9	Um eine Ecke der Bruchfläche zu- nächst ein kleiner, tiefschwarzer Viertelskreis, dann ein heller mit körniger Struktur, dessen Grenzen gegen den übrigen sehnigen Theil etwas verwischt sind.	
21 15	0	—	—	—	3585	1,12 × 1,05	10,00	2:270000	2650	3080	1,84	—	—	—	—	—	—
22 15	655938	0—3000	54	—	3622	1,05 × 0,82	10,00	2:310000	2910	3020	1,25	—	—	—	—	—	—
23 15	1013788	0—3000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	13	150	0,5 bis 1,8	Um einen Punkt in der einen Seite der Bruchfläche eine scharf be- grenzte schwarze Halbellipse und darum die hellfarbige körnige Struktur, welche gegen den üb- rigen sehnigen Theil nicht scharf begrenzt ist. Aeusserlich kein Fehler bemerkbar.	
24 6	0	—	—	—	3574	1,05 × 1,01	10,00	2:100000	2900	3000	1,39	—	—	—	—	—	—
25 6	321990	0—3500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	32	150	7,4 bis 9,5	Schwarzer, elliptisch begrenzt. Fleck um einen Punkt in der Mitte der Seite der Bruchfläche, wo äusser- lich ein Schiefer eingewalzt ist, darum herum die charakteristi- sche helle feinkörnige, elliptisch begrenzte Fläche, gegen den üb- rigen sehnigen Theil scharf ab- begrenzt. Contraction und Dehn- ung auf der sehnigen Seite grösser, als auf der entgegengesetzten.	
26 11	0	—	—	—	3581	1,05 × 1,14	10,00	2:220000	2900	3000	0,40	—	—	—	—	—	—
27 11	764225	0—3500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	20	150	0,2 bis 1,8	Scharf begrenzte matte, feinkörnige Viertels-Ellipsenfläche um eine Ecke der Bruchfläche.	
28 14	0	—	—	—	3584	1,09 × 1,05	10,00	2:230000	3040	3100	3,65	—	—	—	—	—	—
29 14	163178	0—3500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	22	150	2,6 bis 4,2	Bruch durch die Einschnitte für die Messlänge 10,00 cm. Elliptische matte, feinkörnige Zeichnung um die Mitte der Seite, wo äusserlich ein solcher Einschnitt war.	
30 16	0	—	—	—	3623	1,05 × 1,03	10,00	2:205000	2500	2960	2,19	—	—	—	—	—	—
31 16	440118	0—3500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	20	150	3,1 bis 4,6	Bruch wie bei Nr. 7.	
32 17	0	—	—	—	3624	1,05 × 1,03	10,00	2:180000	2310	2960	1,56	—	—	—	—	—	—
33 17	621191	0—3500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	16	150	5,1	Bruch wie bei Nr. 6; äusserlich kein ursprünglicher Fehler wahr- zunehmen.	
34 8	0	—	—	—	3572	1,05 × 1,03	10,00	2:170000	3050	3150	3,28	—	—	—	—	—	—
35 8	337066	0—4000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	36	150	9,2 bis 11,4	Bruch ähnlich wie bei Nr. 6; ellip- tische Zeichnung um eine Stelle, wo ursprünglich ein Schiefer ein- gewalzt ist.	

