Substanz, da sich beim Erhitzen ein wenig brenzlicher Rauch entwickelt. Eine polirte Fläche zeigte Aehnlichkeit mit der von *Rokitsan*.

(Haidinger, Wien. Acad. Ber. Bd. 49, 1864, Mai 10.)

Diese drei Eisen sind demnach für irdische, nicht meteorische Eisen zu nehmen.

IV. *Ueber die Bestimmung der Elasticitätsgränze bei Metallen; von Robert Thalén.*

(Aus d. *Oefversigt af K. Vetensk. Acad. Förhandl.* 1863, von Hrn. Verf. übersandt.)

§. 1.

Hodgkinson und Morin sind auf Grund ihrer Untersuchungen zu entgegengesetzten Resultaten in Betreff der Bestimmung der Elasticitätsgränze gekommen. Der erstere glaubt gefunden zu haben, daß ein Körper, sobald er irgend eine Verlängerung oder Verkürzung erlitten hat, niemals seine ursprünglichen Dimensionen vollständig wieder annehme. Er folgert daher, daß bei der Streckung der Metalle auch die kleinste Belastung eine bleibende Verlängerung hervorrufe, d. h. die Elasticitätsgränze *erniedrige*. Morin bezweifelt die Triftigkeit dieses Schlusses und glaubt in dem Umstand, daß die von Hodgkinson angewandten 15 Meter langen Stäbe aus kleineren Stücken zusammengefügt waren, eine genügende Erklärung von der niedrigen Lage der Elasticitätsgränze zu finden. Die beobachteten bleibenden Verlängerungen, meint Morin, brauchen nicht nothwendig von einer wirklichen Verlängerung der Fasern herzurühren, sondern könnten es eher von einer Aenderung der Verbindungsgelenke oder von einer Ausreckung der Stäbe selbst. In dieser Vermuthung sah Morin sich bestärkt durch eigene neue Untersuchung, welche mit Metalldrähten von 24 Meter Länge angestellt wurden; denn dabei zeigte sich, daß die bleibende Verlängerung

erst bei größeren Belastungen eintritt, oder, daß die Elasticitätsgränze eine *hohe* Lage hat ¹⁾).

Mag nun auch diese Morin'sche Erklärung von Hodgkinson's niedriger Lage der Elasticitätsgränze zum Theil richtig seyn, so darf man sie doch nicht bis zu dem Schlufs ausdehnen, daß die bei den kleinen Belastungen beobachtete bleibende Verlängerung *ganz* auf diese Weise entstanden sey. Diefs wäre bei einem so erfahrenen Mann wie Hodgkinson allzuviel in Frage gestellt. Es scheint mir auch nicht nöthig, auf Grund der Morin'schen Versuche die Angaben von Hodgkinson ganz und gar zu verwerfen. Denn die Resultate beider Experimentatoren, so widersprechend sie auch zu seyn scheinen, brauchen doch nicht nothwendig einander auszuschließen, sondern können wohl beide richtig seyn.

Um die Möglichkeit davon zu zeigen und zugleich einen Beitrag zu liefern zu der wichtigen Frage über die elastischen Eigenschaften der Körper, wage ich es hier einen Theil der Resultate mitzutheilen, welche ich bei einer ähnlichen Untersuchung mit Eisen oder Stahl erhalten habe. Zunächst muß ich indess, um den Leser in Stand zu setzen, die Zuverlässigkeit meiner Beobachtungen zu beurtheilen, den benutzten Apparat und die befolgte Beobachtungsmethode beschreiben, wobei ich mich jedoch auf das Wichtigste beschränken werde.

§. 2. Beobachtungsmethode.

Die von mir untersuchten Eisen- und Stahlsorten waren aus schwedischen Erzen bereitet, in Form von gewalzten, theils runden, theils vierkantigen Stäben von 6 Fuß Länge und einem halben Zoll im Durchmesser bei den runden, und in Seite bei den vierkantigen.

Die Streckversuche wurden bewerkstelligt mit der von Lagerhjelm i. J. 1828 gebrauchten Fuller'schen Ma-

1) A. Morin, *Résistance des matériaux*. 2^{me} Edit. p. 10 — *Compt. rend.* T. 54 p. 235.

schine ¹⁾, in welcher die Stäbe befestigt waren zwischen einer hydraulischen Presse auf der einen Seite und einem ungleicharmigen Winkelhebel auf der andern; letzterer vervielfältigte die auf die Waagschale gelegte Belastung 20 Mal. Zur Messung der Verlängerung der Probestäbe diente ein Paar kleiner, fein graduirter Scalen, die »Indexscale« und und die »Mefsscale«, welche in einem Abstand von 5 schwed. Fufs von einander an dem Stab festgeschraubt waren. Oben auf jeder Scale war ein starkes Mikroskop befestigt an einem großen Stangenzirkel von Holz, welcher sich mittelst Steuergabeln (*styrgafflar*) mit seinen Enden sicher gegen die genannten Scalen und folglich auch gegen den Probestab stützte, dessen Gewicht aber doch durch zweckmässig angebrachte Gegengewichte größtentheils aufgehoben war. Es war übrigens die Einrichtung beibehalten, daß der Stangenzirkel beständig gezwungen ward der Indexscale zu folgen, so daß eine geringe Verschiebung von ihm hinreichend war, das Indexmikroskop vollkommen auf den Nullpunkt zu stellen; darauf geschah die eigentliche Messung mittelst der Mikrometerschraube an dem über der Mefsscale befindlichen Mikroskop.

Ein *Theilstrich der Mefsscale* nahm fast 0,2 Millim. ein, ein *Umgang der Mikrometerschraube* fast $\frac{1}{4}$ Theilstrich oder 0,05 Millim. Die *directe* Ablesung am Schraubenkopf ging bis in Hundertel eines Umgangs oder 0,0005 Millim. Man sieht daraus, daß die Genauigkeit des Apparates größer war als es das Bedürfnis hier erforderte.

Was die Güte der Einstellungen betrifft, so mag erwähnt seyn, daß der Abstand zwischen den beiden paral-

- 1) Diese Elasticitätsversuche wurden im Sommer 1862 angestellt für Rechnung des Comité's, welches den Auftrag hatte, die Anwendbarkeit des schwedischen Eisens und Stahls für Eisenbahnenmaterial zu ermitteln.

Die Instandsetzung der Fuller'schen Maschine und die wesentlichste Einrichtung der gebrauchten Meßinstrumente wurde durch die Fürsorge des Mag. C. A. Ångström bewerkstelligt, welcher auch die später von mir fortgesetzten Abreißungsversuche anfang. Die eigentlichen Elasticitätsversuche sind größtentheils von mir angestellt, ein Theil auch vom Ingenieur K. W. Cronstrand.

lenen Haaren in jedem Mikroskop ungefähr 0,7 eines Schraubenganges oder 0,04 Millim. betrug, wonach also die *Summe* der bei Einstellung beider Mikroskope begangenen Fehler im *Mazimo* nicht höher steigen kann als bis 0,02 Millim. oder 0,1 eines Scalentheils. Ungeachtet die Beobachtungen in den gewöhnlichsten Fällen, wo es geschehen konnte, sich auch auf Hundertel eines Scalentheils übereinstimmend erwiesen, so wurden doch in die folgenden Tafeln nur Zehntel der Scalentheile aufgenommen, und zwar aus folgendem Grunde.

Wie weiterhin gezeigt werden soll, wachsen die bleibenden Verlängerungen bedeutend mit den größeren Belastungen, und die Stäbe werden dabei äußerst empfindlich für die spannenden Kräfte. Vorausgesetzt nun, daß bei dem Gebrauch der Fuller'schen Maschine die Spannung des Stabes schon so sehr vergrößert worden, daß er den Winkelhebel mit der daran hängenden Belastung zu heben vermag, so tritt desungeachtet bei jedem Kolbenschlag der Pumpe der hydraulischen Presse, vereint natürlich mit einer ferneren Hebung des Hebels, eine *neue* Verlängerung des Probestabes ein. Da nun eine solche Verlängerung eintritt, wie *behutsam* auch das Pumpen, d. h. das Strecken geschehen möge, so sieht man ein, daß man dabei im Grunde jede beliebige bleibende Verlängerung erhalten kann. Bei der Uebereinstimmung zwischen den verschiedenen Versuchen wird man jedoch finden, daß die Waage beständig bis zu einem gewissen Abstand über einem an ihr angebrachten leicht beweglichen Zeiger erhöht wurde. Das eben Gesagte zeigt, daß es bei der Frage über große Belastungen nicht von Interesse seyn kann, den Gang der Verlängerungen anders als *ungefähr* aufzusuchen, und eine äußerste Feinheit in der Messung hier ganz und gar scheinbar, also unnöthig seyn würde.

§. 3. Elasticitätsgränze.

Bei der Frage über die Streckung dürfte die theoretisch richtige Definition der Elasticitätsgränze wohl die seyn:

die höchste Belastung für die Flächen-Einheit, welche der untersuchte Stab zu ertragen vermag, ohne daß er, nach Fortnahme der Belastung, die geringste bleibende Verlängerung zeigt. Da es aber an sich klar ist, daß die Bestimmung dieser höchsten Belastung außerordentlich von der Güte der zur Längenmessung angewandten Instrumente abhängt und in demselben Maaße herabgedrückt werden kann, als man die Schärfe und Genauigkeit besagter Meßapparate erhöht, so hat man wohl aus diesem Grunde sich genöthigt gesehen, eine gewisse permanente Verlängerung als der Elasticitätsgränze entsprechend festzusetzen und diese zu 0,00005 der Längen-Einheit anzunehmen ¹⁾.

Gegen diese neue Definition hat man mit Fug eingewandt, daß sie willkürlich sey. Auf der die bleibenden Verlängerungen repräsentirenden Curve ist der Punkt, welcher nach besagter Definition die Elasticitätsgränze bestimmt, nicht im Geringsten von anderen nahe gelegenen Punkten ausgezeichnet; er ermangelt also aller physischen Bedeutung. Allein wenn man auch die Willkürlichkeit bei Aufstellung der Definition außer Acht läßt, und nur die Möglichkeit ins Auge faßt, die so definirte Elasticitätsgränze auf experimentellem Wege zu bestimmen, so zeigen sich in gewissen Fällen ausnehmend große Schwierigkeiten.

In seiner ersten Abhandlung über die Elasticität der Körper sagt Wertheim²⁾, daß vor Anfang der eigentlichen Beobachtungen eine Ausstreckung des Stabes geschehen müsse; allein die Ausstreckung ist niemals vollständig, setzt er hinzu, sondern man beobachtet stets bei den ersten Belastungen kleine permanente Verlängerungen, welche, wie er dann versichert, von der Ausstreckung herrührt. Er belastete daher den Draht mit einem für die Ausstreckung hinreichend großen Gewicht, welches er nun als Ausgangspunkt für die folgenden Messungen dienen ließ, wobei die jetzige Länge des Drahts als ursprüngliche Länge betrachtet ward.