Tabelle XX. Schluss.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen <i>ab</i> bis <i>af</i> und Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung							Nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung			Bruchaussehen etc.	
				unter Versuch Nr.	bei dem Querschnitt <i>em</i> × <i>en</i>	und der Länge für die Messung <i>em</i>	Elastizitäts-Modul <i>af</i>	Elast. Grenze <i>af</i>	Max. Belastung <i>af</i>	bleibende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}em$ Zugfestigkeit <i>af</i>	Querschn. Contr. <i>Proc.</i>	Dehnung für die Länge <i>mm</i> Betrag in <i>Proc.</i>	Dehnung für die Länge <i>mm</i> Betrag in <i>Proc.</i>		
36:12	0	—	—	3582	1,05 × 1,13	10,00	2:230000	3070	3190	14,21	—	—	—	—	
36:12	385204	0—4000	1	3606	1,03 × 0,61	10,00	2:140000	1590	3175	1,08	—	—	—	—	
37:12	485131	0—4000	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	19	150	0,2 bis 1,9	Ähnlich wie bei Nr. 11, aber eine schwarze Stelle an der Ecke scharf markiert. Ausserlich kein Fehler bemerkbar.
38:13	0	—	—	3583	1,05 × 1,13	10,00	2:210000	2730	2940	1,95	—	—	—	—	
39:13	75251	0—4000	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	22	150	8,1	Bruch erfolgt durch das eine Paar Schnitte für Anbringung des Spiegel-Apparates. Beiderseits symmetrische elliptische Zeichnung mit dem Mittelpunkt in den Mitten der Seiten und jener Schnitte. Bruch merkwürdig bez. des Einflusses ursprünglicher Fehler.
40:18	0	—	—	3625	1,05 × 1,03	10,00	2:200000	1850	2590	0,50	—	—	—	—	
41:18	113794	0—4000	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	25	150	10,6 bis 11,9	Scharf markierte charakteristische Zeichnung im Viertelskreis um eine Ecke der Bruchfläche. An dieser Ecke ausserlich kein Fehler bemerkbar.
42:19	0	—	—	3626	1,05 × 1,02	10,00	2:210000	1720	2620	1,11	—	—	—	—	
43:19	38033	0—4000	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	48	150	16,3	Bruch feinsehnig, ohne Spur einer Zeichnung, aber zerrissen.

**Tabelle XXI.**

Dauerversuche mit 6 Vierkantstäbchen (Nr. 20—25), aus einem <sup>80</sup>/<sub>10</sub> mm Flacheisen (Lab. Nr. 2335) so herausgeschnitten, wie Fig. 4 auf Blatt II zeigt.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at	nach Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung								Nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung			Bruchaussehen etc.
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschnitt cm × cm	und der Länge für die Messung cm	Elastizitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Bleibende Dehnung dabei, <sup>1</sup> / <sub>1000</sub> cm Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung			
													für die Länge mm	Betrag in Proc.		
1 20	0	—	—	—	3726	1,04 × 1,01	10,00	1970000	1810	—	—	4050	24	150	12,6	Bruch feinschnig, feingeschichtet, etwas zerrissen; äusserlich aufgerissen.
2 21	0	—	—	—	3727	1,04 × 1,00	10,00	1950000	1730	1920	0,13	—	—	—	—	
3 21	667681	0—2000	4	—	3761	1,04 × 1,00	10,00	1850000	2310	2690	0,17	—	—	—	—	
4 21	4300135	0—2000	0	—	3787	1,03 × 0,99	10,00	2080000	2750	2940	0,08	—	—	—	—	
5 21	6541835	0—2000	0	—	3847	1,03 × 0,98	10,00	2110000	2970	3170	0,41	—	—	—	—	
6 21	9113462	0—2000	1/2	—	3877	1,03 × 0,98	10,00	2150000	3270	—	—	4310	15	150	12,4	Bruch ähnlich wie bei Nr. 20.
7 22	0	—	—	—	3728	1,04 × 0,99	10,00	1940000	1650	1940	0,24	—	—	—	—	
8 22	667681	0—2500	4	—	3762	1,04 × 0,95	10,01	1940000	2420	2630	7,00	—	—	—	—	
9 22	4330767	0—2500	0	—	3788	1,04 × 0,94	10,01	2100000	2550	2650	2,62	—	—	—	—	
10 22	6598670	0—2500	1	—	3848	1,04 × 0,94	10,03	2170000	1630	2860	1,88	—	—	—	—	
11 22	7404448	0—2500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bruch feinschnig, mit einem unregelmässig begrenzten feinkrystallinischen oder körnigen Theil.
12 23	0	—	—	—	3729	1,04 × 0,99	10,00	1980000	1650	1950	0,22	—	—	—	—	
13 23	641677	0—3000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	17	150	4,2	Bruch feinschnig mit hellfarbiger, körniger, zum Theil krystallinischer, rechteckig begrenzter Stelle an einer Ecke der Bruchfläche.
14 24	0	—	—	—	3764	1,04 × 1,07	10,00	1930000	1620	2160	0,39	—	—	—	—	
15 24	243987	0—3000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	9	150	1,9	Bruch einerseits durch die Marke für den Spiegelapparat und durch dieselbe etwas beeinflusst. Schwarz gefärbte Stelle an einer Ecke, welche der Mittelpunkt eines elliptischen Umrisses ist, innerhalb dessen die charakteristische helle, feinkörnige und krystallinische Struktur der Brüche in der Dauermaschine ist, doch wird der elliptische Umriss durch einzelne helle unregelmässig begrenzte Stellen überragt.
16 25	0	—	—	—	3765	1,04 × 1,04	10,00	1910000	1670	2220	0,20	—	—	—	—	
17 25	842082	0—3000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	9	150	2,5 bis 4,7	Bruch sehr eigenthümlich. Im Ganzen wie bei Nr. 20 mit einem, um eine Ecke gezogenen Ring eines Viertelskreises von ca. 5 mm Halbmesser und 0,5 mm Breite von heller Farbe und körniger oder krystallinischer Struktur. Eine 1,5 mm dicke Lamelle gar nicht durchgerissen.