1) G. Wertheim *Recherches sur l'élasticité. Premier Mémoire* p. 55.

2) *Ib. ib.* p. 19.

Diese, vielleicht bei Drähten anwendbare Methode, wird — scheint mir — bei Stäben von größerem Querschnitt unzulässig. Ein gewalzter Stab ist nämlich nie vollkommen gerade, sondern hat beständig eine Menge Biegungen. Will man nun durch Belastung den Stab geradstrecken, so läßt sich das nicht bewerkstelligen, ohne nicht zugleich dem Stabe wirklich eine bleibende Verlängerung zu geben. Man sieht nämlich leicht ein, daß erst wenn der Stab so bedeutend ausgestreckt ist, daß eine permanente Verlängerung entsteht, wobei die Theilchen also eine neue Gleichgewichtslage unter einander annehmen, erst dann ein Rückgang des buchtigen Theils des Stabes zu der alten Form nicht ferner möglich seyn kann. Allein in der beobachteten Verlängerung liegt nun zusammengemengt mit einander sowohl die Geradstreckung der Biegungen als die zur Bewerkstelligung dieser Ausstreckung nöthige und wirkliche permanente Verlängerung, ohne daß man sie irgendwie unterscheiden kann. Es wird dann auch unmöglich, die ursprüngliche Länge des Stabes vollkommen genau zu bestimmen, und folglich auch unmöglich die Elasticitätsgränze genau zu finden. Der Fehler in der Bestimmung wird in demselben Maasse größer, als die Belastung zur Geradstreckung des Stabes groß genommen ist; denn, wie ich sogleich zeigen werde, kann man wirklich durch Ausstreckung die Elasticitätsgränze nicht nur über ihren eigentlichen Werth treiben, sondern kurz gesagt, so hoch wie man will.

§. 4. Erhöhung der Elasticitätsgränze durch Streckung.

Die weiterhin angeführten Beobachtungen legen dar, daß eine successive Streckung eines Stabes wirklich die Elasticitätsgränze desselben zu erhöhen vermag. In den Tabellen bezeichnen:

P = die Belastung in schwedischen Pfunden auf die Flächen-Einheit (eine schwedische Quadratdecimallinie).

ΔL = die durch diese Belastung hervorgerufene bleibende Verlängerung (bei einem 5 Fufs langen Stabe), angegeben in Theilen der Meßscale.

L_0 ist die ursprüngliche Länge des Stabes.

A dessen ursprünglicher Querschnitt.

E die Belastung des Stabes nach Ueberschreitung der Elasticitätsgränze.

Bedient man sich nun der angeführten Wertheim'schen Definition von der Elasticitätsgränze (bleibende Verlängerung $\approx 0,00005$ der Längen-Einheit), so fragt es sich bei dem 5füßigen Stab um die hier erforderliche bleibende Verlängerung von 0,025 schwed. Dec.-Lin. d. h. in runder Zahl um 0,4 Theile der oben erwähnten Meßscale.

Tafel I.

Mittelharter Stahl

 $A = 17,33$ Schwed. Quadrat-Dec.-Lin.

No	P	AL	No.	P	AL	No.	P	AL	No.	P	AL
1	179	0,0	20	503	0,9	39	723	12,2	57	469	41,1
2	238	0,0	21	515	1,0	40	734	15,0	58	585	41,2
3	261	0,0	22	526	1,2	41	746	17,8	59	700	41,4
4	284	0,1	23	538	1,3	42	757	20,8	60	757	41,4
5	307	0,1	24	549	1,4	43	769	23,7	61	780	41,5
6	331	0,1	25	561	1,6	44	780	26,7	62	792	41,6
7	353	0,2	26	573	1,6	45	792	29,7	63	803	41,8
8	365	0,2	27	585	1,6	46	803	32,7	64	815	42,0
9	377	0,3	28	596	1,9	47	815	35,6	65	826	42,5
10	388	0,4	29	608	2,2	48	"	37,1	66	838	43,5
11	399	0,4	30	619	2,4	49	"	38,4	67	850	45,3
12	411	0,4	31	631	2,7	50	"	39,1	68	862	48,1
13	423	0,5	32	642	3,1	51	"	39,7	69	865	54,6
14	434	0,5	33	654	3,7	52	"	40,2	70	907	61,9
15	446	0,6	34	665	4,4	53	"	40,6	71	930	68,6
16	457	0,6	35	677	5,3	54	"	41,0			
17	469	0,7	36	688	6,4				72	122	68,6
18	480	0,8	37	700	8,0				73	238	68,6
19	492	0,9	38	711	9,9				74	353	68,6

Aus der vorstehenden Tabelle und der zugehörigen Fig. 14 Taf. V ersieht man, daß, nachdem die Belastungen allmählich bis 815 Pfund gesteigert waren, die Streckungsversuche wiederum mit kleinen Belastungen begannen; daß dann diese successive bis 930 Pfund erhöht wurden, und man darauf denselben Versuch abermals wiederholte.

Bestimmt man für diese drei Reihen die Elasticitätsgränze nach der oben gegebenen Definition, und nimmt dabei als ursprüngliche Länge an

in der ersten Reihe: $L_0 = 500$ Dec. Lin.

„ „ zweiten „ $= 500 + 41,0$ Scalenth.