**Tabelle XXII.**

Dauerversuche mit 4 Vierkantstäben (Nr. 26—29), aus einem  $40/10\text{ mm}$  Flacheisen (Lab. Nr. 2336) so herausgeschnitten, wie Fig. 5 auf Blatt II zeigt.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen <i>at</i> bis <i>at</i>	und Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung										Nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschnitt <i>cm</i> × <i>cm</i>	und der Länge für die Messung <i>cm</i>	Elastizitäts-Modul <i>at</i>	Elast. Grenze <i>at</i>	Max. Belastung <i>at</i>	bleibende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}\text{ cm}$ Zugfestigkeit <i>at</i>	Querschn. Contr. <i>Proc.</i>	Dehnung für die Länge <i>mm</i> Betrag in <i>Proc.</i>				
1 26	0	—	—	—	3774	1,02 × 0,95	10,00	1'990000	2270	—	—	4020	33	100	14,2	Bruch liegt ausserhalb der 100 <i>mm</i> ; sehr feinschnig, feingeschichtet, dicht.	
2 27	0	—	—	—	3775	1,05 × 1,01	10,00	2'030000	2075	2260	0,34	—	—	—	—		
3 27	2'675518	0—2100	0	—	3790	1,05 × 1,00	10,00	2'065000	2000	2290	0,35	—	—	—	—		
4 27	4'914984	0—2100	0	—	3850	1,05 × 1,00	10,00	2'150000	2475	2860	0,34	—	—	—	—		
5 27	7'474377	0—2100	0	—	3879	1,04 × 1,01	10,00	2'170000	2760	2950	—	—	—	—	—		
6 27	9,678951	0—2100	1/4	—	3916	1,04 × 1,01	10,00	2'110000	2290	2810	4,39	—	—	—	—		
7 27	11'824287	0—2100	3/4	—	3941	1,04 × 1,01	10,00	2'020000	2380	2860	4,49	—	—	—	—		
8 27	13'715438	0—2100	1	—	3969	1,04 × 1,01	10,00	1'960000	2480	2670	0,56	—	—	—	—		
9 27	16'480816	0—2100	1/4	—	4033	1,04 × 1,01	10,00	2'060000	2480	2670	0,40	4140	32	150	16,0	Feinschnig wie bei Nr. 26.	
10 28	0	—	—	—	3776	1,01 × 1,00	10,00	2'060000	2180	2380	0,24	—	—	—	—		
11 28	2'308442	0—2630	0	—	3789	1,00 × 0,94	10,00	2'070000	2550	2770	0,14	—	—	—	—		
12 28	4'547908	0—2630	0	—	3849	1,01 × 0,94	10,00	2'150000	2320	2530	0,10	—	—	—	—		
13 28	7'107301	0—2630	0	—	3878	1,01 × 0,94	10,00	2'200000	2840	2840	—	—	—	—	—		
14 28	9'311875	0—2630	1/4	—	3917	1,01 × 0,94	10,00	2'170000	740	—	—	4050	35	150	19,6	Schon bei 2800 <i>at</i> starkes Strecken. Bruch sehr feinschnig, mit eigen- thümlich matter Stelle am Rande, an die charakteristischen Stellen der Brüche in der Wöhler'schen Maschine erinnernd.	
15 29	0	—	—	—	3777	1,04 × 1,01	10,00	2'010000	1810	2290	0,42	—	—	—	—		
16 29	672802	0—3000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	14	—	—	Grosse hellfarbige, körnige und krystallinische Viertelsellipse um eine Ecke der Bruchfläche, scharf begrenzt gegen den übrigen schnig- igen Theil.	

**Tabelle XXIII.**

Dauerversuche mit 4 Rundstäben (Nr. 30—33), aus dem einen Bruchstück einer 12,8 cm dicken, auf Biegezugfestigkeit geprüften Achswelle von Thomas-Stahl (bez. mit A II) so herausgeschnitten, wie Fig. 6, Blatt II zeigt.

Ein Normal-Rundstab aus einem nebenanliegenden Stück derselben Achswelle ergab: Elast. Mod. = 2'270000 at; Elast. Grenze bei 2680 at; Zugfestigkeit = 6120 at; Dehnung für ursprüngl. 25 cm = 18,7 %; Contraction = 38 %.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at	nach Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung							Nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.		
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschn. Dehm. cm	und der Länge für die Messung cm	Elastizitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Bleibende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}$ cm Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung für die Länge mm Betrag in Proc.			
1 30	543510	0—2480	0	—	3880	1,125	10,00	2'300000	2720	3020	0,13	—	—	—	—	
2 30	2748084	0—2480	0	—	3918	1,125	10,00	2'210000	3120	3220	0,02	—	—	—	—	
3 30	4918378	0—2480	$\frac{1}{2}$	—	3943	1,125	10,00	2'170000	3120	3220	0,82	—	—	—	—	
4 30	9577098	0—2480	$\frac{1}{2}$	—	4035	1,125	10,00	2'220000	3120	3220	0,25	—	—	—	—	
5 30	9577098	0—2480	$\frac{1}{2}$	—	4038	0,88	10,00	2'090000	2470	2630	0,35	—	—	—	—	Das Stäbchen war nach Beendigung des vorigen Versuches auf 0,88 cm Dehm. abgedreht worden.
6 30	618352	0—4000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	Die Bruchfläche zeigt am Rande eine schwarze Stelle und um diese, als nun ein Mittelpunkt, die durch einen Bogen scharf abgegrenzte matte, feinkörnige Struktur, die für die Brüche durch wechselnde Belastung charakteristisch ist. Im Uebrigen ist die Struktur bedeutend gröber, aber noch immer feinkörnig.	
7 31	2'204574	0—3000	1	—	3919	1,02	10,00	2'290000	2810	2940	0,13	—	—	—	—	
8 31	4382122	0—3000	0	—	3944	1,02	10,00	2'290000	3060	3300	5,70	—	—	—	—	
9 31	9'040842	0—3000	$\frac{2}{3}$	—	4036	1,02	10,00	2'290000	3180	3430	4,78	6300	44	150	17,8	Bruch sehr feinschnig, mild.
10 32	219981	0—4000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bruch erfolgt durch die Marke am einen Ende. Aussehen wie bei Nr. 30.	
11 33	60875	0—4000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bruch wie bei Nr. 30, mit einem Gussfehler in der matten, feinkörnigen Stelle.	

**Tabelle XXIV.**

Dauerversuche mit 4 Rundstäben (Nr. 34—37), aus den Köpfen der Bruchstücke einer auf Biegezugfestigkeit geprüften Eisenbahnschiene aus Thomas-Stahl so herausgeschnitten, wie Fig. 7 auf Blatt II zeigt.

Zwei Normal-Rundstäbe (25 mm Dehm.) aus den Köpfen anliegender Stücke derselben Schiene ergaben: Elast. Mod. = 2'230000—2'250000 at; Elast. Grenze bei 2800—3100 at; Zugfestigkeit = 5930—5950 at; Contr. = 34—46 %; Dehnung auf 250 mm: 19,6—22,0 %.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at	nach Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung							Nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.		
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschn. Dehm. cm	und der Länge für die Messung cm	Elastizitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Bleibende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}$ cm Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung für die Länge mm Betrag in Proc.			
1 34	1'784718	0—2500	0	—	3942	1,12	10,00	2'210000	2840	3050	0,25	—	—	—	—	
2 34	3'666441	0—2500	1	—	3968	1,12	10,00	2'150000	3250	3350	3,65	—	—	—	—	
3 34	6'450692	0—2500	$\frac{2}{3}$	—	4034	1,12	10,00	2'230000	3650	3760	15,82	—	—	—	—	
4 34	10'189642	0—2500	0	—	4190	1,12	10,00	2'250000	3650	—	—	6000	54	150	20,9	Bruch sehr feinschnig mit aufgezo- genem Rand.
5 35	7'905587	0—3000	$1\frac{3}{4}$	—	4294	1,02	10,00	2'140000	2690	—	—	5750	50	150	21,1	Bruch wie vorhin.
6 36	573276	0—4000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	Bruch hellfarbig, matt und feinkörnig um eine Stelle am Rand der Bruchfläche, die anscheinend einen Fehler enthält; im Uebrigen feinschnig; Grenze zwischen beiden bogenförmig aber etwas verwischt.	
7 37	556190	0—4000	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	12	—	—	Bruchaussehen wie vorhin.	