„ „ dritten „ $= 500 + 68,6$ „

so erhält man für die Elasticitätsgränze folgende ungefähre Werthe:

$$E_1 = 400$$

$$E_2 = 700$$

$$E_3 = 800.$$

Es könnten noch eine Menge ähnlicher Beispiele angeführt werden, allein die vorstehenden zeigen zur Genüge

»daß durch Streckung der Stäbe wirklich eine Erhöhung der Elasticitätsgränze möglich ist.

§. 5. Ueber die Senkung der Elasticitätsgränze durch Erhitzung.

Durch Erhitzung und darauf folgende Erkaltung kann die Elasticitätsgränze der Metalle recht bedeutend herabgerückt werden. Dieß hat schon Wertheim bei seinen Elasticitätsversuchen gezeigt. Denn als er das eine Mal den gezogenen Draht, wie er war, ohne vorherige Erhitzung untersuchte, und das andere Mal dieselbe Drahtsorte nach der Erhitzung, fand er die Elasticitätsgränze so geändert, daß sie *nach* der Erhitzung war:

beim Eisen $\frac{1}{6}$

„ Gußstahl $\frac{1}{11}$

„ engl. Stahl (Claviersaite) $\frac{1}{3}$

von der *vor* der Erhitzung¹⁾.

Obgleich Wertheim's Versuche das Vermögen der

1) A. a. O. S. 40 und überdiß S. 55.

Wärme, die Elasticitätsgränze zu senken, vollkommen erweisen, mag es mir doch erlaubt seyn, aus meinen Versuchen ein Beispiel anzuführen, welches auch dafür ein Zeugniß ablegt.

Ein Stab von hartem Stahl wurde in die Fuller'sche Maschine eingesetzt und darin umgeben von einem dicken Gufseisenrohr (innerer Durchmesser = 2,5 Zoll, Länge = 4 Fufs) in welches drei Thermometer eingelassen waren, um die Temperatur der vom Eisenrohr eingeschlossenen und den Stab umgebenden Luft anzuzeigen. Das Gufseisenrohr, getragen von besonderen Hülßen, war an seinen Enden verschlossen durch Deckel, versehen mit hinreichend weitem Loch, damit sich der Stahlstab frei bewegen könne. Unter dem Gufseisenrohr lief ein Gasrohr entlang, welches als Heizapparat diente. Durch fleißiges Ablesen der Thermometer und darnach abgemessenes Reguliren des Glashahns konnte die Temperatur ziemlich constant gehalten werden. Daß die von den Thermometern angegebene Mitteltemperatur der Luftmasse wirklich nahe genug der Temperatur des Stabes entsprach, liefs sich daraus schließen, daß der aus den Beobachtungen berechnete Ausdehnungs-Coëfficient des Stahls erhalten wurde

das eine Mal 0,0000106

» andere Mal 0,0000105

welche Zahlen wenig abweichen von der von Lavoisier und Laplace gegebenen.

Die beim Strecken des in Rede stehenden Stahlstabs erhaltenen bleibenden Verlängerungen sind in Tabelle II angegeben. Des Vergleiches halber sind auch die Versuche angeführt, die bei gewöhnlicher Temperatur mit einem andern Stabe von derselben Stahlorte angestellt wurden. Siehe Tabelle III und die zugehörigen Fig. 15 und 16 auf Taf. V.

Tabelle II.				Tabelle III.			
Harter Stahl; $A = 17,19$ Quad. Dec. Lin.				Harter Stahl; $A = 17,25$ Quad. Dec. Lin.			
No.	P	ΔL	Temp.	No.	P	ΔL	Temp.
1	221	0,0	204°	1	220	0,0	16°,3
2	280	0,1		2	278	0,0	
3	338	0,3		3	337	0,0	
4	396	0,5		4	395	0,0	
5	454	0,8		5	453	0,1	
6	512	1,7	205°	6	511	0,3	16°,8
7	571	3,5		7	569	0,8	
8	628	6,3		8	627	2,4	
9	687	13,0		9	685	19,1	
10	803	34,5		10	743	37,0	17°,5
11	920	62,0		11	801	53,6	
				12	859	73,4	

Nach vorstehenden Tabellen wird

$$E = 360, \text{ wenn } t = 200^\circ$$

aber

$$E = 520, \text{ wenn } t = 17^\circ$$

Auf Grund sowohl der Wertheim'schen als der oben genannten Versuche kann folglich als Regel aufgestellt werden,

»dafs die Elasticitätsgränze eines Metalls durch Erhitzung gesenkt werden kann¹⁾.

§. 6. Erklärung der Widersprüche zwischen Hodgkinson's und Morin's Resultaten.

Mit Hülfe der beiden eben angeführten Sätze, dafs die Elasticitätsgränze durch Streckung erhöht, und durch Erhitzung gesenkt werden kann dürfte sich leicht erklären, weshalb Morin's Resultate so wesentlich von denen Hodgkinson's abweichen, wenn man dabei erwägt, dafs der Erstere mit *Drähten* von 2,5 bis 0,2 Millm. Durchmesser, der Letztere aber mit *Stäben* arbeitete.

- 1) Die Wahrheit dieses Satzes erhellet natürlicherweise schon aus der bekannten Thatsache, dafs die Metalle sich im warmen Zustand besser als im kalten schmieden lassen, auch leichter zu bearbeiten sind, nachdem sie einmal geglüht wurden.