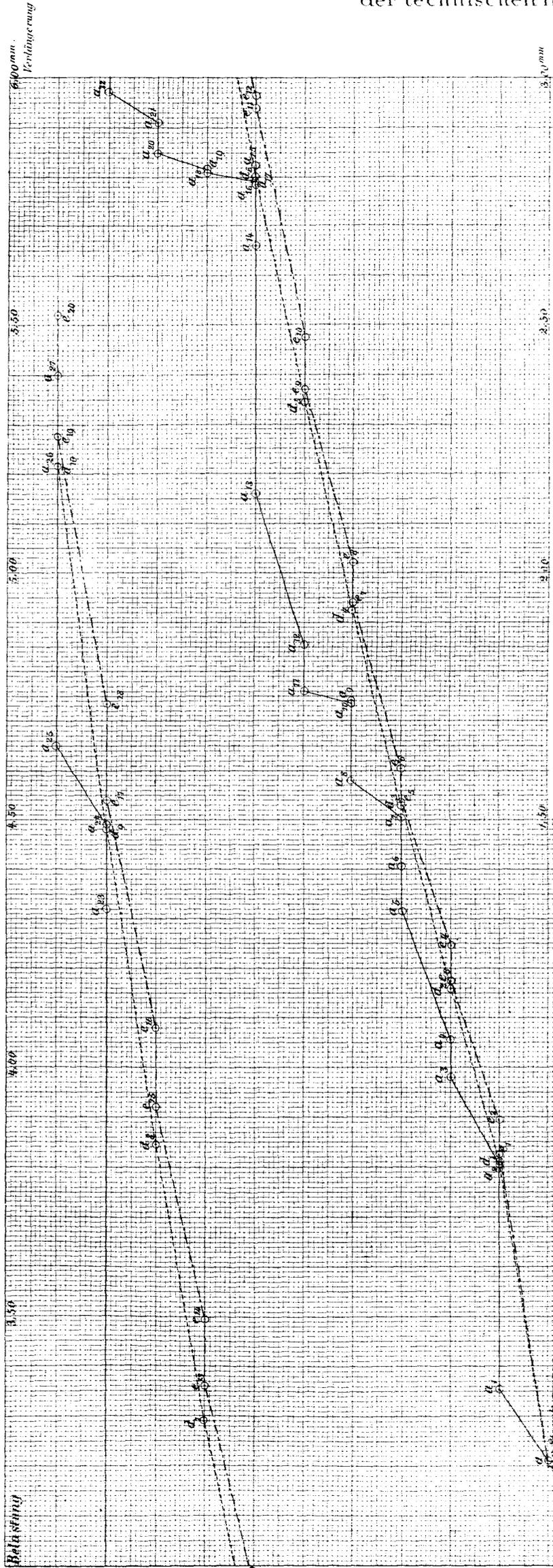
**Tabelle XXV.**

Dauerversuche mit 8 Vierkantstäben (Nr. 38—45), aus einer 12 mm dicken Kesselblechtafel von Thomas-Flusseisen so herausgeschnitten, wie Fig. 8 auf Blatt II zeigt. Vier aus derselben Tafel herausgeschnittene Lamellen a—d ergaben die untenstehenden Resultate:

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen at bis at	nach Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung								nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.	
					unter Versuch Nr.	bei dem Querschnitt cm × cm	und der Länge für die Messung cm	Elastizitäts-Modul at	Elast. Grenze at	Max. Belastung at	Beliebende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}$ cm	Zugfestigkeit at	Querschn. Contr. Proc.	Dehnung für die Länge mm Betrag in Proc.		
					Lam.											
1 38	3'031833	0—2800	2	—	4192	1,18 × 0,71	10,00	2'220000	2750	2800	10,32	—	—	—	—	
2 38	4'856400	0—2800	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	—	An einer Ecke der Bruchfläche, wo anscheinend eine Fehlerstelle im Material, ein schwarzer Fleck, um diesen die matte, hellfarbige, feinkörnige, für die Brüche mit wechselnder Belastung charakteristische Stelle, den grössten Theil des Querschnitts einnehmend; der übrige Theil feinschnig.
3 39	405009	0—3200	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32	—	Ähnlich wie bei Nr. 38; die matte feinkörnige Stelle durch einen Ellipsenbogen scharfbegrenzt und kleiner als vorher.
4 40	491301	0—3200	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	Bruch ähnlich wie bei den beiden vorigen Stäbchen, aber die schwarze Stelle nicht in einer Ecke, sondern nur nahe einer solchen, in einer Seite der Bruchfläche liegend.
5 41	884787	0—3200	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	—	Bruch ähnlich den vorigen; Fehlerstelle und schwarzgefärbte Stelle wieder in einer Ecke der Bruchfläche.
6 42	4'166617	0—2500	2	—	4296	1,18 × 0,83	10,00	2'200000	2810	2960	0,14	—	—	—	—	
7 42	6'344369	0—2500	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bruch erfolgt durch eine Stelle, wo sich an der Kante eine kleine Wulzdalle befindet. Um diese Ecke der Bruchfläche ein ganz regelmässiger schwarz gefärbter Viertelskreis. Darüber hinaus feinkörnige, hellfarbige, matte Struktur. Der Bruch in der Wöhler sehen Maschine erfolgt nur auf circ. $\frac{2}{3}$ des Querschnitts. Der andere Theil zeigt lockere Schichtung und streckt sich, besonders in der äussersten, 2 mm dicken Schichte stark. Bruchaussehen in diesem Theil durchweg körnig.
8 43	407846	0 2850	—	Bruch	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Bruch an einer Stelle mit unverbundenen Schichten, wovon einer der inneren Schichtungsflächen ein Schiefer in das Material hereinragt. Zwei der Schichten zeigen die hellfarbige, matte und körnige Struktur, in der dritten ist die Bruchfläche feinschnig und stark eingeschnürt.

Tabelle XXV. Schluss.

Laufende Nummer Bezeichnung Nr.	Nach Anstrengungen	zwischen den Spannungen <i>at</i> bis <i>at</i>	und Ruhetagen	erfolgt bei wechselnder Belastung	miter Versuch Nr.	ergibt die Prüfung mit ruhender Belastung							Nach d. Brüche mit wechselnder oder ruhender Belastung		Bruchaussehen etc.	
						bei dem Querschnitt <i>cm</i> × <i>cm</i>	und der Länge für die Messung <i>cm</i>	Elasticitäts-Modul <i>at</i>	Elast. Grenze <i>at</i>	Max. Belastung <i>at</i>	Bleibende Dehnung dabei, $\frac{1}{1000}$ <i>cm</i>	Zugfestigkeit <i>at</i>	Querschn. Contr. <i>Proc.</i>	Dehnung für die Länge <i>mm</i>		Betrag in <i>Proc.</i>
9 44	2'078902	0—2500	$\frac{1}{8}$	—	4373	1,11 × 0,88	10,00	2'170000	2650	2860	2,12	—	—	—	—	Oberfläche des Stäbchens allerseits blank poliert.
10 44	4'375595	0—2500	$\frac{1}{6}$	—	4511	1,11 × 0,88	10,00	2'040000	2450	2860	0,33	—	—	—	—	
— 44	5'802747	0—25 0	$\frac{1}{24}$	—	4604	1,11 × 0,88	10,00	2'170000	2450	2860	0,78	—	—	—	—	
— 44	6'540189	0—2500	$\frac{3}{4}$	—	4614	1,11 × 0,88	10,00	2'220000	2750	2960	7,08	—	—	—	—	Noch im Betrieb.
11 45	407846	0—2850	$\frac{1}{10}$	—	4372	1,12 × 0,77	10,00	2'200000	2090	2560	0,49	—	—	—	—	Oberfläche des Stäbchens allerseits blank poliert.
12 45	2'704639	0—2850	$\frac{1}{5}$	—	4513	1,12 × 0,77	10,00	2'090000	2560	2800	0,43	—	—	—	—	
13 45	4'869133	0—2850	$\frac{11}{12}$	—	4615	1,12 × 0,77	10,00	2'300000	2440	2800	0,22	—	—	—	—	Noch im Betrieb.



Drei Normal-Rundstäbe aus Bessemerstahl, Lab N<sup>o</sup> 959 a, d, e.  
25,1 mm Durchm., Gebrauchslänge 250 mm bei d. e. 500 mm bei a.

Die Verlängerungen auf 15<sup>cm</sup> gemessen.

Stab a

Von a bis a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> bis a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub> bis a<sub>5</sub>, a<sub>6</sub> bis a<sub>7</sub>, a<sub>8</sub> bis a<sub>9</sub>, a<sub>10</sub> bis a<sub>11</sub>, a<sub>12</sub> bis a<sub>13</sub>, a<sub>14</sub> bis a<sub>15</sub>, a<sub>16</sub> bis a<sub>17</sub>, a<sub>18</sub> bis a<sub>19</sub>, a<sub>20</sub> bis a<sub>21</sub>, a<sub>22</sub> bis a<sub>23</sub>, a<sub>24</sub> bis a<sub>25</sub>, a<sub>26</sub> bis a<sub>27</sub>, a<sub>28</sub> bis a<sub>29</sub>, a<sub>30</sub> bis a<sub>31</sub>, a<sub>32</sub> bis a<sub>33</sub>, a<sub>34</sub> bis a<sub>35</sub>, a<sub>36</sub> bis a<sub>37</sub>, a<sub>38</sub> bis a<sub>39</sub>, a<sub>40</sub> bis a<sub>41</sub>, a<sub>42</sub> bis a<sub>43</sub>, a<sub>44</sub> bis a<sub>45</sub>, a<sub>46</sub> bis a<sub>47</sub>, a<sub>48</sub> bis a<sub>49</sub>, a<sub>50</sub> bis a<sub>51</sub>, a<sub>52</sub> bis a<sub>53</sub>, a<sub>54</sub> bis a<sub>55</sub>, a<sub>56</sub> bis a<sub>57</sub>, a<sub>58</sub> bis a<sub>59</sub>, a<sub>60</sub> bis a<sub>61</sub>, a<sub>62</sub> bis a<sub>63</sub>, a<sub>64</sub> bis a<sub>65</sub>, a<sub>66</sub> bis a<sub>67</sub>, a<sub>68</sub> bis a<sub>69</sub>, a<sub>70</sub> bis a<sub>71</sub>, a<sub>72</sub> bis a<sub>73</sub>, a<sub>74</sub> bis a<sub>75</sub>, a<sub>76</sub> bis a<sub>77</sub>, a<sub>78</sub> bis a<sub>79</sub>, a<sub>80</sub> bis a<sub>81</sub>, a<sub>82</sub> bis a<sub>83</sub>, a<sub>84</sub> bis a<sub>85</sub>, a<sub>86</sub> bis a<sub>87</sub>, a<sub>88</sub> bis a<sub>89</sub>, a<sub>90</sub> bis a<sub>91</sub>, a<sub>92</sub> bis a<sub>93</sub>, a<sub>94</sub> bis a<sub>95</sub>, a<sub>96</sub> bis a<sub>97</sub>, a<sub>98</sub> bis a<sub>99</sub>, a<sub>100</sub> bis a<sub>101</sub>.

Stab e

Von e bis e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub> bis e<sub>3</sub>, e<sub>4</sub> bis e<sub>5</sub>, e<sub>6</sub> bis e<sub>7</sub>, e<sub>8</sub> bis e<sub>9</sub>, e<sub>10</sub> bis e<sub>11</sub>, e<sub>12</sub> bis e<sub>13</sub>, e<sub>14</sub> bis e<sub>15</sub>, e<sub>16</sub> bis e<sub>17</sub>, e<sub>18</sub> bis e<sub>19</sub>, e<sub>20</sub> bis e<sub>21</sub>, e<sub>22</sub> bis e<sub>23</sub>, e<sub>24</sub> bis e<sub>25</sub>, e<sub>26</sub> bis e<sub>27</sub>, e<sub>28</sub> bis e<sub>29</sub>, e<sub>30</sub> bis e<sub>31</sub>, e<sub>32</sub> bis e<sub>33</sub>, e<sub>34</sub> bis e<sub>35</sub>, e<sub>36</sub> bis e<sub>37</sub>, e<sub>38</sub> bis e<sub>39</sub>, e<sub>40</sub> bis e<sub>41</sub>, e<sub>42</sub> bis e<sub>43</sub>, e<sub>44</sub> bis e<sub>45</sub>, e<sub>46</sub> bis e<sub>47</sub>, e<sub>48</sub> bis e<sub>49</sub>, e<sub>50</sub> bis e<sub>51</sub>, e<sub>52</sub> bis e<sub>53</sub>, e<sub>54</sub> bis e<sub>55</sub>, e<sub>56</sub> bis e<sub>57</sub>, e<sub>58</sub> bis e<sub>59</sub>, e<sub>60</sub> bis e<sub>61</sub>, e<sub>62</sub> bis e<sub>63</sub>, e<sub>64</sub> bis e<sub>65</sub>, e<sub>66</sub> bis e<sub>67</sub>, e<sub>68</sub> bis e<sub>69</sub>, e<sub>70</sub> bis e<sub>71</sub>, e<sub>72</sub> bis e<sub>73</sub>, e<sub>74</sub> bis e<sub>75</sub>, e<sub>76</sub> bis e<sub>77</sub>, e<sub>78</sub> bis e<sub>79</sub>, e<sub>80</sub> bis e<sub>81</sub>, e<sub>82</sub> bis e<sub>83</sub>, e<sub>84</sub> bis e<sub>85</sub>, e<sub>86</sub> bis e<sub>87</sub>, e<sub>88</sub> bis e<sub>89</sub>, e<sub>90</sub> bis e<sub>91</sub>, e<sub>92</sub> bis e<sub>93</sub>, e<sub>94</sub> bis e<sub>95</sub>, e<sub>96</sub> bis e<sub>97</sub>, e<sub>98</sub> bis e<sub>99</sub>, e<sub>100</sub> bis e<sub>101</sub>.