Man sieht leicht ein, daß wenn der Draht durch den Drahtzug geht, er sich bedeutend strecken, und die Elasticitätsgränze hoch zu liegen kommen muß. Wäre der Draht mehrmals durch den Drahtzug gegangen, so müßte sich die Elasticitätsgränze leicht mit Genauigkeit bestimmen lassen. Um diese Behauptung ferner zu beleuchten, werde ich in dem Folgenden den Fall näher betrachten, wo die Streckung mit *derselben* Belastung mehrmals hinter einander stattfand.

Ob die von Hodgkinson angewandten Stäbe gewalzt oder geschmiedet waren, ist nicht anzugeben. Aber unzweifelhaft konnte weder das Walzen noch das Schmieden bei diesen Stäben eine solche Streckung hervorrufen, daß sie mit der beim Drahtziehen stattfindenden verglichen werden könnte. Eine baldige Erreichung der Elasticitätsgränze ist hier also ganz natürlich. Wie schon bemerkt, dürfte es daher nicht nöthig seyn, mit Morin die von Hodgkinson beobachteten permanenten Verlängerungen ganz bestreiten zu wollen.

Weit entfernt, den Ansichten des Einen als richtig ausschließlich zu huldigen, und die des Anderen ganz und gar zu verwerfen, dürfte anzunehmen seyn, daß sowohl Morin als Hodgkinson gegründetes Recht für ihre Ansichten haben, der Erstere in Bezug auf die *hohe Lage der Elasticitätsgränze bei Drähten*, der Letztere in Bezug auf die *niedrige Lage derselben bei Stäben*. Die Verschiedenheit der Resultate, muß man folglich annehmen, beruht hauptsächlich auf der ungleichen Behandlung, welche das Material der beiden Beobachter zuvor erlitten hatte.

§. 7. Ueber die bleibenden Verlängerungen bei wiederholter Streckung mit *derselben* Belastung.

In dem Vorstehenden ist gezeigt, daß die bleibenden Verlängerungen unaufhörlich zunehmen mit wachsenden Belastungen. Allein auch wenn die Belastung mehrmals hintereinander dieselbe bleibt, erhält man jedesmal eine vergrößerte permanente Verlängerung. Das Gesetz für das Verhalten zwischen diesen Verlängerungen ist sicherlich

abhängig von der Lage des Punktes der Curve, bei dem der Versuch angestellt wird, aber dafsungeachtet dürften folgende Zahlen, welche Mittelwerthe aus einer Menge solcher beobachteter Fälle sind, das in Rede stehende Phänomen anschaulich machen. Vergleicht man die nachfolgenden Zunahmen der Verlängerung mit der, welche der Stab erlitt, als er das erste Mal mit der gegebenen Belastung gestreckt ward, so erhält man folgende Werthe.

Tabelle IV.

No. 1	Bleibende Verlängerung	1,00
„ 2	„ „	0,55
„ 3	„ „	0,37
„ 4	„ „	0,28
„ 5	„ „	0,25
„ 6	„ „	0,18

In der hierzu gehörigen Fig. 17 Taf. V repräsentiren die Ordinaten die Ordnungszahlen (1, 2, . . 6) der Streckungen und die Abscissen die entsprechenden *gesamten* bleibenden Verlängerungen, also 1,00, 1,55, 1,92 usw.

Gewifs wird die *neue* bleibende Verlängerung, welche hier jedesmal erhalten wird, immer geringer und geringer, und folglich sollte man vermuthen, dafs sich nach einer grofsen Anzahl von Belastungen keine neue permanente Verlängerung zeigen würde. Allein wenn man auch eine solche *Gränze* erreichen könnte, ist es doch allzu glaublich, dafs nach Verlauf einer längeren Zeit abermals eine neue bleibende Verlängerung entsteht, ungeachtet die Belastung nicht vermehrt wird. Im Allgemeinen kann man nämlich bemerken, dafs die *Zeit* bei dieser Art von Erscheinungen, wie schon Wertheim zeigte¹⁾, einen wichtigen Einflufs ausübt, welchen Hodgkinson sogar quantitativ zu bestimmen suchte. Bei meinen Versuchen habe ich diesen Einflufs der Zeit unaufhörlich wahrgenommen, obwohl der Apparat wegen Undichtheit der hydraulischen Presse, keine Messung desselben zuliefs²⁾.

Nimmt man die Belastung *kleiner* als die, welche der

1) Wertheim, a. a. O. S. 55.

2) Morin, *Résistance des matériaux* p. 8 et 9.

Stab schon ertrug, so zeigt sich keine bleibende Verlängerung eher als bis die Belastung ihrer Gröfse nach sich der grössten nähert, welche schon stattgefunden hat. Wenn die letztgenannte Belastung überschritten wird, kommen Anwüchse in den permanenten Verlängerungen und wachsen in demselben Maafse schneller als der Stab zuvor hinreichend gestreckt worden ist (Siehe Tabelle I und Fig. 14 Taf. V).

Wendet man dieses auf einen Metalldraht an, welcher beim Ziehen bedeutend gestreckt worden ist, so müssen nach dem oben Angeführten die permanenten Verlängerungen anfangs bei kleinen Belastungen sehr wenig merkbar seyn, wie auch Morin gefunden hat. Wenn aber die Gröfse der Belastung sich derjenigen nähert, welche beim Drahtziehen stattfand, so müssen permanente Verlängerungen auftreten, die bei noch gröfseren Belastungen recht deutlich werden. Es ist also leicht einzusehen, dafs die Elasticitätsgränze bei Drähten scharf bestimmbar seyn mufs.

Mögen nun die Belastungen mehrmals hintereinander *ebenso grofs* oder *geringer* als die vom Stabe schon ertragenen genommen seyn, und sie werden alsdann allmählich vergrößert, so zeigt sich eine eigenthümliche Erscheinung, welche eine nähere Aufmerksamkeit verdient. Sie wird veranschaulicht durch Fig. 18 Taf. V, zu welcher die untenstehende Tabelle gehört, und durch Fig. 14 nebst Tabelle I.

Tabelle V.

Harter Stahl			$A = 17,13$					
No.	P	ΔL	No.	P	ΔL	No.	P	ΔL
1	280	0,0	11	689	0,5	21	980	34,0
2	339	0,0	12	719	0,8	22	"	34,7
3	397	0,0	13	748	1,2	23	"	35,2
4	456	0,0	14	777	1,7	24	"	35,7
5	514	0,1	15	806	2,5	25	"	36,0
6	543	0,1	16	835	4,6	26	"	36,4
7	573	0,1	17	865	8,3	27	"	36,6
8	602	0,2	18	923	18,1	28	"	36,9
9	631	0,3	19	980	30,7	29	1010	44,3
01	660	0,4	20	"	32,9	30	1098	59,5
						31	1156	76,9

Dieser Tabelle zufolge hatten aufeinanderfolgend 10 Streckungen mit 980 Pfund stattgefunden. Die Belastung wurde nun bis 1040 Pfund und darüber vergrößert. Die Curve für die permanenten Verlängerungen (Fig. 18 Taf. V) schlägt nun dieselbe Richtung ein, welche sie vor der Anwendung der gleichgroßen Belastungen mit 980 Pfund hatte. Ganz dieselbe Erscheinung zeigt Fig. 14 bei den Belastungen 850 und 966 Pfund. Ehe die Curve ihre alte Richtung wieder annimmt, scheint der Stab gleichsam an den permanenten Verlängerungen gerade ebensoviel zu sparen, als er sich zuvor in Vorschufs gestreckt hatte. Eine Vergrößerung von 50 Pfund auf die Quad. Dec. Lin. in der Belastung, gleich nach den wiederholten Streckungsversuchen mit gleich großen oder geringeren, brachte folglich nicht dieselbe Verlängerung hervor wie sonst. Man sieht hieraus, daß die Form der Curve endlich vollkommen unabhängig wird von der Weise, auf welche der Stab behandelt worden ist.

Eine solche Eigenschaft der Curve für die permanenten Verlängerungen, nämlich ihre Unabhängigkeit von der Behandlung des Stabes bei den Streckungsversuchen, ist besonderer Aufmerksamkeit werth, weil sie uns möglicherweise berechtigt, die Curve selbst entweder ganz oder theilweis, als Repräsentant der Beschaffenheit des Materials anzusehen.

§. 8. Ueber die Curve für permanente Verlängerungen.

Als Typus der Curven, welche die bleibenden Verlängerungen des Eisens und der weicheren Stahlsorten repräsentiren, kann die nach der folgenden Tabelle entworfene Fig. 19 Taf. V schicklich angesehen werden.

Tabelle VI.

Stahl

$A = 17,41$

No.	P	ΔL	No.	P	ΔL	No.	P	ΔL
1	237	0,0	4	306	0,0	7	375	0,3
2	260	0,0	5	329	0,0	8	398	0,5
3	283	0,0	6	352	0,1	9	409	0,7

Stahl

 $A = 17,41$

No.	P	ΔL	No.	P	ΔL	No.	P	ΔL
10	421	0,7	20	536	2,0	30	685	81,4
11	432	0,8	21	547	2,3	31	708	91,4
12	444	0,9	22	559	3,2	32	731	102,2
13	455	1,0	23	570	4,8	33	754	111,8
14	467	1,1	24	582	8,8	34	766	120,0
15	478	1,2	25	593	18,1	35	789	132,6
16	490	1,3	26	605	45,3	36	812	147,0
17	501	1,4	27	616	53,4	37	835	161,6
18	513	1,6	28	639	63,3	38	858	180,6
19	524	1,8	29	662	72,3			

Die Curve nimmt erst eine aufsteigende Richtung, wobei die permanenten Verlängerungen im Allgemeinen klein sind, geht dann durch den Punkt, bei welchem *die Krümmung ihr Maximum erreicht* und wird hierauf nahe genug horizontal. An diesem letzten Theil der Curve zeigt sich der Stab am empfindlichsten für Belastungen. Die zuvor ziemlich stabile Gleichgewichtslage der Theilchen scheint nun ganz und gar verschoben zu seyn. Wenn der Stab sich soweit verlängert, daß die Curve convex gegen die Abscissenaxe wird, zeigen sich die neuen Gleichgewichtslagen sicher stabiler als sie eben waren, aber die kleinste Vergrößerung der Belastung, ja sogar dieselbe Belastung kann die gegenseitige Lage der Theilchen aufs Neue stören und folglich bleibende Verlängerungen hervorrufen. Die Curve, welche soeben convex war, wird abermals concav, strebt immer mehr und mehr dahin, noch einmal horizontal zu werden, und deutet damit an, daß die bleibenden Verlängerungen hier immer mehr und mehr wachsen, bis der Bruch erfolgt.