1732. Vers. 17. Febr. 77.

Stab d

Von d bis d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub> bis d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub> bis d<sub>5</sub>, d<sub>6</sub> bis d<sub>7</sub>, d<sub>8</sub> bis d<sub>9</sub>, d<sub>10</sub> bis d<sub>11</sub>, d<sub>12</sub> bis d<sub>13</sub>, d<sub>14</sub> bis d<sub>15</sub>, d<sub>16</sub> bis d<sub>17</sub>, d<sub>18</sub> bis d<sub>19</sub>, d<sub>20</sub> bis d<sub>21</sub>, d<sub>22</sub> bis d<sub>23</sub>, d<sub>24</sub> bis d<sub>25</sub>, d<sub>26</sub> bis d<sub>27</sub>, d<sub>28</sub> bis d<sub>29</sub>, d<sub>30</sub> bis d<sub>31</sub>, d<sub>32</sub> bis d<sub>33</sub>, d<sub>34</sub> bis d<sub>35</sub>, d<sub>36</sub> bis d<sub>37</sub>, d<sub>38</sub> bis d<sub>39</sub>, d<sub>40</sub> bis d<sub>41</sub>, d<sub>42</sub> bis d<sub>43</sub>, d<sub>44</sub> bis d<sub>45</sub>, d<sub>46</sub> bis d<sub>47</sub>, d<sub>48</sub> bis d<sub>49</sub>, d<sub>50</sub> bis d<sub>51</sub>, d<sub>52</sub> bis d<sub>53</sub>, d<sub>54</sub> bis d<sub>55</sub>, d<sub>56</sub> bis d<sub>57</sub>, d<sub>58</sub> bis d<sub>59</sub>, d<sub>60</sub> bis d<sub>61</sub>, d<sub>62</sub> bis d<sub>63</sub>, d<sub>64</sub> bis d<sub>65</sub>, d<sub>66</sub> bis d<sub>67</sub>, d<sub>68</sub> bis d<sub>69</sub>, d<sub>70</sub> bis d<sub>71</sub>, d<sub>72</sub> bis d<sub>73</sub>, d<sub>74</sub> bis d<sub>75</sub>, d<sub>76</sub> bis d<sub>77</sub>, d<sub>78</sub> bis d<sub>79</sub>, d<sub>80</sub> bis d<sub>81</sub>, d<sub>82</sub> bis d<sub>83</sub>, d<sub>84</sub> bis d<sub>85</sub>, d<sub>86</sub> bis d<sub>87</sub>, d<sub>88</sub> bis d<sub>89</sub>, d<sub>90</sub> bis d<sub>91</sub>, d<sub>92</sub> bis d<sub>93</sub>, d<sub>94</sub> bis d<sub>95</sub>, d<sub>96</sub> bis d<sub>97</sub>, d<sub>98</sub> bis d<sub>99</sub>, d<sub>100</sub> bis d<sub>101</sub>.

1742. Vers. 23. 26. Febr. 77.

1738. Vers. 20. Febr. 77.