Zu dieser in allgemeinen Zügen ausgeführten Zeichnung des Verlaufs beim Strecken dürfte noch hinzuzufügen seyn, daß wenn man, nachdem der Stab zerrissen ist, den Streckungsversuch mit den Stücken fortsetzt, die Curve in alter Richtung fortgeht, sobald nämlich nicht Schelfern im Stabe den Rifs veranlaßten¹⁾. War die Curve beim er-

1) Aus der Unregelmäßigkeit in der Gestalt der Curve beim Reißen kann

sten Abreißen schon so gut wie horizontal, so kann die neue Belastung nicht sonderlich größer als die eben beobachtete werden, aber die permanente Verlängerung kann natürlicherweise desto mehr wachsen. Es hat sich nämlich gezeigt, daß wenn ein Stab zweimal hintereinander abgerissen ist und zwar beide Male mit *derselben* Belastung, der *Zuwachs* in der bleibenden Verlängerung dabei beim härtesten Stahl bis 1,5 Dec. Lin. pro schwed. Fuß, und bei weichem Stahl bis 6 Dec. Lin. gehen kann. Hieraus erhellt, wie unpassend es ist, ausschließlich auf die Verlängerung beim Riß so großes Gewicht zu legen, wie in der Praxis oft geschieht.

Ist es ein Draht, mit welchem der Streckungsversuch geschieht, und ist dieser Draht beim Ziehen bedeutend gestreckt worden, so muß, wie schon gesagt, die Elasticitätsgrenze hoch liegen, ebenso wie der Punkt der Maximumkrümmung; oft wird man denn auch finden, daß die Curve sich hernach ganz schnell in horizontaler Richtung biegt, und unmittelbar darauf das Abreißen erfolgt¹⁾.

Mehre Erze zeigen einige Verschiedenheit rücksichtlich der Form der Curve, welche überdies auch von dem Härtegrad (Kohlegehalt?) abhängt. Während das Eisen und der weichere Stahl aus allen Erzen am Punkte der größten Krümmung eine starke Curvatur und einen darauf sehr merkbar convexen Theil besitzen, wird bei den härtesten Stahlsorten aus gewissen Erzen die Krümmung bedeutend geringer und der convexe Theil fehlt ganz und gar. Bei ihnen hat folglich die Curve eine mehr aufsteigende Richtung als bei den übrigen Sorten. Siehe z. B. Fig. 14 und 18 Taf. V. Im Allgemeinen, kann man sagen, wird der Krümmungsradius desto *geringer* je weicher das Material ist; er ist folglich am *kleinsten* beim Eisen.

man sogleich ersehen, ob dasselbe wegen mangelnder Homogenität des Stabes zu zeitig erfolgte.

1) Siehe Wertheim's Versuche mit Draht von Gußstahl — *acier fondu étiré* — A. a. O. S. 41.

§. 9. Ueber den Punkt des Maximums der Krümmung.

Es ist wohl überflüssig zu sagen, daß die Beschaffenheit eines Materials nicht allein nach der Lage der beiden Curvenpunkte, welche die Elasticitätsgränze und den Rifs bezeichnen, beurtheilt werden darf, sondern daß die Curve in ihrer Gesammtheit betrachtet werden muß. Da aber die Form der Curve recht complicirt ist und die Gleichung derselben sich wahrscheinlich nicht ohne große Mühe bestimmen läßt, so bleibt nur die Möglichkeit, sie in jedem Fall graphisch wiederzugeben.

Sollte man indeß bei vergleichenden Versuchen dieser Art, zur Ermittlung der größeren oder geringeren Anwendbarkeit verschiedener Erze zu einem gegebenen Zweck, einen besonderen Punkt der Curve als Vergleichungspunkt wählen wollen, so stehe ich nicht an, gerade den, bei welchem die größte Krümmung stattfindet, vorzuschlagen. Bei meinen Versuchen mit gewalzten Stäben haben die von derselben Sorte gerade in Bezug auf die Lage dieses Punktes eine besondere Uebereinstimmung gezeigt, was man dagegen von der Elasticitätsgränze bei weitem nicht sagen kann.

Die Lage der größten Krümmung practisch aus der Figur zu bestimmen ist äußerst leicht, umsomehr als die Curve die merkwürdige Eigenschaft zeigt, daß sie in der Nähe und auf beiden Seiten des besagten Punkts symmetrisch ist. Auf der Axe, rings um welche die Symmetrie stattfindet, liegt der kleinste Krümmungsradius.

Vor der sogenannten Elasticitätsgränze besitzt der in Rede stehende Punkt überdieß den Vorzug, daß er von der Curve selbst gleichsam angezeigt wird, er also, man kann sagen, eine wirkliche physische Bedeutung hat, was mit dem Punkt der Elasticitätsgränze ja nicht der Fall ist. Aus dem Vorhergehenden ersieht man, daß gerade nach dem Durchgang durch den Punkt der größten Krümmung die permanenten Verlängerungen von eigentlicher Bedeutung werden, und man kann hinzusetzen, diese Verlängerungen sind hier so bedeutend, daß sie sich, wenigstens bei Stäben von 5 Fuß Länge, mit größter Leichtigkeit mit

unbewaffnetem Auge beobachten lassen, woraus erhellt, daß man zur Zeit, da das Phänomen der permanenten Verlängerungen zwar bekannt war, die Meßinstrumente aber noch einen geringen Grad von Schärfe besaßen, gerade den in Rede stehenden Punkt, bei welchem die Krümmung ihr Maximum erreicht, als den Punkt, wo die permanenten Verlängerungen *anfangen*, d. h. als Elasticitätsgränze, auszeichnen mußte.

Aus der wichtigen Bedeutung, welche ich dem Punkt des Krümmungsmaximums beizulegen suchte und aus dem Vorzug, welchen ich ihm vor der Elasticitätsgränze geben wollte, möge man jedoch nicht den Schluss ziehen, daß ich glaube, dieser Punkt sey frei von allen Fehlern, welche der Elasticitätsgränze anhaften. Oben ist gezeigt worden, daß die Elasticitätsgränze verschiebbar ist; daß es auch der Punkt des Krümmungsmaximums ist, erbellt z. B. Fig. 14 Taf. V. Als ein *absolutes* Maafs für die Beschaffenheit des Materials kann er deshalb nicht füglich angesehen werden, wohl aber als ein gutes *relatives*, vorausgesetzt insofern daß die untersuchten Stäbe identisch dieselbe Behandlung erlitten.

§. 10. Ueber das Verhältniß zwischen den Belastungen beim Krümmungsmaximum und beim Riß.

Endlich mag hier noch ein wegen seiner Einfachheit merkwürdiges Verhältniß angeführt seyn, welches sich zwischen den Belastungen beim Punkt des Krümmungsmaximums und beim Riß stattfindet: vielleicht, daß die Kenntniß desselben für die Praxis von einigem Nutzen ist.

Bezeichnet M die Belastung beim Krümmungsmaximum,
 B „ „ „ Riß,
 n die Anzahl der untersuchten Stäbe,
 so erhält man die in folgender Tabelle zusammengestellten Werthe von $\frac{B}{M}$

Tabelle VII.

Erz- sorten	Eisen		Weicher Stahl		Mittelharter Stahl		Harter Stahl	
	$\frac{B}{M}$	n	$\frac{B}{M}$	n	$\frac{B}{M}$	n	$\frac{B}{M}$	n
<i>a</i>	1,65	3	2,02	2	2,03	3	2,02	2
<i>b</i>	1,54	2	1,88	2	2,10	3	2,10	3
<i>c</i>	1,63	3	1,90	3	2,12	3	2,07	2
<i>d</i>	1,54	3	2,09	3	2,00	2	2,03	3
<i>e</i>	1,59	4	1,81	2	2,01	3	2,05	3
<i>f</i>	1,60	2	2,00	3	1,90	1	2,00	2
Mittel	1,59		1,96		2,07		2,04	

Hält man sich an den Mittelwerth für die verschiedenen Erzarten, bezeichnet mit 10 die Belastung des Eisens beim Krümmungsmaximum und drückt in damit proportionalen Zahlen die Belastungen beim Krümmungsmaximum und beim Rifs für die verschiedenen Stahlarten aus, so erhält man folgende Werthe.

Tabelle VIII.

Stab von	M	B
Eisen	10	16
weichem Stahl	12	24
Mittelhartem Stahl	13	26
Hartem Stahl	14	28

Auf Grund der vorstehenden Mittelwerthe kann daher als *practische Regel* aufgestellt werden:

„Ein gewalzter Stab (aus schwedischen Erzen), dessen Curve bei einer Belastung = M schwed. Pfunde auf die Quad. Dec. Lin. ihre größte Krümmung besitzt, reißt, wenn diese Belastung auf die Flächen-Einheit vergrößert wird um 60 Proc. beim Eisen, und wenn sie *verdoppelt* wird beim Stahl.“

Noch geschickter zum practischen Behuf wird diese Regel (vorausgesetzt, daß es sich nur um ungefähre Bestim-

- 1) Der härteste Stahl von der Sorte *b* ist von der Tabelle ausgeschlossen worden, weil er sowohl in dieser, als in mancher anderen Hinsicht bedeutend von den übrigen Stahlarten abwich.

mungen handele), wenn man sich erinnert, daß der Glühspan, mit welchem jeder gewalzte Stab bekleidet ist, gerade abfällt bei der Belastung, welche der Stab in der Nähe seines Durchgangs durch den Punkt des Krümmungsmaximums erträgt. Achtet man also darauf, bei welcher Belastung ein reichliches Abfallen des Glühspans erfolgt, so weiß man, daß diese Belastung multiplicirt werden muß beim Eisen mit 1,6 und beim Stahl mit 2,0, um die Belastung zu erhalten, bei welcher der Stab reißen wird. Eine directe Messung der bleibenden Verlängerungen ist also in solchem Falle nicht nöthig.

Diese practische Regel gilt für die Eisen- und Stahlsorten der gewöhnlichsten schwedischen Erze, und ich habe Grund zu der Vermuthung, daß sie auch wenigstens auf gewisse Sorten des englischen Eisens ausgedehnt werden kann.

V. *Ueber die Spectra einiger chemischen Elemente; von William Huggins.*

(Schluß von S. 295.)

Note zu den Tafeln.

Bei abermaliger Durchsicht der Tafeln finde ich, daß Linien von zwei oder mehreren Metallen häufig mit denselben Zahlen bezeichnet sind. Wahrscheinlich fallen diese Linien nicht zusammen, sondern kommen nur einander nahe innerhalb der Gränzen einer Einheit der angewandten Scale. Ich wählte daher aus diesen mit gemeinschaftlichen Zahlen bezeichneten Liniengruppen etwa fünfzig aus und verglich die Linien jeder Gruppe unter einander durch gleichzeitige Beobachtung der verschiedenen Metalle, zu welchen sie gehören. Einige dieser Linien ergaben sich als zu schwach und schlecht begränzt, um eine genauere Bestimmung ihrer Lage gegeneinander zuzulassen.